



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS
ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL**

José Daniel Alvarado Estrada

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS
ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ DANIEL ALVARADO ESTRADA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de abril del 2010.


José Daniel Alvarado Estrada

Guatemala 24 de abril del 2012.

Ingeniero
Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador del Área C.C. Básicas y Electrotecnia


Apreciable Ingeniero López:

Por este medio le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante José Daniel Alvarado Estrada con número de carné 2000-10753, cuyo título es **"COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL"**.

Considero que el trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado cumpliendo los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo a usted, respetuosamente.




Ing. Francisco Javier González López
Jefe del Laboratorio de Metrología Eléctrica
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Colegiado No. 2364
Asesor



Ref. EIME 35.2012

Guatemala, 1 de AGOSTO 2012.

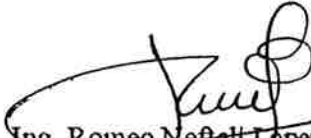
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA
ELÉCTRICA EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA
RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL", del estudiante José Daniel
Alvarado Estrada, que cumple con los requisitos establecidos para
tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DIRECCIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS


Ing. Romeo Nefalli Lopez Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



RNLO/sro


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



ESCUELA DE INGENIERIA

REF. EIME 45.2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ DANIEL ALVARADO ESTRADA titulado: "COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL", procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 28 DE AGOSTO 2012.



DTG. 519.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **COSTO DEBIDO A LA NO CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV DE LA RED HÍBRIDA FIBRA COAXIAL**, presentado por el estudiante universitario **Josè Daniel Alvarado Estrada**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Reñinos
Decano

Guatemala, 19 de octubre de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme culminar esta meta tan importante en mi vida. A Él sea la honra y la gloria.
- Mis padres** Lisandro Alvarado y Lilian Estrada de Alvarado, por ser el apoyo incondicional a lo largo de mi vida y por enseñarme a ser perseverante.
- Mis hermanos** Jonathan, Edith e Isabel Alvarado Estrada, por el apoyo brindado en los momentos más difíciles para obtener el éxito.
- Mi esposa** Julie Ríos, por su cariño y sus consejos en cada momento.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por permitirme la vida y brindarme su ayuda incomparable para realizarme como un hombre de bien.
- Mis padres** Lisandro Alvarado y Lilian Estrada, por darme el amor y las enseñanzas necesarias para alcanzar todo lo que me he propuesto. Y por el esfuerzo que realizaron para que terminará esta carrera. Los amo.
- Mis hermanos** Jonathan, Edith e Isabel Alvarado Estrada, por estar junto a mí en todos los momentos de mi vida. Y por su amor y amistad verdadera. Los quiero.
- Mi esposa** Julie Ríos, por ser una persona especial que me brinda su amor y me ayuda a seguir adelante, te amo.
- Mis cuñados** Por apoyarme siempre.
- Mi familia** Por sus consejos y apoyo.
- Mis amigos** Por compartir conmigo los momentos alegres y difíciles durante toda la carrera.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el centro de estudios que me permitió
obtener firmes conocimientos de ingeniería eléctrica.

1.6.	Elementos pasivos de red de HFC.....	26
1.6.1.	Coplas direccionales.....	27
1.6.1.1.	Analogía del funcionamiento de la copla.....	28
1.6.2.	<i>Splitters</i>	29
1.6.3.	<i>Taps</i>	31
1.6.3.1.	Módulo ecualizador de cable.....	32
1.6.3.2.	Módulo simulador de cable.....	32
1.7.	Parámetros de funcionamiento de equipos activos de red HFC.....	33
1.7.1.	Potencia eléctrica.....	34
1.7.2.	Voltaje y corriente de operación.....	35
1.7.3.	Conexión de equipos activos de red HFC (según fabricante).....	35
1.7.3.1.	Instalación en piso del receptor óptico.....	35
1.7.3.2.	Instalación de amplificadores.....	36
2.	PROTECCIONES DE LA RED HFC.....	43
2.1.	Supresores de picos.....	43
2.2.	Sistemas de tierras (masa tierra).....	47
2.3.	Otras posibles protecciones.....	52
3.	CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA.....	55
3.1.	Definición de calidad de potencia eléctrica.....	55
3.2.	Parámetros de calidad de potencia eléctrica (según EEGSA).....	55
3.2.1.	Calidad del producto suministrado por el distribuidor.....	56

3.2.2.	Regulación de tensión.....	56
3.2.2.1.	Índice de calidad de regulación de tensión.....	56
3.2.2.2.	Índices globales de regulación de tensión.....	57
3.2.3.	Tolerancias para la regulación de tensión.....	61
3.2.3.1.	Tolerancias de los índices individuales.....	61
3.2.3.2.	Tolerancia de los índices globales.....	62
3.2.4.	Control para la regulación de tensión.....	62
3.3.	Distorsión armónica.....	63
3.3.1.	Índice de calidad de distorsión armónica de tensión.....	66
3.3.2.	Control para la distorsión armónica de tensión.	68
3.4.	Interrupciones.....	68
3.4.1.	Índices de calidad para las interrupciones.....	68
3.4.1.1.	Índices globales.....	69
3.4.1.2.	Índices individuales.....	70
3.4.2.	Tolerancias para las interrupciones.....	71
3.4.3.	Control para las interrupciones.....	72
3.5.	Cómo conectarse a la red de energía eléctrica.....	73
4.	COSTOS OBTENIDOS POR EQUIPOS ACTIVOS AVERIADOS DE LA RED HFC.....	79
4.1.	Costo de receptores ópticos.....	80
4.2.	Costo de amplificadores.....	83
4.3.	Costo de fuentes de voltaje.....	85
4.4.	Costos por cambio de equipos averiados.....	88

4.5.	Costos por no prestar el servicio.....	89
5.	PROPUESTA PARA LA CONEXIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV A LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	95
5.1.	Medición de parámetros de la calidad de potencia eléctrica para prestar el servicio.....	95
5.2.	Medidas de protección de los equipos de CATV.....	96
5.3.	Sistemas de monitoreo de la señal de CATV.....	99
5.4.	Estudio de calidad de energía eléctrica para protección de los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC...	101
5.4.1.	Normalización de parámetros de la señal de tensión.....	102
5.4.2.	Requisitos de los equipos de medición de la señal de tensión.....	106
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	APÉNDICES.....	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Órbita geoestacionaria.....	2
2.	Funciones tradicionales del <i>Headend</i>	3
3.	Sistema de <i>Headend</i>	5
4.	Componentes del sistema de CATV.....	6
5.	Salida de la señal del <i>Headend</i>	7
6.	Distribución del sistema de acceso a la señal.....	8
7.	Diagrama de funcionamiento del sistema de CATV.....	9
8.	Diagrama de bloques receptor óptico: (a) digital, (b) análogo.....	11
9.	Tarjeta o módulo óptico real: (a) receptor, (b) transmisor.....	13
10.	Receptor óptico completo.....	14
11.	Diagrama de energía de la fuente interna del receptor óptico.....	15
12.	Ubicación de fusibles en el receptor óptico.....	16
13.	Fuente de alimentación del receptor óptico.....	17
14.	Diagrama de bloques simplificado de una fuente de voltaje.....	18
15.	Fuente modular.....	20
16.	Diagramas de bloques de diferentes tipos de amplificador.....	24
17.	Diagrama de bloques de una copla direccional.....	28
18.	Analogía de la copla direccional con el flujo de agua.....	29
19.	Diagrama esquemático del <i>splitter</i>	30
20.	Analogía del <i>splitter</i> con el flujo de agua	31
21.	TAP de 4 puertos.....	31
22.	Diagrama de un <i>tap</i>	33
23.	Ubicación de fusibles en un amplificador de cuatro salidas.....	37

24.	Módulo electrónico instalado en el <i>housing</i> del amplificador.....	38
25.	Selección de voltaje de funcionamiento del amplificador.....	39
26.	Secuencia del torque para cierre del <i>housing</i> del amplificador.....	40
27.	Longitud máxima y mínima del núcleo del conector pin.....	41
28.	Diseño de un supresor de picos.....	44
29.	Supresor de picos real.....	45
30.	Electrodos masa-tierra reales.....	47
31.	Diagrama de aterrizaje fuente – nodo o receptor óptico.....	49
32.	Diagrama para el aterrizaje de nodo y amplificadores.....	50
33.	Instalación de electrodos masa-tierra de 45 y 85 amperios.....	51
34.	<i>Transponders</i> de fuentes de voltaje, nodo y amplificadores.....	54
35.	Períodos de medición de los índices globales de regulación de tensión.....	57
36.	Frecuencia fundamental, con frecuencias de 3ra y 5a armónicas...	64
37.	Forma de onda de corriente distorsionada.....	65
38.	Especificaciones de accesorios para acometida aérea residencial...	74
39.	Acometida simple en caja de policarbonato.....	75
40.	Receptores ópticos instalados en la Ciudad de Guatemala durante el período 2008 – 2010.....	80
41.	Receptores ópticos averiados por diferentes causas.....	81
42.	Total de amplificadores instalados en la Ciudad de Guatemala durante el período 2008 – 2010.....	83
43.	Estimado de amplificadores averiados.....	84
44.	Fuentes de voltaje instaladas.....	86
45.	Fuentes de voltaje averiadas.....	87
46.	Mantenimiento utilizado con mayor frecuencia en la red de HFC.....	90
47.	Sectores con mayor mantenimiento en la red de HFC.....	91
48.	Estudios de calidad de energía eléctrica en la red de HFC.....	92

49.	Sistema de red HFC monitoreado con el sistema BOSS.....	100
50.	<i>Sag y swell</i> por falla en la red.....	104
51.	Sistema trifásico de tensión eléctrica.....	106
52.	Cadena de trazabilidad.....	108

TABLAS

I.	Tolerancias admisibles para la regulación de tensión.....	61
II.	Tolerancias para la distorsión armónica de tensión.....	67
III.	Tolerancias de los índices globales para las interrupciones.....	71
IV.	Tolerancias de los índices individuales para las interrupciones.....	72
V.	Costos de receptores ópticos averiados.....	82
VI.	Costos de amplificadores de RF averiados.....	85
VII.	Costos de fuentes de voltaje averiadas.....	87
VIII.	Costos por el montaje de los equipos averiados.....	89
IX.	Total de costos debido a la no calidad de la energía eléctrica en equipos activos de la red de HFC.....	94
X.	Diferencias entre tipos de mantenimiento.....	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
I	Corriente eléctrica
dB	Decibelio
dBm	Decibelio con respecto a un milivatio
dBmV	Decibelio con respecto a un milivoltio
FIU	Frecuencia de interrupciones por usuario
FMIK	Frecuencia media de interrupción por kVA
FP	Factor de potencia
ΔV_k	Índice de regulación de tensión
kVA	Kilo voltio amperio
%	Porcentaje
Q	Quetzales
TIU	Tiempo de interrupción por usuario

TTIK	Tiempo total de interrupción por kVA
Vrms	Voltaje eficaz
Vpk	Voltaje pico

GLOSARIO

Amplificador troncal	Equipo utilizado para proveer tanto voltaje como señal de RF al siguiente equipo en la cascada.
Amplificador de RF	Equipo utilizado para incrementar la amplitud de las señales de radiofrecuencia.
BOSS	Sistema de monitoreo de señales de RF, por sus siglas en inglés Broadband Operation Support System.
Calidad de energía	Parámetros requeridos en la señal de tensión establecidos por el ente regulador de cada país, para establecer si la energía es buena o no.
CATV	Servicio de transferencia de audio y video a través de un cable hacia el televisor, por sus siglas en inglés Community Antenna Television, televisión por cable.
Cero lógico	Una referencia del potencial, equivalente a cero, para la conexión de equipos electrónicos a un electrodo de protección de tierra física.

CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Codificación	Proceso por el cual la información transmitida es convertida en símbolos para ser comunicada.
Compresión	Técnica para reducir el ancho de banda necesario para transmitir una señal mediante la eliminación de información innecesaria o redundante de la señal a través de un algoritmo.
Corriente eléctrica	Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior de un material; unidad de medida el amperio.
dBm	Decibelios con respecto a un milivatio. Es la unidad de la potencia de la señal de RF utilizada en aplicaciones de comunicación.
dBmV	Decibelios con respecto a un milivoltio en un sistema de 75 Ohm. Es la unidad de potencia de RF utilizada en el sistema de televisión por cable en Guatemala. En un sistema de 75 Ohm, $0 \text{ dBmV} = - 48.75 \text{ dBm}$.

Distorsión armónica	Deformación de la onda senoidal de corriente o de tensión eléctrica de frecuencia nominal, ocasionada por la presencia de señales eléctricas senoidales de frecuencias diferentes y múltiples de dicha frecuencia nominal.
<i>Downlink</i>	Trayectoria en donde la señal de RF viaja desde el transmisor de un satélite hacia un receptor ubicado en la tierra.
Duplexor	Filtro utilizado para separar señales de RF, basándose en las frecuencias de las señales. También puede ser utilizado para combinar señales que existan en bandas de frecuencia diferentes.
Ecualizador de cable coaxial	Filtro pasa altos, que atenúa las frecuencias en un rango dentro del espectro de RF, utilizado en este estudio, que va de los 55 MHz – 625 MHz. Se utiliza para la calibración de amplificadores y para atenuar las frecuencias bajas en los taps.
Encriptación	Proceso de convertir una señal digital que lleva cierta información, en ilegible a cualquier receptor ajeno a la información que se envía.
Espectro de frecuencias	Rango de frecuencias de RF establecido en este estudio que va desde los 5 hasta 870 MHz.

Etapa de régimen	Período en donde se evalúa el cumplimiento de los índices individuales y globales de calidad de energía establecidos por la CNEE. Esta etapa inicia inmediatamente después de la etapa de transición.
Etapa de transición	En esta etapa se controla la calidad suministrada del servicio eléctrico de distribución, mediante el seguimiento de los indicadores individuales y globales para exigir el cumplimiento de los valores fijados en las normas establecidas por la CNEE.
Factor de potencia	Relación que existe entre la potencia activa y la potencia aparente de un circuito eléctrico.
FMIK	Frecuencia media de interrupción. Representa la cantidad de veces que el KVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio.
HFC	Hibrido de fibra coaxial por sus siglas en inglés <i>Hybrid fiber coax</i> . Es una red utilizada para la transmisión de señales moduladas por portadoras de RF y transmitidas por medio de fibra óptica, seguido por la transmisión de las portadoras de RF por medio del cable coaxial.

<i>Housing</i>	Es la carcasa en cuyo interior se instala el módulo electrónico de un amplificador o receptor óptico, para evitar que se dañen por el agua. También se utiliza como disipador de calor del módulo.
Intervalo de medición	Es el intervalo comprendido dentro del período de medición de calidad de energía eléctrica, el cual equivale a quince o diez minutos, dependiendo del parámetro que se esté midiendo. También llamado intervalo de medición k.
Mantenimiento predictivo	Procedimiento para pronosticar el punto futuro de falla de un componente, de tal forma que pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo de vida del componente se optimiza.
Pérdida por inserción	Pérdida de potencia de señal debido a la instalación de un dispositivo electrónico pasivo, en una red troncal de HFC. Es una característica intrínseca de cada dispositivo debido a los componentes electrónicos del mismo.
Período de medición	Intervalo comprendido dentro del período de control de una medición de calidad de energía eléctrica, el cual tiene una duración de siete días continuos.

Potencia eléctrica	Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.
RF	Radiofrecuencia, para este estudio es el rango dentro del espectro de frecuencias comprendido entre 5 MHz y 1 GHz.
Sag	Reducción súbita de la tensión nominal en una o más fases, cuya reducción puede tener una duración que va desde los 16,6 ms hasta 1 min.
Señal de forward	Son las portadoras análogas y digitales ubicadas dentro del espectro de RF, utilizado en este estudio, el cual inicia en 55 MHz y finaliza en 870 MHz, en las que viaja la programación de canales del sistema CATV, que va desde el Headend hacia el cliente.
Señal de retorno	Rango de frecuencias dentro del espectro de RF, establecido para este estudio, que inicia en 5 MHz y finaliza en 50 MHz. En el que se ubican las portadoras en las cuales viaja la información (VOD, Volp) que regresa de los clientes hacia el Headend.

Simulador de cable coaxial	Filtro pasa bajo, que atenúa las frecuencias que van de los 633 MHz – 870 MHz en el espectro de RF utilizado en este estudio. Y se utiliza en la calibración de amplificadores y en los taps para simular la pérdida del cable coaxial.
Swell	Incremento súbito de la tensión en una o más fases sobre la tensión nominal, con una duración continua de 8 ms hasta 1 min.
Transponder	Dispositivo electrónico utilizado en la red de HFC que funciona como un cable modem, y consiste en un amplificador de entrada, un filtro pasabanda y un amplificador de salida.
Transitorios	Impulsos de voltaje o de corriente de corta duración, provocados por cambios rápidos en la señal de voltaje o de corriente nominal, o por la respuesta de una carga capacitiva o inductiva, que se inducen en la señal de alimentación y son frecuentemente intermitentes.
TTIK	Tiempo total de interrupción por KVA. Representa el tiempo total, en horas, en que cada KVA promedio estuvo fuera de servicio.
Voltaje	Tensión eléctrica o diferencia de potencial entre dos puntos. Unidad de medida el voltio.

RESUMEN

La no calidad de la energía causa serios daños a los equipos electrónicos de la red de HFC y por ende se incurre en costos por el reemplazo directo de los mismos. Por lo que en el presente trabajo se describirán los aspectos más importantes para establecer los parámetros de medición de la calidad de la energía eléctrica, que se deben tener en cuenta al momento de conectar la red de HFC al suministro eléctrico.

En el capítulo uno se explica el principio del funcionamiento de una red de HFC (*Híbrida Fibra Coax*), el cual está basado en el concepto de transmisión de señales de RF, e inicia con la transmisión de las señales vía satélite, desde un proveedor de servicios. Las señales de RF son procesadas en la cabecera final o *headend*, para luego ser transmitidas por medio de fibra óptica hacia un transductor, más conocido como receptor óptico, el cual convierte la energía luminosa en energía eléctrica en el espectro de frecuencias de RF. A partir del receptor óptico la red de HFC utiliza cable coaxial RG500 y debido a la degradación de la señal por la longitud del cable se necesita regenerarla por medio de amplificadores de RF.

Las redes de HFC utilizan una fuente de voltaje, la cual convierte la señal de entrada senoidal de 120 voltios y con frecuencia de 60 Hz del suministro de energía eléctrica, en una señal semicuadrada de 90 voltios y son instaladas en intemperie, es por ello que, en el capítulo dos, se muestran los equipos que protegen la red contra fallas ajenas a la misma. Éstos son: los supresores de picos de voltaje y los sistemas masa-tierra.

Si bien estas protecciones son de gran utilidad para los equipos electrónicos de CATV, no toman en cuenta la calidad de la potencia eléctrica que el proveedor de energía suministra.

La calidad de la potencia eléctrica está basada en las posibles deformaciones que pueda tener la señal de tensión tales como: reducciones súbitas de la tensión (*sag*), incrementos súbitos de la tensión (*swell*), interrupciones momentáneas, transitorios y la distorsión armónica. Las cuales se mencionan en el capítulo tres.

Para realizar este estudio se elaboró una encuesta a los trabajadores del Departamento de Operaciones y Mantenimiento de la empresa de Telecomunicaciones de Guatemala S.A., con el fin de establecer el tipo de mantenimiento utilizado con mayor frecuencia, en la red de HFC, el sector con mayor índice de fallas. La cantidad de equipos electrónicos activos, tales como: receptores ópticos, amplificadores y fuentes de voltaje, averiados debido a la no calidad de energía y si se realizan o no estudios de calidad de energía eléctrica. Todos estos datos se muestran en el desarrollo del capítulo cuatro.

El mantenimiento predictivo descrito en el capítulo cinco, es la solución al efecto que causa la no calidad de la energía eléctrica en la red de HFC; el cual consiste en el análisis de fallas utilizando como herramienta principal la metrología, el personal capacitado y equipos medidores de calidad de energía que detecten anticipadamente las anomalías en la señal de tensión. Logrando con ello reducir los costos por equipos electrónicos de CATV averiados en la red de HFC.

OBJETIVOS

General

Identificar el costo debido a la no calidad de la potencia eléctrica proporcionada por la empresa que presta el servicio eléctrico y las protecciones recomendadas en los equipos electrónicos de CATV; mediante una investigación de campo que permita reducir los costos dentro del marco económico de la empresa de telecomunicaciones.

Específicos

1. Indicar el funcionamiento y las protecciones utilizadas en una red de HFC para el sistema CATV.
2. Identificar los parámetros que EEGSA utiliza para medir la calidad de la potencia proporcionada al usuario final.
3. Informar sobre los costos incurridos en equipos electrónicos averiados de CATV de la red metropolitana durante el período 2008 – 2010 debido a la no calidad de la energía eléctrica.
4. Plantear una propuesta para reducir los daños y los costos por el reemplazo de los equipos electrónicos de CATV averiados debido a la no calidad de la energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la potencia eléctrica es un tema que pocos usuarios toman en cuenta al momento de conectarse a la red del suministro eléctrico. De tal forma que la mayoría de usuarios en media y baja tensión desconocen las deformaciones que la señal de tensión posee; provocadas principalmente al uso de cargas con impedancia no lineal, materiales ferromagnéticos en las máquinas eléctricas, operaciones de conmutación en subestaciones y en general, al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal.

La no calidad de la energía eléctrica provoca que los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC, tengan un mal funcionamiento o sufran averías irreparables. Por este motivo, en el momento que se dañen completamente, son reemplazados sin tener acceso a la garantía, ya que no se puede justificar el cambio del equipo debido a la no calidad de la energía eléctrica.

A causa de esto se debe reinvertir en la compra de equipos, para mantener la continuidad de los servicios, tales como Internet, televisión por cable y telefonía, prestados por la de HFC. Además se debe tomar en cuenta que se pierden grandes cantidades de dinero debido al tiempo que tardan las reparaciones de la red, ya que a los usuarios se les suspende el servicio brindado en ese momento. Por estas razones es necesario conocer cómo están diseñadas las redes de HFC, las protecciones utilizadas actualmente para este tipo de redes, el nivel de voltaje aplicado a los equipos, entre otros.

Asimismo se muestran los parámetros y rangos establecidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para realizar mediciones de calidad de energía, utilizando las normas establecidas por dicha comisión.

Una vez definida la cantidad de equipos electrónicos averiados en la red debido a la no calidad de la energía eléctrica, se procedió a determinar el costo total invertido por reemplazar dichos equipos. Además, se estableció que la empresa de telecomunicaciones no cuenta con un análisis de fallas provocadas por la energía eléctrica, personal capacitado en estudios de calidad de energía y con equipos de medición adecuados que permitan detectar anticipadamente las anomalías en la señal de tensión, que pueden dañar los equipos electrónicos de la red.

A través de la información obtenida se propuso la aplicación del mantenimiento predictivo para el análisis de fallas por las distorsiones en la señal de tensión, la capacitación del personal y la compra de equipos que consideren cada una de éstas.

Por último, se realizó un estudio de calidad de energía eléctrica el cual se utilizó para mostrar la existencia de cada uno de los fenómenos que afectan la señal de tensión, utilizando un equipo que cubre todas las especificaciones necesarias establecidas por el ente regulador de la calidad de la energía en Guatemala. Todo esto con el fin de motivar al usuario en media y baja tensión a que se informe sobre la importancia de la calidad de la energía eléctrica, para la protección de sus equipos y la reducción de costos.

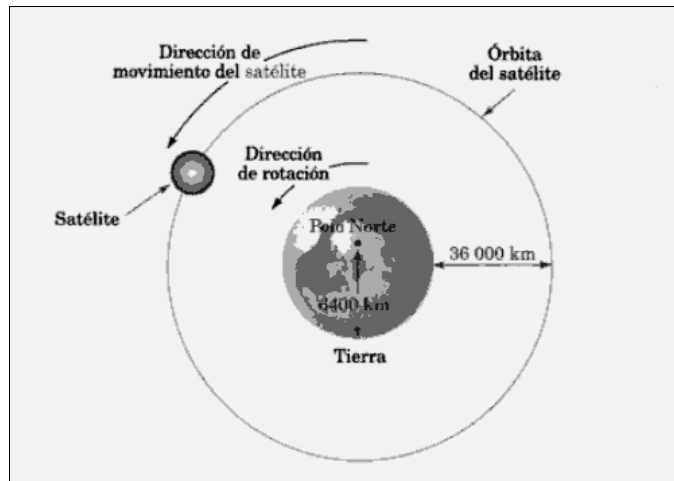
1. RED HÍBRIDA FIBRA/COAXIAL (HFC)

1.1. Principios

El principio del funcionamiento de una red de HFC está basado en el concepto de transmisión de señales de RF, el cual inicia con la transmisión de las señales vía satélite desde un proveedor de servicios. El satélite tiene un repetidor, quien a la vez tiene un transmisor y un receptor. La trayectoria de la señal se origina desde el transmisor de la estación terrestre (proveedor terreno) al receptor del satélite, éste es conocido como: enlace ascendente uplink, y la trayectoria desde el transmisor del satélite a la Tierra se conoce como: enlace descendente downlink.

La mayoría de los satélites de comunicación utilizan una órbita geosincrónica, es decir, ocupan una órbita circular arriba del ecuador a una distancia de 35 784 Km sobre la superficie terrestre. A esta altura, el período orbital del satélite es igual al tiempo de rotación de la Tierra, que es de aproximadamente 24 Hrs. Si la dirección del movimiento del satélite es la misma que la de rotación de la Tierra, el satélite parece permanecer casi estacionario en un punto sobre la superficie terrestre. Se dice entonces que el satélite está en una órbita geoestacionaria, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Órbita geoestacionaria**



Fuente: Sistemas electrónicos de comunicación. p. 751.

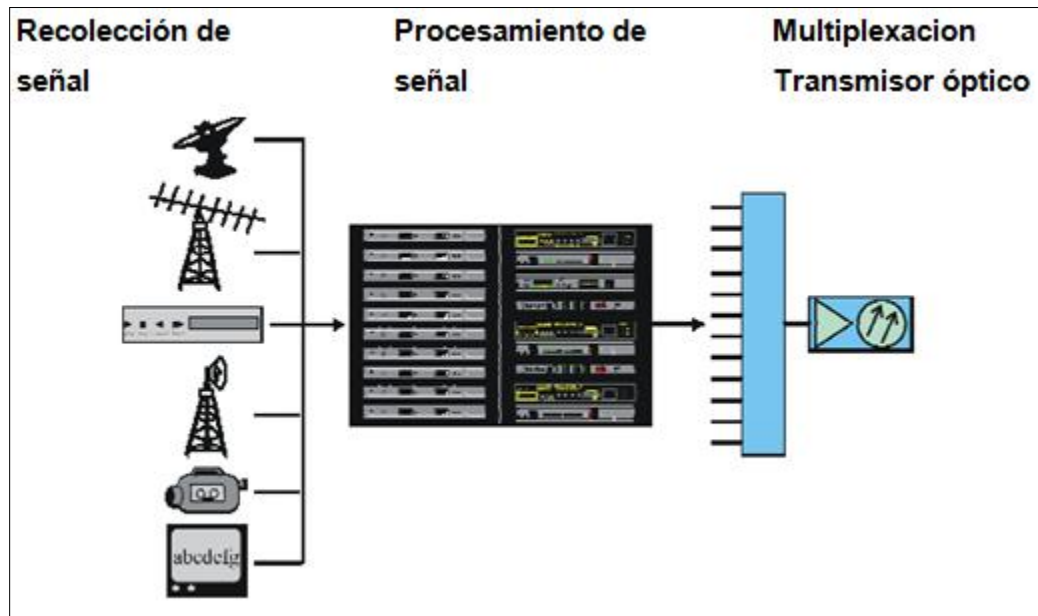
Las señales que llegan al satélite se reciben a una frecuencia, se amplifican y se mueven a otra frecuencia para su retransmisión. Las frecuencias de transmisión y recepción tienen una amplia separación con el fin de evitar interferencia. Hay dos asignaciones de frecuencia principales. Una es la banda C, con el enlace ascendente (Uplink) aproximadamente a 6 GHz y el enlace descendente (dowlink) a unos 4 GHz. La otra es la banda Ku, con enlaces ascendente y descendente en el ámbito de 14 GHz y 12 GHz, respectivamente.

En el enlace ascendente (uplink), las señales de canales de programación son enviadas con alguna o todas las medidas de protección tales como: codificación, encriptación, compresión, entre otros, y transmitidas en la banda de 5,9 a 6,4 GHz y 11,7 a 12,2 GHz a un satélite de órbita geoestacionaria. Un transpondedor (repetidor) a bordo del satélite convierte la señal de banda C de 4 – 6 GHz o banda Ku 12 – 14 GHz y usando antenas que son dirigidas a la Tierra en la zona de cobertura designada a la localidad de cabecera final (*headend*).

1.2. *Headend*

El *headend* o cabecera final es la parte principal de los sistemas de CATV. Las señales llegan a la cabecera vía satélite, por microondas, por medio de antenas y digitalmente a través de sistemas de fibra óptica. Las señales de datos se originan en estos sitios que están más cerca del usuario final. Todas las señales reunidas en el *headend* son procesadas y combinadas en el espectro de frecuencia de forward (comprendido 55 MHz a 625 MHz que son 91 canales análogos y desde 633 MHz hasta 833 MHz son canales digitales) y son enviadas al suscriptor. El *headend* también recibe señales de datos del usuario final por medio del sistema de retorno (5 MHz a 50 MHz). La figura 2 muestra de forma sencilla el funcionamiento del *headend*.

Figura 2. **Funciones tradicionales del *headend***



Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 6.

Los componentes básicos del sistema de forward del *headend* son:

- Antenas (satélite, microondas)
- Video moduladores y procesadores de RF
- Equipo de procesamiento de datos
- Combinadores de RF
- Dispositivos de fibra óptica de transmisión de señales

1.2.1. Funcionamiento del *headend*

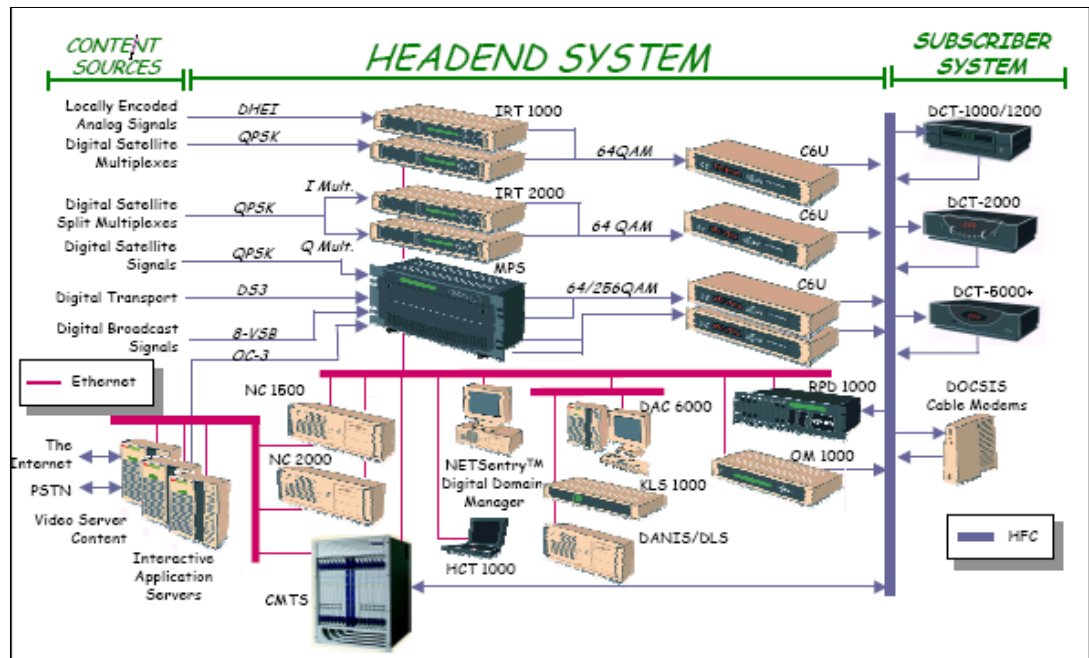
Las señales que llegan al *headend* son reunidas con platos satelitales (TVRO), antenas VHF y UHF, antenas de microondas, reproductores de video, líneas telefónicas y generadores de caracteres.

El control de las funciones de la señal de procesamiento de red utiliza codificadores estéreo, codificadores de datos, controladores de direcciones, sistemas de apoyo operacional y sistemas de monitoreo, entre otros.

Los equipos de planta de distribución acceso/multiplexación incluyen combinadores de red, amplificadores de paso, transmisores ópticos de banda ancha, amplificadores, divisores ópticos y receptores ópticos.

En la figura 3 se muestran los componentes que se utilizan para el funcionamiento del *headend*. Así se observa la cantidad de equipos utilizados, hace que el sistema se torne un tanto complejo.

Figura 3. Sistema de *headend*

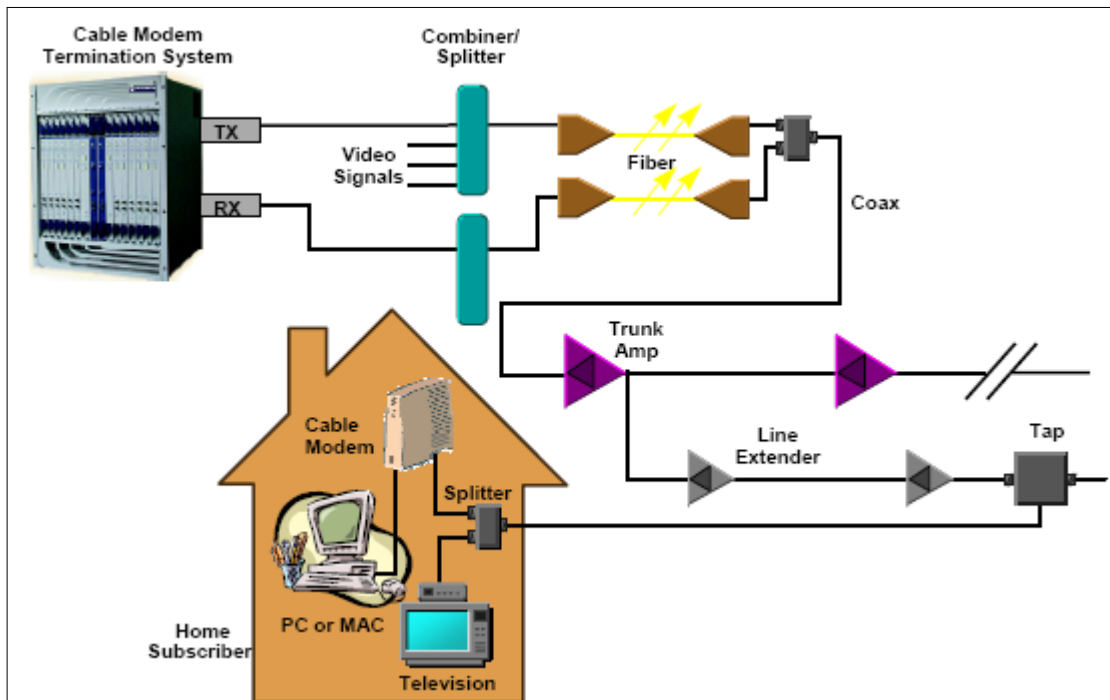


Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 7.

Los componentes del sistema de *headend* proveen para la recolección de señal, el control de la red de procesamiento de señal y las fuentes del sistema de distribución de acceso y multiplexación de señal. Para esto se crea un plan de canales (o múltiples planes de canales), y esta cantidad de señales de video, voz y datos son entregadas a la casa del usuario final. Se comienza con múltiples fuentes de señal, que se condicionan y combinan con el fin de ordenarlas en la planta de distribución.

En la figura 4 se muestra, de forma sencilla, el funcionamiento del sistema CATV, desde la cabecera hasta el usuario final y viceversa, ya que el sistema es bidireccional.

