



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL  
EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Otto David Rivas Luarca**

Asesorado por el M.A. Ing. Luis Ariel Rosales Ruíz

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL  
EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**OTTO DAVID RIVAS LUARCA**

ASESORADO POR EL M.A. ING. LUIS ARIEL ROSALES RUÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL  
EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

**Otto David Rivas Luarca**



**EEPFI-**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Otto David Rivas Luarca** carné número **200815379**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**LUIS ARIEL ROSALES RUIZ**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**  
**COL. No. 12535**

Mtro. Luis Ariel Rosales Ruiz  
Asesor(a)

Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0190-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Otto David Rivas Luarca**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.248.2022

La Decana 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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE DEGRADACIONES DE LA SEÑAL EN LOS CANALES ASCENDENTES DE LA RED HFC DE UN OPERADOR DE CABLE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Otto David Rivas Luarca**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mis padres** David Rivas y Sandra Luarca, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi vida.
- Mis hermanos** Jonathan y Emanuel Rivas, por su apoyo y compañía durante este camino.
- Mi esposa** Jessieca Mejía, pilar fundamental, apoyo incondicional y el amor de mi vida.
- Mi hijo** Esdras Rivas, por hacerme el padre más orgulloso del mundo al tener un niño extraordinario.
- Mis amigos** Por el apoyo moral que me han brindado a lo largo de mi carrera universitaria.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el <i>alma mater</i> me inculcó el sentido de responsabilidad social que debemos a nuestro amado país Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme la oportunidad de vivir 5 años en sus aulas, en las cuales crecí, me formé, y desarrollé vínculos para toda mi vida.
<b>Mis catedráticos</b>	Quienes comparten sin recelo su conocimiento y experiencias que me han brindado hoy en día, valiosas herramientas para desempeñarme como buen profesional.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por animarnos unos a otros a nunca rendirnos para alcanzar esta meta.
<b>Mi esposa e hijo</b>	Quienes también con su sacrificio, tiempo, paciencia, comprensión y amor, me animaron constantemente a seguir adelante. Este triunfo es de ustedes.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Especificación del problema .....	9
3.2. Delimitación del problema .....	10
3.3. Pregunta principal de investigación .....	10
3.3.1. Preguntas complementarias de investigación .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN .....	17
6.1. Esquema de solución .....	17
6.2. Ubicación del área y lugar de estudio.....	20

7.	MARCO TEÓRICO .....	21
7.1.	Red HFC .....	21
7.1.1.	Componentes de una red HFC.....	23
7.1.1.1.	Cabecera.....	23
7.1.1.2.	Troncal .....	24
7.1.1.3.	Distribución.....	24
7.1.1.4.	Acometida .....	24
7.1.2.	Estándar DOCSIS .....	25
7.1.2.1.	Evolución de DOCSIS .....	27
7.2.	Canales de transmisión.....	27
7.2.1.	Espectro de RF .....	28
7.2.2.	Ancho de canal.....	28
7.2.3.	Métodos de acceso .....	28
7.2.4.	Modulación .....	29
7.3.	Degradaciones de RF .....	29
7.3.1.	Atenuación .....	30
7.3.2.	Distorsión de retardo .....	30
7.3.3.	Ruido .....	30
7.3.4.	Degradaciones de la señal ascendente .....	30
7.4.	Sistemas automatizados y gestión de red.....	31
7.4.1.	Requerimientos de la gestión de red.....	32
7.4.1.1.	Gestión de rendimiento .....	32
7.4.1.2.	Gestión de fallos.....	33
7.4.2.	Gestión de red SNMP .....	34
7.4.3.	DOCSIS PNM.....	36
7.4.3.1.	Pre-ecualización DOCSIS .....	36
7.4.3.1.1.	Tap de Pre-ecualización .....	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	43

9.	METODOLOGÍA.....	45
9.1.	Diseño de la investigación .....	45
9.2.	Paradigma de la investigación.....	46
9.3.	Enfoque de la investigación.....	46
9.4.	Población de estudio y muestra.....	47
9.5.	Técnicas de la investigación.....	48
9.6.	Instrumentos de recolección de datos .....	48
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	49
11.	CRONOGRAMA.....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	53
13.	REFERENCIAS.....	55



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de la solución .....	19
2.	Ubicación del área de estudio .....	20
3.	Arquitectura de red CATV Tree-and-Branch .....	22
4.	Arquitectura de red HFC .....	22
5.	Componentes de la cabecera .....	23
6.	Componentes de la red HFC.....	25
7.	Red DOCSIS.....	26
8.	Tipos de degradación que afectan una red HFC.....	31
9.	Arquitectura de gestión SNMP .....	35
10.	Señal en un medio ruidoso sin pre-ecualización .....	38
11.	Señal en un medio ruidoso con pre-ecualización.....	38
12.	Arquitectura conceptual de DOCSIS 24- <i>Tap</i> .....	40
13.	Valores de potencia en <i>taps</i> pre-ecualizadores .....	41

## TABLAS

I.	Evolución de DOCSIS.....	27
II.	Requerimientos de gestión para DOCSIS 3.0.....	34
III.	Tamaño de la muestra .....	47
IV.	Cronograma de actividades .....	51
V.	Costos del estudio.....	53



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>dB</b>	Decibel
<b>Hz</b>	Hertz
<b>kHz</b>	Kilohercio
<b>MHz</b>	Megahercio
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzales





## GLOSARIO

<b>Ascendente</b>	Es la dirección de transmisión de la señal de RF desde el suscriptor hacia la cabecera.
<b>Cabecera</b>	Sitio central que se utiliza para recibir, procesar y combinar las señales que se transmiten por una red de cable.
<b>Cable módem</b>	Equipo modulador-demodulador del suscriptor destinado para la transmisión de datos en un sistema de televisión por cable.
<b>Cable modem</b>	El sistema de terminación de módem de cable es un equipo que se encuentra en la cabecera de una red HFC; y permite la conectividad de datos hacia una red de área amplia.
<b>Canal</b>	Espacio en el espectro electromagnético donde se transmiten señales de radiofrecuencia.
<b>CATV</b>	Televisión de Antena Comunitaria.
<b>CM</b>	<i>Cable Modem.</i>
<b>CMTS</b>	<i>Cable Modem Termination System.</i>

<b>Coeficiente</b>	Número complejo que establece la ganancia de cada <i>tap</i> en un ecualizador adaptativo.
<b>Descendente</b>	Es la dirección de transmisión de la señal de RF desde la cabecera hacia el suscriptor.
<b>Distorsión lineal</b>	Distorsión que ocurre cuando la respuesta general del sistema difiere de la respuesta deseada manteniendo una relación señal-distorsión lineal 1 a 1.
<b>Distorsión no lineal</b>	Distorsión causada por una combinación de señales no lineales en dispositivos activos y la compresión que ocurre cuando los niveles de salida de RF saturan el transmisor.
<b>DOCSIS</b>	<i>Data Over Cable Service Interface Specifications.</i>
<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction.</i>
<b>HFC</b>	<i>Hybrid Fiber/Coax.</i>
<b><i>Hybrid Fiber/Coax</i></b>	Sistema de transmisión bidireccional de banda ancha con una arquitectura de red que utiliza fibras ópticas entre la cabecera y los nodos, y cable coaxial entre los nodos y los abonados.
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things.</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol.</i>

<b>ISP</b>	<i>Internet Service Provider.</i>
<b>KPI</b>	<i>Key Performance Indicator.</i>
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network.</i>
<b>MER</b>	<i>Modulation Error Ratio.</i>
<b>MIB</b>	<i>Management information base.</i>
<b><i>Modulation error ratio</i></b>	Relación entre la potencia de símbolo media y la potencia de error media de una señal.
<b>Nodo óptico</b>	Equipo que sirve de interfaz entre una troncal de fibra y la red de distribución coaxial.
<b>OID</b>	<i>Object Identifier.</i>
<b>OYM</b>	Operación y Mantenimiento.
<b>PNM</b>	<i>Proactive Network Maintenance.</i>
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitude Modulation.</i>
<b>Radio Frecuencia</b>	Porción del espectro electromagnético que va desde 3 Hz hasta 300 GHz.
<b>RF</b>	Radio Frecuencia.