Figura 4. Componentes del sistema de CATV

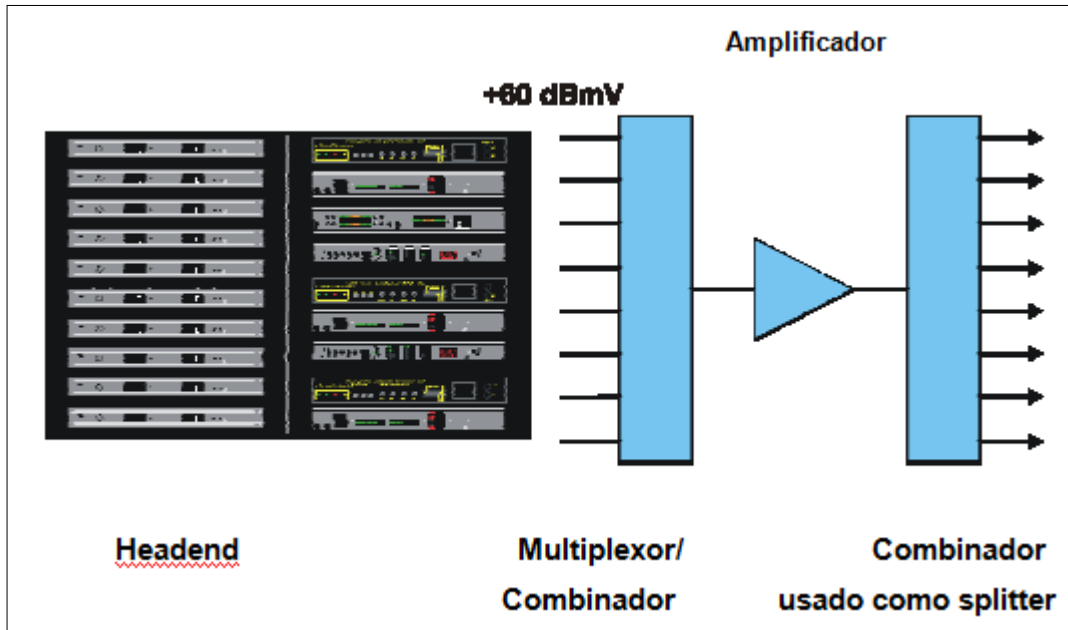


Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 8.

El transmisor está conectado al combinador y multiplexado con las señales de video. Los canales de datos son combinados con los canales de video y otros servicios antes de enviar el láser.

Los niveles del receptor óptico son críticos para la operación correcta del servicio de datos y de especial importancia los niveles de retorno (*upstream*). Cada nodo debe ser caracterizado, para asegurar que reúne los requerimientos de transmisión de datos en *upstream*. También debe caracterizarse para múltiples canales de datos.

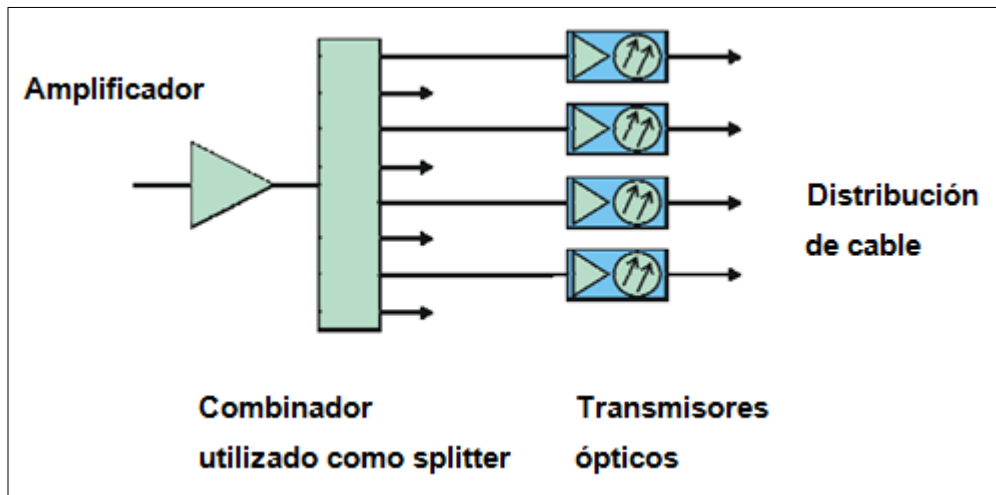
Figura 5. Salida de la señal del *headend*



Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 9.

En el diagrama de la figura 5 se muestra cómo funciona el *headend*, debido a que los canales individuales de los moduladores de RF y procesadores son combinados utilizando el combinador de red. Las señales combinadas son amplificadas por una baja distorsión del amplificador, para proveer los niveles adecuados de la señal de entrada a los transmisores ópticos.

Figura 6. **Distribución del sistema de acceso a la señal**

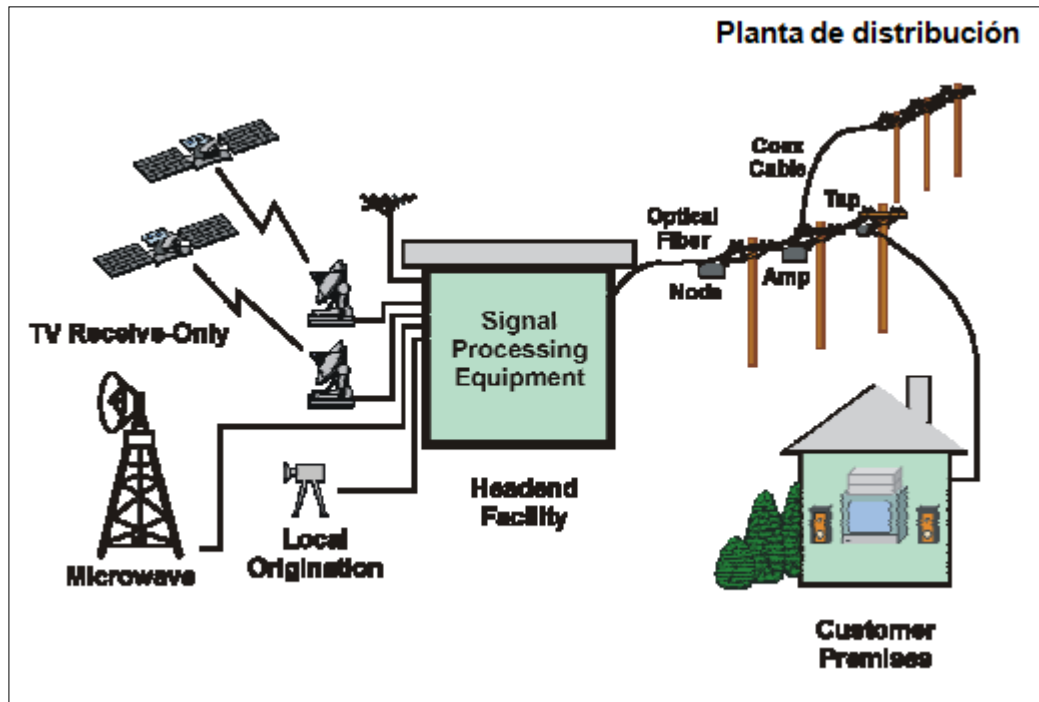


Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 10.

La conversión de la transmisión coaxial a fibra en la industria del cable ha llevado a una reducción en la cantidad de *headends*, como se observa en la figura 6, un sólo *headend* le da señal a varios receptores ópticos. Éstos pueden alimentar sus señales a las centrales, vía fibra óptica en ambos formatos tanto digital como análogo. Esto incrementa el tamaño del área que se alimenta desde un sólo sitio y al mismo tiempo reduce la cantidad de equipo de procesamiento necesario para proveer los servicios de video.

La planta de distribución consiste de cables, conectores, dispositivos activos y pasivos que comprenden la red de banda ancha, delineada a partir de la salida del *headend* al lado de las instalaciones del cliente. La figura 7 muestra, de forma más completa, cómo se transmiten las señales del sistema CATV.

Figura 7. Diagrama de funcionamiento del sistema de CATV



Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 12.

1.3. Receptor óptico

Un componente básico en cualquier arquitectura HFC es el receptor óptico, ya que es donde son detectadas y cargadas las señales ópticas provenientes del *headend*; tanto analógicas como digitales, y es donde comienza la subred de distribución coaxial extendida, desde allí hacia los clientes.

1.3.1. Funcionamiento del receptor óptico

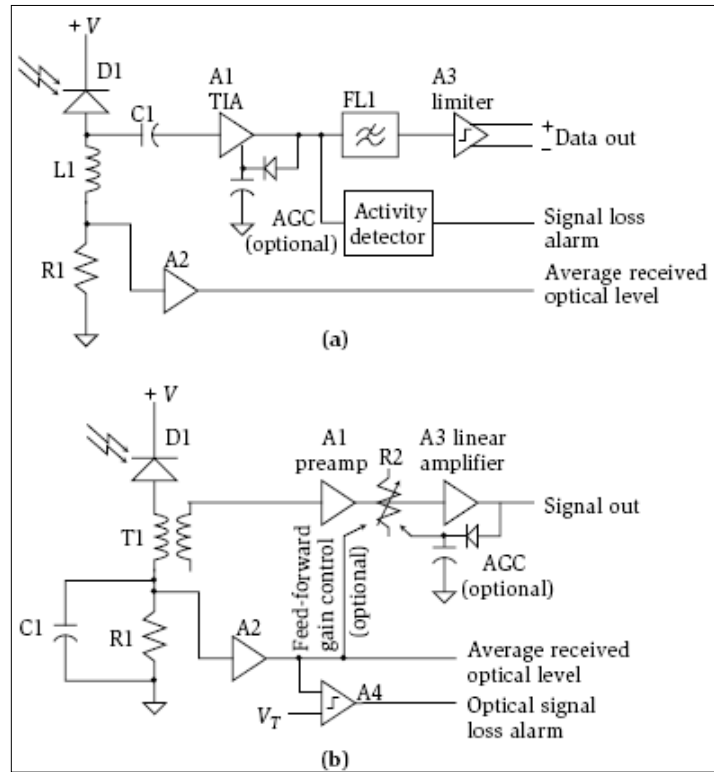
La figura 8 ilustra los receptores ópticos análogos y digitales. En el receptor digital de la figura (a), el diodo detector D1 recibe la luz y la convierte en corriente eléctrica. La corriente promedio es filtrada en la bobina L1 y convertida en voltaje en R1. La señal de salida desarrollada a través de L1, y la corriente AC, son acopladas a través del capacitor C1 hacia un amplificador de transimpedancia (TIA: *transimpedance amplifier*).

El amplificador de transimpedancia tiene una alta impedancia de entrada y una impedancia de salida controlada, cerca de 50 ohmios. Es un amplificador lineal, así que la señal de salida es una representación exacta de la potencia luminosa de entrada. El control de ganancia automático (AGC: *Automatic gain control*) puede ser utilizado o no. Sirve para controlar el nivel de salida del amplificador, ya que en un sistema de cable existen atenuaciones por cambios de temperatura. Con esto el AGC detecta el cambio en el nivel de la señal de entrada del amplificador y lo corrige, para mantener el nivel de salida constante.

Luego la señal de salida del amplificador de transimpedancia es filtrada en el filtro pasa bajos FL1 para remover el ruido fuera de banda e incrementar la señal. Finalmente, la señal es modelada en el limitador A3, el cual convierte los niveles análogos en lógicos 1 y 0. Típicamente, la salida de A3 es balanceada, o se equilibra de nuevo para mantener corrientes de conmutación fuera del sistema de tierra. La salida del amplificador A2 se utiliza para tomar una medición del promedio del nivel óptico recibido en el receptor.

Un detector de actividad detecta las pérdidas de cualquier señal óptica o modulación digital en la señal y puede reportar estos hechos hacia un sistema de monitoreo.

Figura 8. Diagrama de bloques receptor óptico: (a) digital, (b) análogo



Fuente: Modern Cable Television Technology. p. 772.

En contraste con el receptor digital que se acaba de describir, con el receptor análogo mostrado en la figura (b), la luz es nuevamente convertida en corriente eléctrica en el diodo D1, una porción de la corriente es transformada en el transformador T1 antes de ser aplicada al preamplificador A1. La ganancia es ajustada en el atenuador R2 bajo control, ya sea por un bucle de control automático de ganancia (AGC *Automatic gain control*) o un circuito de control de alimentación de ganancia de forward (*Feed forward gain control*). El circuito de alimentación de *forward* mide los cambios en el nivel óptico promedio recibido y corrige la ganancia en los cambios del nivel de RF producidos por cambios en el nivel óptico.

1.3.2. Operación del receptor óptico

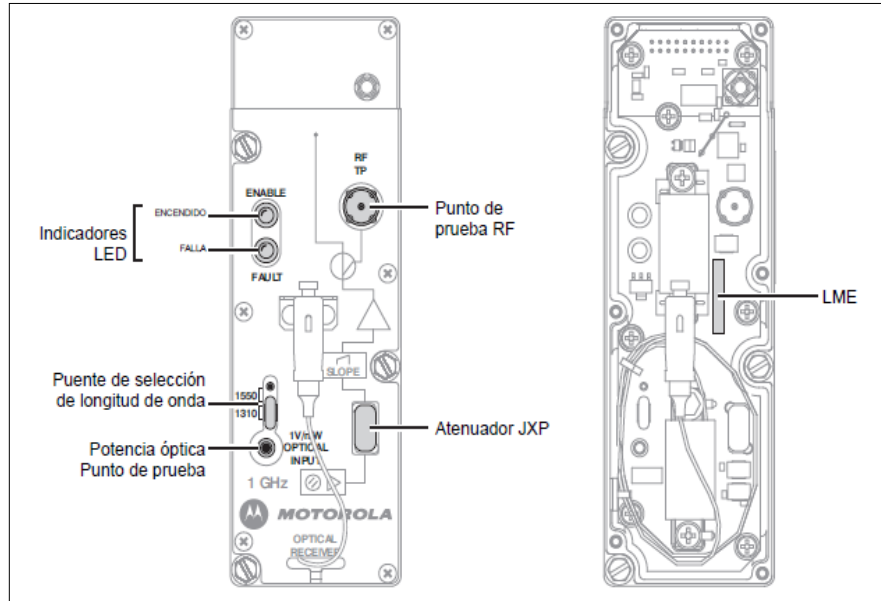
Antes de instalar un nodo o receptor óptico, se debe cumplir con los requisitos de configuración y alimentación de voltaje en la ubicación particular en donde se instalará dicho nodo.

1.3.2.1. Módulos ópticos

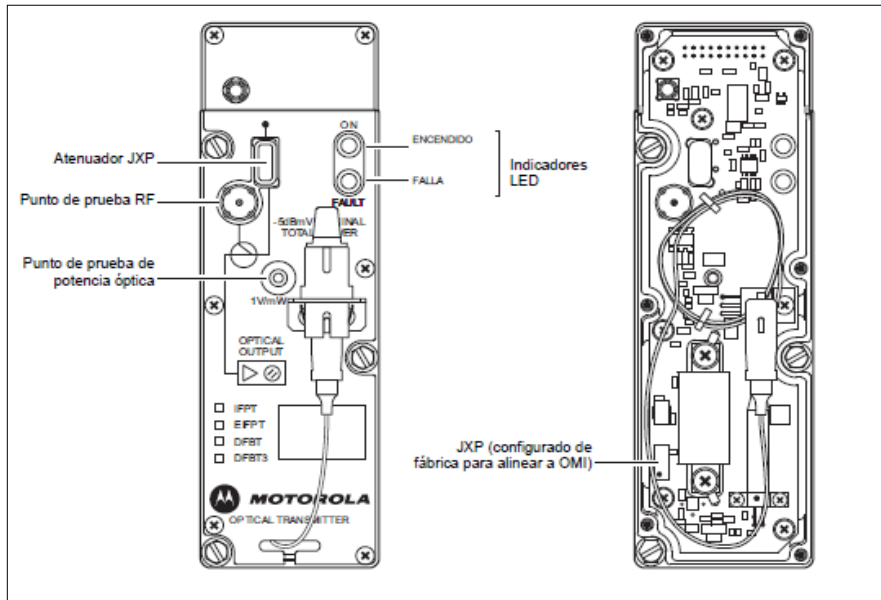
Los receptores ópticos constan de dos tarjetas ópticas o módulos ópticos, a los cuales están conectadas las dos fibras ópticas que llegan desde la cabecera final, uno utilizado para recibir la señal de RF de *forward* (tarjeta receptora Rx) que es transmitida desde el *headend*, y el otro para enviar las señales de retorno (tarjeta transmisora Tx) provenientes de los usuarios finales.

Estos módulos son los transductores que convierten la luz en corriente eléctrica y viceversa. A partir de este punto en adelante la señal viaja por toda la red de cable coaxial RG500, pasando por los amplificadores, hasta el usuario final. A continuación, en la figura 9 se muestran los dos módulos ópticos tanto el transmisor como el receptor.

Figura 9. Tarjeta o módulo óptico real: (a) receptor, (b) transmisor



(a)



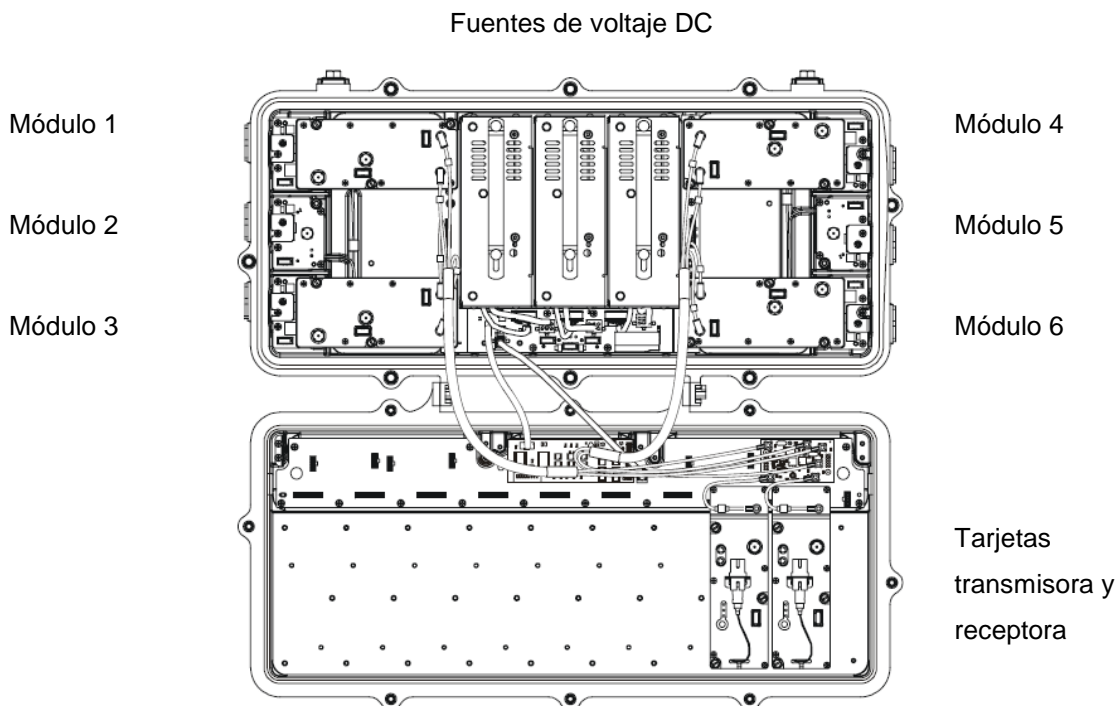
(b)

Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 4-7.

1.3.2.2. Módulos de RF del receptor

Los receptores ópticos están divididos en módulos, cada módulo o puerto envía la señal de RF a los amplificadores para la distribución de la misma. Así también, cada módulo tiene un fusible que permite proporcionar el voltaje AC a los amplificadores para su funcionamiento. De esta forma se suministra tanto la señal de RF como el voltaje AC a los dispositivos que sea necesario. Los receptores ópticos, por lo general, funcionan convenientemente a 60 VAC o a 90 VAC, para cualquiera de los seis puertos de RF/AC. La figura 10 muestra un receptor óptico modular utilizado en la red de HFC.

Figura 10. **Receptor óptico completo**



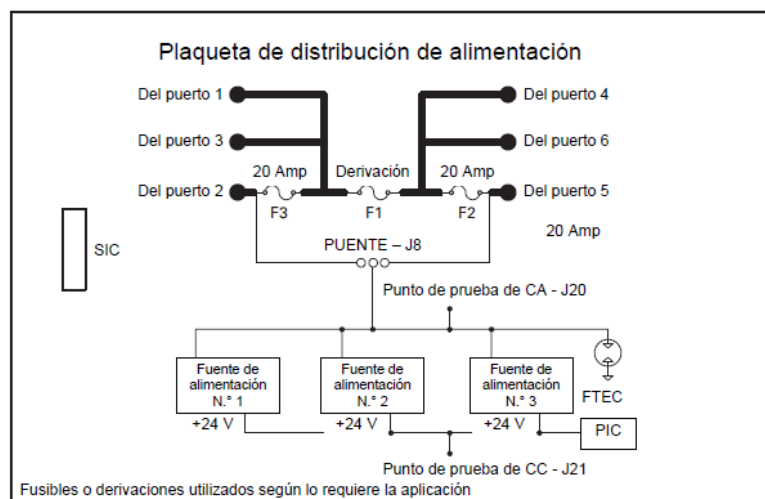
Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 3-8.

1.3.2.3. Panel de distribución de energía

Los seis puertos o módulos operan a 15 amperios máximo. Y cada puerto utiliza un fusible de 20 amperios. Los puertos dos y cinco se utilizan la mayoría de veces como puertos de salida de voltaje AC dependiendo del modelo y la marca del receptor. Removiendo el fusible en cualquier puerto, remueve la ruta alterna de voltaje AC de ese puerto en el panel de distribución de energía.

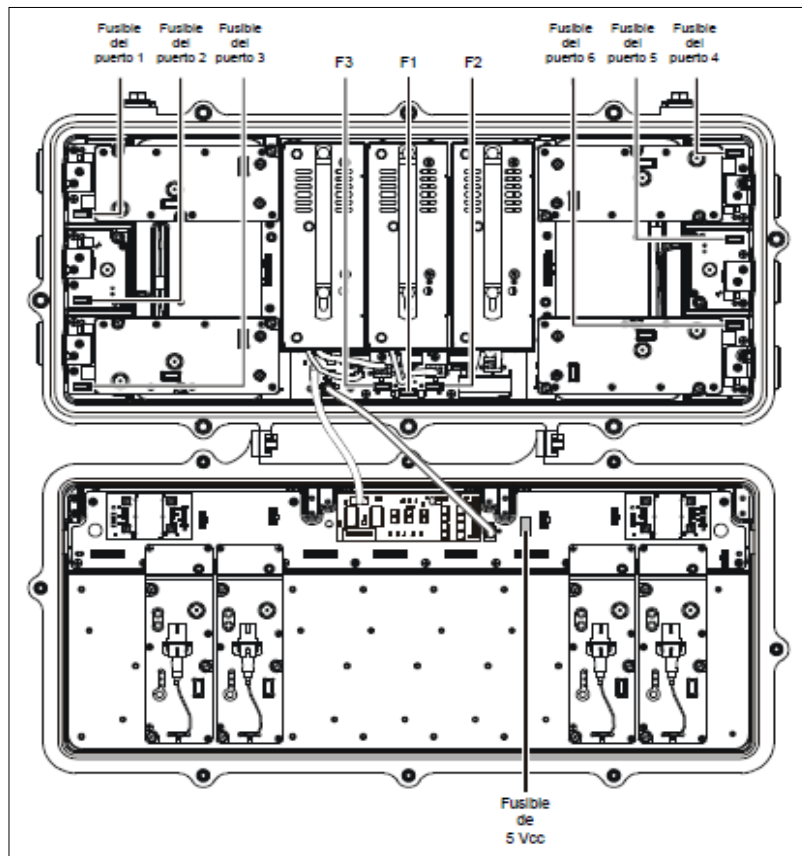
El voltaje AC nunca se transfiere a los módulos de RF; el puerto de entrada del panel dirige el voltaje AC hacia el panel de distribución de energía en la carcasa o *housing* del nodo. En la figura 11 se muestra el panel de distribución de energía y en la figura 12 la ubicación de los fusibles para proporcionarle el voltaje AC a cada puerto del receptor óptico.

Figura 11. **Diagrama de energía de la fuente interna del receptor óptico**



Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 3-39.

Figura 12. Ubicación de fusibles en el receptor óptico



Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 3-41.

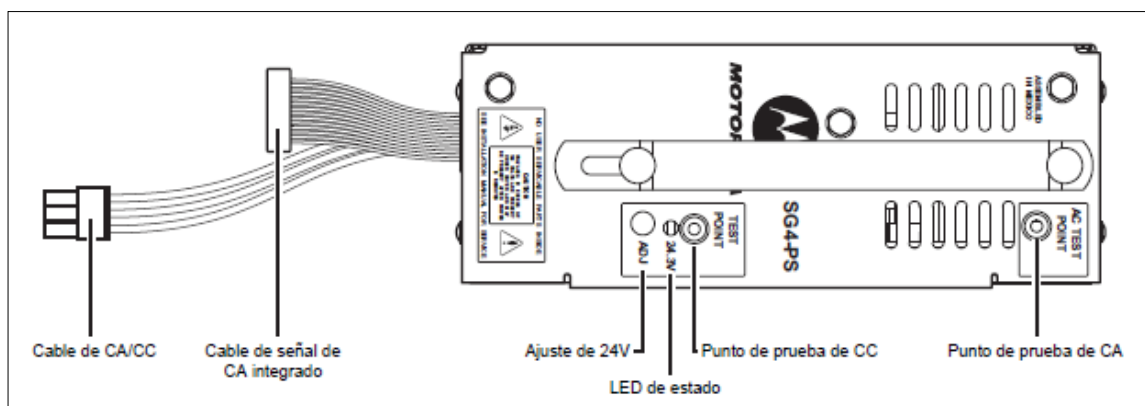
El panel de distribución de energía contiene el *jumper* o puente, y los fusibles requeridos para dirigir el voltaje a través del nodo. Éste también contiene la palanca electrónica de disparo rápido FTEC (*Fast trigger electronic crowbar*) para la protección contra sobretensiones, así como los puntos de prueba de DC y AC. El nodo sólo puede ser energizado desde una sola fuente AC. El *jumper* J8 determina de qué lado se energiza físicamente el nodo. Cuando el *jumper* J8 está en la posición izquierda, los puertos 1, 2 y 3 son elegidos como los puertos de energía. Cuando el *jumper* está en la posición derecha, los puertos 4, 5 y 6 son elegidos como los puertos de energía.

1.3.2.4. Fuente de alimentación del receptor

Los receptores ópticos se pueden alimentar con 60 VAC o 90 VAC. El módulo de fuente de energía es automático. La fuente de energía comienza a funcionar cuando el nivel de tensión de entrada alcanza el nivel apropiado de 44 VAC RMS, ésta continúa operando hasta que el voltaje de entrada cae por debajo de los 39 VAC. La frecuencia debe ser 60 Hz, y la señal de voltaje de entrada debe ser de forma cuasicuadrada.

La fuente de alimentación mostrada en la figura 13 es de un receptor óptico, la cual cuenta con un sistema de autoprotección que se apaga para tensiones superiores a 176 VAC. Un regulador de precisión protege contra sobrecorrientes y cortocircuitos, proporcionando así una salida de voltaje exacta. Esta fuente proporciona 2,9 A. y 24 VDC.

Figura 13. Fuente de alimentación del receptor óptico

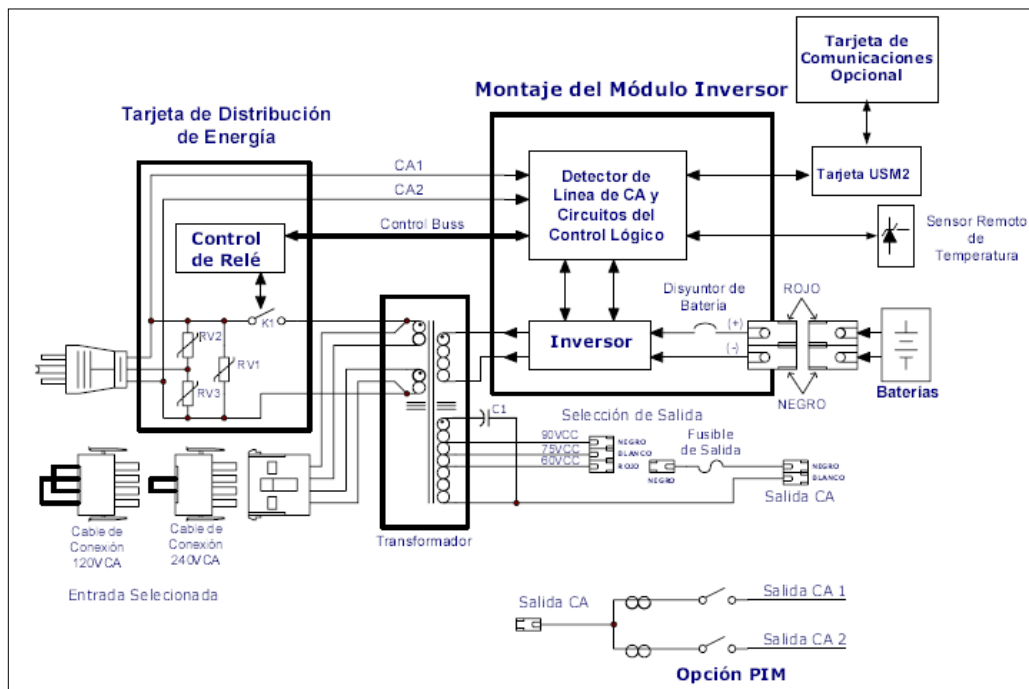


Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 3-43.

1.4. Fuentes de voltaje

Las fuentes de alimentación ininterrumpibles (UPS) han sido diseñadas para alimentar equipos de procesamiento de señales de sistemas de televisión por cable y distribución de redes LAN de banda ancha. La fuente de alimentación, que consiste de un módulo de alimentación, proporciona la carga crítica con alimentación CA regulada, limitada a la corriente, la cual se encuentra libre de perturbaciones como son: los picos, sobrevoltajes, ruidos e interrupción total. Durante la operación en línea, la alimentación de CA ingresa a la fuente de alimentación y se convierte en una onda cuasicuadrada y regulada (al voltaje de salida requerido) por un transformador ferorrresonante como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Diagrama de bloques simplificado de una fuente de voltaje



Fuente: Alpha Technologies. p. 13.

Este voltaje de onda cuasicuadrada se conecta a la carga por medio del conector de salida. Al mismo tiempo, parte de la alimentación se dirige al cargador para mantener una carga flotante en las baterías. Cuando el voltaje de entrada de línea de CA se desvía significativamente de la normal, u ocurre un corte eléctrico, el módulo inversor, automáticamente pasa a la operación de respaldo (inversor) para continuar alimentando la carga.

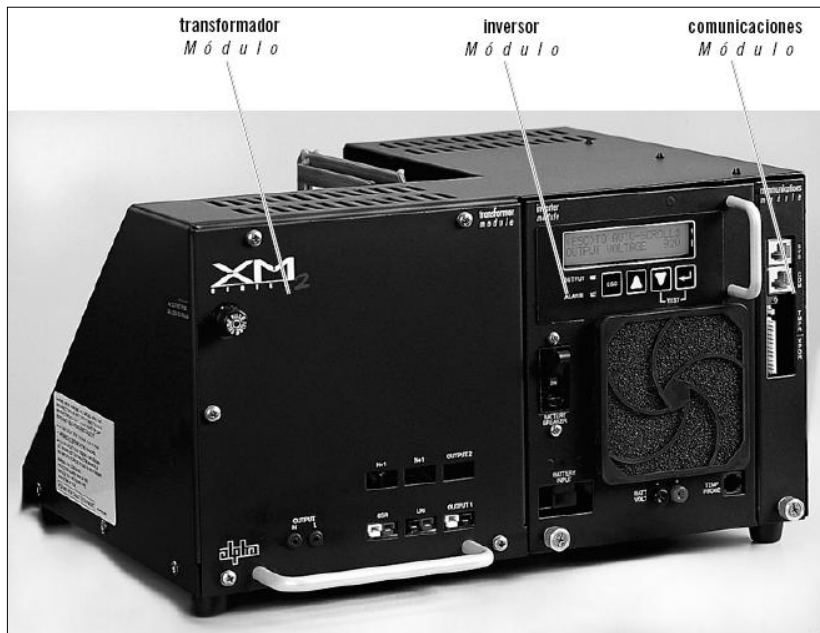
Durante el cambio a la operación de respaldo, la energía contenida en el transformador ferrosresonante, de la figura 14, continúa alimentando la salida. La alimentación de respaldo continuará alimentando la carga hasta que el voltaje de la batería llegue a un voltaje bajo. Cuando la energía eléctrica regresa, el módulo de alimentación espera por un período corto (aproximadamente de 10 a 20 segundos), para que tanto el voltaje eléctrico como la frecuencia se estabilicen y luego inicia una transferencia en fase con la alimentación de línea de CA. Una vez que la transferencia se haya terminado, el cargador de batería rápidamente recarga las baterías en preparación para el próximo corte eléctrico.

1.4.1. Módulos de operación de las fuentes de voltaje

La fuente de alimentación modular de la figura 15, consiste de un módulo transformador, el cual puede actuar como un acondicionador de línea autónomo, el módulo inversor requerido para las operaciones del inversor, y el módulo de comunicaciones opcional es utilizado para proporcionar el monitoreo externo del estado y las comunicaciones. El transformador ferrosresonante (o la opción CFR, controlado ferrosresonante), el capacitador resonante, el relé de aislamiento de transferencia forman parte del módulo transformador.

El módulo inversor tiene todos los circuitos necesarios para el cargador de batería de tres etapas con compensación de temperatura: convertidor (inversor) CC a CA, detectores de línea de CA y la pantalla inteligente.

Figura 15. Fuente modular



Fuente: Alpha Technologies. p. 12.

1.4.2. Operación en línea

Durante la operación de línea de CA, la electricidad se dirige al arrollamiento primario del transformador ferorrresonante, mostrado en la figura 14, a través de los contactos del relé de aislamiento de transferencia. Al mismo tiempo, la energía se dirige al circuito rectificador en el inversor el cual proporciona alimentación para el circuito de control. El inversor bidireccional, también funciona como cargador de baterías durante la operación de línea.

El transformador ferorrresonante y el capacitador de CA (C1) forman el circuito de resonancia (tanque) los cuales proporcionan una excelente atenuación contra el ruido y los picos, un limitador de cortocircuito de corriente de salida, y la regulación del voltaje de salida. El transformador ferorrresonante produce una onda cuasicuadrada de salida, la cual asemeja una onda cuadrada redondeada.

1.4.3. Operación en respaldo

Cuando el voltaje de línea de CA cae o sube en forma significativa, o se interrumpe la electricidad, el control lógico de monitoreo de línea activa la operación de respaldo. Durante la transferencia de línea a operación de respaldo, el inversor de baterías se activa mientras los relés de aislamiento se conectan para prevenir que la corriente de CA se retroalimente, ver figura 14.

También, la energía contenida en el transformador ferorrresonante continúa proporcionando electricidad a la carga. Además, los siguientes cambios ocurren dentro de la fuente de alimentación: el relé de aislamiento se abre para desconectar la línea del arrollamiento primario del transformador ferorrresonante. El control lógico prende/apaga los FETs del inversor con la frecuencia de línea.

Esta acción de apertura/cierre convierte la corriente de CC de la batería a corriente CA en los arrollamientos del inversor del transformador ferorrresonante el cual proporciona energía regulada a la carga. El control lógico que incluye un microprocesador y otros circuitos para proteger a los FETs del inversor contra daño debido a una sobrecarga, monitorea la condición de las baterías y el inversor durante la operación de respaldo.

Dado que un corte de la línea de CA prolongado podría descargar severamente las baterías, lo cual las dañaría en forma permanente, el control lógico desactiva al inversor cuando el voltaje de las baterías caen a 10,5 VCC aproximadamente por batería (31,5 VCC en un juego de tres baterías, ó 44,0 VCC en un juego de seis baterías). Cuando regresa el voltaje de la línea de CA, la fuente de alimentación transfiere nuevamente a una operación de línea dentro de un período de 10 a 20 segundos. Esta demora permite que el voltaje de la línea de CA y la frecuencia se estabilicen antes que el control lógico sincronice y enganche las fases de la salida del inversor con la entrada del servicio.

El control lógico, entonces deja de pasar corriente al relé de aislamiento, vuelve a conectar la línea de CA al primario del transformador ferorrresonante y desactiva el inversor. Esto resulta en una adecuada transferencia en fase a la energía del servicio sin interrupción de energía a la carga. El circuito de carga de la batería se activa para recargar y tenerlas preparadas para la próxima interrupción de electricidad. Ver el diagrama de bloques de la figura 14, en el cual se muestra el funcionamiento de la fuente de alimentación modular.

1.5. Amplificadores

Con el fin de superar la pérdida de la señal de RF, obtenida en el cable coaxial por la distancia y mantener la potencia transmitida en los terminales del cable, se utilizan amplificadores troncales a través del sistema de distribución de cable coaxial.

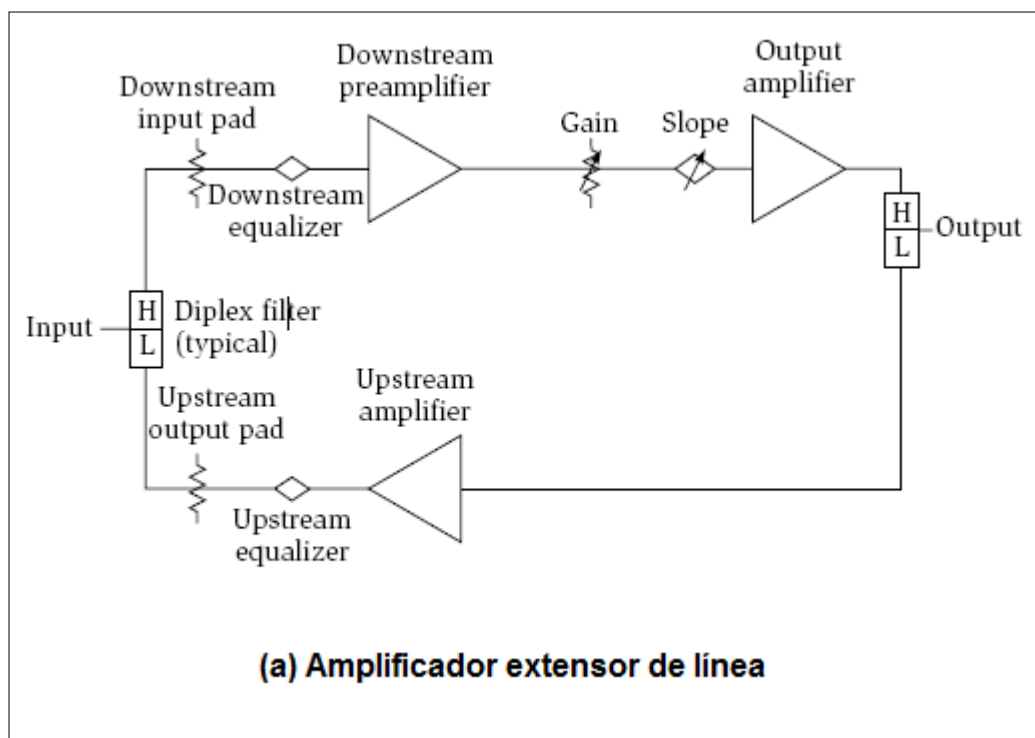
Estos amplificadores deben estar diseñados para agregar la menor señal de degradación que sea posible, particularmente el ruido y la distorsión. Para esto se debe proveer la ganancia y la potencia de salida requeridas. Las estaciones de amplificación bidireccionales pueden ser simples o bastante elaboradas, dependiendo de las necesidades del sistema. Todos los amplificadores comparten una estructura común básica de *downstream* consistente de varias (generalmente dos o tres) etapas de ganancia en cascada, además de circuitos que compensan la variación de la pérdida del cable (ecualizadores). También se prevé un suministro de potencia para ajustar la ganancia del amplificador y así satisfacer las necesidades del sistema.

Los amplificadores difieren en cómo se emplean muchas etapas; la división interna, provisiones de redundancia, donde los ajustes de operación están en cadena, el control automático de ganancia y el rendimiento de cada bloque de ganancia. En el diseño se tienen varias disposiciones para ajustar automáticamente la ganancia del amplificador para compensar los cambios en los niveles de la señal de entrada, (control automático de ganancia).

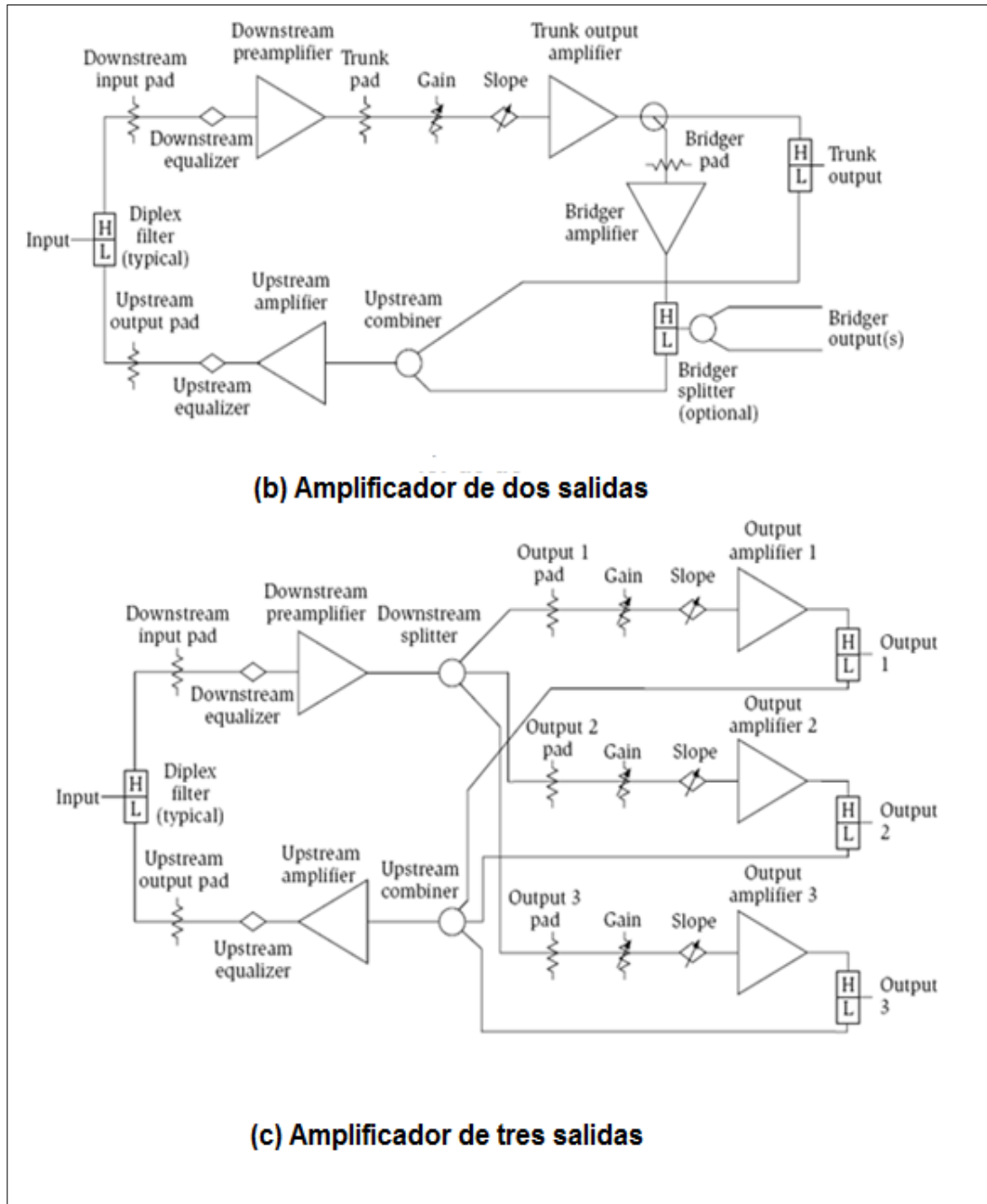
En la dirección de retorno (*upstream*), todos los diseños del amplificador son similares. Dado que las pérdidas del cable son menores en esa parte del espectro de frecuencias, un módulo amplificador es suficiente. Se utilizan filtros duplexores en cada puerto del amplificador para separar las señales de retorno (*upstream*) y *forward* (*downstream*). Todas las señales de *forward*, son pasivamente combinadas y alimentadas hacia el módulo del amplificador. A diferencia del *forward*, donde todo nivel se ajusta en la entrada con el objetivo de mantener una salida constante, la práctica común en la señal de retorno es la de adaptar el sistema para que el nivel de entrada al módulo sea constante y ajustar la ganancia de salida después de la etapa de ganancia, de tal manera que la entrada a la siguiente estación de amplificación de retorno sea correcta.

Dependiendo de las necesidades del diseño de una red de HFC, hay diferentes modelos de amplificadores para la distribución de la señal de RF y el voltaje AC. Hay amplificadores con múltiples salidas con el fin de obtener la mayor distribución de señal. También se utilizan amplificadores con una sola salida (extensores de línea) para regenerar la señal en lugares que están demasiado lejanos y que es necesario cubrir. En la figura 16 se muestran los diagramas de bloques de tres amplificadores bidireccionales.

Figura 16. **Diagramas de bloques de diferentes tipos de amplificador**



Continuación de la figura 16.



Fuente: Modern Cable Television Technology. p. 466.

Como se muestra en la figura 16, para el diseño de un amplificador de CATV se necesitan más etapas de amplificación para la señal de *forward* que para la señal de retorno. Debido a que el nivel de la señal de RF se atenúa rápidamente a frecuencias altas (*forward*) que a frecuencias bajas (*retorno*).

Para el envío de señal los amplificadores son utilizados de la forma más conveniente. Los amplificadores troncales llevan tanto la señal de RF como el voltaje AC en la cascada de amplificación. Y los amplificadores de distribución, que por lo regular son los últimos de la cascada, sólo llevan la señal de RF hacia los *tap's* o tomas de señal, para evitar que el voltaje AC pueda dañar los aparatos de los usuarios finales. Esto se logra debido a que en cada puerto de salida del amplificador hay un espacio para colocar un fusible, y que al insertarlo el amplificador envía tanto la señal de RF como el voltaje AC en ese puerto de salida.

1.6. Elementos pasivos de red HFC

La naturaleza de los sistemas típicos de distribución coaxial es que la señal de *forward* (*downstream*) se divide para crear varios puntos finales desde un punto de inserción en común. En la dirección de retorno (*upstream*) es todo lo contrario, con señales desde muchos puntos potenciales de inserción combinados en un nodo común. En el *headend* (cabecera), las señales de moduladores individuales y procesadores de señales se combinan para crear el espectro de *forward* total, mientras que señales de retorno se dividen para alimentar a los receptores para cada servicio.

La división de la señal puede ocurrir, ya sea dentro del amplificador o por el uso de componentes independientes.

Los componentes que dividen la señal por igual se les conoce como *splitters*, mientras que los que dividen una porción definida de la señal de entrada en uno de sus puertos, son conocidos como coplas direccionales.

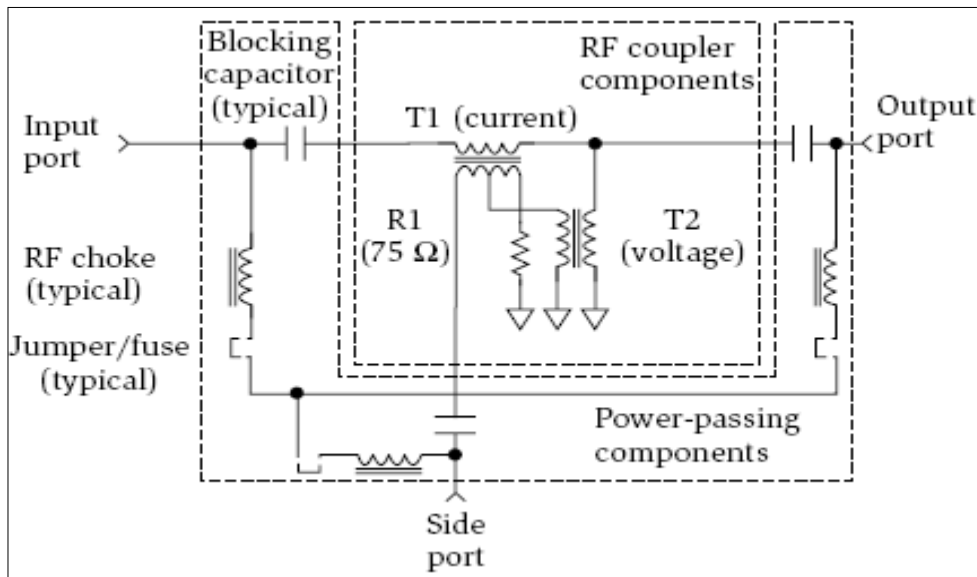
Por último, están los que dividen una porción de la señal de entrada en varias salidas y crean una bajada individual para cada cliente conocidos como *taps*. Estos dispositivos, también son bidireccionales; es decir, el mismo dispositivo puede ser utilizado para dividir las señales para alimentar múltiples distribuciones o combinar señales desde múltiples puertos de entrada. Las características importantes son la pérdida de señal, la adaptación de impedancias y el aislamiento entre los puertos nominalmente aislados.

1.6.1. Coplas direccionales

En la figura 17 se muestra el esquema de configuración de una copla direccional. El transformador de voltaje y el transformador de corriente tienen la misma razón para que, después de la combinación, la proporción de voltaje corriente sea la misma, lo que significa que la impedancia del puerto lateral es la misma en la línea principal. En la línea principal, la polaridad relativa de voltaje y corriente se invierte para señales que viajan en una dirección contra señales que viajan en otra. Los transformadores de voltaje y corriente mostrados se refieren al flujo de señal en la línea principal.

La diferencia está en que la señal mostrada, después de la combinación, se propagará hacia la resistencia de terminación R1 o hacia el puerto lateral, dependiendo de la polaridad relativa de voltaje y corriente, ver figura 17. Así es como la copla direcciona la señal.

Figura 17. Diagrama de bloques de una copla direccional



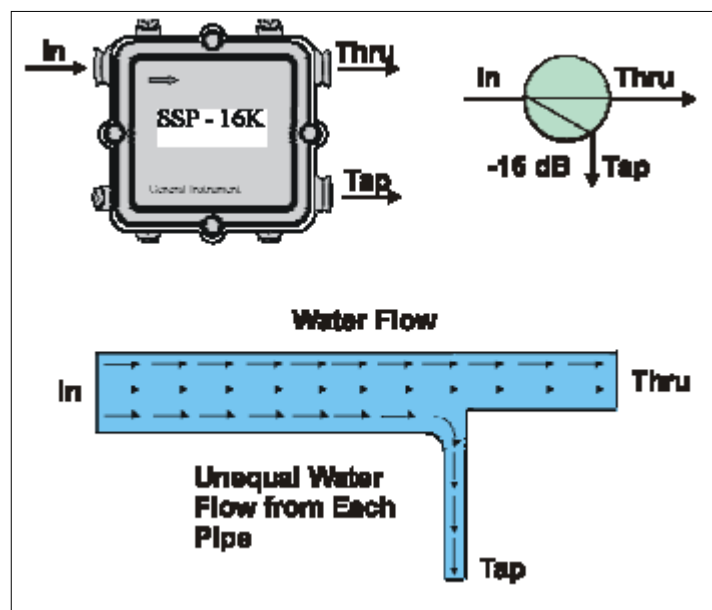
Fuente: Modern Cable Television Technology. p. 473.

1.6.1.1. Analogía del funcionamiento de la copla

Como se mencionó anteriormente, las coplas se utilizan para combinar o dividir las señales. Una copla direccional tiene tres puertos: la línea de entrada, la línea de salida y la derivación, la cual tiene una pérdida por inserción utilizada convenientemente en el diseño. Una pequeña porción de la señal aplicada en la línea de entrada pasa al puerto de derivación. La señal en el puerto de derivación es aislada de la línea de salida sin atenuación para prevenir la reflexión. Una señal aplicada al puerto de derivación se pasa al puerto de entrada con menor valor de atenuación (para la señal de retorno). Una señal aplicada a la línea del puerto de salida se pasa al puerto de entrada y es aislada del puerto de derivación.

Existen coplas con diferentes valores de atenuación y con diferente pérdida de inserción para el puerto en derivación. La figura 18 muestra la analogía de una copla direccional con un flujo de agua, también se muestra el símbolo para este dispositivo pasivo.

Figura 18. **Analogía de la copla direccional con el flujo de agua**



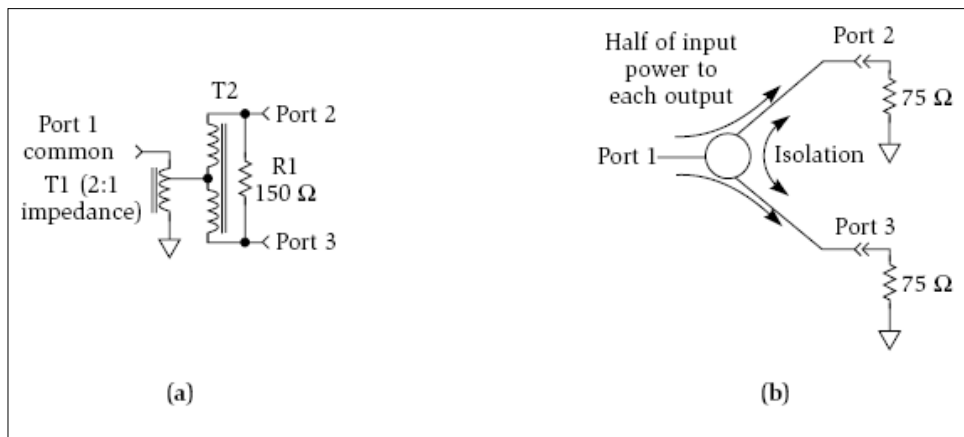
Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 17.

1.6.2. ***Splitters***

Los *splitters* de dos salidas, en cuanto a funcionalidad, difieren de las coplas direccionales, solamente en que la señal dividida es igual. Otras configuraciones comunes incluyen cuatro y ocho vías con la señal dividida por igual. Todas las salidas del *splitter* están aisladas una de la otra.

El *splitter* con división de tres salidas con diferentes valores para la señal, son internamente contruidos con un *splitter* de dos salidas, entonces se divide uno de los dos extremos del primer *splitter* para tener una proporción de 50%:25%:25% en la salida. La figura 19 muestra el esquema de un *splitter* de dos vías simétrico.

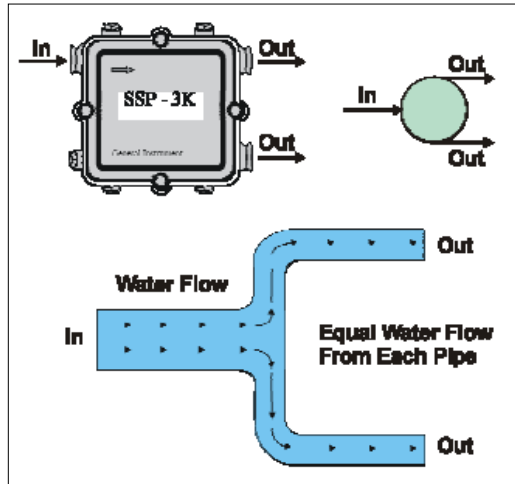
Figura 19. Diagrama esquemático del *splitter* (a), flujo de corriente (b)



Fuente: Modern Cable Television Technology. p. 475.

Los *splitters* afectan la señal con la cantidad de salidas que tienen. En la figura 20 se muestra la analogía con un flujo de agua, para explicar su funcionamiento, asimismo se muestra el símbolo utilizado en el diseño.

Figura 20. **Analogía del *splitter* con el flujo de agua**

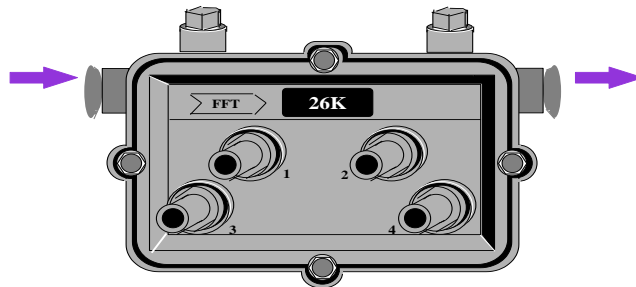


Fuente: Manual Motorola Broadband Convergence. p. 16.

1.6.3. **Taps**

La función de estos dispositivos es permitir suministrar la señal de RF hacia el usuario final. La configuración más común de un *tap* consiste de una copla direccional que separa de dos, cuatro u ocho formas la señal para crear la conexión para los usuarios finales, tal como se muestra en la figura 21.

Figura 21. **Tap de 4 puertos**



Fuente: Sistemas avanzados de diseño Motorola. p. 1.

Los *taps* están diseñados para mantener la compatibilidad y permiten la actualización en el futuro. Han sido creados para ofrecer un alto rendimiento en los sistemas de HFC de doble sentido de la actualidad. Estos *taps* son capaces de aceptar módulos *plug-in* que permiten gran flexibilidad en el diseño del sistema. Estos módulos incluyen *jumper's* (puentes) ecualizadores y simuladores de cable para alcanzar el rendimiento deseado. Para cualquiera de los módulos *plug-in* disponibles, la señal de alimentación no es afectada por ubicación del *plug-in* dentro de la circuitería. Sólo las señales deseadas (altas o bajas) son afectadas en la misma manera por el módulo *plug-in* seleccionado.

1.6.3.1. Módulo ecualizador de cable

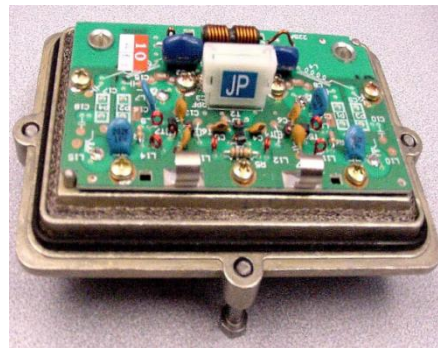
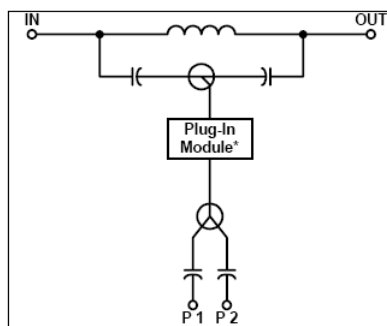
El módulo ecualizador de cable *plug-in* atenúa la señal de retorno originada desde el cliente en un esfuerzo por reducir los efectos del sistema de ingreso. El ecualizador de cable, también reduce la variación de la ventana de la señal de retorno para permitir la operación más eficiente de los transmisores de retorno en los nodos ópticos. El módulo es configurable en el campo removiendo la placa frontal del *tap* con el fin de permitir a los operadores maximizar el rendimiento de retorno. El módulo ecualizador atenúa las frecuencias bajas.

1.6.3.2. Módulo simulador de cable

El módulo simulador de cable *plug-in* provee beneficios adicionales utilizándolo en sistemas de RF de amplificadores y nodos ópticos con un alto nivel de salida.

El simulador *plug-in* mantiene baja las pérdidas en las señales de retorno bajas, mientras atenuando las señales de *forward* altas, para obtener los niveles correctos de diseño.

Figura 22. Diagrama de un *tap*



Fuente: Sistemas avanzados de diseño Motorola. p. 3.

El módulo *plug-in* del *tap* mostrado en la figura 22 puede ser un *jumper* (JP), un ecualizador o un simulador de cable. El diagrama muestra que el *tap* es de dos puertos. Para *tap*'s de cuatro y ocho puertos existen splitters adicionales después del módulo *plug-in*.

1.7. Parámetros de funcionamiento de equipos activos de red HFC

Para el funcionamiento correcto de los equipos de red de HFC se necesita que el punto de conexión del tendido eléctrico esté libre de cualquier perturbación o variación en cuanto al voltaje. El punto donde se realiza la conexión de la energía eléctrica es en la fuente de voltaje, a la cual se le inyectan 120 VAC, que luego es reducido a 90 VAC.

Para el buen rendimiento de todos los equipos electrónicos activos de la red, se utiliza esta señal de voltaje de 90 VAC que es una señal cuasicuadrada convertida por la fuente de voltaje.

1.7.1. Potencia eléctrica

Todo sistema requiere de una fuente de energía estable, y los sistemas de HFC demandan por un suministro eléctrico que pueda proporcionar dicha potencia en el momento que sea necesario. Estos sistemas, por lo regular se mantienen en crecimiento para cubrir la demanda de los servicios prestados, por ello el suministro eléctrico debe ser capaz de soportar la carga del sistema.

Los sistemas de distribución coaxial pueden ser alimentados por una sola fuente de alimentación centralizada, o por varias fuentes localizadas a lo largo del sistema. En este último caso, es común ubicar la fuente de alimentación en el medio de la sección del sistema a la que dicha fuente le proporciona el suministro de energía, de manera que aproximadamente la mitad de la corriente puede fluir en cada dirección desde el punto de inserción, reduciendo tanto la capacidad de la corriente requerida por los componentes y las pérdidas resistivas en la interconexión de los cables.

Entonces, la potencia eléctrica necesaria para un sistema de red HFC depende de la cantidad de fuentes de voltaje que se utilicen para todo el sistema y cubrir así la demanda de energía de todos los equipos que la requieran. Tanto el voltaje como la corriente dependen del modelo de las fuentes ininterrumpibles. Las fuentes de voltaje tienen una corriente límite para soportar la carga del sistema, y a cada fuente se le pueden cargar únicamente doce equipos activos de red.

1.7.2. Voltaje y corriente de operación

Las fuentes de alimentación convierten el voltaje comercial a bajos voltajes 60 VAC ó 90 VAC rms, que la mayoría de casos son multiplexados con las señales de RF en los cables coaxiales. Aunque no son parte del circuito RF, ciertas características de las fuentes de energía tienen un efecto en las señales transmitidas. Utilizando un voltaje de 120 VAC a una frecuencia de 60 Hz a la entrada de la fuente de voltaje y dependiendo del tipo y el modelo de ésta, la corriente puede ser de 15 ó 20 amperios. Por lo tanto, la fuente proporciona una potencia eléctrica de 1.8 KW.

1.7.3. Conexión de equipos activos de red HFC (según fabricante)

La conexión de los equipos activos de red de HFC, debe realizarse con las instrucciones de instalación que el fabricante indica, por el hecho de que todos éstos tienen una circuitería electrónica y son sensibles a sobrevoltajes y cortocircuitos. Por ello es de vital importancia que se sigan las instrucciones que el fabricante solicita para el buen funcionamiento y aprovechar al máximo los beneficios de dichos equipos.

1.7.3.1. Instalación en piso del receptor óptico

La instalación del nodo consiste en empalmar las cuatro o seis fibras del cable de servicio a la fibra de transporte proveniente del *headend*, instalar la carcasa (*housing*) y las tarjetas electrónicas, así como de la aplicación del voltaje y la puesta en servicio de la unidad.

Para evitar el exceso de peso y la posibilidad de ocasionar daños durante la instalación, el *housing* se monta, normalmente, antes de la inclusión de los componentes electrónicos caros. Se supone que los componentes del nodo han sido removidos, configurados y probados con anterioridad y sólo un mínimo de alineación puede ser necesaria después de la instalación en campo.

1.7.3.2. Instalación de amplificadores

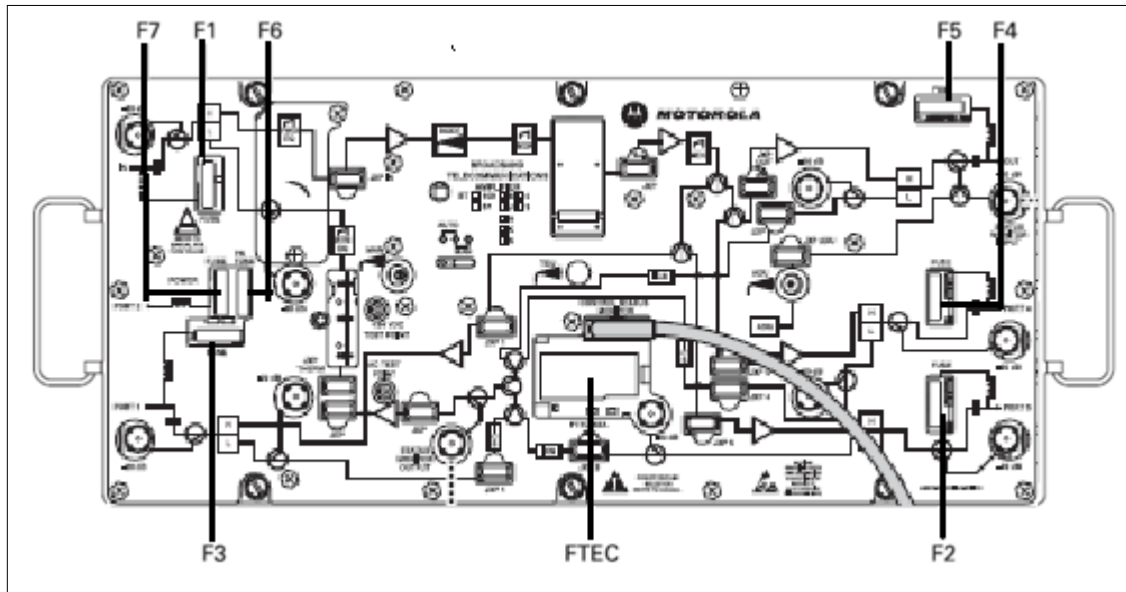
Los procedimientos para la instalación en campo de un amplificador al igual que el receptor óptico, indican que el módulo de operación del amplificador debe ser probado y configurado previamente.

El voltaje y la señal de RF deben estar disponibles en el sistema de cable. Se puede instalar el *housing* o carcasa del amplificador, de forma aérea o subterránea. El *housing* es montado, normalmente, de forma horizontal, removiendo el módulo electrónico, previniendo un posible daño durante la instalación.

Pasos para la instalación de un amplificador:

- a. Trabajar sin energía eléctrica antes de instalar el *housing* o carcasa del amplificador. Esto evita fusibles quemados, el disparo de algún *breaker* y un posible daño al personal. En la figura 23 se muestra la ubicación de los fusibles de un amplificador de cuatro salidas.
- b. Montado el *housing*, se aprietan los dos pernos de fijación, localizados a lo largo del mismo.

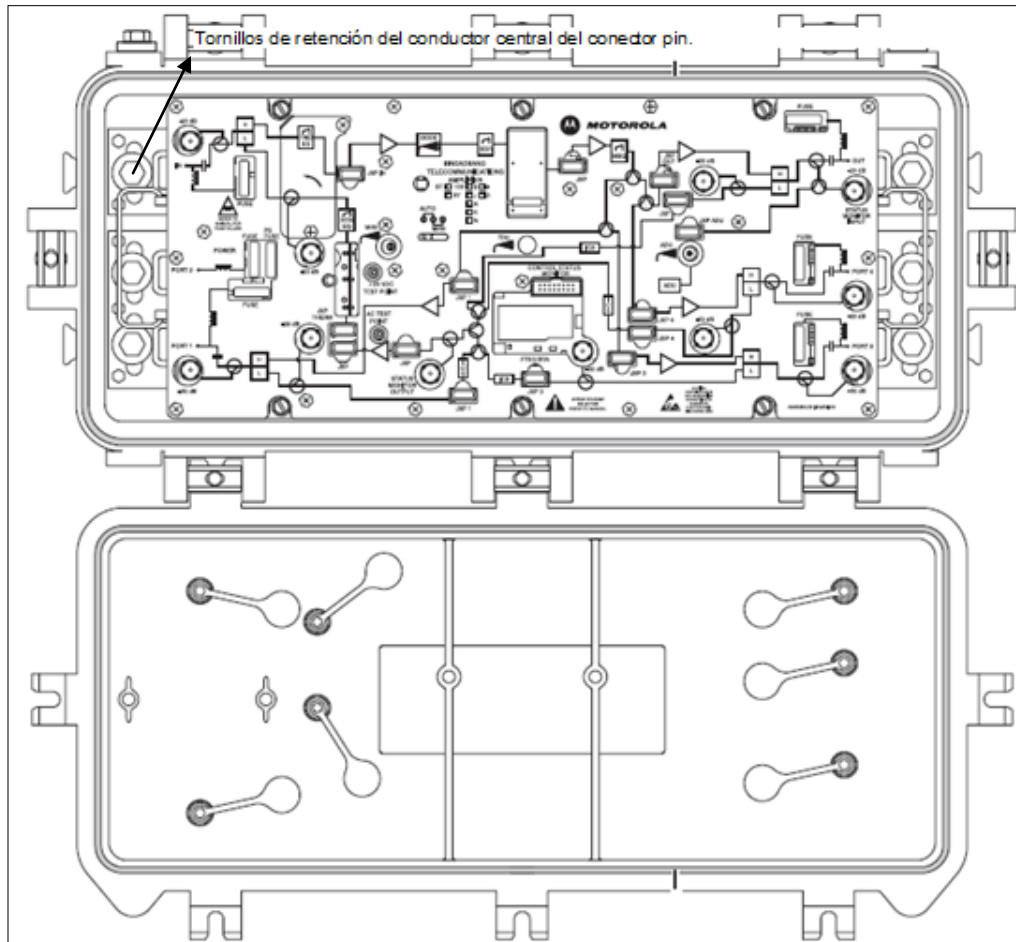
Figura 23. **Ubicación de fusibles en un amplificador de cuatro salidas**



Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p 2-9.

- c. Hacer bucles de expansión para la reserva de cable coaxial y se hace la conexión del cable de acuerdo al sistema de diseño.
- d. Apretar el tornillo de retención del conductor central del conector pin. Ver figura 24.
- e. Para prevenir el ingreso de agua, asegurarse que los conectores de aluminio tengan el torque necesario.
- f. Si se remueve previamente el módulo electrónico, como el mostrado en la figura 24, reinstalarlo y sujetarlo al *housing* con los seis pernos de sujeción. El torque debe ser de 18 a 22 lbs. /plg.

Figura 24. **Módulo electrónico instalado en el *housing* del amplificador.**



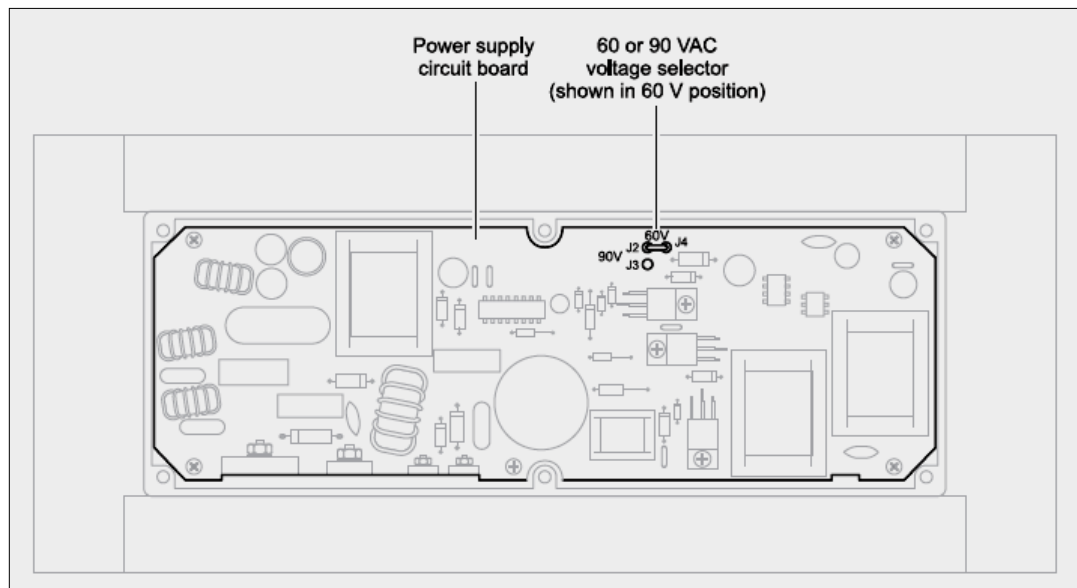
Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 2-6.