**SNMP**

*Simple Network Management Protocol.*

**SNR**

*Signal-to-Noise Ratio.*

**Tap pre-ecualizador**

Circuito que distorsiona la señal ascendente previo a su transmisión para compensar las deficiencias en la respuesta del canal.

**VOC**

*Video Operations Center.*

## RESUMEN

El presente trabajo plantea el diseño de investigación de la propuesta de un sistema automatizado de recolección y análisis de datos con enfoque en mejorar la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC de un operador de cable de la Ciudad de Guatemala.

Para abordar la problemática se trabajará en cinco fases que comprenden la revisión documental de los problemas en el canal ascendente de la red de cable y los sistemas automatizados para la detección de fallas, el diseño de red y la implementación de la plataforma automatizada de recolección y análisis de datos, el diagnóstico de la planta externa previo y posterior al despliegue de la solución, la elaboración del diseño de mantenimiento basado en la nueva herramienta, y por último el análisis de resultados del estudio.

Con la implementación del sistema automatizado para la detección de degradaciones en la red HFC se obtendrá una herramienta que garantizará la localización de problemas en el canal de retorno que actualmente no son visibles en los reportes de indicadores de rendimiento de red (KPI). Se tendrá mayor conocimiento del estado real de la planta externa, lo cual, permitirá al área de OYM elaborar estrategias de trabajo proactivo para solventar los inconvenientes de deterioro en la transmisión de la señal por medio de mantenimientos preventivos y predictivos.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación propone la implementación de un sistema automatizado para mejorar la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC de un operador de cable en la ciudad de Guatemala, el cual es una solución computarizada basada en el análisis de datos para predecir el deterioro de las señales en la red mediante la supervisión de los parámetros de RF que determinan el estado de los canales ascendentes.

La característica principal de las degradaciones en los canales ascendentes es que no todos los problemas son evidentes en un monitoreo convencional debido al ajuste de potencia de transmisión que realiza el cablemódem para compensar las pérdidas en el medio.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la propia pre-ecualización DOCSIS, pues esta función, aunque permite estabilizar la transmisión de la señal en un medio ruidoso, también engaña al sistema de monitoreo al reportar valores de SNR (*signal to noise ratio*) sin inconvenientes. Otra causa es que la monitorización actual del cable operador solo recolecta valores de SNR y no brinda otras métricas que permitan ampliar la información del estado de un canal.

La investigación de esta problemática se realiza por el interés profesional de conocer sobre tecnologías de análisis predictivo de datos que se están utilizando en la industria de las telecomunicaciones y su aplicación a la red HFC de la empresa cablera que se está estudiando. Su importancia radica en el establecimiento de indicadores de los parámetros de RF que se deben supervisar



para detectar canales deteriorados, y diseñar planes de mantenimientos preventivos y predictivos que permitan solucionar los problemas antes de que afecten al usuario final; como resultado del estudio se espera que la investigación aumente la detección de los canales ascendentes degradados en un 45 %.

La finalidad del desarrollo de este trabajo es diseñar la arquitectura de red adecuada para integrar la solución propuesta, implementar un software que automatice el análisis de los parámetros de RF que determinan el estado de los canales ascendentes de la red HFC para la detección temprana de fallas, y diseñar un plan de mantenimiento predictivo que mejore las condiciones operativas de la planta externa.

## 2. ANTECEDENTES

Las herramientas de diagnóstico en una red HFC han sido tradicionalmente parte de una metodología reactiva de reparación, donde se notifica al operador sobre problemas en su planta después de que el servicio para los suscriptores se haya visto afectado.

No obstante, en el año 2001 la especificación DOCSIS 1.1, implementó mecanismos que permitieron supervisar y garantizar la calidad del servicio en la transmisión de datos; y desde entonces diversos estudios se han realizado para explotar esta característica en todas las versiones posteriores del estándar.

Mejía, Garzón y Bedoya (2007), realizó una investigación sobre la utilización de datos recolectados desde los cable módems para monitorizar el estado de una red HFC. El aporte metodológico a la propuesta es un sistema de monitoreo basado en mediciones de parámetros de RF de los dispositivos de los clientes compuesto por 4 módulos para la adquisición de datos, detección de fallas, estructura de red y análisis de causa raíz. El resultado de este trabajo es una descripción del funcionamiento de cada módulo que compone la solución y las recomendaciones a tomar en cuenta para tener una buena aproximación del segmento de red donde se ha detectado una falla. Los métodos y herramientas utilizadas fueron la selección de un grupo significativo de clientes pertenecientes a un mismo nodo reportado con problemas y la realización de pruebas de funcionamiento de los módulos instalados para la solución.

Herrera, Vargas, y Micolini (2013), realizaron una investigación sobre el uso de mediciones en tiempo real para el diseño e implementación de un sistema de

anticipación de fallas para un ISP de banda ancha en redes HFC. El aporte metodológico a la propuesta es el diseño para crear un sistema de alertas tomando en cuenta: las necesidades del área técnica operativa, una arquitectura basada en el protocolo SNMP, un entorno de desarrollo de código abierto, la elección de los parámetros a monitorear y la definición de las métricas aceptables para el ISP. El resultado de este trabajo fue que el operador de cable obtuvo mayor visibilidad de los problemas en la red, facilitando la toma de decisiones para mejorar el rendimiento de los nodos. Los métodos y herramientas utilizadas fueron la entrevista a los técnicos e ingenieros de mantenimiento, así como consultas de fuentes bibliográficas como manuales, hojas de especificación de equipos y normas internacionales.

Volpe (2014) elaboró un artículo examinando la pre-ecualización DOCSIS como una funcionalidad potente que a menudo es infravalorada. El aporte metodológico a la propuesta es la arquitectura conceptual de los ecualizadores con sus 24 amplificadores, también llamados *tap*. El resultado de esta publicación es una investigación explicativa de esta función, ¿Qué es?, ¿Cómo funciona?, ¿Porque es útil?, y su uso como herramienta para solución de problemas e incentivo de buenas prácticas de mantenimiento en la industria del cable. Los métodos y herramientas utilizadas fueron la consulta de las especificaciones DOCSIS de CableLabs, pruebas sobre equipos CMTS CISCO, ARRIS y CASA, y la experiencia del autor como consultor de productos y servicios de tecnología.

ARRIS Enterprises Inc. (2015) elaboró un manual preparatorio para la certificación de conocimientos esenciales de DOCSIS. El aporte metodológico a la propuesta es un compilado de los fundamentos teóricos del funcionamiento de las redes HFC, estándares de comunicación y los problemas en los canales ascendentes. El resultado de este trabajo es un documento bibliográfico que detalla la modulación, procesamiento de señales, parámetros de RF, tipos de

degradación y técnicas para mitigar el ruido. Los métodos y herramientas utilizadas fueron la investigación de las especificaciones DOCSIS y la experiencia con la que cuenta la compañía dedicada a soluciones de red HFC, hoy en día conocida como CommScope Inc.

Grela (2016) hizo un estudio de la evolución de las redes de CATV hacia la transmisión de datos. El aporte metodológico a la propuesta es una comparativa de las tecnologías de CATV, HFC y la adopción del estándar DOCSIS en sus versiones 1.x, 2.0, 3.x, en donde se analiza las limitaciones de la planta externa, los cambios que se requieren en arquitectura de red debido al limitado ancho de banda ascendente y la hostilidad del medio en las frecuencias bajas. El resultado de publicación es un resumen bibliográfico donde se explica la implementación de nuevas modulaciones, métodos de corrección de errores y ampliación del espectro con el objetivo de brindar más y mejores servicios, manteniendo la calidad de la señal. Los métodos y herramientas utilizadas fueron principalmente la consulta de fuentes bibliográficas tales como: las especificaciones DOCSIS, libros y trabajos de investigación publicados en internet.