- g. Remover el pad de entrada, para prevenir algún daño a los híbridos.
- h. Aplicar el voltaje requerido al amplificador y asignar unos minutos para su calentamiento.
- i. Revisar el voltaje AC de ajuste 60 VAC o 90 VAC.

El amplificador tiene un *jumper* o puente, como el que se muestra en la figura 25, que se utiliza para seleccionar el voltaje ya sea de 60 o 90 VAC. Seleccionando un voltaje de 60 V con los *jumpers* J2 o J4 el voltaje debe ser mayor que 38 VAC y debe ser leído con un voltímetro rms real o 42 VAC cuando la lectura se realiza con un voltímetro normal.

Seleccionando el voltaje de 90 VAC con los puentes J2 y J3 el voltaje debe ser mayor a 55 VAC cuando se lee con un voltímetro rms real o 61 VAC utilizando un voltímetro convencional.

Figura 25. **Selección del voltaje de funcionamiento del amplificador**

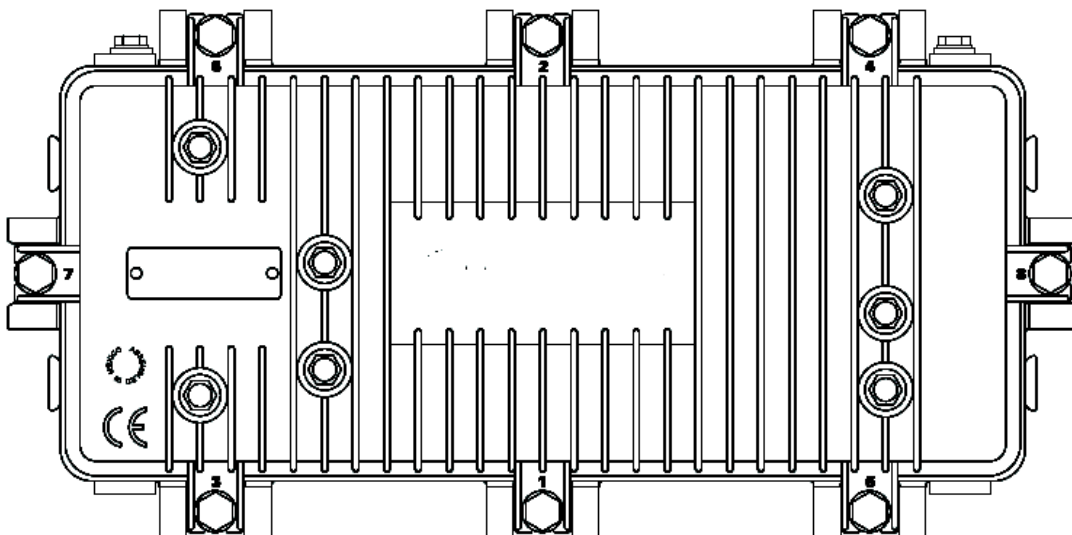


Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 2-8.

- j. Revisar el voltaje DC. Verificar que este entre 23.6 V y 24.4 V y reinstalar el pad de entrada.
- k. Si es necesario se debe recalibrar el amplificador.

- l. Revisar que el módulo electrónico esté apretado.
- m. Revisar la condición de la señal de RF.
- n. Asegurarse que las manijas del módulo electrónico estén dobladas hacia abajo y que cualquier cable entre la base y la tapa no este doblado.
- o. Cerrar el *housing* con una llave de torsión apretando en forma secuencial, como la mostrada en la figura 26, los pernos del *housing* a 15 lbs/pie en la secuencia especificada en la tapa.

Figura 26. **Secuencia del torque para cierre del *housing* del amplificador**

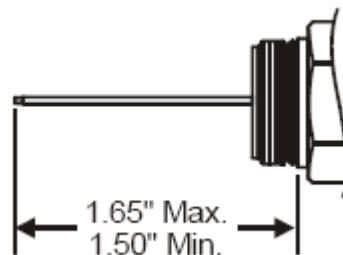


Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 5-2.

La instalación subterránea de los amplificadores, es similar a la aérea con la excepción de la temperatura y el procedimiento del montaje. En la instalación aérea, el cable y el amplificador están sujetos a la misma temperatura. Por el contrario, la instalación subterránea provee un ambiente de temperatura estable para el cable subterráneo, mientras somete el amplificador a temperaturas más altas.

Para la conexión de los cables en cada uno de los puertos de los amplificadores se utilizan conectores pin. En la figura 27 se ilustra la longitud correcta para obtener una buena conexión de un conector pin.

Figura 27. **Longitud máxima y mínima del núcleo del conector pin**



Fuente: Manual de operación e instalación Motorola. p. 5-1.

La conexión se realiza utilizando conectores tipo pin con núcleo conductor, para cable RG500, con un diámetro de 0,067 pulgadas. La longitud mínima del conductor pin central es de 1,5 y la máxima es de 1,65 pulgadas. Si el núcleo del conector pin es muy largo puede provocar cortocircuito. Estos conectores se utilizan para la conexión de todos los equipos de cable coaxial RG500.

2. PROTECCIONES DE LA RED HFC

2.1. Supresores de picos

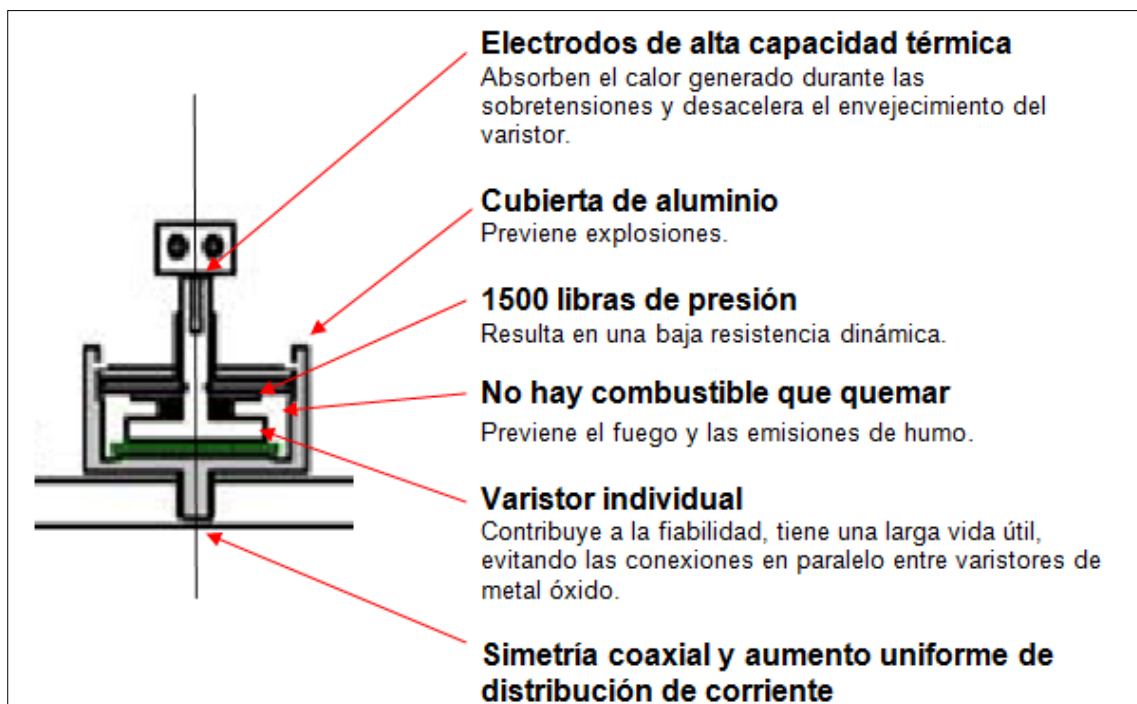
La electrónica moderna y los circuitos integrados con semiconductores han contribuido significativamente al desarrollo de la sociedad. Confiando en la electrónica sofisticada, la sociedad se ha vuelto totalmente dependiente del suministro de energía ininterrumpido de electricidad. Los fenómenos naturales tales como rayos e irregularidades en el suministro de energía por parte de las distribuidoras eléctricas son responsables por las fallas en la energía y daños severos a los equipos electrónicos sensibles conectados a la red eléctrica.

Los daños pueden ser causados por eventos únicos, provocando una falla inmediata o pueden ser el resultado de efectos acumulados de una serie de eventos de pequeña escala, los cuales eventualmente sacarán el equipo de funcionamiento. La causa más común de los problemas en el funcionamiento de equipos electrónicos son las sobretensiones o sobrecargas de energía que vienen en las líneas de transmisión. La razón principal, por la que los modernos sistemas electrónicos son sensibles a las interferencias electromagnéticas, es el creciente uso de dispositivos semiconductores a gran escala que están instalados en los equipos electrónicos, por ejemplo: equipos de telecomunicaciones y de automatización industrial.

Con el fin de proteger los equipos electrónicos y a los usuarios, se instalan los supresores de picos a la entrada del suministro de energía eléctrica, de los equipos activos de la red coaxial.

Para ello se instalan módulos de supresión de sobretensiones transitorias y un sistema de supresión de picos de tensión para ofrecer la máxima protección contra las subidas de tensión. Los supresores de picos están diseñados por un varistor en forma de disco sólido de metal óxido (MOV), ensamblado bajo presión en una carcasa de aluminio totalmente sellada. Estos dispositivos utilizan una corriente pequeña bajo condiciones de operación normal. Sin embargo, cuando aparece un voltaje muy alto, la resistencia del dispositivo disminuye en función del sobrevoltaje y con ello permite el paso de más corriente eléctrica y la drena a tierra, asimismo, limita la magnitud del voltaje transitorio. En la figura 28 se muestra el diseño de un supresor de picos.

Figura 28. **Diseño de un supresor de picos**



Fuente: Manual Introduction to Strikesorb and Rayvoss. p. 1.

En la figura 29 se muestra un supresor de picos real, tal y como los proporciona el proveedor.

Figura 29. **Supresor de picos real**



Fuente: Manual Application and Installation Guidelines. p. 7.

Cada parte del supresor de picos tiene una función importante que mejora su rendimiento y se describen a continuación con base en la figura 28.

- Cubierta de aluminio: ésta posee dos partes principales: son dos electrodos que tienen una superficie plana de contacto que están una frente a la otra. Entre estas dos superficies de contacto va colocado el varistor tipo disco.

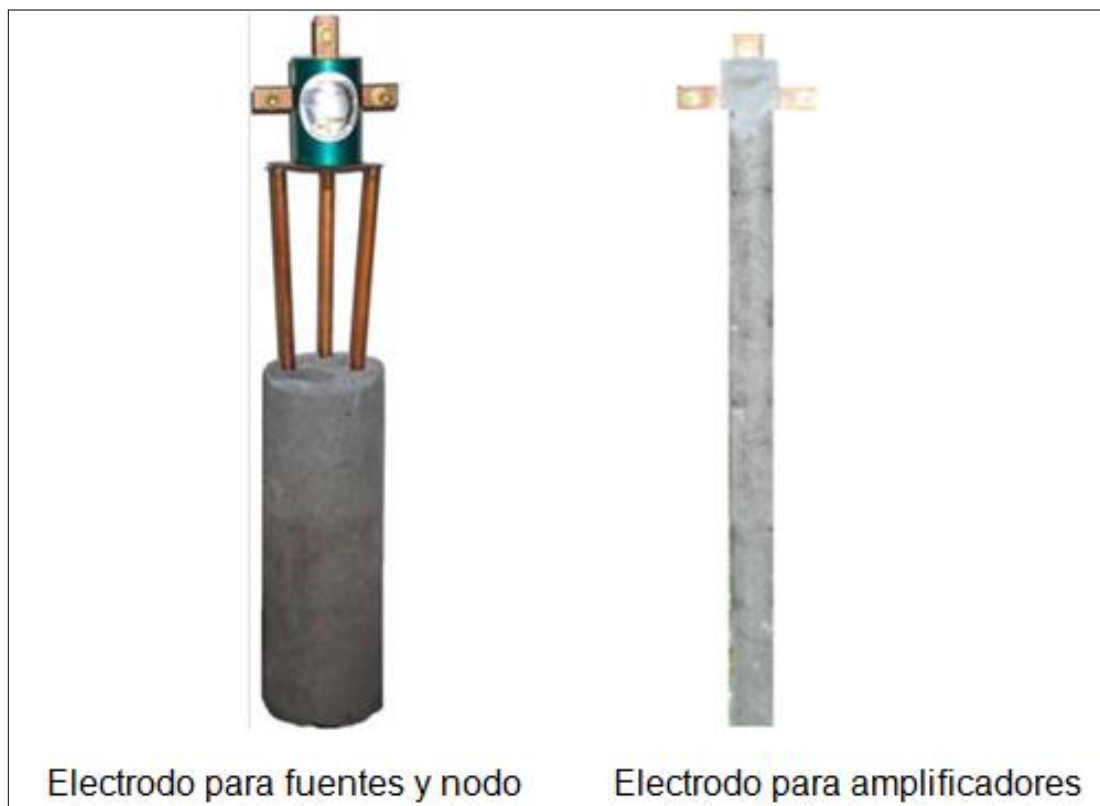
- Electrodo de alta capacidad térmica: los electrodos de aluminio, mostrados en la figura 28 tienen masas térmicas relativamente grandes, comparadas con la masa térmica del varistor tipo disco, de tal manera que absorban una cantidad significativa de la energía térmica del varistor. Grandes superficies de contacto entre los electrodos y el varistor, proveen un aumento uniforme en la distribución de corriente y temperatura en el varistor de disco.
- Compresión: los electrodos de la figura 28 son cargados mecánicamente contra el varistor de disco, la carga provee una distribución de corriente más uniforme a través de éste. La carga también provee una baja inductancia y una baja resistencia porque la distribución de corriente es más uniforme y eficiente cuando pasa a través del varistor.
- Juntas tóricas: el varistor tipo disco es ambientalmente sellado usando juntas tóricas especiales, en lugar de cubrir el varistor con resina u otro material aislante que conduce al envejecimiento prematuro y un descontrol térmico del mismo.
- Simetría coaxial: la corriente fluye axialmente entre los dos electrodos a través del varistor tipo disco debido a la simetría axial del dispositivo, ver figura 28. Esto provee una baja resistencia y una baja impedancia vista por la alta amplitud de corrientes.

Los supresores de picos utilizados para la protección de los equipos electrónicos de HFC, se instalan a la entrada de las fuentes de voltaje, para evitar que las sobretensiones del servicio prestado por la empresa generadora de electricidad puedan dañar el nodo y los amplificadores que son los equipos activos de la red.

2.2. Sistemas de tierras (masa-tierra)

El sistema para la protección a tierra que se utiliza en las redes de HFC, es el sistema masa-tierra. Este sistema consiste en la utilización de electrodos de cobre, como los mostrados en la figura 30, por los cuales se drenan todas las fallas que puedan generarse tanto en el tendido eléctrico como las fallas propias del sistema de red HFC.

Figura 30. **Electrodos masa-tierra reales**



Fuente: Guía para la instalación del sistema masa-tierra para la red de HFC. p. 3.

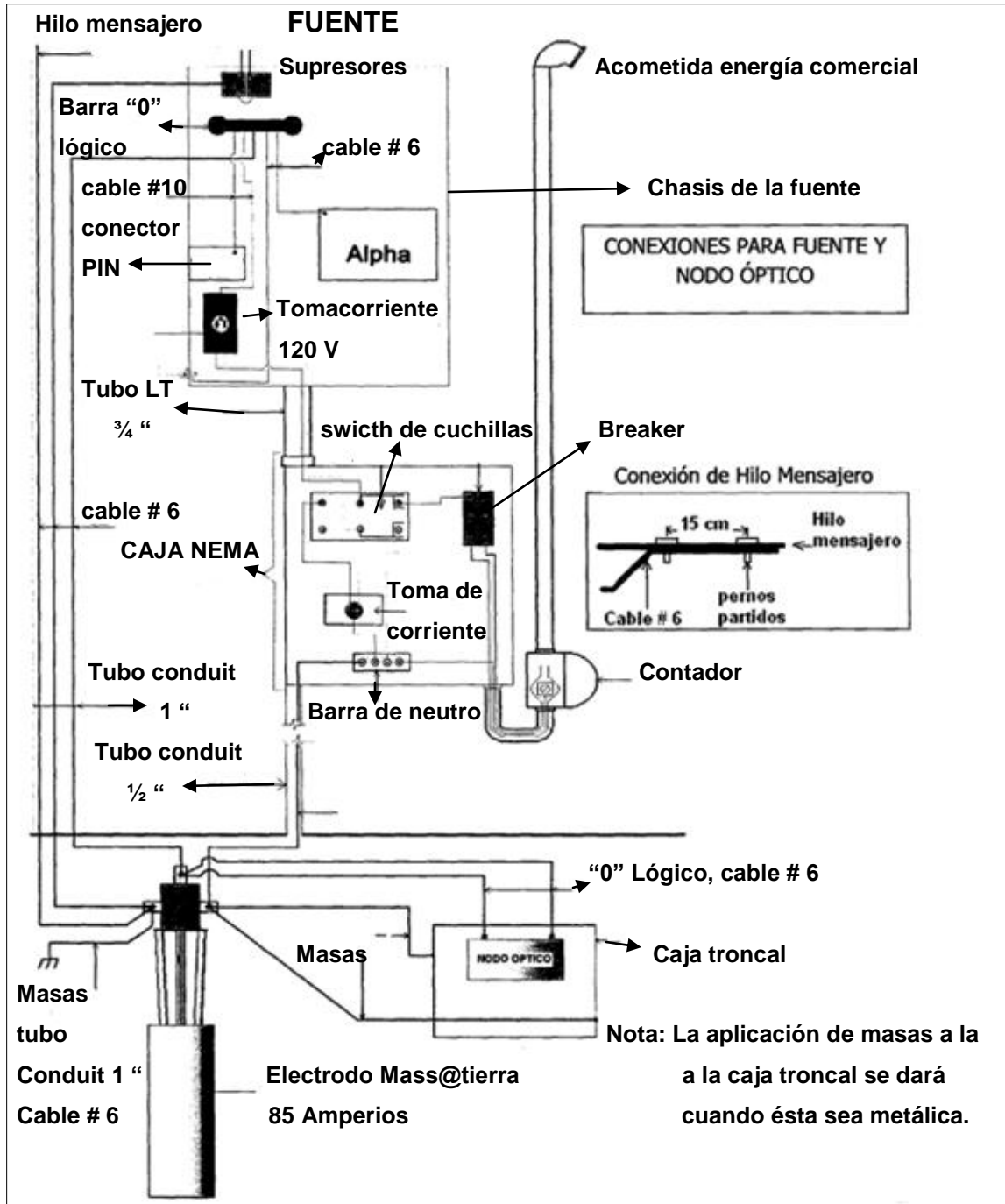
Los electrodos masa-tierra están compuestos por una varilla de cobre con un recubrimiento con una combinación de carbón y otros materiales que permiten drenar mejor las corrientes a tierra. Tienen una alta capacidad de disipación de corriente, crean un flujo de corriente unidireccional, poseen baja impedancia y son libres de mantenimiento.

Para el aterrizaje de los equipos activos de la red con electrodos se deben tomar en cuenta las aplicaciones como: el cero lógico de los electrodos, la conexión del neutro, la conexión de los supresores de pico, la conexión a tierra del hilo mensajero y la conexión de las masas de los equipos activos. En la aplicación del cero lógico van conectados en el eje central del electrodo, todos los equipos electrónicos de la red. Los otros equipos se conectan a los ejes laterales del electrodo masa-tierra.

La protección del cero lógico consiste en que el electrodo masa-tierra no permite el paso de la corriente que fluye por debajo de la tierra hacia los equipos electrónicos, ya que en esta conexión se utiliza un imán que polariza el campo magnético de la corriente de falla de tal forma que repele dicha corriente.

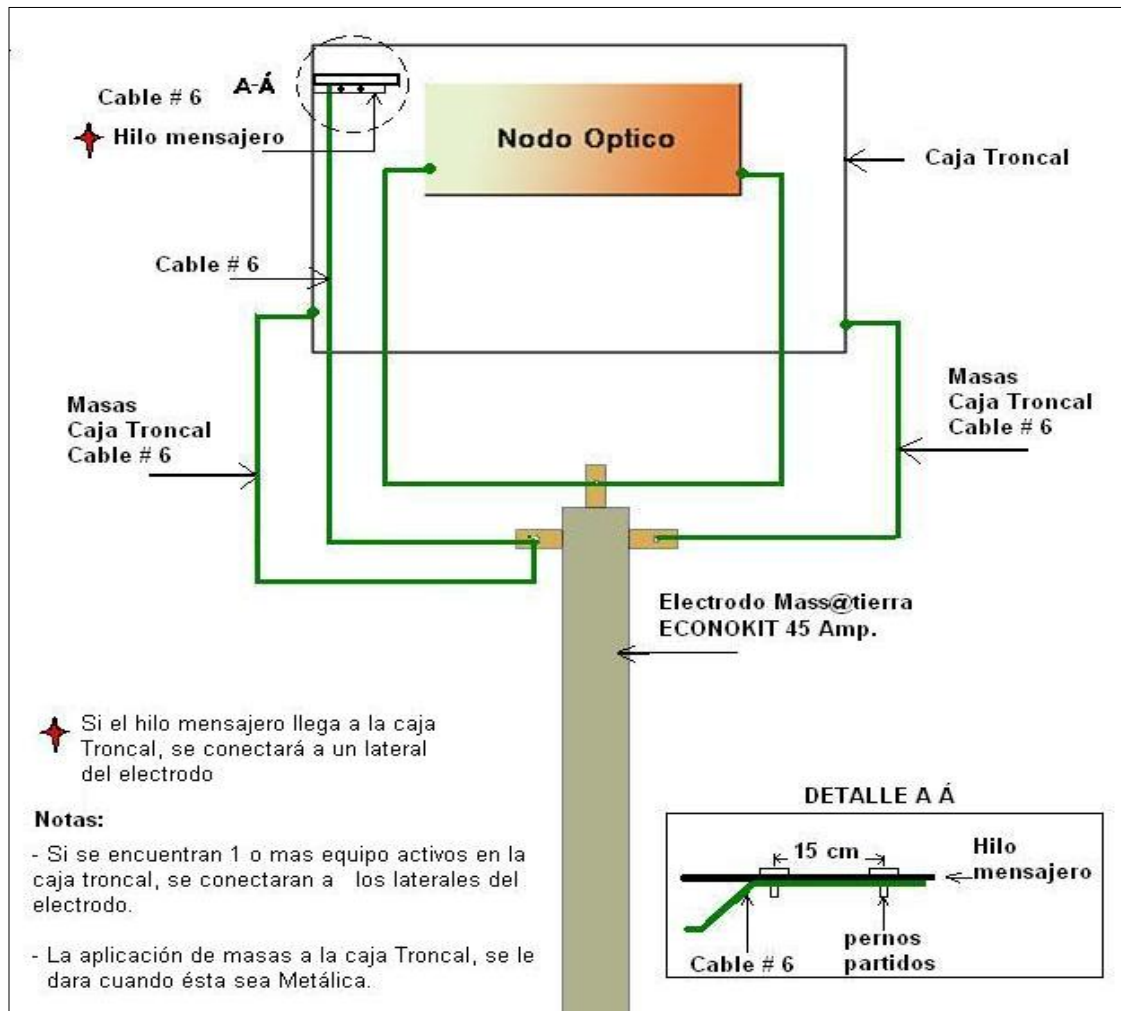
A continuación se presentan los diagramas que muestran la conexión a tierra de los equipos electrónicos de la red de HFC, mediante el sistema masa-tierra utilizando las aplicaciones anteriormente descritas tanto para fuente y nodo, así como para amplificadores. Ver figuras 31 y 32.

Figura 31. Diagrama de aterrizaje fuente – nodo o receptor óptico



Fuente: Guía para la instalación del sistema masa-tierra para la red de HFC. p. 6.

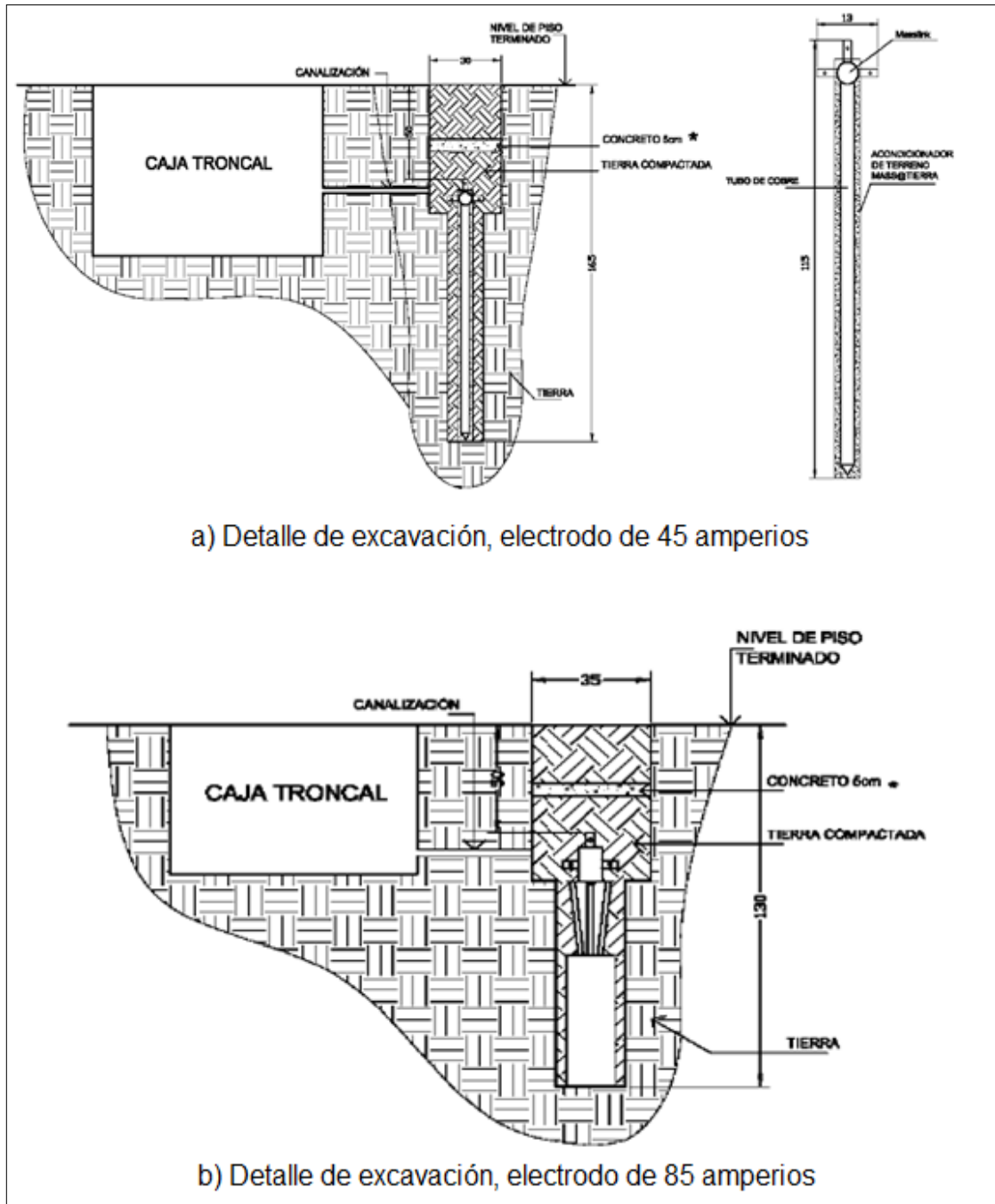
Figura 32. Diagrama para el aterrizaje de nodo y amplificadores



Fuente: Guía para la instalación del sistema masa-tierra para la red de HFC. p. 12.

En la figura 32 se muestran las conexiones correctas de dos tipos diferentes de electrodos masa-tierra. Todos los equipos activos de la red, por norma, llevan un electrodo para su protección. A continuación, en la figura 33, se presentan dos figuras en las cuales se observa la forma física de instalación de cada modelo (45 Amp y 85 Amp) de electrodo masa-tierra.

Figura 33. Instalación de electrodos masa-tierra de 45 y 85 amperios



Fuente: Guía para la instalación del sistema masa-tierra para la red de HFC. p. 14 - 15.

2.3. Otras posibles protecciones

Los sistemas de protección de red HFC permiten reducir las fallas en los equipos activos, que tienen un alto valor económico. Y ayudan a mantener la continuidad de los tres servicios que se obtienen de esta red. Para reducir aún más las fallas, en la actualidad se están instalando equipos de monitoreo remoto, en dichos equipos activos. Los cuales proporcionan información acerca del nivel de la señal de RF, el nivel de voltaje de entrada y salida de la fuente, el estado de las baterías de la fuente, el nivel de ruido de la red, la dirección exacta en donde ocurrió la falla, y el estado de operación del equipo en donde es colocado, etc. Estos dispositivos son los denominados *transponders*, de los cuales existen tres tipos:

- Transponder de fuente Alpha *Status Monitor* XP-DSM.
- Transponder de receptor óptico (AM Networks 9390 Node Transponder)
- Transponder de amplificador (AM Networks End of Line 9316).

Tanto el *transponder* de la fuente, como el del receptor óptico son tarjetas electrónicas que van instaladas en los *slots* reservados en el módulo inversor de la fuente, así como en la tarjeta electrónica principal del receptor.

Para los amplificadores, el *transponder* se instala en los puntos más lejanos del nodo para monitorear el estado de la línea troncal. En los amplificadores finales de línea, el *tranponder*, se instala a un costado del mismo, pero dentro de la misma caja troncal en donde se encuentra dicho amplificador.

Los transponders funcionan como un cable módem, y realizan el envío de datos a través de la misma línea troncal que presta el servicio a los usuarios, es decir, que operan como un usuario más acoplados a la red. Los *transponders* utilizan el sistema de monitoreo BOSS (*broadband operation support system*), que es el software con el cual se verifica el estado de cada transponder instalado en la red.

Éstos son los principales equipos que se utilizan para la protección de toda la red de HFC. En un esfuerzo por mantener la continuidad del servicio, la empresa operadora de televisión por cable invierte en ellos, pero aún así los problemas debidos a la calidad de la energía, persisten y con ello se tienen bajas en los equipos activos de la red HFC. En la figura 34 se muestran los tres tipos de *transponders* antes mencionados.

Figura 34. *Transponders* de fuentes de voltaje, nodo y amplificadores



Fuente: Manual de instalación del sistema de monitoreo BOSS. p. 3.

3. CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

3.1. Definición de calidad de potencia eléctrica

La calidad de la potencia eléctrica está basada en la normalización de parámetros, niveles, formas de onda, interrupciones y distorsiones permitidas para proporcionar un servicio de energía eléctrica estable y constante. De tal manera que cada país establece los parámetros que deben ser normalizados para proporcionar un suministro de energía de alta calidad.

3.2. Parámetros de calidad de potencia eléctrica (según EEGSA)

La Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) es el proveedor del suministro de energía eléctrica en la Ciudad de Guatemala. Para proporcionar un servicio de energía eléctrica de calidad, la cual se basa en los índices o indicadores de calidad establecidos por la Comisión Nacional de la Energía Eléctrica. Los parámetros por medio de los cuales, la Comisión de Energía evalúa la calidad del producto suministrado por el distribuidor son: la regulación de tensión, la distorsión armónica y las interrupciones.

3.2.1. Calidad del producto suministrado por el distribuidor

La calidad del producto suministrado por el distribuidor, se evalúa mediante un sistema de medición y control de calidad del servicio eléctrico de distribución, que es realizado por el propio distribuidor y supervisado por la Comisión de Energía, para identificar las transgresiones a las tolerancias permitidas respecto de los parámetros establecidos anteriormente.

3.2.2. Regulación de tensión

La regulación de tensión consiste en evitar las variaciones de tensión, que se pueden tener en los puntos de entrega del suministro de energía de un sistema de distribución, ya que en una red de distribución es conveniente mantener una tensión lo más constante posible.

Si la tensión es demasiado alta, la vida útil de los equipos disminuye y en algunos casos pueden dañarse por completo. En redes de distribución los valores de tensión registrados, utilizados para la determinación de los índices o indicadores de calidad, se analizan con base en las desviaciones del valor nominal medido, discriminados por bandas de unidad porcentual.

3.2.2.1. Índice de calidad de regulación de tensión

El índice para evaluar la tensión en el punto de entrega por parte del distribuidor para el usuario, en un intervalo de medición (k) de quince minutos, es el valor absoluto de la diferencia (ΔV_k) entre la medida de los valores eficaces (RMS) de tensión (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_n), medidos en el mismo punto, expresado como un porcentaje de la tensión nominal.

La ecuación 1 muestra cómo se obtiene el porcentaje del índice de regulación de tensión.

$$\Delta V_k(\%) = \frac{|V_k - V_n|}{V_n} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

ΔV_k : índice de regulación de tensión en porcentaje

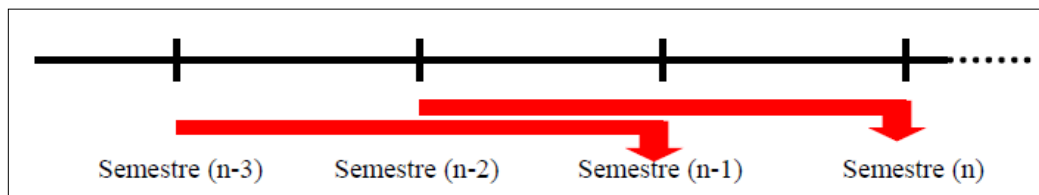
V_k : voltaje eficaz

V_n : voltaje nominal

3.2.2.2. Índices globales de regulación de tensión

Estos índices se calculan semestralmente, considerando las mediciones realizadas durante un período de doce meses, incluyendo las realizadas en el semestre bajo análisis n y el anterior n – 1. En la figura 35 se indica lo establecido anteriormente.

Figura 35. **Períodos de medición de los índices globales de regulación de tensión**



Fuente: Normas técnicas del servicio de distribución, artículo 23.

Los índices o indicadores globales se obtienen a través de la ecuación 2:

- Frecuencia equivalente por banda de tensión

$$FEB_B = \frac{Nrg_B}{Nrg_{TOT}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

FEB_B : frecuencia equivalente asociada a la banda B de unidad porcentual

Es la cantidad de intervalos que incumplen la tolerancia en un cierto porcentaje. La banda B se refiere al valor que representa el intervalo de porcentaje superior a la tolerancia para el usuario de acuerdo con su nivel de tensión y topología de red.

Nrg_B : cantidad de registros válidos asociada a la banda B de unidad porcentual

Son los registros de la medición efectuada que sean tanto lógicos como superiores al 70% del valor nominal (esto considerando la presencia de intervalos con interrupciones), para esto se debe contar con un equipo que coloque intervalos anómalos al momento de producirse una interrupción, situación que permite obviar el intervalo y no incluirlo en el procesamiento. Básicamente define los intervalos que pueden ser considerados como válidos y son sujetos de procesamiento para verificar si se cumple o no con la tolerancia establecida para el usuario al que se le efectuó la medición.

Nrg_{TOT}: cantidad total de registros válidos

Este indicador se totaliza discriminando a su vez la cantidad de registros que están dentro y fuera de las tolerancias establecidas, de acuerdo a la ecuación 3:

Tolerancias permitidas:

$$FEB_{PER} = \frac{Ntrg_{PER}}{Nrg_{TOT}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

FEB_{PER}: frecuencia equivalente dentro de las tolerancias establecidas

Ntrg_{PER}: número total de registros dentro de las tolerancias establecidas

Nrg_{TOT}: cantidad total de registros válidos.