Arcom Digital (2016) realizó una publicación de las mejoras dramáticas que tuvo la red HFC de la empresa estadounidense Time Warner, por medio de mantenimientos predictivos. El aporte metodológico a la propuesta es una investigación cualitativa de los beneficios que obtuvieron al implementar el sistema de monitoreo y priorización de los mantenimientos predictivos; además de cuantificar los resultados obtenidos. El resultado de la investigación es un reporte en donde relaciona la reducción de las llamadas de servicio de los clientes, la disminución de mantenimientos reactivos y el aumento de los mantenimientos predictivos. Los métodos y herramientas usadas fueron la entrevista al personal técnico, los indicadores de llamadas recibidas por quejas y la cantidad de mantenimientos programados.

CableLabs (2016) realizó una recopilación de las mejores prácticas para la implementación de mantenimientos predictivos en redes HFC basadas en DOCSIS 3.0. El aporte metodológico a la propuesta es una investigación documental descriptiva para el desarrollo de estrategias de mantenimiento de la red bajo el marco de trabajo PNM (*Proactive Network Maintenance*); el cual nace en el año 2002, con la especificación DOCSIS 2.0 y la disposición de MIBs (*Management Information Base*) para la adquisición de mediciones vía SNMP de los coeficientes de pre-ecualización de los cable módem. El resultado de la investigación es una guía que destaca el valor de la comprensión de las distorsiones lineales, los deterioros aditivos de señal y su impacto en la red, para luego explicar la metodología PNM y la estructura a seguir para la captura de datos, mecanismos de calibración, localización de fallas, detección de distorsiones, entre otros. Los métodos y herramientas usadas fueron el aporte de las investigaciones y procesos desarrollados por parte de los miembros de la organización CableLabs.

Garrido (2017) desarrolló un trabajo en donde aborda el diagnóstico de fallos en redes HFC con el análisis de datos de pre-ecualización. El aporte metodológico a la propuesta es el uso de los mensajes de estado que se intercambian entre el CMTS y el CM para detectar elementos problemáticos en la planta externa. El resultado de esta investigación es un documento explicativo del proceso de pre-ecualización de los cable módem, la post-ecualización, la fijación de los coeficientes de ecualización, los límites en la compensación de potencia, los contadores estadísticos y el aprovechamiento de esta información recolectada mediante scripts de programación para la ubicación de inconvenientes que afectan a los servicios de los clientes. Los métodos y herramientas utilizadas fueron la investigación bibliográfica y la realización de experimentos para conocer la respuesta de las señales sobre canales ruidosos con la función de pre-ecualizar activada y desactivada.

Mahmood y Munir (2020) definen el mantenimiento predictivo como el monitoreo de equipos para evitar fallas futuras y tan pronto como el rendimiento de estos se degrade, entonces el mantenimiento es programado para evitar tiempos de inactividad. En su trabajo proponen la utilización de inteligencia artificial, redes neuronales y la aplicación de IoT para extender la aplicabilidad de los mantenimientos predictivos a la red de transporte, radios y obra civil.

Los mantenimientos predictivos de red están tomando mayor relevancia entre los cableoperadores y los está motivando a optar por marcos de trabajo proactivos que permitan atender los problemas desde antes que aparezcan, con el fin de ser más eficientes como área operativa y de garantizar la estabilidad de los servicios a los suscriptores mediante la implementación de herramientas de monitoreo y software de análisis de datos para la detección automática de fallas.



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se describen los aspectos de los problemas que se tienen para detectar degradaciones en la señal de los canales ascendentes de una red HFC.

#### 3.1. Especificación del problema

En la red HFC (*Hybrid Fiber-Coaxial*) de un operador de cable en la ciudad de Guatemala se presentan con recurrencia indicadores de bajo desempeño de red en los canales ascendentes que tienen niveles de SNR (*Signal to Noise Ratio*) o MER (*Modulation Error Rate*) inferior a los umbrales de operación óptima para la planta externa. Estos valores son monitoreados por un servidor, vía snmp, llamado NMIS (*Network Management Information System*) del cual el área de calidad de red de la empresa extrae reportes que envían al personal de OYM (Operación Y Mantenimiento) para la programación de los mantenimientos correctivos y preventivos de la red de cable.

Algunos problemas de degradación de la señal en los canales ascendentes no se detectan en los reportes de medición de SNR debido a que los CMTS (*Cable Modem Termination System*) y los CM (Cable Módem) cuentan con mecanismos de mitigación de ruido, tal como la pre-ecualización, por medio de la cual se garantiza la estabilidad temporal de la señal pero que a su vez oculta las fallas que eventualmente causarán inconvenientes mayores en los servicios de los clientes. Además, debido a que estos datos no son recolectados por el servidor snmp, no se tienen parámetros de referencia que alerten cuando una señal ha sido compensada para sobreponerse a las distorsiones del medio.



Los valores recomendados para supervisar el comportamiento de los CM en la ruta de retorno son: el coeficiente de ecualización, frecuencia central y el ancho de banda del canal, sin embargo, actualmente los *traps snmp* enviados por el CMTS no recogen estos valores. Por tal razón, no es posible determinar el estado real de la planta externa debido a la poca información que se obtiene del sistema de monitoreo y que de contarse con ella tampoco se tiene un software especializado que realice el análisis de la gran cantidad de datos recolectados.

Como consecuencia de la problemática expuesta, los planes de mantenimiento de la red HFC son en su mayoría correctivos y preventivos, los cuales implican mayor esfuerzo para que el área técnica pueda rastrear en cada elemento de la planta externa la causa raíz del deterioro de los canales ascendentes. Tampoco es posible programar mantenimientos predictivos ya que la identificación tardía de los problemas de ruido conlleva obligadamente a encarar de manera reactiva las degradaciones de señal.

### **3.2. Delimitación del problema**

Esta investigación se realizará en el departamento de proyectos regionales multimedia de una empresa operadora de cable localizada en la zona 8 de la ciudad de Guatemala, durante los meses de octubre del año 2021 a abril del año 2022.

### **3.3. Pregunta principal de investigación**

¿Cómo puede la implementación de un sistema automatizado mejorar la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC de un operador de cable en la ciudad de Guatemala?

### **3.3.1. Preguntas complementarias de investigación**

- ¿Cuáles son los requerimientos de red para integrar una solución de recolección y análisis de datos que automatice la detección de degradaciones en los canales ascendentes de la red HFC?
- ¿Cuál es el estado actual de los canales ascendentes de los nodos en la red del operador de cable?
- ¿Cómo mejorar las condiciones operativas de los canales ascendentes degradados en la red de cable?



## 4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo de graduación se justifica en la línea de investigación de telecomunicaciones de la Maestría en Ingeniería para la Industria con Especialidad en Telecomunicaciones, ya que su desarrollo se basa en conocimientos de diseño de red avanzado, gestión y monitoreo de red, y mantenimientos aplicados a la red HFC de una operadora de cable.

Hoy en día la forma en que se abordan los problemas de la planta externa de la red de cable es principalmente con mantenimientos correctivos y preventivos, los cuales implican desplegar personal técnico en campo para revisar cada una de las *etapas* que componen la red. Esto se debe a que el gestor de monitoreo actual solo mide el SNR y no brinda información suficiente que permita identificar la causa raíz del deterioro de las señales en la red.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de una solución para la detectar problemas no evidentes en los canales ascendente de la red HFC, el cual aportará al finalizar, un diseño de red adecuado para el despliegue de la solución propuesta, un software de recolección y análisis de datos que utilizará los parámetros de RF de los cable módems para conocer el estado del medio de transmisión, y el diseño de un plan mantenimiento predictivo para abordar tempranamente las degradaciones de la red de cable.