Las tolerancias no permitidas se obtienen a través de la ecuación 4:

$$FEB_{NoPER} = \frac{Ntrg_{NoPER}}{Nrg_{TOT}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

FEB_{NoPER}: frecuencia equivalente fuera de las tolerancias establecidas

Ntrg_{NoPER}: número total de registros fuera de las tolerancias

Nrg_{TOT}: cantidad total de registros válidos

- La frecuencia equivalente por banda de tensión fuera de las tolerancias establecidas se obtiene por medio de la ecuación 5.

$$FEB P_B = \frac{Nrg P_B^{(p)}}{Nrg P_{TOT}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$FEB P_B$: frecuencia equivalente por banda de tensión B fuera de las tolerancias establecidas

$Nrg P_B^{(p)}$: cantidad de registros fuera de las tolerancias establecidas asociados con la banda B de unidad porcentual

$Nrg P_{TOT}$: cantidad de registros totales fuera de las tolerancias establecidas

- Frecuencia equivalente por energía consumida desagregada por banda de tensión.

$$FEEC_B = \frac{\sum_{med=1}^{Tot Med} Eng_B^{(med)}}{Eng_T} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$FEEC_B$: frecuencia equivalente por energía consumida desagregada por banda de tensión B

$Eng_B^{(med)}$: energía registrada en la medición (med) asociada con la banda de tensión B

Eng_T: energía total registrada

TotMed: total de mediciones realizadas en el período considerado

3.2.3. Tolerancias para la regulación de tensión

Todos los índices o indicadores de calidad, se calculan en relación a las tolerancias admisibles, para cada tipo de usuario, en la etapa que corresponda. A continuación se establecen las tolerancias de los índices o indicadores individuales y globales de baja tensión, y de acuerdo con el voltaje utilizado para el funcionamiento de los equipos electrónicos de la red HFC:

3.2.3.1. Tolerancias de los índices individuales

Las tolerancias admitidas en la desviación porcentual, respecto de las tensiones nominales en los puntos de entrega de energía eléctrica, son indicadas en cada una de las etapas de transición y régimen aplicadas para el área urbana.

Tabla I. Tolerancias admisibles para la regulación de tensión

TOLERANCIA ADMISIBLE RESPECTO DEL VALOR NOMINAL, EN %			
TENSIÓN	ETAPA		
	TRANSICIÓN	RÉGIMEN A partir del mes 1 hasta el 12	RÉGIMEN A partir del mes 13
BAJA	12	10	8

Fuente: Normas técnicas del servicio de distribución, artículo 24.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento correspondiente al total del período de medición, las mediciones muestran que la regulación de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

3.2.3.2. Tolerancia de los índices globales

Se establece como cinco por ciento el valor máximo para la tolerancia del índice o indicador global FEB_{NoPER} (Frecuencia equivalente fuera de las tolerancias establecidas), durante períodos mensuales denominados períodos de control. Con los resultados de la totalidad de estas mediciones, se determinan los índices o indicadores globales que reflejan el comportamiento del servicio eléctrico de distribución en los últimos doce meses.

3.2.4. Control para la regulación de tensión

El control para la regulación de tensión se realiza por medio del sistema de medición y control de calidad del servicio eléctrico de distribución, mediante la ejecución de mediciones monofásicas, las cuales deben ser rotadas mensualmente, y según corresponda al tipo de usuario, de la siguiente manera: Para usuarios en baja tensión, una medición de control por cada cinco mil puntos de entrega, considerando que el distribuidor debe instalar al menos un medidor monofásico por cada circuito de salida de las subestaciones de distribución.

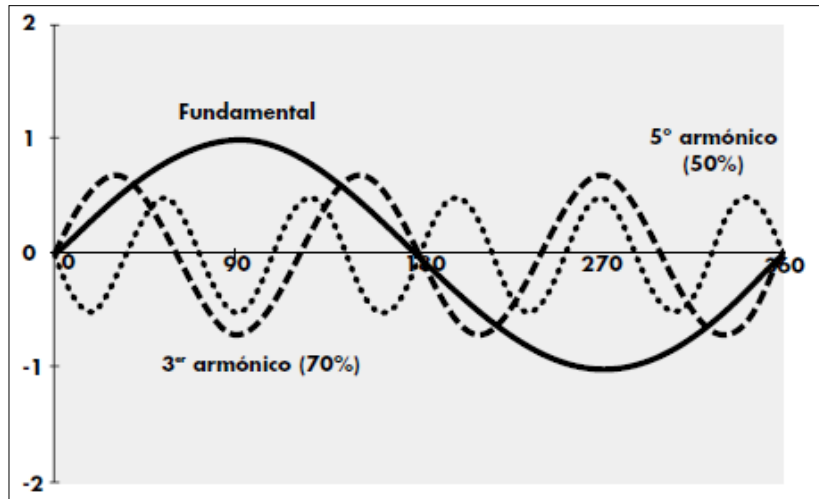
3.3. Distorsión armónica

Los armónicos son distorsiones o deformaciones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos debidos, principalmente al uso de cargas con impedancia no lineal (computadores, televisores, variadores de velocidad, rectificadores, hornos de arco, lámparas fluorescentes, arrancadores electrónicos, etc.), al uso de materiales ferromagnéticos en las máquinas eléctricas, a operaciones de conmutación en subestaciones y en general, al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal.

El efecto del uso de estos dispositivos es la aparición, en los sistemas eléctricos, de unas corrientes y/o tensiones adicionales con unas frecuencias diferentes a la frecuencia fundamental de la onda senoidal original. La circulación de corrientes y/o tensiones adicionales en el sistema eléctrico hace que se presenten problemas como el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos de los transformadores, deterioro de dieléctricos y disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

La distorsión armónica de una onda de corriente o de tensión eléctrica senoidal de frecuencia nominal, la cual tiene un valor de 60 Hertz y es la frecuencia fundamental del Sistema Eléctrico Nacional, es ocasionada por la presencia de señales eléctricas senoidales de frecuencias diferentes y múltiplos enteros de dicha frecuencia nominal. Es decir, que con una frecuencia fundamental de 60 Hz el tercer armónico tiene 180 Hz y el quinto armónico tiene 300 Hz. La figura 36 muestra la onda senoidal de frecuencia fundamental y dos señales más que son el tercer y quinto armónicos.

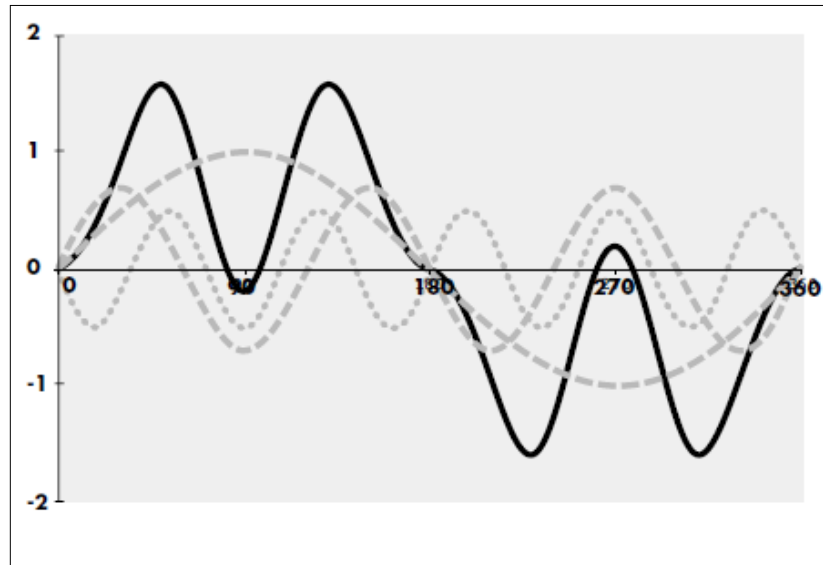
Figura 36. **Frecuencia fundamental, con frecuencias de 3a y 5a armónicas**



Fuente: Guía de la calidad de energía eléctrica. Armónicos causas y efectos. p. 1.

Con el fin de indicar la deformación de la onda senoidal fundamental, y recordando que tanto la señal de voltaje como de corriente deben ser constantes. En la 37 figura se suman el tercer y quinto armónicos, tomados como una distorsión armónica individual, mostrando que tal distorsión de la señal del voltaje de entrada, puede causar daños irreparables a los equipos electrónicos de una red de HFC, ya que se debe sumar el 70% del voltaje nominal de 120V esto es 84V (3er armónico) y el 50% que es 60V (5to armónico). Debe tenerse en cuenta que la mayoría de las formas de onda de las corrientes distorsionadas son mucho más complejas que las mostradas en la figura 36, ya que contienen muchos más armónicos con una relación de fase también más compleja.

Figura 37. **Forma de onda de corriente distorsionada**



Fuente: Guía de la calidad de energía eléctrica. Armónicos causas y efectos. p. 1.

Como se puede observar en la figura 37, la onda de corriente ya no es senoidal, ya que la amplitud de la nueva señal de tensión, sumando los 84V (3er armónico) más los 60V (5to armónico), llega hasta 144 V. Esto hace que los equipos electrónicos sufran serios daños. Debe observarse también, que en cada ciclo hay seis puntos de paso por cero en lugar de dos, de modo que cualquier equipo que utilice como referencia el punto de paso por cero no funcionará correctamente.

Cuando se habla de los armónicos en instalaciones de energía, son los armónicos de corriente los más preocupantes, puesto que los armónicos se originan como corrientes y la mayoría de sus efectos negativos se deben a estas corrientes. Sin embargo, cuando los armónicos se propagan por un sistema de distribución, es decir, a partes del circuito que no transportan corrientes armónicas, lo hacen en forma de tensión.

En lo que concierne a la distorsión armónica, los índices o indicadores están establecidos por el circuito de distribución, ya que los equipos de HFC son alimentados por dicho circuito.

3.3.1. Índice de calidad de distorsión armónica de tensión

Este índice de calidad está dado por la distorsión armónica de la tensión, expresado como un porcentaje, y se calcula de la siguiente manera, utilizando las ecuaciones 7 y 8:

$$\text{DATT (\%)} = \sqrt{\sum (V_i/V_1)} * 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\text{DAIT (\%)} = \frac{V_i}{V_1} * 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

DATT: distorsión armónica total de tensión

DAIT: distorsión armónica individual de tensión

V_i : componente de tensión de la armónica de orden i

V_1 : componente de tensión de la frecuencia fundamental (60 Hz)

A continuación se muestra en la tabla II las tolerancias para la distorsión armónica de tensión, la cual indica el orden de la armónica, las distorsiones armónicas de tensión tanto individual y total, expresadas como un porcentaje, para baja y media tensión.

Tabla II. **Tolerancias para la distorsión armónica de tensión**

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSIÓN, DAIT (%)
	BAJA Y MEDIA TENSIÓN $V \leq 60$ Kv
IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3	
5	6
7	5
11	3.5
13	3
17	2
19	1.5
23	1.5
25	1.5
> 25	$0.2 + 1.3*(25 / n)$
IMPARES MÚLTIPLOS DE 3	
3	5
9	1.5
15	0.3
21	0.2
> 21	0.2
PARES	
2	2
4	1
6	0.5
8	0.5
10	0.5
12	0.2
> 12	0.2
DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE TENSIÓN, DATT, EN %	
	8

Fuente: Normas técnicas del servicio de distribución, artículo 32.

Como se observa en la tabla II, hay una separación entre los armónicos múltiplos de tres y los que no son múltiplos de tres.

Esto se debe a que las armónicas, que no son múltiplos de tres causan mayor deformación en la señal de tensión.

Con base en la tabla II, se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al período de medición, las mediciones muestran que la distorsión armónica de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas. Una medición de distorsión armónica de tensión es considerada fuera de las tolerancias establecidas, si excede el valor de la distorsión armónica individual o el valor de la distorsión armónica total.

3.3.2. Control para la distorsión armónica de tensión

El control se realiza a través de cuatro mediciones mensuales, realizadas en los bornes de baja tensión de los transformadores de media / baja tensión. Las mediciones son realizadas para obtener la distorsión armónica total y la distorsión armónica individual de tensión.

3.4. Interrupciones

Las interrupciones son consideradas como la falta de energía eléctrica en el punto de entrega por parte del distribuidor.

3.4.1. Índices de calidad para las interrupciones

La calidad del servicio para las interrupciones se evalúa con base a los siguientes índices o indicadores globales e individuales.

3.4.1.1. Índices globales

El primero de los índices o indicadores globales es la frecuencia media de interrupción por kVA (FMIK). La cual representa la cantidad de veces que el kVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio. Ecuación 9.

$$FMIK = \sum j * \frac{Qkfsj}{Qki} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

$\sum j$: sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Qkfsj: cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j

Qki: cantidad de kVA instalados

El segundo de los indicadores globales es el tiempo total de interrupción por kVA (TTIK), ecuación 10, que representa el tiempo total, en horas, en que cada kVA promedio estuvo fuera de servicio.

$$TTIK = \sum j * Qkfsj * \frac{Tfsj}{Qki} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$\sum j$: sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Qkfsj: cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción

Qki: cantidad de kVA instalados

Tfsj: tiempo, en horas, que han permanecido fuera de servicio los kVA en la interrupción j

3.4.1.2. Índices individuales

El primer índice o indicador individual es la frecuencia de interrupciones ocurridas por usuario, el cual se determina por medio de la ecuación 11.

Frecuencia de interrupciones por usuario (FIU).

$$FIU = \sum I_j \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

I_j : número de interrupción j , para cada usuario

El segundo indicador es el tiempo que dura la interrupción por cada usuario conectado a la red. Se obtiene a través de la ecuación 12.

Tiempo de interrupción por usuario (TIU).

$$TIU = \sum T_{fsuj} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

T_{fsuj} : tiempo, en horas, de la interrupción j , para cada usuario

3.4.2. Tolerancias para las interrupciones

Las tolerancias de los índices globales e individuales para la calidad del servicio urbano de energía eléctrica se muestran en las tablas III y IV.

Tabla III. **Tolerancias de los índices globales para las interrupciones**

ETAPA DE TRANSICIÓN	FMIK	TTIK
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A LA DISTRIBUCIÓN	3	10
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A CAUSAS EXTERNAS A LA DISTRIBUCION	5	20
A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE RÉGIMEN (Para usuarios conectados en baja tensión)	FMIK	TTIK
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A LA DISTRIBUCIÓN	2.5	8
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A CAUSAS EXTERNAS A LA DISTRIBUCIÓN	4	12

Fuente: Normas técnicas del servicio de distribución, artículo 56.

Tabla IV. **Tolerancias de los índices individuales para las interrupciones**

A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE RÉGIMEN	FIU	TIU
USUARIOS EN BAJA TENSIÓN	-	-
A PARTIR DEL MES TRECE DE LA ETAPA DE RÉGIMEN	FIU	TIU
USUARIOS EN BAJA TENSIÓN	6	12

Fuente: Normas técnicas del servicio de distribución, artículo 56.

3.4.3. Control para las interrupciones

Las interrupciones del servicio eléctrico se controlan a partir de la etapa de transición a través de los índices o indicadores globales FMIK y TTIK. Después del primer mes de la etapa de régimen, mediante los índices o indicadores globales FMIK y TTIK para los usuarios en baja tensión y con los índices o indicadores individuales FIU y TIU para aquellos usuarios conectados en media y alta tensión.

A partir del décimo tercer mes de iniciada la etapa de régimen se controlan las interrupciones por medio de los índices o indicadores individuales para el cien por ciento de los usuarios; el registro del número de interrupciones y el tiempo respectivo se realiza en forma individual. Y se continúa con el cálculo de los índices o indicadores globales.

3.5. Cómo conectarse a la red de energía eléctrica

La red de HFC utiliza el servicio en baja tensión de 120 V, es decir que utiliza el servicio residencial normal. Con esto la empresa de telecomunicaciones debe cumplir con las normativas establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con las cuales la Empresa Eléctrica de Guatemala exige a los usuarios que se cumplan de acuerdo al servicio solicitado para evitar cualquier tipo de anomalía en dicho servicio.

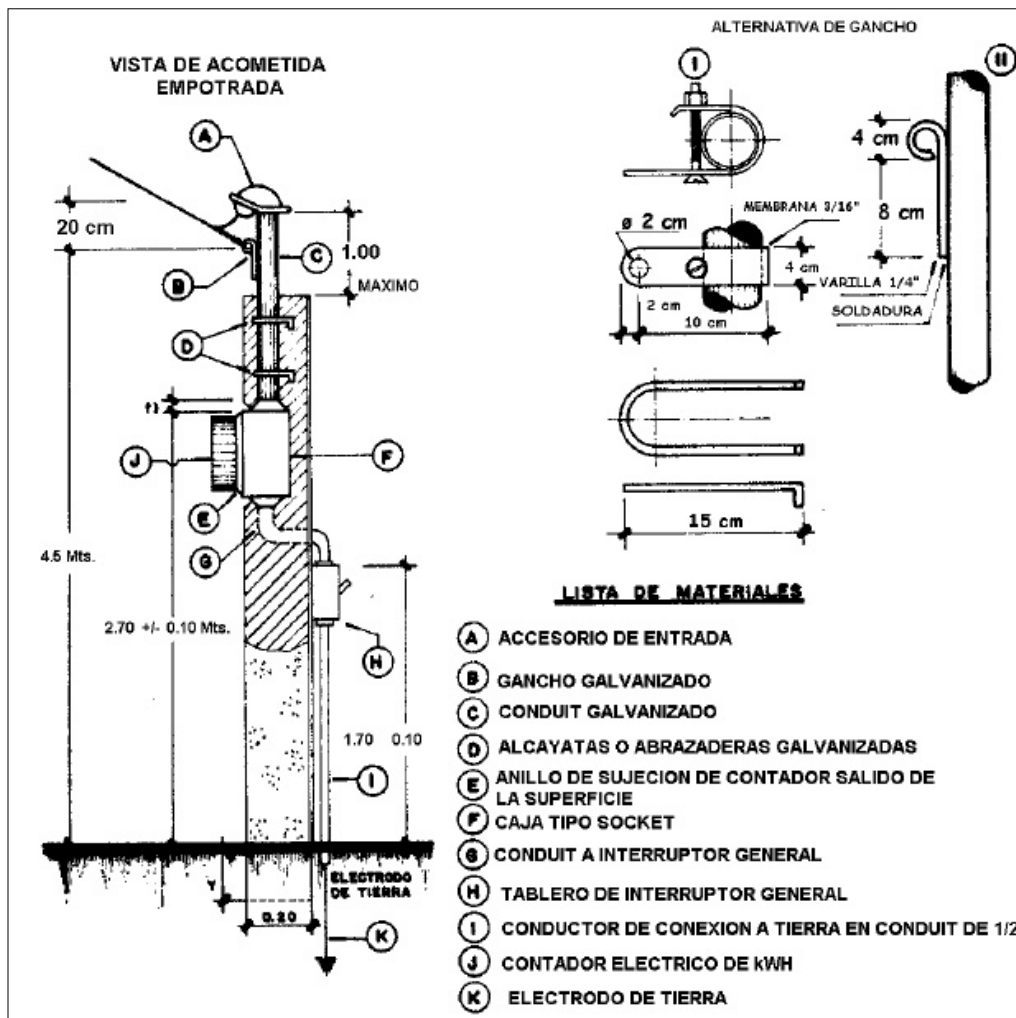
Las normas establecidas por la Comisión Nacional de Energía para la conexión de usuarios en baja tensión tienen por objetivo, definir los requisitos constructivos a cumplir por parte del usuario que solicita un nuevo servicio, las cuales son de aplicación obligatoria para todos aquellos usuarios a conectarse a la red de baja tensión propiedad de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

Con el fin de enriquecer este estudio se mencionan algunas de las normas principales a seguir para la conexión a la red de energía eléctrica:

- El servicio debe colocarse en la propiedad que sirve y para la cual fue solicitado.
- La caja del medidor de energía deberá instalarse en el límite de la propiedad privada y la propiedad pública, de tal forma que el frente del medidor quede hacia la vía pública. No se permite la instalación de medidores en posición lateral. El usuario es quien decide si utiliza caja metálica o de policarbonato. Las alturas son las siguientes:

- Cuando se instala caja metálica tipo *socket*, la misma debe ir a una altura de 2,7 metros +/- 10 centímetros, medido del nivel de la acera a la parte superior de la caja, con el frente hacia la calle. Se deben tomar en cuenta las especificaciones de la figura 38.

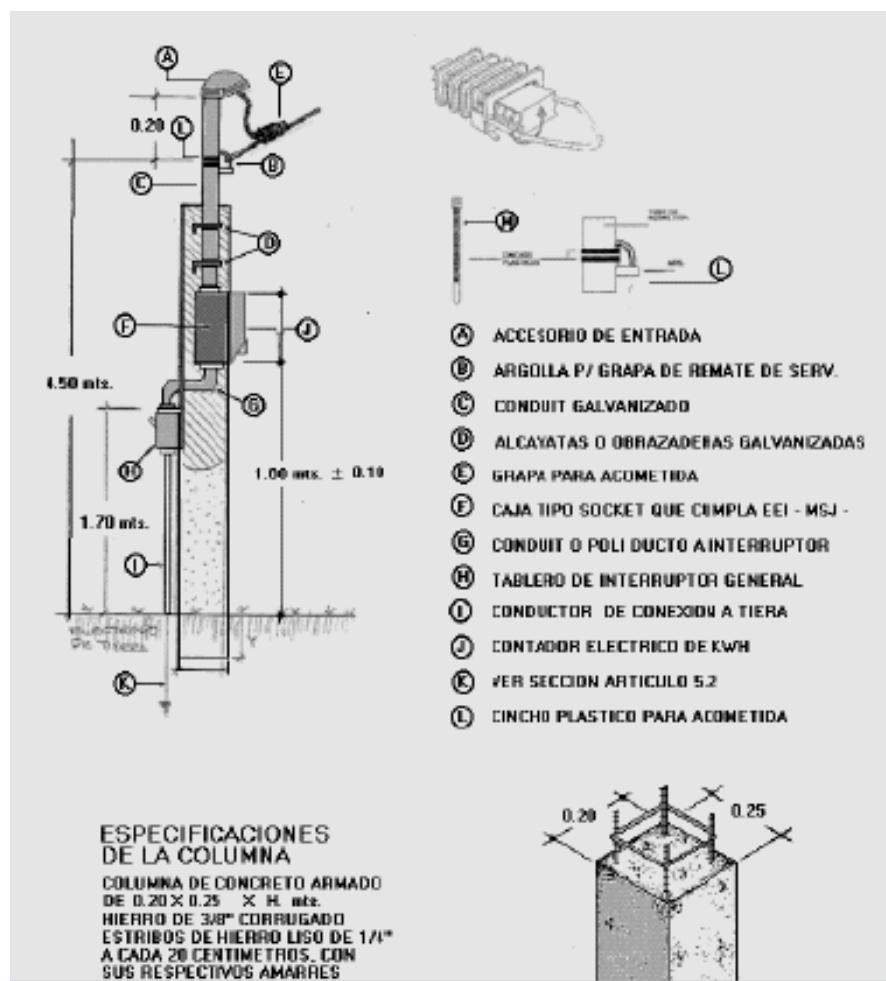
Figura 38. Especificaciones de accesorios para acometida aérea residencial



Fuente: Normas de acometidas eléctricas de la Empresa Eléctrica de Guatemala. p. 11.

- Cuando se instala caja de policarbonato, a una altura de 1,80 metros +/-10 centímetros, medido del nivel de la acera a la parte superior de la caja, con el frente hacia la calle. Se deben tomar en cuenta las especificaciones de la figura 39.

Figura 39. **Acometida simple en caja de policarbonato**



Fuente: Normas de acometidas eléctricas de la Empresa Eléctrica de Guatemala. p. 12.

- A partir del punto de medición de energía eléctrica, el usuario construirá, operará y mantendrá todas las instalaciones necesarias por su cuenta.
- El gancho de soporte para recibir el cable de acometida debe localizarse de manera que el cable de acometida no pase por propiedades ajenas; y de ser colocado en un lugar más inmediato a uno de los postes de distribución de Empresa Eléctrica de Guatemala.
- Los accesorios de la acometida pueden ser instalados en una pared o en una columna de concreto armado con 4 varillas de hierro de diámetro mínimo de 3/8 de pulgada con sus estribos y amarres respectivos.
- El medidor de energía debe estar protegido por un medio general de desconexión, el cual debe ser un interruptor termo-magnético instalado de la siguiente forma: en forma independiente del tablero de distribución interno, si la distancia entre el medidor de energía y el tablero es mayor de 10 metros. En forma independiente o integrado al tablero de distribución interno, si la distancia entre el medidor de energía y el tablero, es menor de 10 metros.
- A criterio del usuario, en donde se necesite proteger al medidor contra daños físicos (robo, destrucción, etc.), se debe utilizar rejilla protectora.
- El diámetro del tubo conduit para la acometida debe ser de una pulgada y un cuarto (1-1/4").
- Para minimizar la corrosión galvánica es necesario cubrir de estaño los extremos de cada cable de cobre a insertarse en la caja del medidor que recibe la acometida de la empresa distribuidora.

Las normas anteriormente descritas, son de alta importancia para la Empresa Eléctrica, ya que si el usuario cumple con dichas normas la empresa distribuidora le proporcionará el servicio sin ninguna objeción. De tal manera, que tanto el usuario como la empresa distribuidora de energía quedan protegidos y se reduce con ello la probabilidad de fallas.

4. COSTOS OBTENIDOS POR EQUIPOS ACTIVOS AVERIADOS DE LA RED HFC

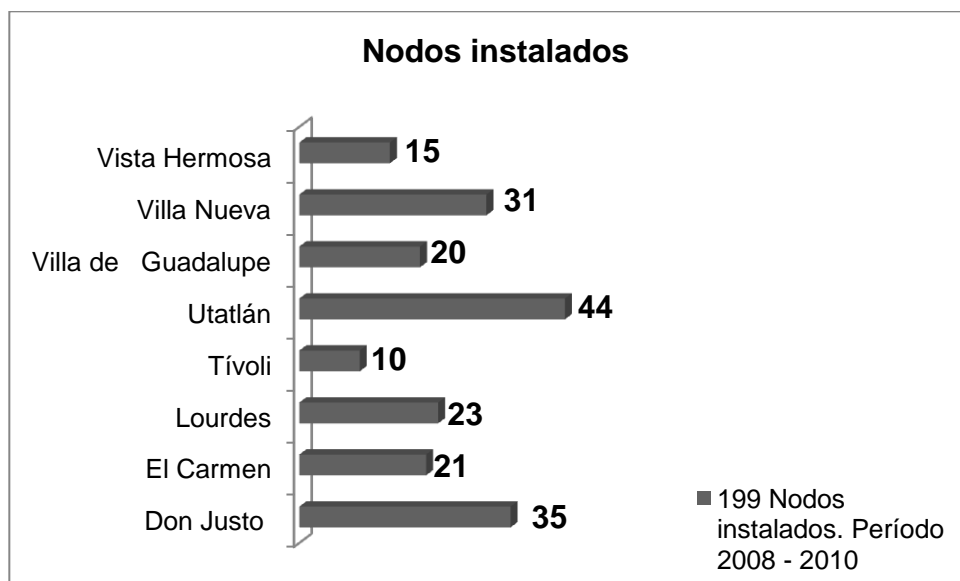
Como se ha descrito a lo largo de esta investigación, la empresa de telecomunicaciones ha invertido en grandes cantidades de equipos electrónicos para prestar un servicio que funciona en ambos sentidos, tanto del lado de la empresa que presta dichos servicios como el del cliente que puede ordenar otros servicios como el video en demanda y programas de entretenimiento, desde la comodidad de su hogar.

En este capítulo se identificarán cuáles son las partes de la red que tienen un mayor mantenimiento, que tipo de mantenimiento es utilizado con mayor frecuencia, cuál es el sector de la ciudad capital al que se le da mayor mantenimiento actualmente y se desarrolla el tema central de este estudio, que es el costo de los equipos electrónicos averiados debido a la no calidad de la energía eléctrica, utilizando diferentes métodos de investigación, entre otros temas.

4.1. Costo de receptores ópticos

Como se mencionó anteriormente, uno de los equipos más importantes y de mayor valor dentro de una red de HFC es el receptor óptico (nodo). En las figuras 40 y 41 que a continuación se presentan y de acuerdo a una encuesta realizada al personal de operaciones y mantenimiento de la empresa, (ver apéndice 2), se detalla cuántos de estos equipos fueron instalados durante el período 2008 – 2010 en los diferentes sectores de la Ciudad de Guatemala, establecidos por la empresa de telecomunicaciones, para prestar los servicios de televisión por cable, Internet y telefonía. Y cuántos se han averiado por diferentes causas y el costo obtenido por dichos equipos averiados.

Figura 40. **Receptores ópticos instalados en la ciudad de Guatemala durante el período 2008 – 2010**

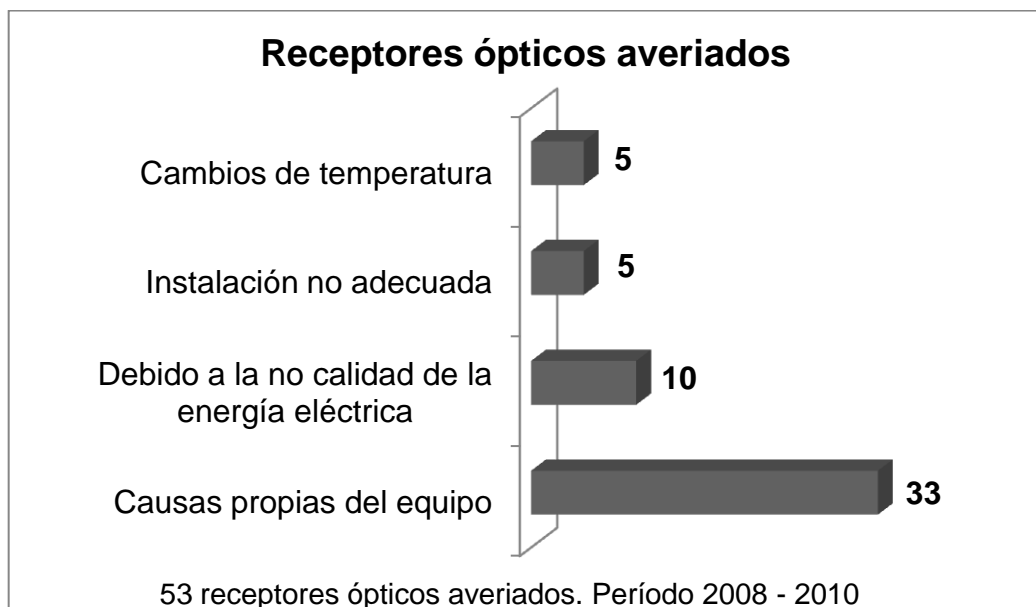


Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 40, se instalaron 199 receptores ópticos durante este período, también se indica la cantidad que se instaló en cada sector de la ciudad para cubrir la demanda de estos servicios.

En la siguiente figura se muestran las cantidades de receptores averiados por causas establecidas por el departamento de Operaciones y Mantenimiento de la empresa, con base en la encuesta realizada a dicho departamento. Y en la tabla V se indica el costo obtenido por dichos equipos averiados.

Figura 41. **Receptores ópticos averiados por diferentes causas**



Fuente: elaboración propia.

Las causas mostradas en la figura 41, son el porqué los equipos sufren averías con mayor frecuencia. Cuando se mencionan las causas propias del equipo según el estudio realizado en su mayoría de veces, se refiere a que la fuente de voltaje de corriente directa falla. Y cuando se indica que la causa es debido a la no calidad de la energía eléctrica, se refiere a que se tienen picos de voltaje provenientes de la red de energía eléctrica. Los datos de la gráfica se obtuvieron de la encuesta realizada al departamento (ver apéndice 2). En la tabla V se muestra cuánto se ha tenido que invertir para la reposición de estos receptores ópticos debido a estas causas.

Tabla V. **Costos de receptores ópticos averiados**

Costos de receptores ópticos averiados				
	Cambios de temperatura	Instalación no adecuada	No calidad de la energía eléctrica	Causas propias del equipo
Cantidad de receptores averiados	5	5	10	33
Totales	Q. 73 217,30	Q. 73 217,30	Q. 146 434,60	Q. 483 234,18

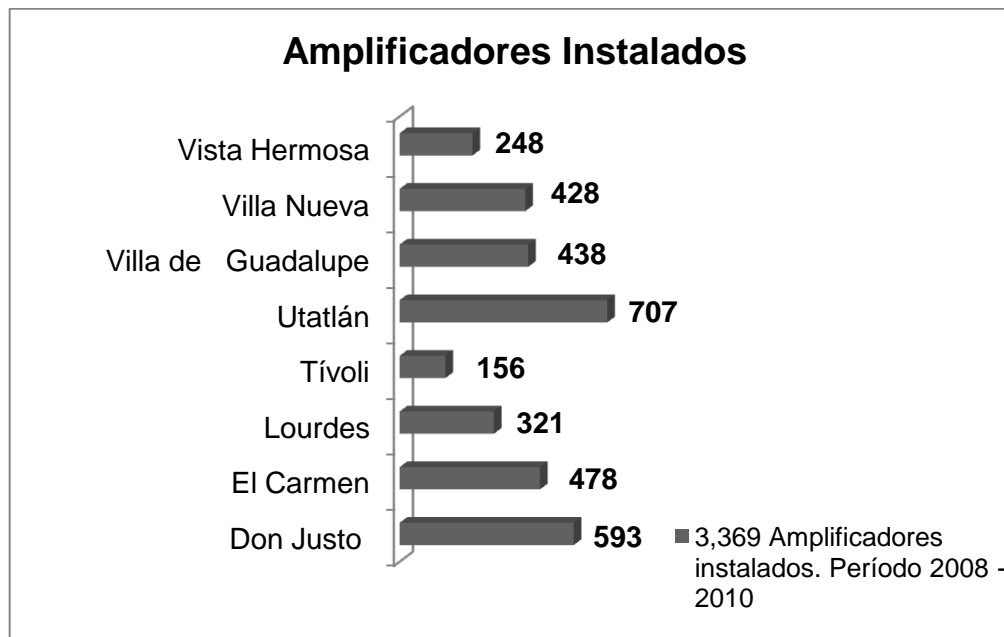
Fuente: elaboración propia.

Con base en la tabla V se puede observar que la calidad de la energía eléctrica sí influye en los costos por reposición de estos equipos a pesar de que la incidencia de falla es baja. Sin embargo, el mayor costo se obtiene de las fallas propias del equipo, ya que tiene un mayor índice de falla de acuerdo a la investigación realizada. Cabe mencionar que el costo de un receptor óptico es de Q. 14 643,46.

4.2. Costo de amplificadores

Si bien los amplificadores tienen un menor costo dependiendo de la capacidad de salidas que tengan con relación al costo de un receptor óptico, se debe tomar en cuenta que de estos equipos se instalan en mayor cantidad, para cubrir la demanda de estos servicios. En la figura 42 se muestran cuántos amplificadores se instalaron en el período 2008 – 2010 en cada sector de la ciudad capital.

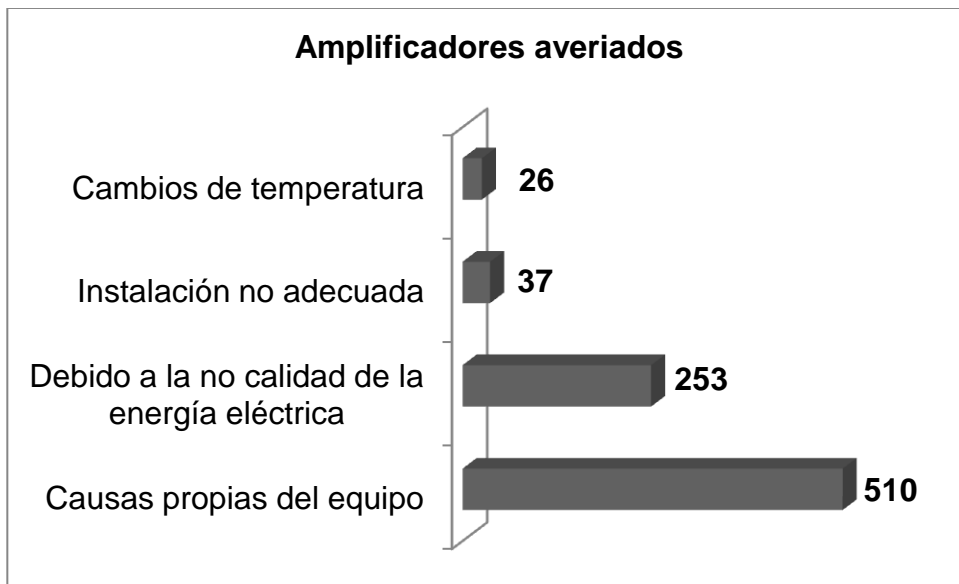
Figura 42. **Total de amplificadores instalados en la Ciudad de Guatemala durante el período 2008 - 2010**



Fuente: elaboración propia.

Solo en la Ciudad de Guatemala se han instalado 3 369 amplificadores entre los diferentes tipos que existen, como los descritos en el capítulo uno, y en los diferentes sectores establecidos, como se indica en la figura 42. En la figura 43 se muestra un estimado de la cantidad de amplificadores averiados por las diferentes causas antes mencionadas.

Figura 43. **Estimado de amplificadores averiados**



Fuente: elaboración propia

La figura 43 muestra un estimado de los amplificadores averiados durante un período de tiempo ya establecido, y como se observa, el mayor índice de falla se encuentra en la calidad del equipo. Luego se encuentra en segundo plano la no calidad de la energía, indicando con esto, que se debe tener muy en cuenta las protecciones de estos equipos para evitar averías por esta causa.

En la tabla VI se muestran los costos que se tienen debido a la ocurrencia de dichas fallas.

Tabla VI. **Costos de amplificadores de RF averiados**

Costos de amplificadores averiados				
	Cambios de temperatura	Instalación no adecuada	No calidad de la energía eléctrica	Causas propias del equipo
Cantidad de amplificadores averiados	26	37	253	510
Totales	Q. 138 339,24	Q. 196 867,38	Q. 1 346 147,22	Q. 2 713 577,40

Fuente: elaboración propia.

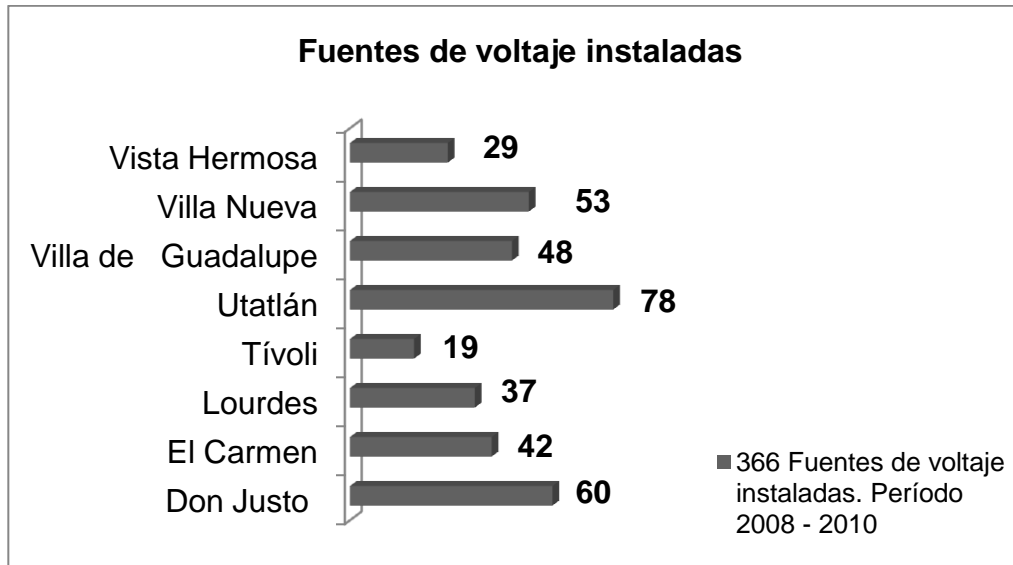
Nuevamente se puede observar, que el mayor índice de falla es provocado por causas propias del equipo, y es por ello que se tiene un costo muy elevado. Asimismo, se muestra que se han averiado 253 amplificadores debido a la no calidad de la energía eléctrica y con esto se confirma que es la segunda causa de averías con mayor costo. El costo promedio de un amplificador de RF es de Q. 5 320,74.

4.3. Costo de fuentes de voltaje

En el capítulo uno se describió que en la fuente de voltaje se encuentra el punto de conexión a la red de energía eléctrica con la red de HFC, y es por ello que es de importancia mostrar si la calidad de la energía eléctrica afecta a estos equipos y así estimar los costos de los mismos.

En la figura 44 se indica la cantidad de fuentes instaladas durante el período antes mencionado.

Figura 44. Fuentes de voltaje instaladas

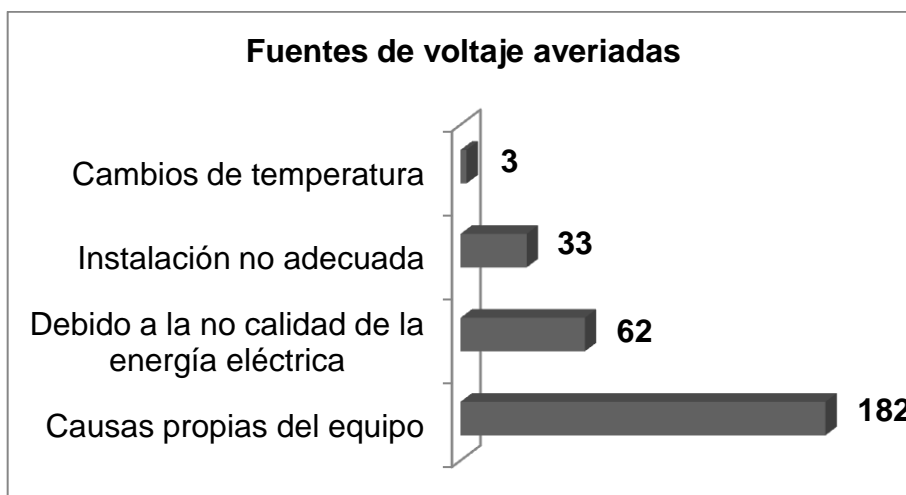


Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 44 se instalaron 366 fuentes de voltaje en los diferentes sectores de la ciudad metropolitana para energizar toda la red de HFC. Esto quiere decir que se tienen 366 puntos en donde la energía eléctrica puede influir directamente en las fuentes de voltaje, si éstas no están bien protegidas o si la calidad de la energía en cualquiera de estos puntos no es buena.

A continuación se muestra, en la figura 45, la cantidad de fuentes de voltaje que se han averiado tomando en cuenta todas las causas anteriormente mencionadas. Luego se muestra la tabla VII para determinar si la calidad de la energía eléctrica influye directamente en el costo de estos equipos averiados.

Figura 45. **Fuentes de voltaje averiadas**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 45 se han averiado 62 fuentes de voltaje debido a la calidad de la energía, a continuación se muestra la tabla VII en la cual se indica el costo que se tiene debido al daño ocurrido en dichas fuentes.

Tabla VII. **Costos de fuentes de voltaje averiadas**

Costos de fuentes de voltaje				
	Cambios de temperatura	Instalación no adecuada	No calidad de la energía eléctrica	Causas propias del equipo
Cantidad de fuentes de voltaje averiadas	3	33	62	182
Totales	Q. 64 141,59	Q. 705 557,49	Q. 1 325 592,86	Q. 3 891 256,46

Fuente: elaboración propia.

De los 366 puntos de conexión con la red de energía eléctrica, en 62 han ocurrido perturbaciones en la calidad de la onda de señal de voltaje. Sin embargo, siendo una cantidad de puntos de conexión baja, el costo obtenido por las fuentes averiadas es bastante elevado según lo mostrado en la tabla VII. Es importante mencionar que el costo en quetzales de una fuente de voltaje es de Q. 21 380,53.

Hasta este punto se ha dado a conocer la cantidad de equipos que se han averiado debido a la no calidad de la energía eléctrica. Esta es la parte medular de este estudio, ya que son equipos por los cuales no se puede reclamar una garantía porque el proveedor no se hace responsable debido a daños ocurridos por causas externas a los equipos.

4.4. Costos por cambio de equipos averiados

El costo por el cambio de estos equipos se refiere al montaje de los mismos, debido a que la empresa de telecomunicaciones subcontrata por hacer este tipo de mantenimiento. Este costo se muestra en una sola tabla con base a la causa primordial de este estudio que es la no calidad de la energía, y para cada uno de los equipos dañados descritos en la sección anterior.

Tabla VIII. **Costos por el montaje de los equipos averiados**

	Costo por unidad montada	Cantidad de equipos averiados debido a la no calidad de la energía	Costo total de las unidades montadas
Montaje de receptor óptico	Q. 2 785,17	10	Q. 27 851,70
Montaje de amplificador	Q. 2 124,90	253	Q. 537 599,70
Montaje de la fuente de voltaje	Q. 7 870,00	62	Q. 487 940,00

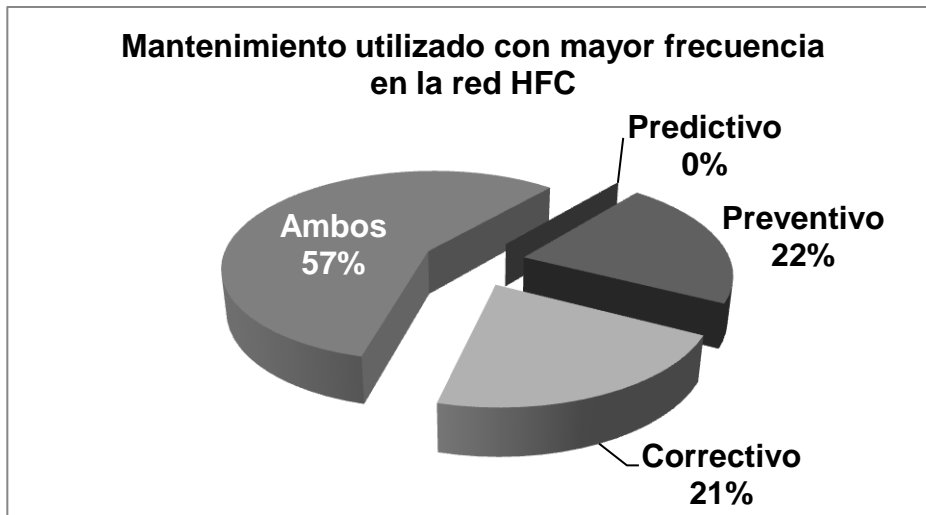
Fuente: elaboración propia.

Los resultados proyectados por la tabla VIII se agregan al valor del precio de los equipos, y como se ve son cantidades que a la larga aumentan demasiado el costo por el cambio de los equipos averiados debido a la no calidad de la energía.

4.5. Costos por no prestar el servicio

Como se mostró en las secciones anteriores de este capítulo, el mantenimiento de la red tiene un costo elevado cuando se tienen que reemplazar los equipos. A continuación se muestran dos gráficas, en la figuras 46 y 47, que identifican el tipo de mantenimiento que se la da a toda la red y el sector de la ciudad capital al que se le presta mantenimiento con mayor frecuencia.

Figura 46. **Mantenimiento utilizado con mayor frecuencia en la red de HFC**

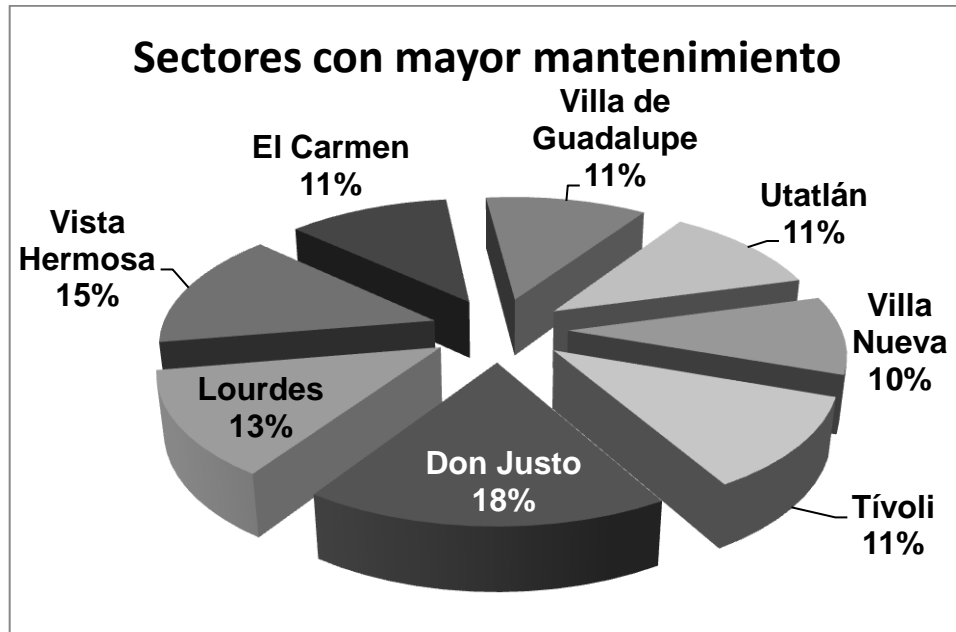


Fuente: elaboración propia.

En una red de esta magnitud se necesita tener un mantenimiento constante y de buena calidad, como se observa en la figura 46 el 57% del personal de mantenimiento consideró que es indispensable tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo para el buen funcionamiento de la red de HFC.

Durante el desarrollo de este capítulo se dieron a conocer los sectores en que la empresa de telecomunicaciones divide la ciudad capital para dar cobertura de la señal con la red de HFC. En la figura 47 se muestra a cuál de estos sectores se le da mayor mantenimiento.

Figura 47. Sectores con mayor mantenimiento en la red de HFC

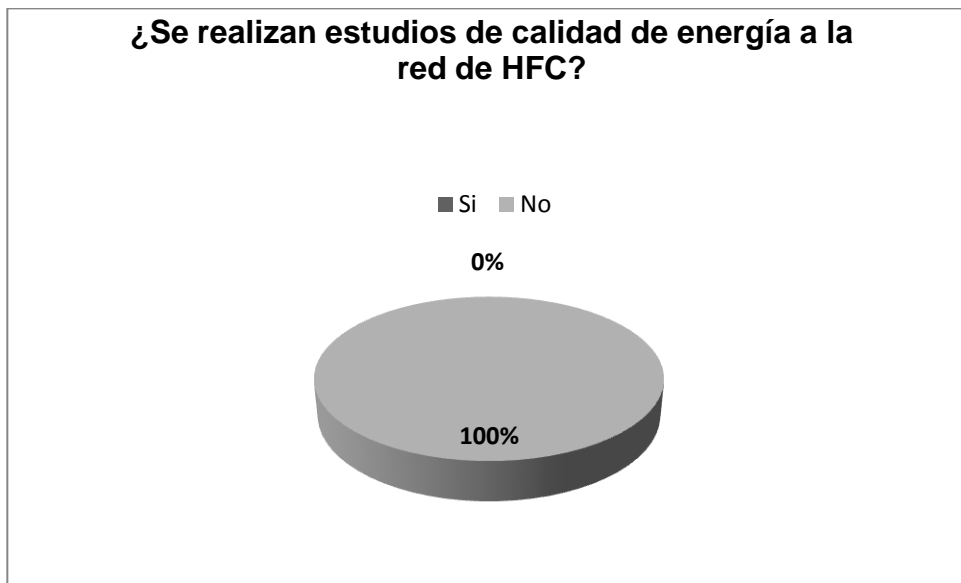


Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, se observa de la figura 47, que el sector con un mayor mantenimiento es el de Don Justo con un 18%. Estableciendo con esto los datos para el análisis de los costos por no prestar el servicio.

Por otra parte, es importante determinar si a la red de HFC se le hacen estudios de calidad de energía, lo cual se muestra en la figura 48.

Figura 48. **Estudios de calidad de energía eléctrica en la red de HFC**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 48, no se realizan estudios de calidad de energía eléctrica a la red de HFC. Es por ello que se debe analizar la propuesta de realizar un nuevo tipo de mantenimiento en los sectores de la red de HFC, en donde se realiza un mayor mantenimiento.

Para realizar un acomodo en las facturas de los clientes, a los cuales no se les ha proporcionado el servicio, la empresa de telecomunicaciones cuenta con un área de ajuste, siendo una de sus funciones el determinar cuánto se le descuenta al cliente por cada día que no cuente con el servicio completo prestado por la misma.

Según la información proporcionada por el área de ajustes, se cuenta con un presupuesto mensual de dos millones quinientos mil quetzales (Q. 2 500 000,00), para realizar ajustes a nivel nacional y para todos los servicios de la empresa. No hay un presupuesto específico para la ciudad capital, ya que los ajustes se ingresan contra el reclamo solicitado por el cliente, independientemente dónde se encuentre ubicado el servicio.

Sin embargo, tomando en cuenta toda esta información, se puede estimar lo asignado a la ciudad capital, ya que la empresa presta los servicios, a los veintidós departamentos de Guatemala. Es decir, que el presupuesto estimado para realizar ajustes en la ciudad de Guatemala es de ciento catorce mil quetzales (Q. 114 000,00) distribuido en los ocho sectores de la ciudad, a los cuales se les proporcionan tres de estos servicios en la red de HFC.

De acuerdo a lo descrito en el párrafo anterior, la asignación de presupuesto es variable, y se tiene que tomar en cuenta la cantidad de clientes que expresen su reclamo. Asimismo, se tiene que verificar cuántos servicios tiene cada usuario en el sector antes mencionado. Por otra parte, no se cuenta con el análisis de ajuste realizado por la empresa de telecomunicaciones para poder indicar una suma específica. Todo lo anteriormente mencionado, no es el objetivo de estudio de esta investigación.

Es por ello que solamente se hace referencia a una cantidad estimada de un presupuesto que como se comentó es variable. A lo largo de este capítulo fueron descritos los costos que la empresa de telecomunicaciones ha tenido que sufragar para mantener la continuidad del servicio.

A continuación se muestra en la tabla IX, el resumen de costos, el cual incluye la cantidad de equipos averiados y el montaje por el reemplazo de los mismos debido a la no calidad de la energía eléctrica.

Tabla IX. **Total de costos debido a la no calidad de la energía eléctrica en equipos activos de la red de HFC**

Resumen total de costos obtenidos debido a la no calidad de la energía eléctrica		
	Cantidad de averiados	Costo incluyendo el montaje
Receptores ópticos	10	Q. 174 286,30
Fuentes de voltaje	62	Q. 1 813 532,86
Amplificadores	253	Q. 1 883 746,92
Total invertido		Q. 3 871 566,08

Fuente: elaboración propia.

Como se observa de la tabla IX la empresa de telecomunicaciones ha tenido que invertir casi cuatro millones de quetzales para mantener el servicio de CATV estable, a pesar de que la causa de falla de estos equipos es ajena a las características de la red de HFC.

5. PROPUESTA PARA LA CONEXIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CATV A LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Durante todo el estudio se han descrito los equipos que utiliza una red de HFC, cómo funcionan y las protecciones necesarias para que dichos equipos no sufran averías por causas ajenas a los mismos. Por otra parte, se dieron a conocer los parámetros con los cuales la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece la calidad de la misma, y se mostro con qué frecuencia se miden dichos parámetros. Sabiendo que la red de HFC utiliza un servicio de voltaje de 120 V, se describió el procedimiento para la conexión a la red de energía eléctrica. Luego se estimaron los costos en los que la no calidad de la energía eléctrica ha causado daños en los equipos de la red de HFC. Es por ello que en el desarrollo de este capítulo se presenta la propuesta con la que se podrá reducir tanto los daños a los equipos como los costos por el reemplazo de los mismos.

5.1. Medición de parámetros de la calidad de potencia eléctrica para prestar el servicio

Los parámetros, por medio de los cuales se establece la calidad de la energía eléctrica y que la empresa de telecomunicaciones debe tomar en cuenta para la protección de los equipos de la red de HFC son: la regulación de tensión, la distorsión armónica y las interrupciones, los cuales fueron descritos a detalle en el capítulo tres.

Y según lo analizado en el capítulo cuatro, la calidad de la energía eléctrica sí influye directamente en las fallas ocurridas a los equipos electrónicos de CATV de la red HFC.

Debido a que la empresa que presta el servicio de energía eléctrica realiza las mediciones cada cierto tiempo y selecciona un solo punto de toda la red de energía para determinar la calidad de la misma; se establece que estas mediciones son insuficientes para la cantidad de puntos de conexión que existen entre las dos empresas. Es por ello se le propone a la empresa de telecomunicaciones: realizar sus propias mediciones de calidad de energía en los diferentes sectores de la red de HFC y que tienen un mayor índice de fallas, para que instale los equipos de protección necesarios y la cantidad que sea conveniente en dichos puntos. Esto con el objetivo de proteger todos los equipos de la red de HFC y reducir las interrupciones en el servicio que presta la empresa de telecomunicaciones.

5.2. Medidas de protección de los equipos de CATV

La empresa de telecomunicaciones utiliza hasta el momento las medidas de protección descritas en el capítulo dos. En cuanto a las fuentes de voltaje tienen como protección directa los supresores de picos y los electrodos masa-tierra, pero los receptores ópticos y los amplificadores, sólo tienen el sistema masa-tierra, sin ninguna otra protección. Y a ninguno de los equipos mencionados se les han realizado mediciones para el análisis de otras posibles fuentes de falla.

Como es sabido, no solo existen fallas como las corrientes que se drenan a través del sistema de tierras, sino que también están las sobretensiones, la inducción de voltaje, los picos de voltaje y los armónicos que son fallas externas y que dependen mucho de la calidad de la energía. Por otra parte, se encuentran las interrupciones del servicio eléctrico, que son las interrupciones programadas y las no programadas.

De tal manera, que la empresa de telecomunicaciones no cuenta con ningún tipo de sistema de medición que pueda indicar las anomalías en la señal de voltaje y proteger así la red de HFC. Con lo descrito en el inciso anterior de este capítulo, se puede observar que para realizar la propuesta presentada, se debe contar con equipos de medición que permitan detectar las anomalías en la señal de voltaje, así como de un software que permita el análisis de los resultados de las mediciones obtenidas. Esto permitirá tener un mejor análisis de fallas para la protección de los equipos activos de red. También se propone como medida de protección el realizar otro tipo de mantenimiento denominado: predictivo.

En la actualidad la empresa de telecomunicaciones sólo realiza el mantenimiento preventivo y el correctivo que en muchas ocasiones se podrían evitar si se realizara el control de estado de funcionamiento de los equipos activos de red en servicio, efectuado con instrumentos de medición, para predecir fallas o detectar cambios en sus condiciones físicas que requieran mantenimiento.

El mantenimiento predictivo tiene como implemento indispensable la instrumentación para el análisis de fallas. Pero debe tomarse en cuenta que este tipo de mantenimiento puede resultar muy costoso si no se aplica de forma adecuada y racional. Una de las principales objeciones para la implementación del mantenimiento predictivo, es la inversión que se tiene que realizar para la adquisición del equipo que se debe utilizar para hacer las mediciones, así como de la capacitación del personal.

Por esta razón, la empresa de telecomunicaciones debe estimar el costo que tiene por el reemplazo de los equipos de CATV averiados, versus, el costo por obtener los equipos de medición, así como de la capacitación del personal para realizar el análisis de fallas e indicar si es necesario o no instalar equipos de protección en los puntos en donde se realiza la conexión entre la red de energía eléctrica y la de HFC, con el fin de conseguir la reducción del costo debido a la no calidad de la energía eléctrica.

De tal manera que se debe tomar en cuenta éste y todos aquellos factores, que en determinado momento pueden ser objeciones en el instante de aplicar el mantenimiento predictivo, y deben analizarse detenidamente para determinar su influencia positiva en algo tan importante como es la reducción de costos.

Para hacer más objetivas las diferencias básicas entre las técnicas de mantenimiento que utiliza la empresa de telecomunicaciones y la propuesta que se presenta, se extraen en un cuadro comparativo con sus características en la tabla X.

Tabla X. **Diferencias entre tipos de mantenimiento**

Tipo de mantenimiento	Estado de funcionamiento del equipo	Motivo de la intervención	Tareas a realizar	Objetivo de la intervención
Correctivo	Fuera de servicio	Falla	Cambio de componentes	Retornar al servicio
Preventivo	Fuera de servicio	Inspección programada	Desarmes para inspección y cambio de determinados componentes	Garantizar un determinado período su funcionamiento
Predictivo	En servicio	Control programado	Mediciones	Predecir y detectar fallas a tiempo y programar su corrección

Fuente: Agraz Industrial, predictivo-industrial.com. Consulta noviembre de 2011.

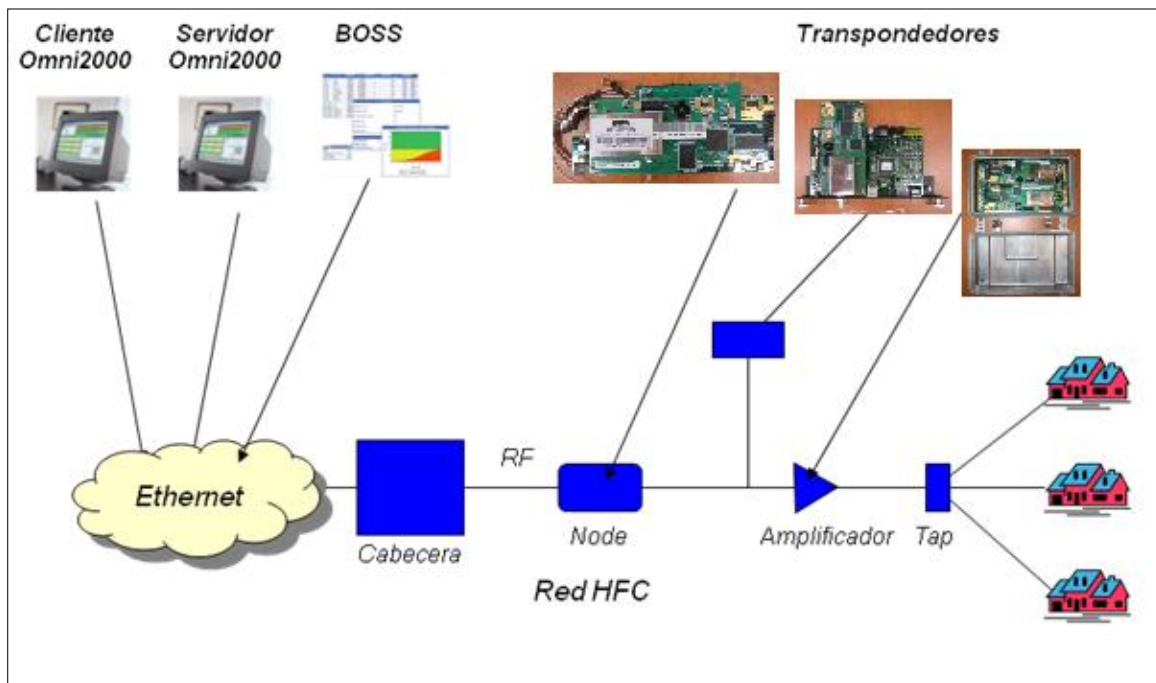
La empresa de telecomunicaciones, debe considerar el mantenimiento predictivo e instalar más equipos de protección, tomando en cuenta hasta donde le es posible económicamente proteger su red.

5.3. Sistemas de monitoreo de la señal de CATV

Las redes de HFC necesitan de la instrumentación para que sean constantemente monitoreadas, con el fin de obtener los niveles de señal de entrada y salida de RF de los equipos activos de la red, así como la obtención de los parámetros de tensión y corriente eléctrica. Es por ello que se utiliza el sistema de monitoreo, del cual se hizo referencia en el capítulo dos, y que se describe a continuación.

El sistema de monitoreo BOSS (Broadband Operation Support System/Sistema de Soporte y Operación de Banda ancha) ofrece una interface que permite al usuario un fácil manejo del software, ya que es una topología de red basada en las normas de diseño de redes de HFC y provee información detallada en tiempo real de cada transponder instalado en la red, todo esto con el fin de identificar las posibles fallas antes de que estas interrumpen el servicio, cumpliendo con esto con uno de los requerimientos del mantenimiento predictivo, ya que este sistema es utilizado como una herramienta de análisis predictivo de fallas. De esta manera el monitoreo se realiza bajo un control unificado para los elementos de la red HFC desde una sola pantalla. En la figura 49 se muestra la topología de red en donde se utiliza el sistema de monitoreo BOSS Omni2000.

Figura 49. **Sistema de red HFC monitoreado con el sistema BOSS**



Fuente: Manual de instalación del sistema de monitoreo BOSS. p. 7.

Como se puede observar en la topología de red mostrada de la figura 49, se necesita tanto del hardware como del software, para la aplicación del mantenimiento predictivo en la red de HFC.

El sistema de monitoreo BOSS es entonces el software, el cual obtiene los datos de los equipos llamados *transponders* que son parte del hardware necesario para la verificación de la señal de entrada y salida de RF de los amplificadores, de la corriente y de la tensión en las fuentes, así como del voltaje de entrada en mV del receptor óptico y de la señal de salida de RF de cada uno de los puertos del mismo. De tal manera que los *transponders* son instalados en los puntos más importantes de la red.

Si bien el sistema de monitoreo BOSS es una herramienta que se puede utilizar para el mantenimiento predictivo de la red, no proporciona información acerca de las anomalías en la señal de tensión que ingresa a la red de HFC por parte de la red eléctrica. Es por ello, que la empresa de telecomunicaciones debe utilizar los equipos de protección adecuados para evitar que este tipo de fallas ingresen a la red de HFC.

5.4. Estudio de calidad de energía eléctrica para protección de los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC

El creciente interés de la calidad de la energía se ve reflejado en las exigencias de los clientes y en la compleja operación de las redes eléctricas; sin embargo, ante esta situación es conveniente hacer los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo evaluar el producto entregable?, ¿cómo medirlo?, ¿cómo determinar la incertidumbre apropiada al proceso de medición? ¿se está en condiciones de dar trazabilidad a la medición?

Las respuestas planteadas no son absolutas y determinantes, antes bien es el inicio de un proyecto de investigación continua. De tal manera que al realizar el mantenimiento predictivo de la red de HFC se pueda responder a cada una de las preguntas y establecer así los lineamientos para la protección de la misma.

La calidad de la energía se puede ver desde diferentes perspectivas; desde el punto de vista del consumidor, viendo cómo afectan los equipos las variaciones de la tensión eléctrica, la del fabricante de equipos, el cual determina las tolerancias en sus equipos para evitar daños permanentes y la del suministrador, el cual ve las características de las corrientes consumidas por sus clientes y las posibles perturbaciones de la red derivadas de la calidad del consumo.

Utilizando el punto de vista del consumidor, que en este caso es la empresa de telecomunicaciones, se realiza el análisis del estudio de calidad de la energía, con el fin de adjuntarlo como parte de la propuesta para realizar el mantenimiento predictivo de la red de HFC, en cuanto a las anomalías de la señal de tensión. De tal manera que se busca la estandarización de las mediciones en los parámetros que afectan la señal de voltaje y que son la causa de algunos de los daños en los equipos de la red de HFC.

5.4.1. Normalización de parámetros de la señal de tensión

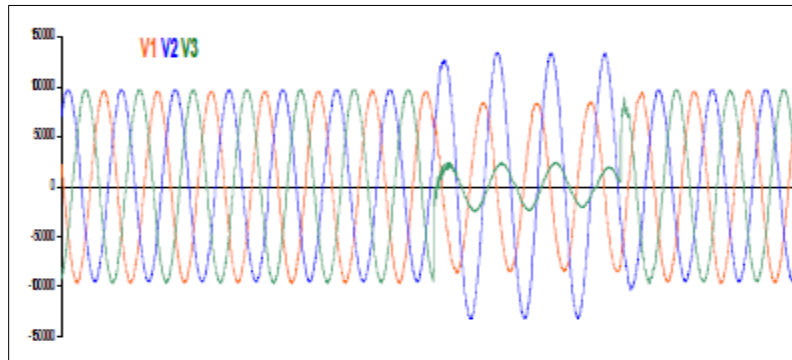
La calidad de la energía eléctrica es de vital importancia para los usuarios que utilizan equipos electrónicos con tecnología de punta, por lo que el definir los estándares y características de la señal de tensión que el suministrador de energía eléctrica provee es también de mucha importancia.

Asimismo es relevante que el usuario del servicio eléctrico, entienda las características de la energía eléctrica y su compromiso al adquirirla; de tal forma que sea consciente de usar la información para proteger adecuadamente sus equipos y minimizar el impacto de los distintos fenómenos que se presentan en la red eléctrica.

Para dar inicio con la normalización de los parámetros de la onda de tensión y sus características, primero debe realizarse una clasificación en tres áreas específicas para obtener un mejor entendimiento del normativo de la calidad de la energía que se propone a lo largo de este estudio:

- Estabilidad de la tensión: en esta área se puede referir a todos los eventos que ocasionan sobretensiones (swells), y bajas tensiones (sag). Ver figura 50.
- Continuidad en el servicio: son eventos que provocan interrupciones momentáneas, interrupciones temporales e interrupciones sostenidas.
- Distorsión de la forma de onda: en esta área están todos los eventos que provocan distorsión en la forma de onda de tensión, tales como: transitorios y distorsión armónica.

Figura 50. **Sag y swell por falla en la red**



Fuente: Simposio de Metrología. p. 6.

Una vez definidas las características que afectan la onda de tensión, se tiene como segundo paso, en la normalización del estudio de calidad de energía, el establecer los estándares o rangos para realizar las mediciones de los eventos mencionados anteriormente, de tal forma que se vaya creando el criterio para el análisis de los resultados al momento de realizar la medición.

En cuanto a la estabilidad en la tensión, se debe recurrir al índice de calidad de regulación de tensión establecido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y el cual se describió en el capítulo tres, utilizando los índices o indicadores individuales y globales al momento de realizar la medición y comparando los valores medidos con el rango de tolerancias establecidas.

Para obtener el resultado final de la medición se debe tener en cuenta lo siguiente: se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento correspondiente al total del período de medición, las mediciones muestran que la regulación de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Con esto se puede determinar si la onda de tensión es estable o no. Si al momento de realizar el análisis de resultados de la medición, se excede el rango establecido se debe colocar una protección para corregir este fenómeno.

Para la continuidad en el servicio, siempre basándose en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, se debe tomar en cuenta que no se consideran las interrupciones menores de tres minutos, así como las que sean clasificadas como casos de fuerza mayor. Al momento de realizar la medición se deben tomar en cuenta los rangos de los índices globales, establecidos en el inciso 3.4. del capítulo tres, ya que la medición de este fenómeno en esta propuesta se realiza en un período de medición de siete días.

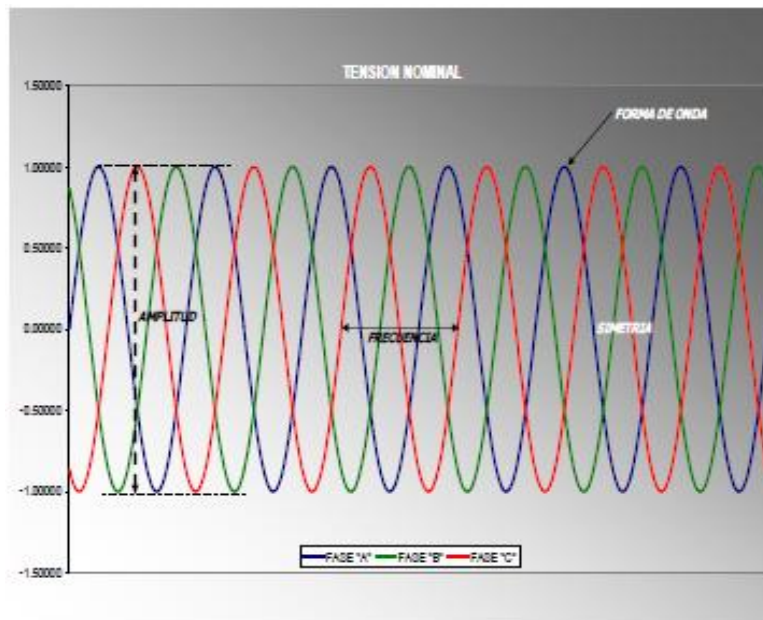
En cuanto al fenómeno de distorsión armónica, se toma en cuenta la deformación de la onda de tensión, cuyos parámetros para la medición de la misma están establecidos en la tabla II del capítulo tres. Y al momento de finalizar la medición se debe considerar lo siguiente: Que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al período de medición, las mediciones muestran que la distorsión armónica de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Como se indica en el mismo capítulo tres, que una medición de distorsión armónica de tensión es considerada fuera de las tolerancias establecidas, si excede el valor de la distorsión armónica individual o el valor de la distorsión armónica total. Con esto se tienen los criterios para determinar que la calidad de la energía eléctrica suministrada por el proveedor es buena o no.