Lo anterior mencionado espera entregar un *dashboard* (tablero) con métricas, antes desconocidas, de la red de cable tales como: coeficiente de ecualización, frecuencia central, el ancho de banda del canal, y potencia de los CM, los cuales complementarán las mediciones de SNR que se obtienen del

monitoreo actual. El análisis computarizado de este conjunto de datos permitirá detectar degradaciones en la red cuyo origen sea la acometida del cliente, la red de distribución, o los elementos activos y pasivos que estén ingresando ruido al coaxial, para lo cual el sistema mostrará el listado de nodos ópticos afectados.

El resultado de la investigación beneficiará principalmente al área de OYM, permitiendo localizar más rápido los problemas en la planta externa y focalizar los esfuerzos requeridos en una sección específica de la red, que como consecuencia le ayudará a reducir los costos de mantenimiento. También, el centro de operaciones de video (VOC, *Video Operations Center*) tendrá mayor visibilidad del estado de la red de cable, permitiendo escalar de manera oportuna los casos detectados de canales ascendentes deteriorados.

Finalmente, el mayor favorecido será el cliente; pues tendrá mayor estabilidad en el servicio de internet y se atenderán los problemas detectados antes de que el suscriptor los perciba, dando como resultado una mayor satisfacción del servicio brindado por el operador de cable. La implementación de este proyecto espera impactar en las decisiones gerenciales para motivar la inversión en tecnologías y soluciones de mantenimiento predictivo, por las ventajas operativas que permiten garantizar la estabilidad de los servicios ofrecidos.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Implementar un sistema automatizado para mejorar la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC de un operador de cable en la Ciudad de Guatemala.

### **5.2. Específicos**

- Diseñar la arquitectura de red para la implementación de una plataforma automatizada de recolección y análisis de datos para la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC.
- Diagnosticar las causas del deterioro de la señal en los canales ascendentes de los nodos en la red del operador de cable aplicando el sistema automatizado para el análisis de los parámetros de RF monitorizados.
- Diseñar un plan de mantenimiento predictivo que mejore las condiciones operativas de los canales ascendentes degradados en la red de cable.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

El presente estudio consiste en la implementación de un sistema automatizado para mejorar la detección de degradaciones de la señal en los canales ascendentes de la red HFC, con lo cual se busca cubrir la necesidad de conocer el estado real de la planta externa, identificar los servicios con problemas que no son percibidos en los reportes de KPI, y desarrollar estrategias bajo un marco proactivo de trabajo que permitan reducir las actividades correctivas y enfocar el esfuerzo en mantenimientos preventivos y predictivos.

Al aumentar la capacidad de detección del sistema de gestión de fallas se tendrá como consecuencia positiva la mejora en la calidad del servicio brindado a los clientes, pues los problemas se atenderán antes de que sean percibidos. Es por ello de suma importancia realizar esta investigación para determinar las condiciones que permitan obtener un beneficio competitivo, mediante la adopción de una plataforma de monitoreo y análisis de datos a la red del cable operador.

### **6.1. Esquema de solución**

El esquema de la solución a este problema se divide en las siguientes fases.

La primera fase consiste en la revisión documental y definición de los parámetros de RF que deben monitorizarse en el sistema de gestión, tomando como referencia bibliografía respecto a la funcionalidad de pre-ecualización y DOCSIS PNM.



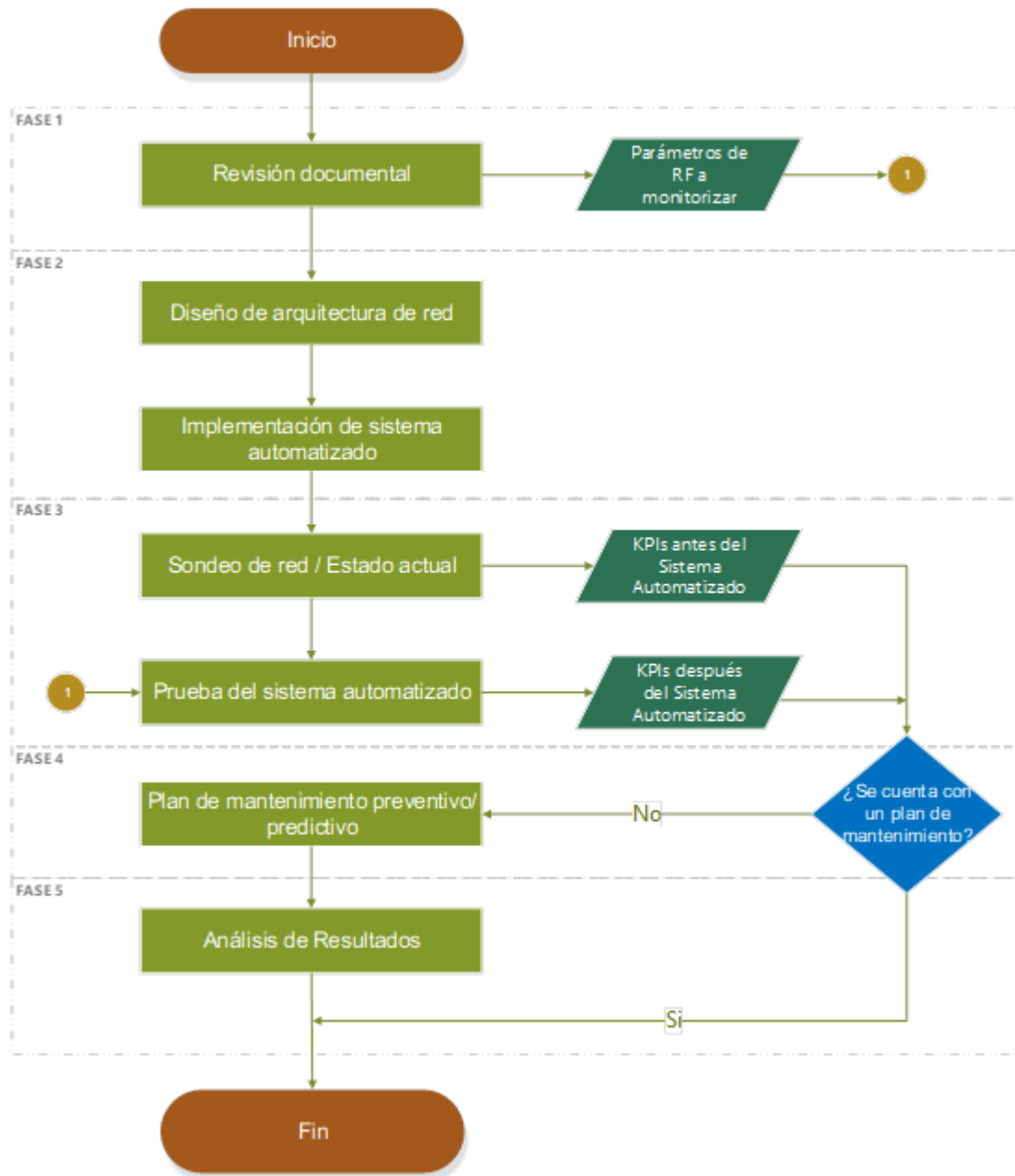
La segunda fase es el diseño de la arquitectura de red e implementación del sistema automatizado que realizará el análisis de todos los datos que se recolectarán. Es decir, dimensionamiento de los recursos de red, habilitación de hardware, instalación de software, licencias, transporte IP y protocolos de comunicación.

La tercera fase consiste en realizar un sondeo de la red para cuantificar los canales ascendentes degradados que son detectados por el actual gestor de monitoreo y luego correr una prueba del nuevo sistema de detección para evaluar la cantidad de potenciales fallas que logra visualizar la solución. Es decir, obtener los datos del antes y después de la herramienta.

La cuarta fase implica diseñar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo que permita solventar los problemas identificados por el sistema automatizado.

Y finalmente, en la quinta fase se realizará el análisis de los resultados obtenidos.

Figura 1. Esquema de la solución

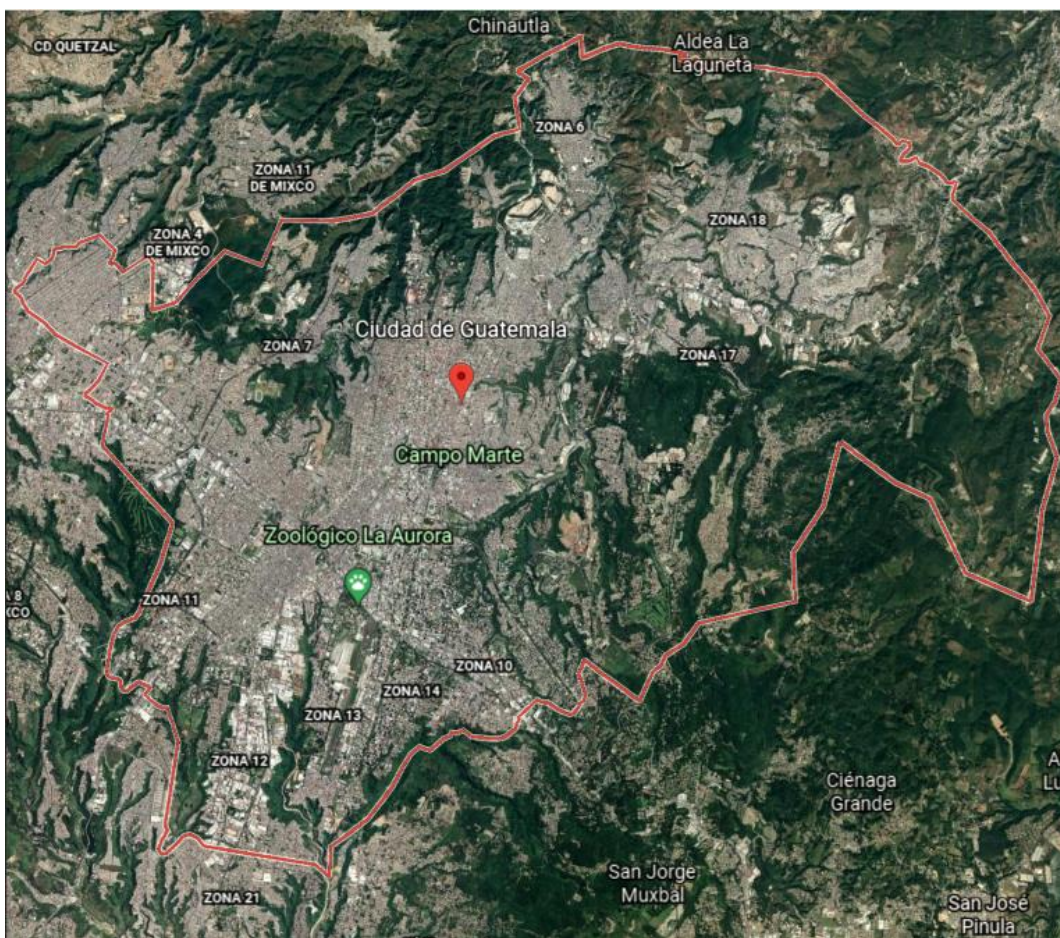


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

## 6.2. Ubicación del área y lugar de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala.

Figura 2. Ubicación del área de estudio



Fuente: Google Earth (2021). Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <https://goo.gl/maps/4WQcEGhPQhqPc7E87>.

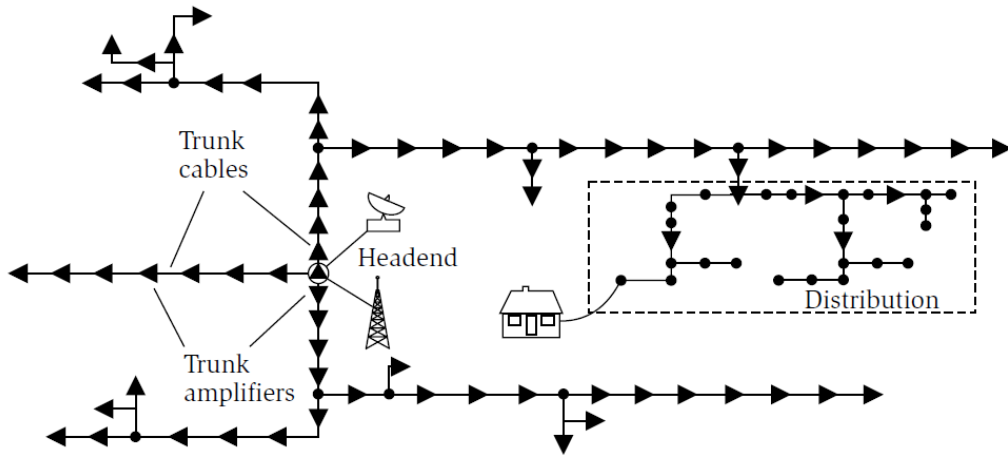
## **7. MARCO TEÓRICO**

Este capítulo está dirigido a presentar la base teórica en materia de las redes HFC, los canales ascendentes, las degradaciones de RF, los sistemas de gestión y monitoreo, y la automatización del análisis de datos.

### **7.1. Red HFC**

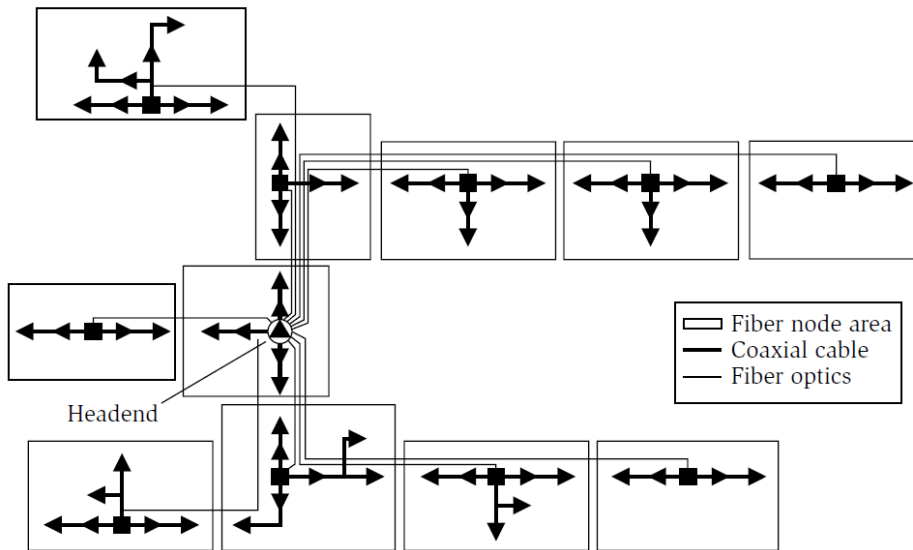
Una red híbrida fibra-coaxial (HFC), es un sistema de banda ancha bidireccional que utiliza enlaces de fibra óptica y cable coaxial para el transporte de servicios de televisión, internet, telefonía y multimedia; esta es la evolución de los antiguos sistemas CATV, televisión de antena comunitaria, los cuales eran redes en su totalidad coaxial y unidireccionales. Con la introducción de la fibra óptica, esta arquitectura de red logró acortar las distancias cubiertas por el cobre, habilitó la comunicación en dos vías, y redujo los problemas de mantenimiento que se tenían debido a la gran cantidad de amplificadores en cascada que deterioraban la señal. (Grela, 2016, pp. 55-56)

Figura 3. **Arquitectura de red CATV Tree-and-Branch**



Fuente: Ciciora, Large, Farmer y Adams (2004). *Modern cable television technology*.

Figura 4. **Arquitectura de red HFC**



Fuente: Ciciora, Large, Farmer y Adams (2004). *Modern cable television technology*.