5.4.2. Requisitos de los equipos de medición de la señal de tensión

Para realizar un estudio de calidad de energía eléctrica se debe contar con equipos de medición que incluyan los parámetros mencionados en el inciso 5.4.1. de este capítulo, debido a que actualmente los requerimientos de los equipos de medición instalados en los puntos de la red eléctrica con el propósito de intercambio o entrega de energía eléctrica están especificados exclusivamente en parámetros de demanda eléctrica (kW), energía activa (kWh), energía reactiva (kvarh), así como de los valores instantáneos tales como: tensión eléctrica (V), corriente eléctrica (A), factor de potencia, etc. Para definir los requerimientos de los equipos que miden los parámetros de calidad de la energía, es necesario evaluar las propiedades del producto, es decir la tensión.

Figura 51. Sistema trifásico de tensión eléctrica



Fuente: Simposio de Metrología. p. 4.

Se pueden describir los valores que caracterizan a la tensión, a través de: frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría. Ver figura 51. Lo siguiente es definir los parámetros que deben vigilarse en los puntos de intercambio de energía, éstos son: frecuencia, amplitud de la tensión, variaciones de la tensión, variaciones rápidas de la tensión, *sag*, *swells*, interrupciones breves de la tensión, interrupciones largas de la tensión, sobretensiones transitorias, desequilibrio de la tensión y tensiones armónicas. El equipo seleccionado debe medir todos estos parámetros, para determinar la calidad de la energía eléctrica.

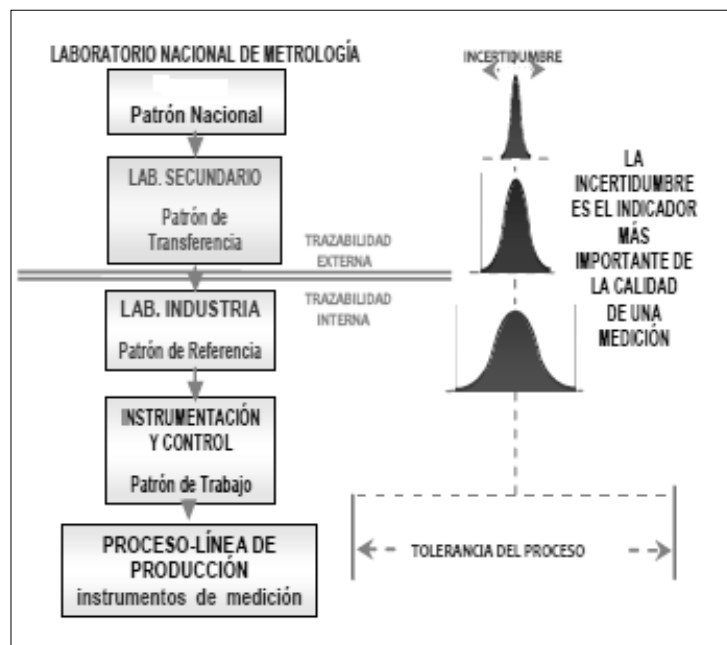
Al momento de realizar una medición de calidad de energía eléctrica, se deben tomar en cuenta las siguientes clases de desempeño:

- Tipo A: recomendado para utilizarse en aplicaciones de medición con fines acordados. Es una evaluación de conformidad con las normas en aplicaciones en donde se requiera la más mínima incertidumbre.
- Tipo B: recomendación elaborada para aplicaciones donde se requiere poca incertidumbre, por ejemplo: el análisis de problemas de operación.

El equipo de medición de calidad de energía debe entonces calibrarse cada vez que se realice una medición, identificando el tipo de desempeño a utilizar, con el fin de ser más o menos exigente de acuerdo a la medición que se esté ejecutando. Tomando en cuenta los tipos de desempeño mencionados, el equipo de medición debe tener una cierta flexibilidad en la configuración de la incertidumbre, para que la medición se acerque hacia un valor verdadero y convencional que esté permitido dentro del rango de referencia ya establecido.

El desarrollo de los procedimientos para la calibración de los dispositivos de medición, también estará de la mano de los requerimientos de la incertidumbre, para dar trazabilidad y tolerancia al proceso de medición. Los niveles de incertidumbre para la medición con una clase de desempeño tipo A y los equipos de medición que posean estas características pueden ser utilizados en los intercambios de entrega de energía eléctrica. La referencia de incertidumbre que se presenta en figura 52, sería la base para expresar la tolerancia del proceso de medición.

Figura 52. Cadena de trazabilidad



Fuente: Simposio de Metrología. p. 4.

En la figura 52 se presenta una cadena de trazabilidad, en la que se aprecia la exigencia de una mejor calidad expresada en el indicador de incertidumbre.

También en la cadena de trazabilidad del proceso de medición, de la figura 52, se puede observar que los equipos utilizados en laboratorios de metrología tienen una tolerancia más exigente, ya que por medio de éstos se logran establecer las referencias de los equipos de medición. Después, durante el proceso de medición, la tolerancia va cambiando conforme las exigencias lo requieran. Una buena plataforma para proporcionar la tolerancia en la medición de calidad de energía es la establecida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, para cada uno de los parámetros mencionados en este capítulo.

La normalización de la calidad de la energía eléctrica, requiere entonces de un programa continuo de análisis de la información proporcionada por los equipos de medición, y ésta debe ser validada con la disciplina que exige la metrología en las grandes redes eléctricas.

Con el deseo de mejorar la explicación de lo antes expuesto, se elabora una medición de calidad de energía eléctrica, la cual se presenta a manera de ejemplo en el apéndice 1. De tal forma que la empresa telecomunicaciones pueda utilizarla como principio para la protección de la red de HFC.

CONCLUSIONES

1. A partir del funcionamiento de la red de HFC, descrito en este trabajo de graduación, el punto de medición de la calidad de energía eléctrica, es en la acometida de las fuentes de voltaje.
2. Las protecciones para los equipos electrónicos de CATV utilizados en la red de HFC son los supresores de picos, el sistema masa-tierra y los denominados *tranponders*, los cuales no protegen la red contra las anomalías en la señal de tensión.
3. Los parámetros en media y baja tensión utilizados por la empresa que suministra el servicio de energía eléctrica en Guatemala, con el fin de determinar la calidad de la potencia eléctrica, se clasifican en tres áreas específicas: la estabilidad de la tensión, la continuidad en el servicio y la distorsión de la forma de onda de tensión.
4. Los parámetros de la calidad de la potencia eléctrica, en los cuales se basa la empresa de Energía Eléctrica de Guatemala, son los establecidos en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, decretadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
5. A través de la encuesta realizada al Departamento de Operaciones y Mantenimiento de la empresa de Telecomunicaciones de Guatemala S.A. se determinó que el costo de los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC averiados debido a la no calidad de la energía eléctrica durante el período 2008 – 2010 es de Q. 3 871 566,08.

6. El mantenimiento predictivo es el procedimiento adecuado e indispensable para el análisis de fallas y la reducción de costos en los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC.
7. Los fenómenos provocados por las irregularidades en la señal de tensión van en aumento conforme se conectan más usuarios a la red de energía eléctrica.
8. Las perturbaciones mostradas en el estudio de calidad de energía eléctrica, ocasionan serios daños a los equipos electrónicos de CATV de la red de HFC.
9. La diferencia entre la calidad y la no calidad de la energía eléctrica será establecida por medio de un programa continuo de análisis en las mediciones realizadas periódicamente a la red de HFC; con base en la normalización de los equipos de medición, la capacitación del personal y el uso correcto de la metrología.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario efectuar estudios de calidad de energía eléctrica frecuentes a la red de HFC, con el fin de detectar lo antes posible cualquier deformación en la señal de tensión.
2. Con el costo total invertido de Q. 3 871 566,08 por el cambio directo de los equipos electrónicos de CATV de la red HFC averiados debido a la no calidad de la energía eléctrica, se debe tomar en cuenta que esta cantidad se podría invertir en la capacitación del personal para realizar estudios de calidad de energía, la compra de equipos de medición de energía eléctrica y la aplicación del mantenimiento predictivo propuesto.
3. Es indispensable que se inicie con el mantenimiento predictivo propuesto en este trabajo de graduación, para realizar el análisis de fallas debidas a las deformaciones en la señal de tensión, con el fin de mantener la continuidad en los servicios prestados por la red de HFC.
4. Un estudio de calidad de energía eléctrica como el realizado, debe tener una metodología que incluya la medición de todos los parámetros presentados y un personal altamente capacitado para el análisis predictivo de fallas, ya que estas mediciones se realizan cuando toda la red está en servicio.

5. Todos los puntos de conexión entre la red de energía eléctrica y las redes de HFC están a la intemperie, de tal forma que el equipo de medición utilizado para el estudio de calidad de energía debe contar con esta característica, ya que el tiempo que dura una medición depende de los parámetros que se estén midiendo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALPHA TECHNOLOGIES. *Manual del operador y técnico: fuentes de poder ininterrumpibles*. EEUU: Alpha Technologies, 2001. 70 p.
2. *Armónicos causas y efectos*. [en línea] http://www.leonardo-energy.org/espanol/lee-guia_calidad/Guia%20Calidad%203-1%20Armonicos.pdf. [Consulta: 22 de marzo de 2011].
3. BLAKE, Roy. *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. 2a ed. Thomson. 985 p. [en línea] http://books.google.com.gt/books?id=53i69LV2ETsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r#v=onepage&q&f=false [Consulta: 13 de agosto de 2010].
4. *Calidad de la energía eléctrica: camino a la normalización*. [en línea] http://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S5/SM2008-S5B2-1188.pdf. [Consulta: 13 de noviembre de 2011].
5. CICIORA, Walter, et al. *Modern cable television technology*. 2a ed. San Francisco: Elsevier, 2004. 772 p.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución*. [en línea] Artículos 1 al 33. <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/>. [Consulta: 25 de febrero de 2011].

7. EEGSA. *Normas para acometidas de servicio eléctrico*. [en línea]
<http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2004/061-2004.pdf>.
[Consulta: 10 de agosto de 2011].
8. Motorola. *Manual de operación e instalación: SG4000 nodo óptico modular*. EEUU: Motorola, 2009. 113 p.
9. _____. *Broadband Convergence: Módulo 1 Redes de HFC*. EEUU: Motorola, 2001. 470 p.
10. Raycap Corporation. *Manual: Application and Installation Guidelines*. Atenas Grecia: Raycap Corporation, 2010. 27 p.
11. _____. *Manual: Introduction to Strikesorb & Rayvoss Technology*. Atenas Grecia: Raycap Corporation, 2010. 75 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Estudio de calidad de energía eléctrica de un sistema trifásico**

En el capítulo cinco se establecieron los parámetros que deben medir los equipos de calidad de energía eléctrica, así como las características que se deben observar en la señal de tensión, y en el capítulo tres se determinaron los rangos de medición establecidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con el fin de crear los criterios al momento de realizar una medición y considerar de esta manera si la calidad de energía es buena o no.

El estudio de calidad de energía eléctrica que a continuación se presenta es de un sistema trifásico en el cual se muestra la medición de cada una de las tres fases al mismo tiempo. El equipo de calidad de energía eléctrica utilizado es el Dranetz, el cual cumple con todas las características mencionadas, realiza la medición en tiempo real y es reconocido en diferentes partes del mundo, ya que también cumple con los estándares europeos de medición.

Cabe mencionar que este equipo no es para utilizarlo en intemperie, ya que la conexión entre el punto de entrega de energía y la red de HFC es externa de 120 voltios, es por ello que se deben utilizar equipos para intemperie que cumplan con las características que el Dranetz posee. También es importante observar, que si bien la medición realizada en este estudio de calidad de energía es trifásica, el equipo toma cada fase de 120 V, en el sistema y muestra su medición de manera individual. Es por ello el Dranetz se puede utilizar para realizar mediciones monofásicas de 120 V.

Continuación del apéndice 1.

DIAGRAMA DE TIEMPO DE VOLTAJE

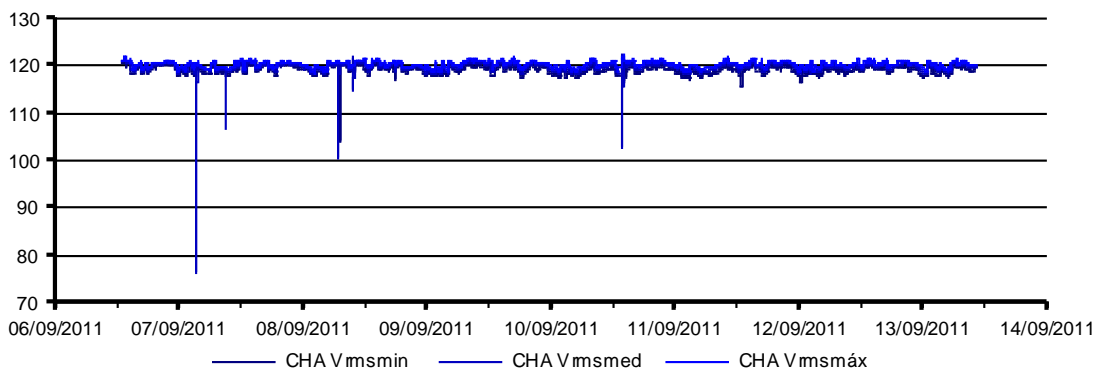
p. 1.

Nombre del sitio: Central Parroquia, septiembre 2011

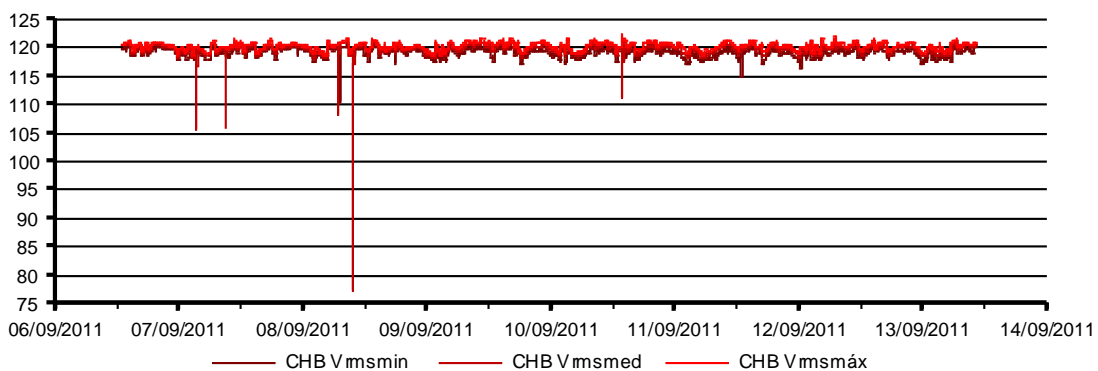
Encuesta por: Daniel Alvarado Equipo utilizado: Dranetz

DIAGRAMA DE TIEMPO DE VOLTAJE DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA
13/09/2011 10:15:01

FASE "A"

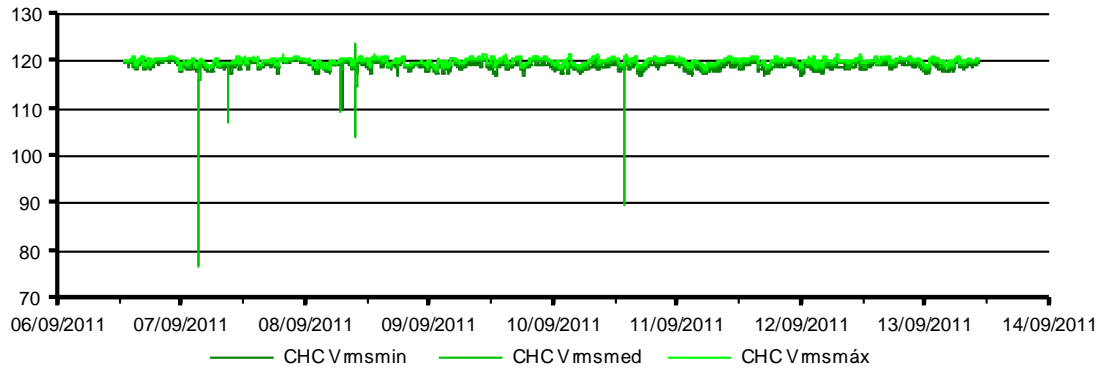


FASE "B"



Continuación del apéndice 1.

FASE "C"



En las tres gráficas anteriores se muestra el tiempo total de la medición por cada fase, asimismo, se indican los eventos en la señal de voltaje ocurridos durante la medición.

DIAGRAMAS DE LA ACTIVIDAD

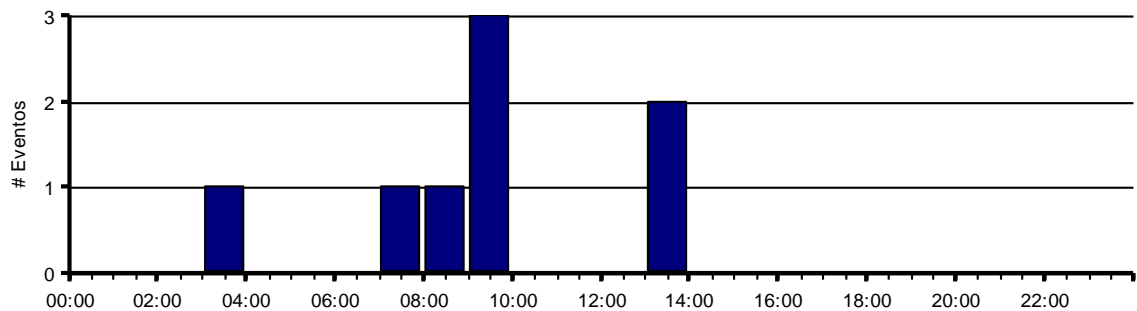
p. 2.

Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

EL VOLTAJE SAGS DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



Continuación del apéndice 1.

EL VOLTAJE SWELLS DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011
10:15:01

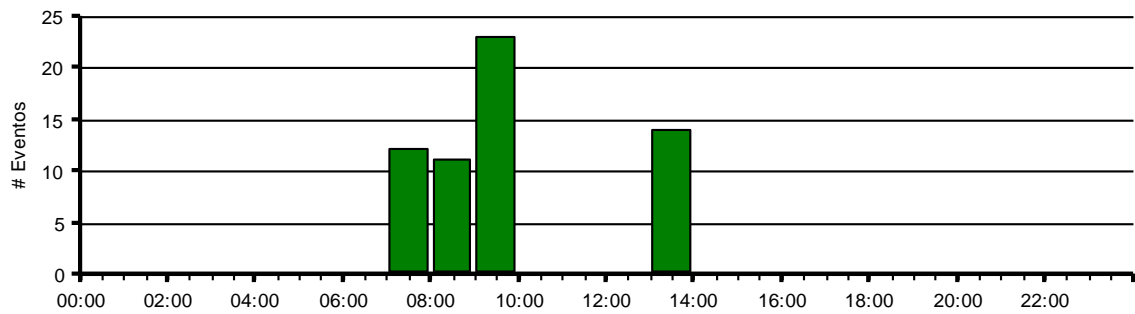
NO SE ENCONTRÓ NINGÚN EVENTO EN ESTA CATEGORÍA

INTERRUPCIONES DEL VOLTAJE DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA
13/09/2011 10:15:01

NO SE ENCONTRÓ NINGÚN EVENTO EN ESTA CATEGORÍA

Continuación del apéndice 1.

TRANSIENTES DEL VOLTAJE DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA
13/09/2011 10:15:01



En los diagramas de la actividad anteriores se muestra la medición de los fenómenos con los cuales se determina la estabilidad en la señal de tensión, la continuidad en el servicio y la distorsión de la forma de onda de tensión. Mostrando el momento en el cual ocurrieron los fenómenos como lo son los sags, swells interrupciones de voltaje y los voltajes transitorios.

Continuación del apéndice 1.

Continuación del apéndice 1.

EL RESUMEN DE LOS PEORES CASOS

p. 3.

Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado Equipo utilizado: Dranetz

De 8 CAIDAS totales del VOLTAJE. El ocurrir desde 06/09/2011 12:40:02 hasta 13/09/2011 10:15:01

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
-----------	------	-----------	-------	------------

La magnitud más baja

A	INSTANTÁNEO	76.2Voltios, 0.150sec	07/09/2011	03:37:33.49
B	INSTANTÁNEO	77.3Voltios, 0.033sec	08/09/2011	09:35:28.15
C	INSTANTÁNEO	89.6Voltios, 0.025sec	10/09/2011	13:41:53.41
A	INSTANTÁNEO	100.5Voltios, 0.067sec	08/09/2011	07:01:04.96

La duración más larga

A	INSTANTÁNEO	76.2Voltios, 0.150sec	07/09/2011	03:37:33.49
A	INSTANTÁNEO	100.5Voltios, 0.067sec	08/09/2011	07:01:04.96
B	INSTANTÁNEO	104.1Voltios, 0.050sec	08/09/2011	09:19:27.75
C	INSTANTÁNEO	105.8Voltios, 0.042sec	08/09/2011	09:35:28.54

Continuación del apéndice 1.

Mayor pérdida de energía

A	INSTANTÁNEO	76.2Voltios, 0.150sec	07/09/2011	03:37:33.49
A	INSTANTÁNEO	100.5Voltios, 0.067sec	08/09/2011	07:01:04.96
B	INSTANTÁNEO	104.1Voltios, 0.050sec	08/09/2011	09:19:27.75
C	INSTANTÁNEO	105.8Voltios, 0.042sec	08/09/2011	09:35:28.54

Como se puede observar de las 8 caídas en el voltaje instantáneo la magnitud más baja ocurrió en la fase "A" el día 07/09/2011 con 76.2 voltios que tuvo una duración de 0,15 segundos.

De 0 AUMENTOS totales del VOLTAJE. El ocurrir desde 06/09/2011 12:40:02 hasta 13/09/2011 10:15:01

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
------------------	-------------	------------------	--------------	-------------------

De 0 INTERRUPCIONES totales del VOLTAJE. El ocurrir desde 06/09/2011 12:40:02 hasta 13/09/2011 10:15:01

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
------------------	-------------	------------------	--------------	-------------------

De 60 TRANSIENTES totales del VOLTAJE. El ocurrir desde 06/09/2011 12:40:02 hasta 13/09/2011 10:15:01

Continuación del apéndice 1.

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
-----------	------	-----------	-------	------------

La magnitud más grande

A	INSTANTÁNEO	1673.5Vpk	08/09/2011	09:35:28.56
A	INSTANTÁNEO	1121.3 Vpk	10/09/2011	13:41:53.44
B	INSTANTÁNEO	537.9 Vpk	08/09/2011	07:01:04.99
C	INSTANTÁNEO	166.7 Vpk	08/09/2011	09:35:28.57

En la medición no ocurrieron interrupciones ni aumentos de voltaje, solo existieron transitorios, en los que la fase “A” tiene la mayor magnitud de 1 673.5 voltios pico.

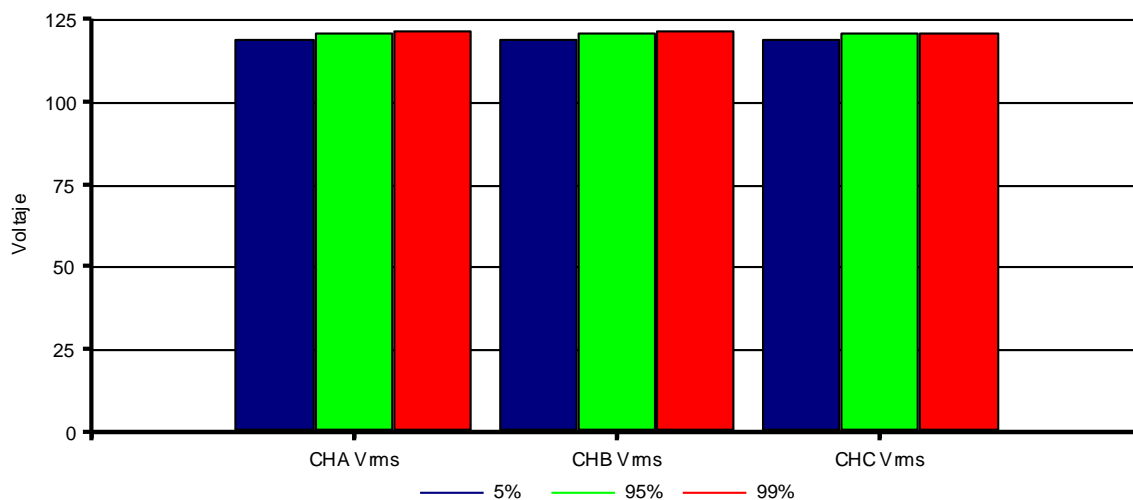
CALIDAD DE LA FUENTE SUMARIOS

p. 4.

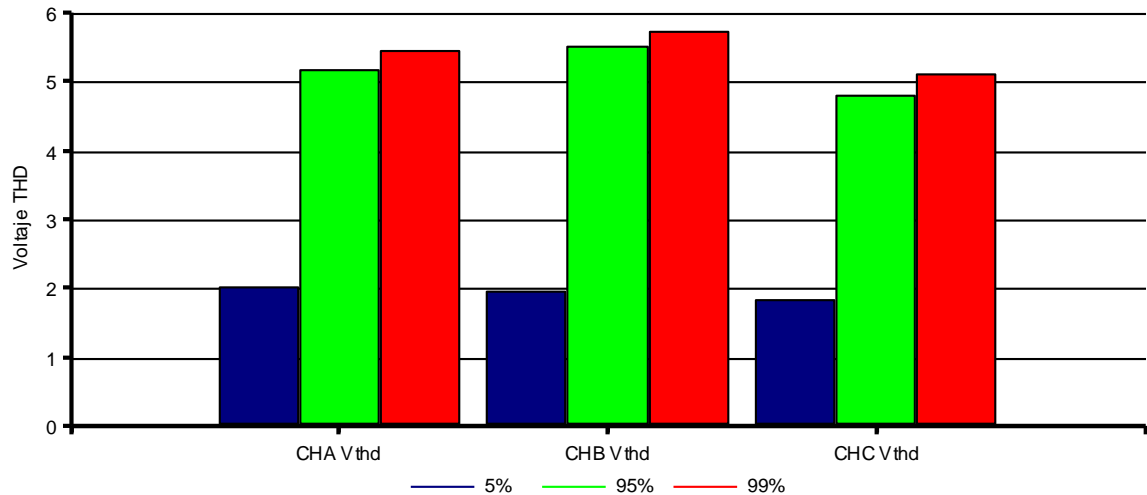
Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz



Continuación del apéndice 1.

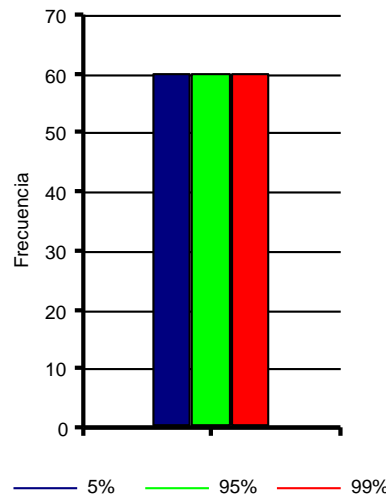
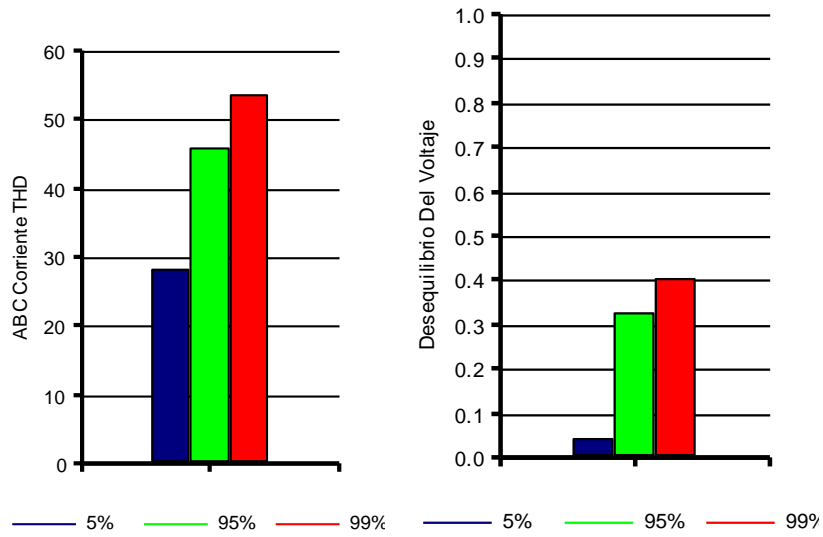


En la primera gráfica se muestra que el voltaje eficaz en las tres fases al 5% de la medición se mantuvo en 121 voltios. Luego el 95% de la medición el voltaje se mantuvo en 123 V y por último al 99% estuvo en 124 V por fase.

En la segunda gráfica se muestra la distorsión armónica total del voltaje, con una probabilidad de 5% de existencia de armónicos de segundo orden en cada fase. Asimismo, se muestran el 95 y el 99% de probabilidad ocurrencia de armónicos de tercer y quinto orden respecto al voltaje.

En las gráficas siguientes se muestra la probabilidad de ocurrencia de armónicos en la corriente, así como el desequilibrio máximo de 0,4 en el voltaje al 99% de la medición y la medición de un parámetro que debe ser constante en todo sistema de energía eléctrica como es la frecuencia a 60 Hz.

Continuación del apéndice 1.



Continuación del apéndice 1.

INFORME SUMARIO DEL VOLTAJE MÍN/MÁX/MEDIO

p. 5.

Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

	Canal A	Canal B
Min V	103.9 en 08/09/2011 07:10:00	110.4 en 08/09/2011 07:10:00
Max V	122.3 en 10/09/2011 13:50:00	122.4 en 10/09/2011 13:20:00
Med V	119.9	119.9

	Canal C
Min V	109.7 en 08/09/2011 07:10:00
Max V	121.6 en 10/09/2011 13:50:00
Med V	119.7

INFORME SUMARIO DE CORRIENTE MÍN/MÁX/MEDIO

Nombre del sitio: Central Parroquia

	Canal A	Canal B
Min I	100.1 en 08/09/2011 07:10:00	140.2 en 11/09/2011 13:00:00
Max I	375.2 en 06/09/2011 13:30:00	385.5 en 06/09/2011 13:30:00
Med I	198.2	204.3

	Canal C
Min I	34.6 en 09/09/2011 23:30:00
Max I	147.2 en 10/09/2011 11:00:00
Med I	62.8

Continuación del apéndice 1.

INFORME DE LA POTENCIA MIN/MAX/MED

p. 6.

Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

	A	B	C	ABC		
Min kW	18.1	19.5	4.2	41.8	en 06/09/2011	21:10:00
Máx kW	34.5	41.4	12.9	88.8	en 07/09/2011	04:40:00
Med kW	23.5	24.6	6.3	53.8		
Min kVA	21.5	22.0	6.4	51.9	en 07/09/2011	01:30:00
Máx kVA	37.6	43.4	13.8	94.8	en 07/09/2011	04:40:00
Med kVA	27.5	27.5	9.0	63.2		
Min kVAR	10.7	10.0	3.2	24.1	en 07/09/2011	01:30:00
Máx kVAR	19.8	17.7	7.5	44.0	en 09/09/2011	09:50:00
Med kVAR	14.2	12.9	4.9	31.3		
Min FP	0.826	0.871	0.645	0.786	en 11/09/2011	13:30:00
Máx FP	0.949	0.963	0.943	0.943	en 07/09/2011	04:40:00
Med FP	0.865	0.893	0.734	0.823		
Acumulativa						
Energía	3308.96		3554.20	820.51	0.00	7683.56 (kWh)

Continuación del apéndice 1.

En las tablas anteriores se muestran las mediciones de los parámetros de voltaje, corriente, potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva y el factor de potencia. Determinándose que la fase “B” es la que tiene mayor carga. Continuación del apéndice 1.

Como se puede observar en la fase “B” el voltaje mínimo es de 110,4 V pero consume una corriente mínima de 140 amperios llegando hasta una máxima de 385,5 amperios, de tal manera que el sistema no está balanceado en cuanto a carga se refiere. Por tal razón la fase “B” necesita una mayor potencia para suministrar a las cargas asignadas a ella.

RESUMEN ARMÓNICO

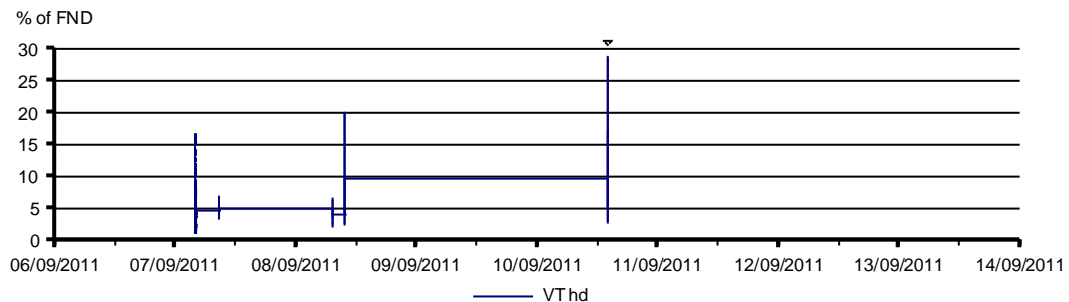
p. 7.

Nombre del sitio: Central Parroquia

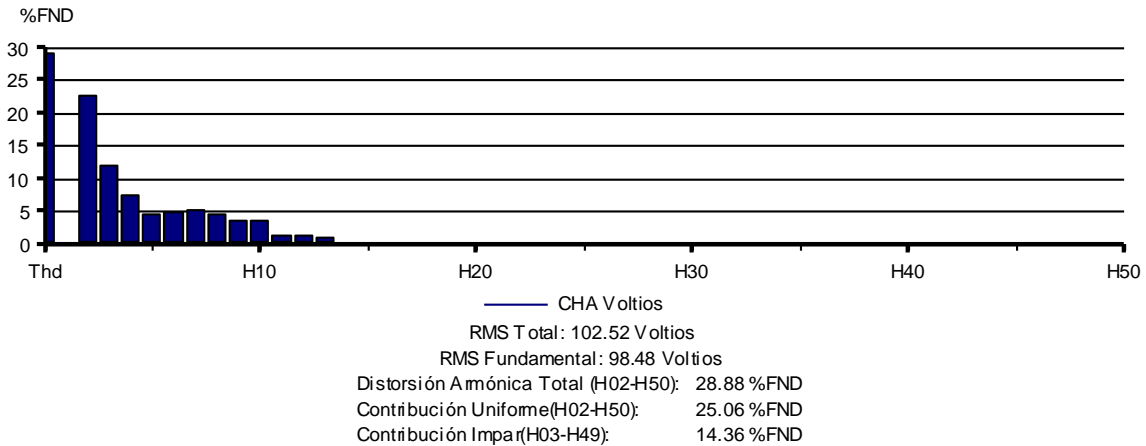
Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

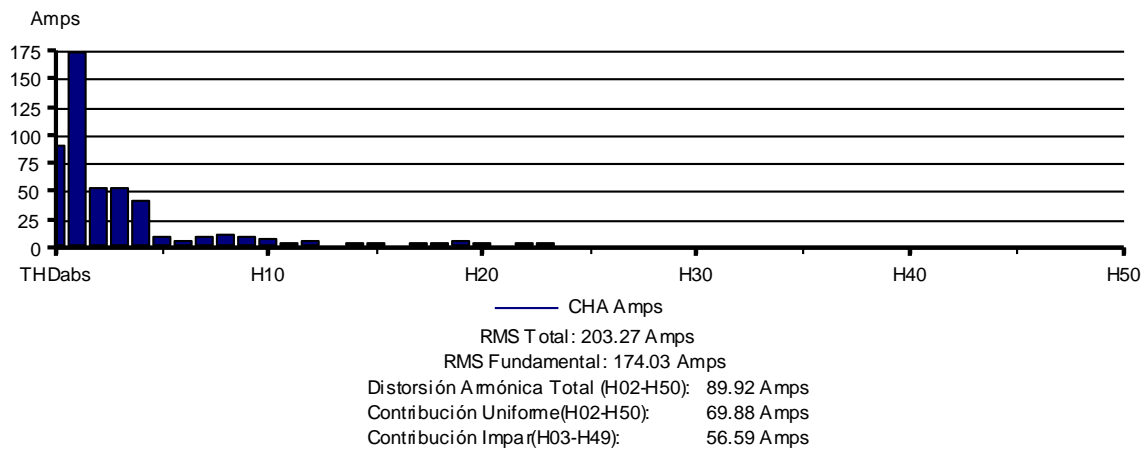
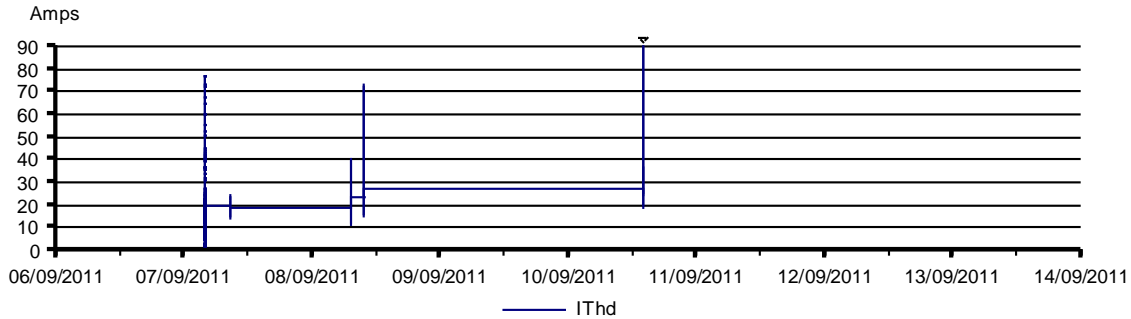
FASE A - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO
DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



Continuación del apéndice 1.