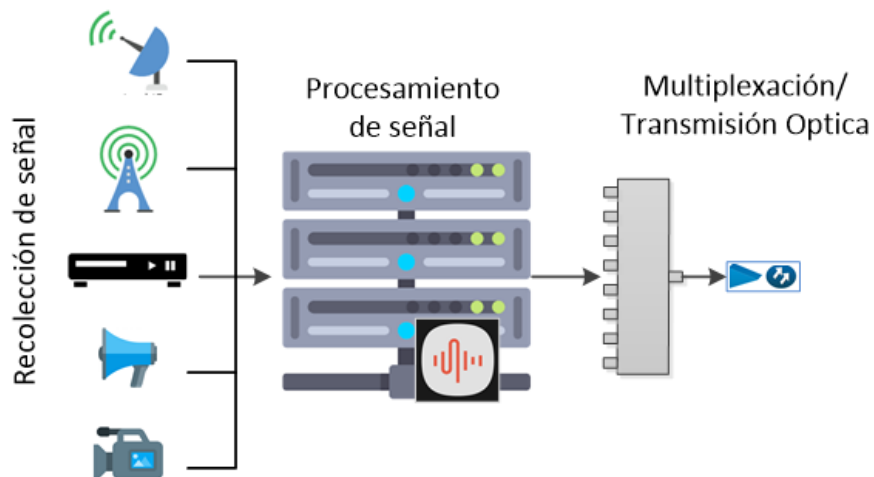
### 7.1.1. Componentes de una red HFC

A continuación, se presentan los elementos que componen una arquitectura de red HFC.

#### 7.1.1.1. Cabecera

La cabecera o *Head-End* es la ubicación central en la red de cable que tiene la función de recibir, procesar y combinar las señales de RF que transportan video y datos hacia los suscriptores u otras cabeceras. Dispone de equipo electrónico encargado del manejo de señales analógicas y digitales, tales como, decodificadores, moduladores, multiplexores, combinadores, transmisores ópticos, entre otros (Ciciora, Large, Farmer y Adams, 2004).

Figura 5. Componentes de la cabecera



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

### **7.1.1.2. Troncal**

Son enlaces de fibra óptica que permiten interconectar la cabecera con los nodos ópticos. Usualmente estos enlaces llegan a puntos intermedios de distribución de señal conocidos como cabeceras locales, *hubs* o *videohubs*. La red troncal fue la que permitió la evolución de las prestaciones de la red CATV al reducir las extensas cascadas de amplificadores, y que, junto con mejoras a los elementos en la línea coaxial primaria y secundaria, habilitó la comunicación en la vía de retorno. (Grela, 2016, pp. 56-57)

### **7.1.1.3. Distribución**

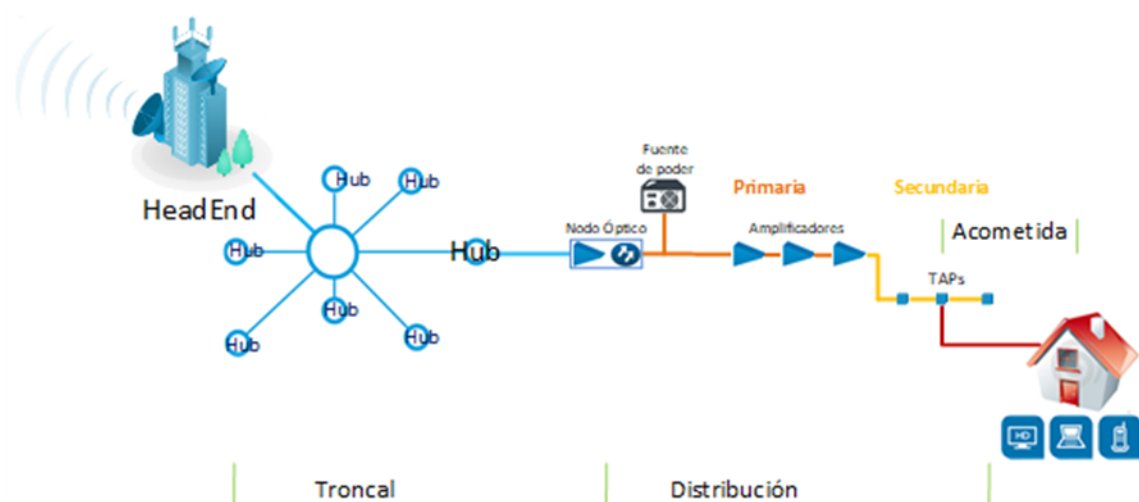
Es la encargada de la distribución de la señal desde el nodo óptico hasta la última derivación de la línea de cable coaxial antes de llegar a la casa del suscriptor y normalmente está diseñada para cubrir grupos de 500 casas o viviendas. (Andreula, 2002, p. 8)

“La red de distribución se compone por una serie de elementos activos y pasivos que cumplen dentro de sus principales funciones: amplificar, ecualizar, dividir y repartir la señal descendente y ascendente” (Ciciora *et. al.*, 2004, p. 10).

### **7.1.1.4. Acometida**

“Este es el último tramo de cable coaxial que va desde un derivador (*tap*) hasta la conexión que llega a la casa del abonado; también se le denomina *drop*” (Andreula, 2002, p. 9).

Figura 6. Componentes de la red HFC



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

### 7.1.2. Estándar DOCSIS

DOCSIS o *Data Over Cable Service Interface Specification* es un estándar de telecomunicaciones internacional que permite la prestación de banda ancha a través de sistemas híbrido fibra-coaxial (HFC), las cuales originalmente se utilizaron solo para la difusión de TV analógica (CATV) (AVSystem, 2020).

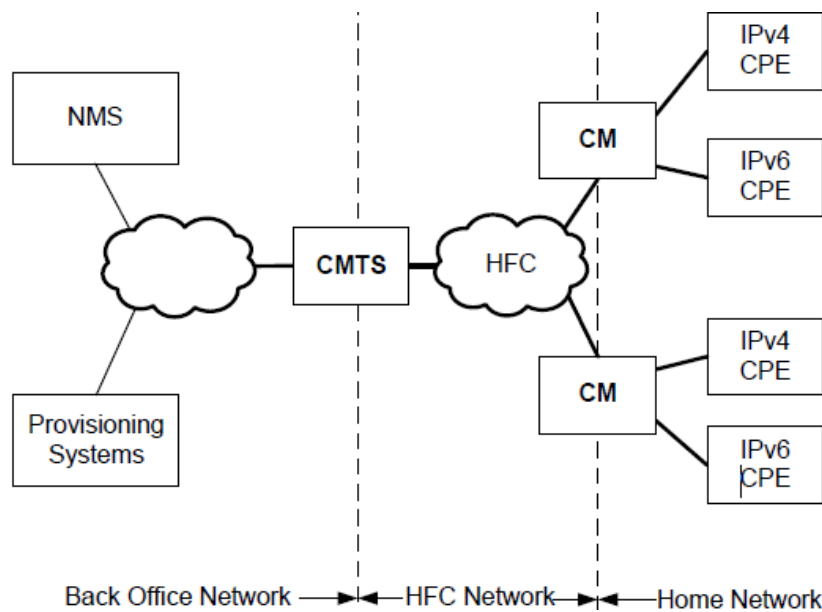
CableLabs es el consorcio dedicado a la investigación de las nuevas tecnologías del cable y quien ha desarrollado el estándar desde 1997, cuando lanzaron DOCSIS 1.0, hasta hoy en día en su cuarta versión; adaptándose a las necesidades de las compañías cableoperadoras con el fin de garantizar la compatibilidad de todos los equipos independientemente del fabricante y el soporte de nuevos y mejores servicios.



Según CommScope (2021) DOCSIS 4.0 desde el año 2017 busca posicionarse como la especificación que permitirá alcanzar tasas de 10Gbps de tráfico descendente y 5 Gbps en ascendente, incorporando tecnologías DOCSIS *Full Duplex* (FDX) y DOCSIS *Espectro Extendido* (ESD) las cuales permitirán evolucionar las redes HFC al futuro 10 G.

La especificación DOCSIS agrega 4 elementos básicos para el soporte de banda ancha en la red HFC: el Cable Módem (CM), el Sistema de Terminación de Cable Módems (CMTS), la Red de Área Local (LAN) y los Sistemas de Soporte a la Operación (OSS).

Figura 7. **Red DOCSIS**



Fuente: CableLabs (2017). *Operations Support System Interface Specification DOCSIS 3.0*.

### 7.1.2.1. Evolución de DOCSIS

A continuación, se muestra la línea evolutiva de la especificación DOCSIS, las mejoras que aportó cada versión, los servicios que agregaron y las tasas de transmisión que aumentaron con la inclusión de nuevas tecnologías para hacer más eficiente el uso del espectro de RF.

Tabla I. Evolución de DOCSIS

	DOCSIS 1.0	DOCSIS 1.1	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1	DOCSIS 4.0
Aporte	Primera tecnología de banda ancha por cable, acceso a Internet de alta velocidad	Se agregó servicio de voz sobre IP, juegos, transmisión	Mayor velocidad de subida, capacidad para servicios simétricos	Mejora enormemente la capacidad, la vinculación de canales, IPv6	Progresión de capacidad y eficiencia, OFDM, canal de banda ancha	Transmisión simétrica y mayores velocidades de carga
Capacidad Descendente	40 Mbps	40 Mbps	40 Mbps	1 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
Capacidad Ascendente	10 Mbps	10 Mbps	30 Mbps	200 Mbps	1-2 Gbps	6 Gbps
Emisión de la especificación	1996	1999	2001	2006	2013	2019

Fuente: CableLabs (2021). *DOCSIS® 4.0 Technology*. Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.cablelabs.com/technologies/docsis-4-0-technology>.

## 7.2. Canales de transmisión

Un canal es el espacio en el espectro electromagnético donde se transmiten señales de radiofrecuencia. La transmisión de señales puede darse en sentido ascendente y descendente; y, para cada caso se debe tomar en cuenta las

especificaciones particulares para la transferencia de datos, las cuales se describen a continuación.

### **7.2.1. Espectro de RF**

CableLabs (2016) en un canal ascendente la comunicación va desde el abonado hacia la cabecera, y usualmente ocupa las frecuencias de 5 MHz a 42 MHz para el estándar americano. Por el contrario, el canal descendente transmite señales desde la cabecera hacia el abonado utilizando la banda de frecuencias de 54 MHz a 1002 MHz.

### **7.2.2. Ancho de canal**

Según ARRIS Enterprises Inc. (2015), los canales ascendentes pueden ser de diferentes anchos: 0.2 MHz, 0.4 MHz, 0.8 MHz, 1.6 MHz, 3.2 MHz, 6.4 MHz (hasta 96MHz para DOCSIS 3.1), y ubicarse en cualquier espacio libre de la banda de frecuencias de retorno donde se tenga niveles bajos de ruido. El flujo descendente, por su parte, tiene un número muy bien definido de canales con un ancho fijo de 6 MHz y 24 MHz a 192 MHz para DOCSIS 3.1.

### **7.2.3. Métodos de acceso**

Algunos métodos de transmisión para la señal de retorno son la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM), Multiplexación por División de Tiempo (TDM), Múltiple Acceso por División de Tiempo Avanzado (A-TDMA), Múltiple Acceso por División de Código Sincrónico (S-CDMA), Múltiple Acceso por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA), entre otros.

Estas técnicas realizan la fragmentación de los canales en intervalos de tiempo, sub-portadora, o tiempo/sub-portadora, y asignan a cada cablemódem un momento específico para la transferencia de datos; permitiendo de esta forma la comunicación de varios dispositivos sobre el mismo medio (Excentis, 2014).

#### **7.2.4. Modulación**

Los formatos de modulación ascendente para DOCSIS 1.0 y 1.1 son QPSK y 16 QAM, mientras que para DOCSIS 2.0 y 3.0 se utilizan QPSK, 8 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, con opción para 128 QAM. Finalmente, DOCSIS 3.1 y 4.0 admiten modulaciones que van desde QPSK hasta 1K QAM, con opción a 2K y 4K QAM.

Para la modulación descendente de DOCSIS 1.0, 1.1, 2.0 y 3.0 los formatos son 64 QAM y 256 QAM, mientras que para DOCSIS 3.1 y 4.0 agregan soporte para 16 QAM, 128 QAM, 512 QAM, 1K QAM, 2K QAM and 4K QAM, con opción a 8K y 16K QAM (ARRIS Enterprises Inc., 2015).

#### **7.3. Degradaciones de RF**

Según Garg y Wang (2004) el deterioro en la transmisión ocurre cuando una señal recibida difiere de la transmitida, como efecto de esto se afectará la calidad de las señales analógicas e introducirá errores de bits en las señales digitales.

Hay tres tipos de deterioros en la transmisión: atenuación, distorsión por retardo y ruido.

### **7.3.1. Atenuación**

Es el deterioro es causado por la intensidad de las señales que se degradan con la distancia a través de un canal de transmisión (Garg y Wang, 2004).

Esto puede deberse a que la señal no se transmite con suficiente potencia, el piso de ruido es muy alto, o la amplitud de la señal es una función directamente proporcional de la frecuencia.

### **7.3.2. Distorsión de retardo**

El deterioro causado por la variación en la velocidad de propagación de una señal que afecta a ciertas frecuencias en un canal de transmisión. Es decir, la fluctuación de tiempo en segmentos de una señal enviada y la señal que finalmente es recibida.

### **7.3.3. Ruido**

Es el deterioro causado por una señal no deseada que se ha introducido al medio de transmisión.

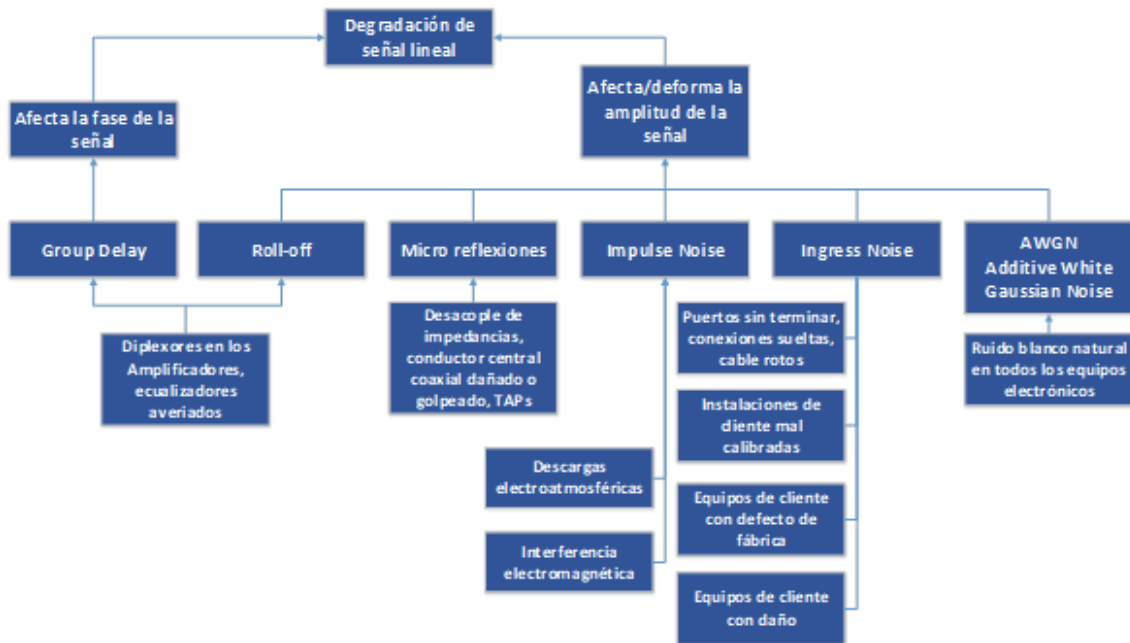
### **7.3.4. Degradaciones de la señal ascendente**

Las degradaciones en la señal de los canales ascendentes de una red HFC son causadas principalmente por el ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN), ruido de impulso (*impulse*), ruido de ingreso (*ingress*), micro-reflexiones, *group delay* y *roll-off*. Estos deterioros en la transmisión suelen guardar una relación lineal entre la entrada y la salida del sistema, por lo que son más fáciles de mitigar y

predecir en comparación a las distorsiones no lineales originadas por armónicos no deseados.