FASE A - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



Continuación del apéndice 1.

Para la fase "A" se tiene un voltaje eficaz de 102,52 V. con respecto al voltaje fundamental de 98,48 V. Así mismo se tiene una distorsión armónica total en la señal de voltaje del 28.88% con respecto al valor del voltaje fundamental, medido desde el armónico 2 hasta el 50. La medición duró 166 horas aproximadamente. Tomando en cuenta los rangos establecidos en el capítulo tres el 5% del período de medición (siete días) para este estudio equivale a 8,3 horas en las cuales no se sobrepasa el 8% de la distorsión armónica total. Con lo cual se determina que la calidad de la energía respecto a este fenómeno es buena. Lo mismo sucede con las dos fases que se presentan a continuación.

RESUMEN ARMÓNICO

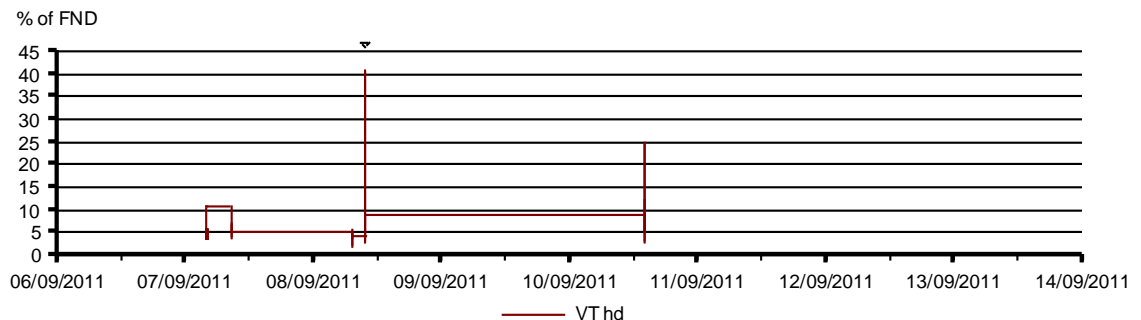
p. 8.

Nombre del sitio: Central Parroquia

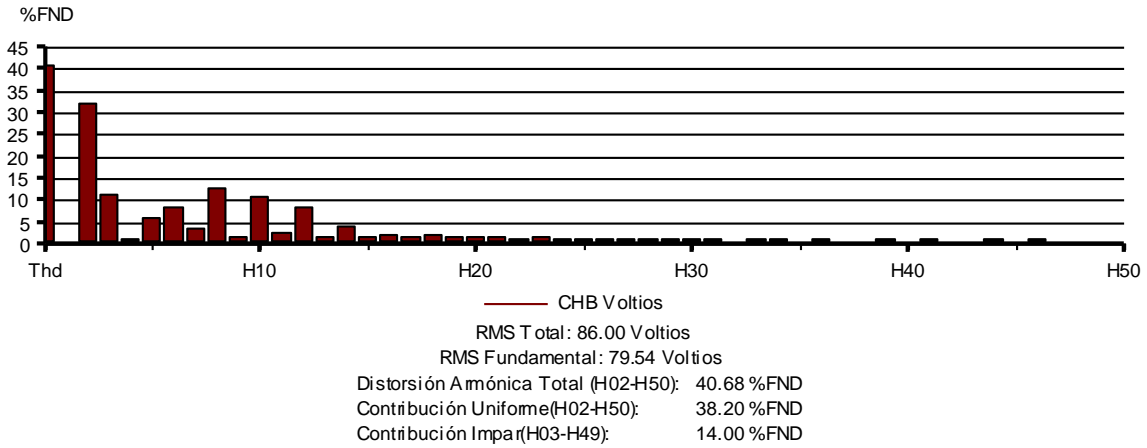
Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

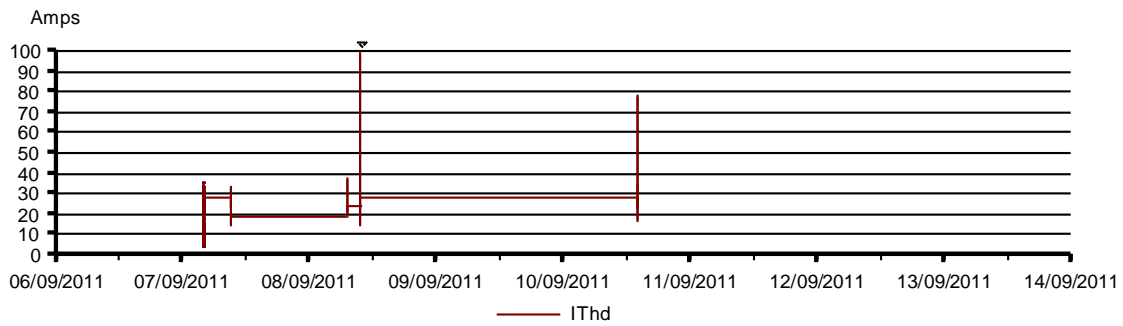
FASE B - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



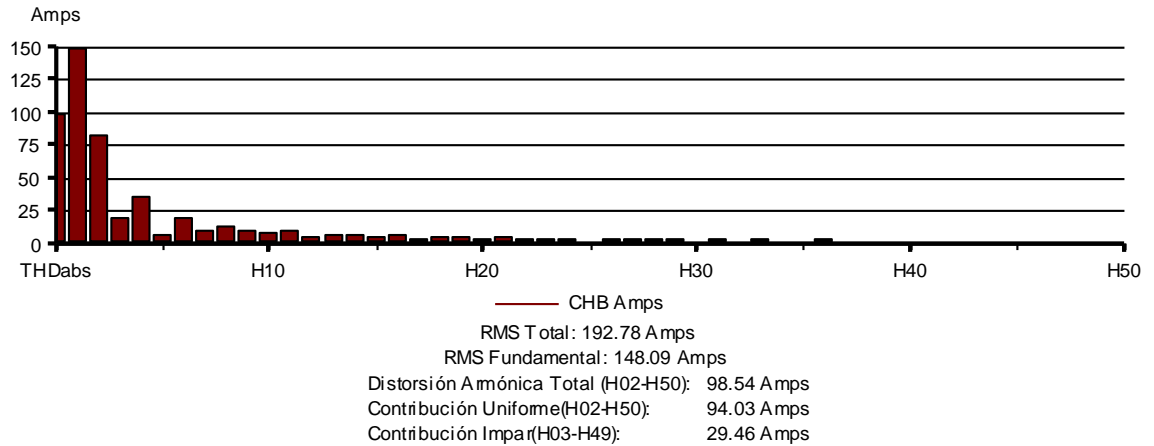
Continuación del apéndice 1.



FASE B - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



Continuación del apéndice 1.



RESUMEN ARMÓNICO

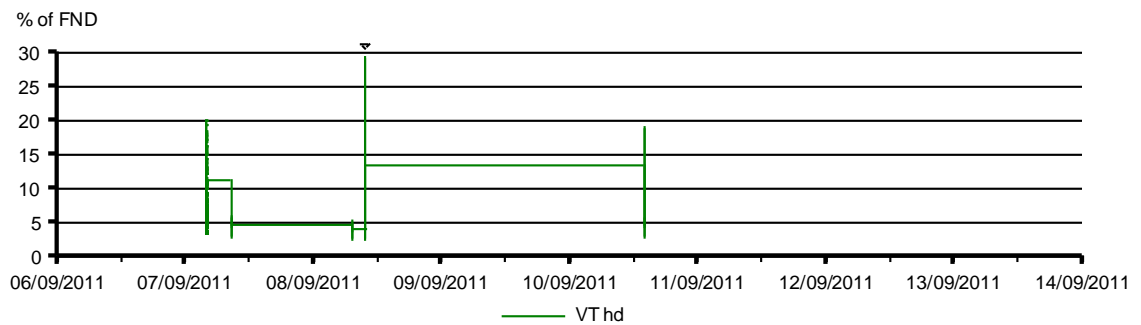
p. 9

Nombre del sitio: Central Parroquia

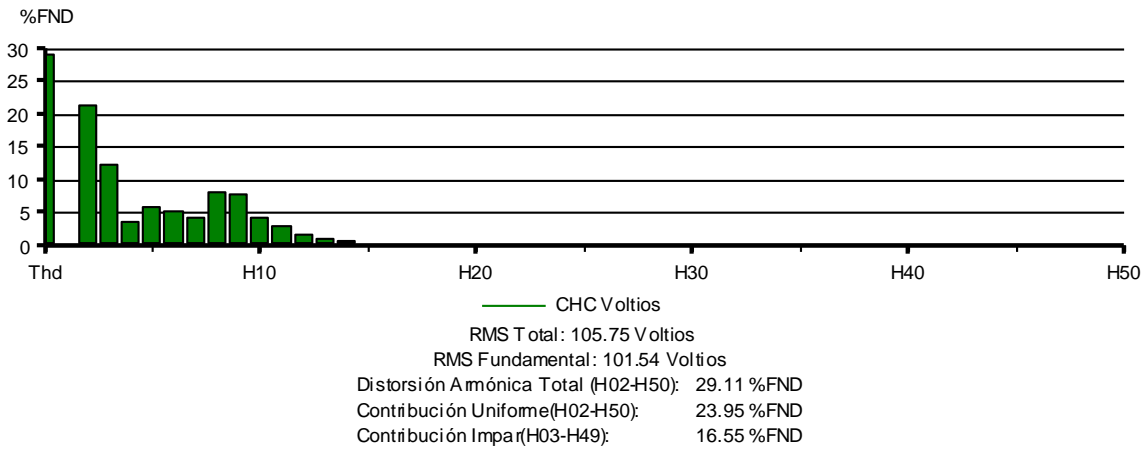
Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

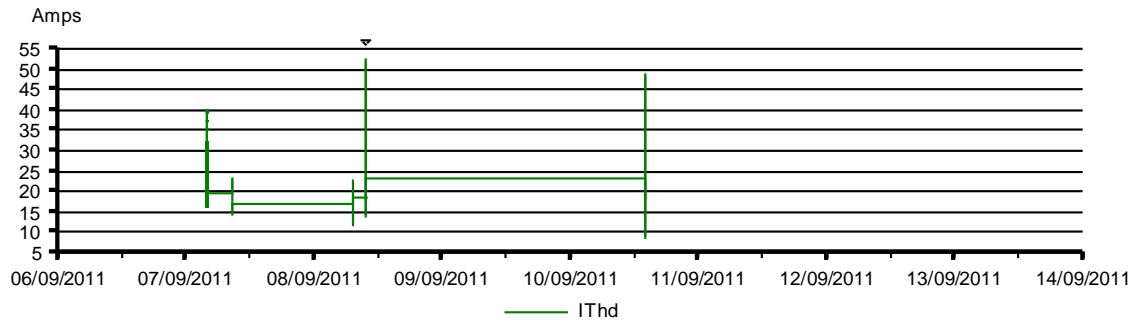
FASE C - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



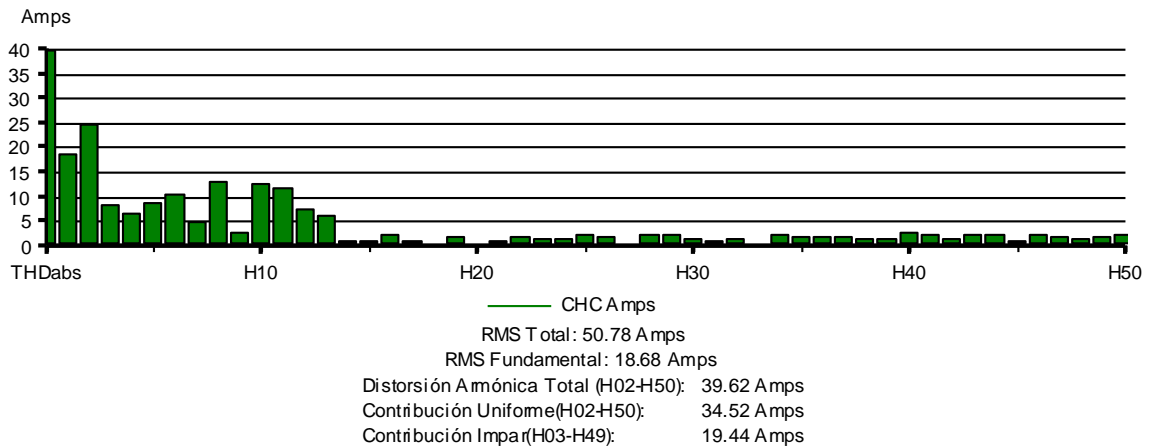
Continuación del apéndice 1.



FASE C - DIAGRAMAS ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DESDE 06/09/2011 12:40:02 HASTA 13/09/2011 10:15:01



Continuación del apéndice 1.



Si bien se determina que la calidad de la energía en cuanto a la distorsión armónica de la tensión es buena, se puede instalar filtros de armónicos o transformadores que eliminen este fenómeno.

A continuación se presenta el listado de algunos de los eventos que ocurrieron en la medición, en los que se muestra la magnitud de los parámetros como los sag instantáneos, los transitorios de voltaje y el voltaje instantáneo, medidos en cada fase del sistema. También indica el voltaje pico a pico y el desfase que existe de una fase de voltaje a la otra.

Continuación del apéndice 1.

LISTA DE EVENTOS

p. 10

Nombre del sitio: Central Parroquia

Encuesta por: Daniel Alvarado

Equipo utilizado: Dranetz

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 01	07/09/2011 03:37:33	AVrms BVRms CVrms	Instantaneous Sag

CATEGORÍA: Sag Instantánea de la duración corta

AV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

AV Magnitud: 76.2 Voltios

Duración: 0.150 sec (9.03 cicl)

BV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

BV Magnitud: 105.4 Voltios

Duración: 0.150 sec (9.03 cicl)

CV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

CV Magnitud: 76.6 Voltios

Duración: 0.150 sec (9.03 cicl)

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 02	07/09/2011	BVInst Mild Bipol Trans Pos 1/16	Transient
	08:40:50		

CATEGORÍA: Transiente impulsivo (duración del microsegundo)

BV Magnitud: 6.0 Voltios

BV Peor Fase: 128 deg

10%: Amp I=-129.802, offset 8668.8 usec

50%: Amp I=-129.802, offset 8668.8 usec

90%: Ampl=-131.643, rise 5754.8 usec

Worst Peak-to-Peak=5.96516

# 03	07/09/2011	BVInst Mild Bipol Trans Pos 1/8	Transient
	08:40:50		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del nanosegundo)

BV Magnitud: 4.7 Voltios

10%: Ampl=-112.418, offset 22213.4 usec

50%: Ampl=-112.418, offset 22213.4 usec

90%: Ampl=-112.418, rise 0.0 usec

Worst Peak-to-Peak=4.70396

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 04	07/09/2011	AVInst Mild Bipol Trans Pos 1/4	Transient
	08:40:50		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del microsegundo)

AV Magnitud: 18.6 Voltios

AV Worst Phase: 65 deg

10%: Ampl=-93.768, offset 11336.1 usec

50%: Ampl=-93.768, offset 11336.1 usec

90%: Ampl=-95.8109, rise 2768.9 usec

Worst Peak-to-Peak=18.5561

# 05	07/09/2011	CVInst Mild Bipol Trans Pos 1/4	Transient
	08:40:50		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del nanosegundo)

CV Magnitud: 19.5 Voltios

CV Worst Phase: 30 deg

10%: Ampl=-52.4081, offset 15253.3 usec

50%: Ampl=-52.4081, offset 15253.3 usec

90%: Ampl=-52.4081, rise 0.0 usec

Worst Peak-to-Peak=19.4698

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 06	07/09/2011	AVrms BVRms CVrms	Instantaneous Sag
	08:40:50		

CATEGORÍA: Sag Instantánea de la duración corta

AV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

AV Magnitud: 106.1 Voltios

Duración: 0.033 sec (2.00 cicl)

BV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

BV Magnitud: 105.7 Voltios

Duración: 0.033 sec (2.00 cicl)

CV Umbral cruzado: 108.0 Voltios

CV Magnitud: 106.6 Voltios

Duración: 0.033 sec (2.00 cicl)

# 07	07/09/2011	AVInst Mild Bipol Trans Neg 1/8	Transient
	08:40:50		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del microsegundo)

AV Magnitud: 9.4 Voltios

AV Worst Phase: 31 deg

10%: Ampl=-55.2939, offset 9782.4 usec

50%: Ampl=-55.2939, offset 9782.4 usec

90%: Ampl=-55.2939, rise 1441.7 usec

Worst Peak-to-Peak=9.36318

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 08	07/09/2011 08:40:50	BVInst Mild Bipol Trans Neg 1/4	Transient

CATEGORÍA: Transient

BV Magnitud: 19.6 Voltios

BV Worst Phase: 10 deg

10%: Ampl=-7.77175, offset 3201.1 usec

50%: Ampl=-7.77175, offset 3201.1 usec

90%: Ampl=-7.77175, rise 464.3 usec

Worst Peak-to-Peak=19.5657

# 09	07/09/2011 08:40:50	BVInst Mild Bipol Trans Pos 1/16	Transient
-------------	--------------------------------------	---	------------------

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del nanosegundo)

BV Magnitud: 15.3 Voltios

BV Worst Phase: 343 deg

10%: Ampl=56.7543, offset 18652.5 usec

50%: Ampl=57.4019, offset 19336.7 usec

90%: Ampl=69.7413, rise 0.0 usec

Worst Peak-to-Peak=15.2708

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 10	07/09/2011 08:40:50	AVInst Mild Bipol Trans Pos 1/16	Transient

CATEGORÍA: Transient

AV Magnitud: 10.8 Voltios

AV Worst Phase: 148 deg

10%: Ampl=-68.7428, offset 15188.1 usec

50%: Ampl=-68.7428, offset 15188.1 usec

90%: Ampl=-68.7428, rise 6848.9 usec

Worst Peak-to-Peak=10.8272

# 11	07/09/2011 08:40:50	CVInst Mild Bipol Trans Pos 1/16	Transient
-------------	--------------------------------	---	------------------

CATEGORÍA: Transient

CV Magnitud: 11.2 Voltios

CV Worst Phase: 145 deg

10%: Ampl=-73.2417, offset 20595.5 usec

50%: Ampl=-73.2417, offset 20595.5 usec

90%: Ampl=-73.2417, rise 5863.5 usec

Worst Peak-to-Peak=11.184

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 12	07/09/2011 08:40:50	CVInst Mild Bipol Trans Neg 1/4	Transient

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del nanosegundo)

CV Magnitud: 13.9 Voltios

CV Worst Phase: 369 deg

10%: Ampl=-23.9706, offset 30954.3 usec

50%: Ampl=-23.9706, offset 30954.3 usec

90%: Ampl=-23.9706, rise 0.0 usec

Worst Peak-to-Peak=13.9118

# 13	07/09/2011 08:40:50	BVInst Mild Unipol Trans Neg 1/16	Transient
-------------	--------------------------------	--	------------------

CATEGORÍA: Transient

BV Magnitud: 21.5 Voltios

BV Worst Phase: 147 deg

10%: Ampl=67.4575, offset 9584.1 usec

50%: Ampl=67.4575, offset 9584.1 usec

90%: Ampl=67.4575, rise 6848.1 usec

Worst Peak-to-Peak=21.4746

Continuación del apéndice 1.

Evento	Fecha/Hora	Fases/Parámetro	Categoría
# 14	----- 08/09/2011	CVInst Mild Bipol Trans Neg 1/16	Transient
	----- 07:01:04		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del microsegundo)

CV Magnitud: 13.4 Voltios

CV Worst Phase: 123 deg

10%: Ampl=122.035, offset 11206.3 usec

50%: Ampl=122.035, offset 11206.3 usec

90%: Ampl=122.035, rise 5672.3 usec

Worst Peak-to-Peak=13.3663

# 15	----- 08/09/2011	AVInst Mild Bipol Trans 1/4	Transient
	----- 07:01:04		

CATEGORÍA: Transient impulsivo (duración del microsegundo)

AV Magnitud: 22.7 Voltios

AV Worst Phase: 51 deg

10%: Ampl=-101.974, offset 2352.5 usec

50%: Ampl=-101.974, offset 2352.5 usec

90%: Ampl=-101.974, rise 2352.5 usec

Worst Peak-to-Peak=22.744

Continuación del apéndice 1.

Como se observó, el equipo de medición de calidad de energía eléctrica mide todos los parámetros necesarios para la realización de este estudio. A continuación se muestra en tablas el resumen de la medición con las cuales el equipo determina la fase con el peor rendimiento.

GENERAL							
Fase	Fichero:	P	Irms	Q	PF	Vmax	
	central Parroquia sep 2011_00.D	DBV	A	kVAR		V	
A		34.5	375.2	19.8	0.83	122.3	
B		41.4	385.5	17.7	0.87	122.4	
C		12.9	147.2	7.5	0.64	121.6	
D		0.0	0.1	0.0	-0.00	0.2	

ABC Tot	88.8	0.0	44.0	0.79	0.0		
---------	------	-----	------	------	-----	--	--

Voltaje (valores máximos)										
Fase	V2	V3	V5	V7	V11	V13	Vthd*		Vthd abs	
	%	%	%	%	%	%	%	Tiempo	V	Tiempo
A	22.8	14.1	5.7	5.1	4.7	1.7	28.9	10/09/2011 13:41:53	28.4	10/09/2011 13:41:53
B	26.5	16.0	9.1	6.8	6.0	2.5	39.1	08/09/2011 09:35:28	28.6	08/09/2011 09:35:28
C	21.2	14.8	6.4	8.2	2.9	2.7	29.1	08/09/2011 09:35:28	29.6	08/09/2011 09:35:28
D										

Corriente (valores máx en %es de FND)						
Fase	I2	I3	I5	I7	I11	I13
	%	%	%	%	%	%
A	94.4	55.9	30.0	23.2	8.0	4.5
B	139.4	59.4	38.4	29.1	23.1	9.0
C	132.1	60.0	73.9	52.5	74.8	32.3
D						

* El canal peor Vdat es gris marcado

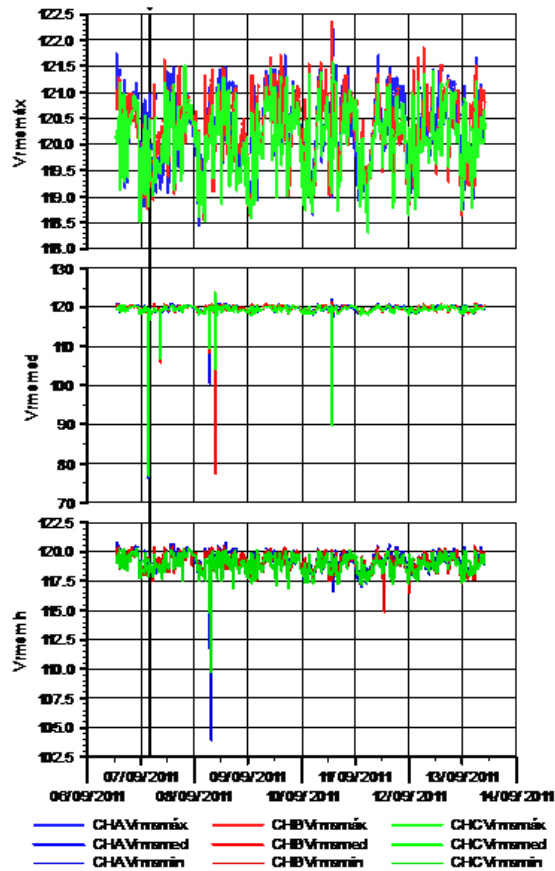
Corriente (valores máx)									
Fase	FND	I2	I3	I5	I7	I11	I13	ITHD abs	
	A	A	A	A	A	A	A	A	Tiempo
A	275.6	69.7	52.7	28.4	15.7	7.1	6.7	89.9	10/09/2011 13:41:53
B	254.5	82.5	35.3	33.6	22.4	12.6	7.1	98.5	08/09/2011 09:35:28
C	77.4	24.7	27.5	15.8	16.1	22.9	8.2	48.6	10/09/2011 13:41:53
D									

Continuación del apéndice 1.

Como se observa de las tablas la fase “B” tiene el mayor consumo de corriente debido al desbalance de cargas que existe en el sistema. Tiene los valores tanto en corriente como en el voltaje con respecto a las otras dos fases.

A continuación se muestra una gráfica en la cual se indica la distorsión de la forma de tensión al momento de la medición. La señal de tensión graficada es la del voltaje eficaz máximo, medio y mínimo de las tres fases.

Distorsión de la Onda de Tensión Armónicos

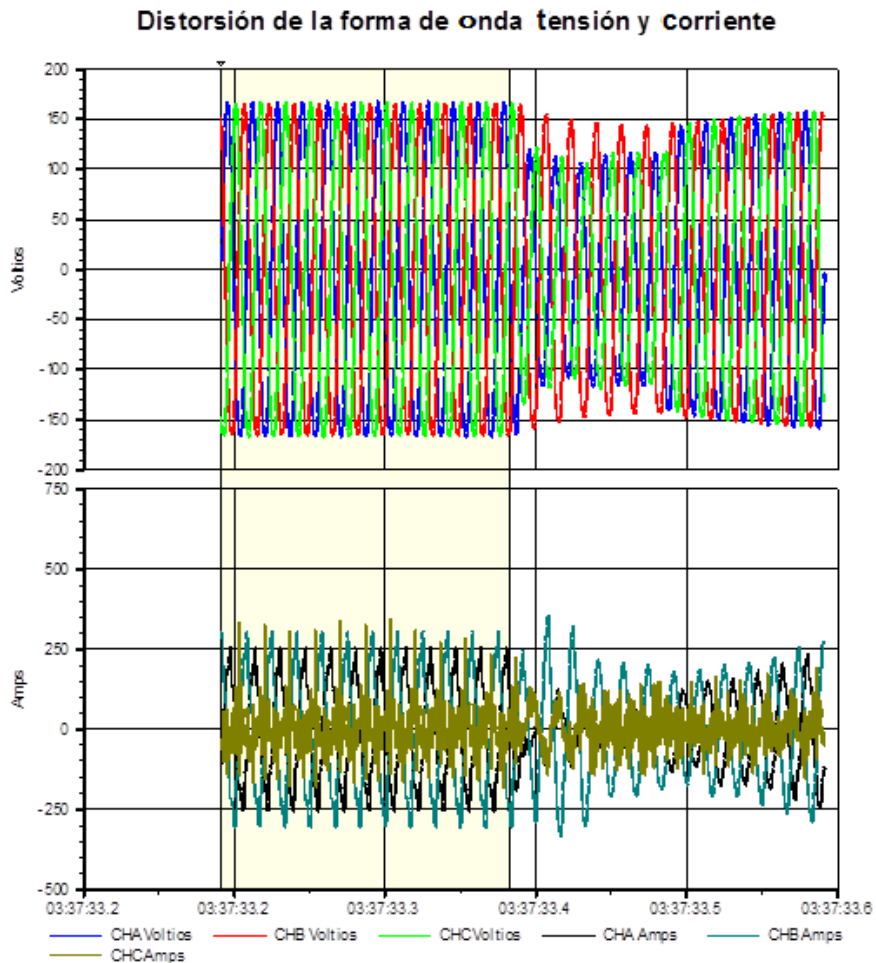


	Máx
CHA V _{rms máx}	122.26
CHB V _{rms máx}	122.37
CHC V _{rms máx}	121.59
CHA V _{rms med}	122.22
CHB V _{rms med}	121.33
CHC V _{rms med}	123.96
CHA V _{rms mín}	120.50
CHB V _{rms mín}	120.54
CHC V _{rms mín}	120.36

Continuación del apéndice 1.

Al momento de tomar la gráfica se muestra la deformación de la onda de tensión en cada fase, a partir del segundo día de medición.

En la gráfica se muestra como la señal de tensión en un momento determinado no es estable, produciéndose así las bajas tensiones conocidas como sags y que al principio del estudio se mostró que el equipo había indicado algunos eventos respecto de este fenómeno. También se muestra la deformación de la señal de corriente en las tres fases.



Continuación del apéndice 1.

Las distorsiones mostradas en las dos gráficas anteriores son las que ocasionan graves daños a los equipos electrónicos de CATV de la red HFC.

Razones para mantener la calidad de la energía eléctrica bajo control en las redes de HFC

En la actualidad no existe un concepto unificado sobre la calidad de la energía eléctrica a nivel mundial, debido a que muchas organizaciones le han dado diferentes interpretaciones. Para definir la calidad de la energía eléctrica, primero se debe comenzar con un proceso sistemático y continuo para evaluar comparativamente el producto suministrado del servicio eléctrico. El cual consiste en tomar comparadores de los servicios y procesos de trabajo que pertenezcan a organizaciones que evidencien las mejores prácticas en cuanto a mediciones de calidad de potencia eléctrica. Esta es la totalidad de las características técnicas y administrativas relacionadas a la distribución, transmisión y generación de la energía eléctrica que le otorgan su aptitud para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, las razones para mantener la energía eléctrica bajo control son:

- Tipo de carga actual
- Procesos industriales críticos
- Pérdidas de producción
- Operaciones erráticas de los equipos de la red eléctrica y de carga
- Envejecimiento acelerado de los equipos
- Fallas de equipos

Continuación del apéndice 1.

- Pérdida de información

Razones para estudiar la calidad de la energía eléctrica en la red de HFC

La principal razón para estudiar la calidad de la energía eléctrica, es conocer los requerimientos de calidad de las cargas actuales y detectar anticipadamente las posibles fallas en la red. Así mismo predecir:

- Pérdidas eléctricas
- Incrementos de riesgos eléctricos
- Reducción de los costos de operación de la red de HFC
- Crecimiento de la red
- Detectar la operación errónea de equipos electrónicos de la red
- Incremento de la susceptibilidad de sistema de HFC
- Reducción de la vida útil de los equipos electrónicos de CATV
- Mejorar la protección de la red de HFC

Síntomas típicos atribuibles de la no calidad de la potencia eléctrica

Entre los síntomas típicos atribuibles a la no calidad de la potencia eléctrica destacan:

- Operación errónea de los equipos electrónicos de CATV
- Equipos quemados
- Disminución de la vida útil de los equipos
- Corrientes en conductores de tierra
- Daños asociados a transferencias red – planta

Continuación del apéndice 1.

- Fallas en UPS al hacer transferencias.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Encuesta dirigida al Departamento de Operaciones y
Mantenimiento de la empresa de Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MÉCANICA ELÉCTRICA**

No. de boleta: _____

INSTRUCCIONES:

Conteste las siguientes preguntas marcando con una x, o escribiendo la respuesta que considere la adecuada para cada uno de los enunciados que a continuación se presentan (sea lo más objetivo posible).

1. ¿En qué sectores de la ciudad capital realiza el mantenimiento de la red de HFC? Puede seleccionar más de dos opciones.

- a. Don Justo
- b. Lourdes
- c. Vista Hermosa
- d. El Carmen
- e. Villa de Guadalupe
- f. Utatlán
- g. Villa Nueva
- h. Tívoli

Continuación del apéndice 2.

De acuerdo a los equipos marca Motorola instalados en la red Híbrida Fibra-Coaxial (HFC) en el período 2008 – 2010:

2. ¿Cuál de los equipos activos de la red de HFC ha fallado con mayor frecuencia?

- a. Receptor óptico
- b. Amplificador
- c. Fuente de Voltaje
- d. Ninguno

3. Indique la causa por la cual los equipos activos de la red de HFC se han averiado con mayor frecuencia:

- a. Fallas propias del equipo
- b. Instalación no adecuada
- c. No calidad de la energía eléctrica
- d. Cambios de temperatura
- e. Otras, especifique _____

De los equipos activos instalados en la red de HFC, durante el período 2008 – 2010.

Continuación del apéndice 2.

4. ¿Cuántos se han averiado debido a causas propias del equipo? Indicar cantidad estimada:

- | | Cantidad |
|-------------------------------|----------|
| a. Receptores ópticos (nodos) | _____ |
| b. Amplificadores | _____ |
| c. Fuentes de voltaje | _____ |

5. ¿Cuántos equipos se han averiado debido a la no calidad de la energía eléctrica? Indicar cantidad estimada:

- | | Cantidad |
|-------------------------------|----------|
| a. Receptores ópticos (Nodos) | _____ |
| b. Amplificadores | _____ |
| c. Fuentes de Voltaje | _____ |

6. ¿Cuántos se han averiado debido a una instalación no adecuada? Indicar cantidad estimada:

- | | Cantidad |
|-------------------------------|----------|
| a. Receptores ópticos (nodos) | _____ |
| b. Amplificadores | _____ |
| c. Fuentes de voltaje | _____ |

Continuación del apéndice 2.

7. ¿Cuántos se han averiado debido a los cambios de temperatura? Indicar cantidad estimada:

	Cantidad
a. Receptores ópticos (nodos)	_____
b. Amplificadores	_____
c. Fuentes de voltaje	_____

8. ¿Con qué frecuencia realiza usted un cambio de receptor óptico?

- a. Una semana
- b. Un mes
- c. Un año
- d. Otros, indique _____

9. ¿Con qué frecuencia realiza usted un cambio de amplificador?

- a. Una semana
- b. Un mes
- c. Un año
- d. Otros, indique _____

Continuación del apéndice 2.

10. ¿Con qué frecuencia realiza usted un cambio de fuente de voltaje?

- a. Una semana
- b. Un mes
- c. Un año
- d. Otros, indique _____

11. Dentro del departamento ¿existe un procedimiento para el análisis de fallas en los equipos activos de la red?

- a. **Si**
- b. **No**
- c. **No se**

12. ¿Se le capacita a usted, para la identificación de fallas en los equipos activos de la red?

- a. **Si**
- b. **No**

13. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia a los equipos activos de la red de HFC?

- a. **Preventivo**
- b. **Correctivo**
- c. **Ambos**
- d. **Predictivo**

Continuación del apéndice 2.

14. ¿A qué parte de la red troncal de HFC se le da mayor mantenimiento?

- a. Receptores ópticos
- b. Amplificadores
- c. Fuentes de voltaje
- d. Ninguno
- e. Todos

¿Por qué? _____

15. ¿Se le realizan estudios de calidad de energía eléctrica a la red de HFC?

- a. **Si**
- b. **No**

¿Por qué? _____

¡Gracias por su colaboración!

Fuente: elaboración propia.