Para este estudio se analizarán únicamente los deterioros con respuesta lineal en el sistema híbrido-coaxial.

Figura 8. Tipos de degradación que afectan una red HFC



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

#### 7.4. Sistemas automatizados y gestión de red

Un sistema automatizado para la recolección y análisis de datos es una herramienta tecnológica que brinda soporte a la operación de una red. Por tanto, puede decirse que esta pertenece al sistema de gestión, pues para esta

investigación se busca que la plataforma a implementar mejore la detección de degradaciones que causan problemas a los servicios de una red HFC.

Barberán (2013) define la gestión de red, acorde a la norma ISO, como el grupo de elementos de control y supervisión de los recursos que hacen posible establecer comunicaciones sobre una la red. Este concepto abarca a todas aquellas plataformas cuya función es garantizar el buen rendimiento de la red.

En base a este concepto es necesario comprender que los sistemas automatizados de detección de degradaciones en los canales ascendentes de la red HFC, son sistemas de gestión de red cuya tarea principal es monitorear el rendimiento de la planta y brindar soporte para localización de fallas.

#### **7.4.1. Requerimientos de la gestión de red**

Las principales áreas funcionales de la gestión de red son: rendimiento, fallos, cuentas, configuración y seguridad. En esta sección abordaremos únicamente la gestión de fallos y rendimiento, pues son la base para la habilitación del sistema automatizado de detección de degradaciones propuesto.

##### **7.4.1.1. Gestión de rendimiento**

“Se puede describir como la evaluación de la conducta de la red y sus elementos, por medio de registros históricos con datos estadísticos y de configuración que permitan analizar tendencias o visualizar patrones” (Barberán, 2013, p. 8).

Esta función permite conocer la condición actual de la planta externa y la calidad de servicio que se está entregando a los abonados; ya que DOCSIS ha definido el protocolo SNMP como el mecanismo de sondeo para la gestión del rendimiento de red. Esto permite contar con un estándar de monitorización escalable y ampliamente aceptado por motores especializados. (CableLabs, 2017, p. 47)

#### **7.4.1.2. Gestión de fallos**

“Su objetivo es proporcionar detección, diagnóstico y corrección de fallas” (CableLabs, 2017, p. 46). La identificación de fallas se basa primordialmente en la capacidad que tenga el sistema para monitorizar la red y descubrir problemas, que para este trabajo la propuesta será la automatización del procesamiento y análisis de las métricas de RF supervisadas.

La especificación DOCSIS admite la generación de informes de eventos mediante el registro local, *syslog* y notificaciones SNMP, que permiten detectar cuando ocurren problemas en los CMTS y servicios de los clientes de la red HFC.



Tabla II. **Requerimientos de gestión para DOCSIS 3.0**

Features	Management Functional Area	OSI layer	NE	Description
Multiple Upstream Channels per port	Configuration	PHY	CMTS	Provisioning physical upstream ports that support multiple upstream receivers according to their capabilities.
Plant Topology		PHY, MAC (Data Link)	CMTS	Provisioning flexible arrangements of US/DS channels for channel bonding configuration to reflect HFC plant topology.
Enhanced Diagnostics	Fault	PHY, MAC, Network	CMTS	Detailed log of different conditions associated with the CM registration state and operation that may indicate plant problems affecting service availability.
Enhanced Performance Data Collection	Performance	PHY, MAC, Network	CMTS	IPDR streaming of large statistical data sets such as CMTS CM Status information with less performance impact on the CMTS resources.
Enhanced Signal Quality Monitoring		PHY	CMTS	To gather information on narrow band ingress and distortion affecting the quality of the RF signals.
Usage Based Billing	Accounting	PHY, MAC, Network	CMTS	Update SAMIS to 3.0 specification requirements.

Fuente: CableLabs (2017). *Operations Support System Interface Specification DOCSIS 3.0*.

Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-OSSlv3.0>.

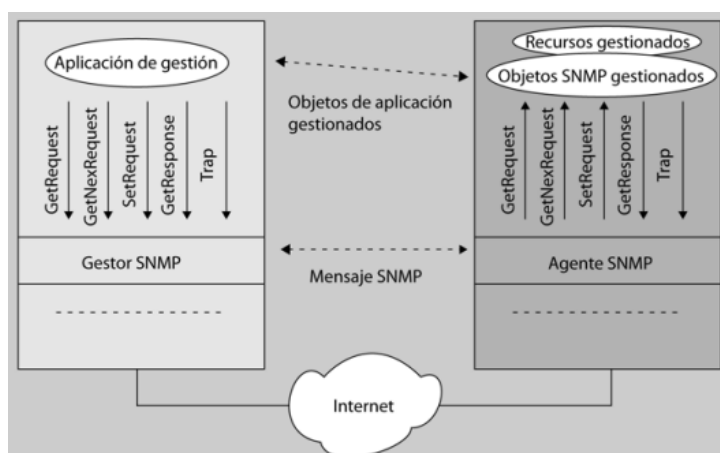
#### 7.4.2. **Gestión de red SNMP**

“El protocolo simple de administración de redes (SNMP) es un conjunto de especificaciones de gestión de red que incluyen el protocolo, la definición de la estructura de datos y otros conceptos asociados” (Barberán, 2013, p. 10).

SNMP es un protocolo basado en el paradigma petición-respuesta, y es el más aceptado para gestión y monitoreo de elementos de red. Para habilitar una arquitectura de gestión SNMP se requiere de 4 elementos.

- La estación de gestión, que sirve de interfaz entre el gestor y el sistema de gestión de red. Contiene el software de gestión.
- Los agentes gestionados, es el equipo lógico embebido en los dispositivos para gestionar. Estos almacenan datos de administración, la cual puede obtenerse por consultas directas del gestor o de manera automática a través de *traps*.
- La base de datos de gestión (MIB), es una base de datos virtual estandarizada que contiene objetos organizados y relacionados jerárquicamente. Cada objeto contiene atributos, los cuales son todos los recursos gestionables de un agente.
- El protocolo de gestión, SNMP es el idioma con el cual se establecerán las comunicaciones entre la estación de gestión con los agentes gestionados.

Figura 9. **Arquitectura de gestión SNMP**



Fuente: Barberán (2013). *Control y gestión de redes, septiembre 2013*. Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/75226>.

### **7.4.3. DOCSIS PNM**

DOCSIS PNM es una función de la especificación DOCSIS relativamente conocida, basada y construida sobre la funcionalidad de pre-ecualización del estándar, e incluida en los cable módems desde el estándar DOCSIS 1.1, 2.0 y 3.1 (AXIROS, 2021).

La tecnología DOCSIS PNM fue diseñada para que los cableoperadores pudieran ubicar fallas en su planta mucho antes de que el suscriptor se viera afectado. Según CableLabs (2020) el mantenimiento proactivo de red (PNM) se enfoca en mejorar la detección de problemas valiéndose de varios métodos estandarizados para recopilar indicadores de rendimiento de la red de cable, inalámbrica y óptica, y usar estos datos para identificar y atender rápidamente los casos con potencial de impacto negativo.

#### **7.4.3.1. Pre-ecualización DOCSIS**

Es una funcionalidad importante en el CMTS que impulsa la tecnología PNM. Esta se introdujo a la especificación DOCSIS desde la versión 1.1, como una forma de compensar los problemas de RF en la planta de cable.

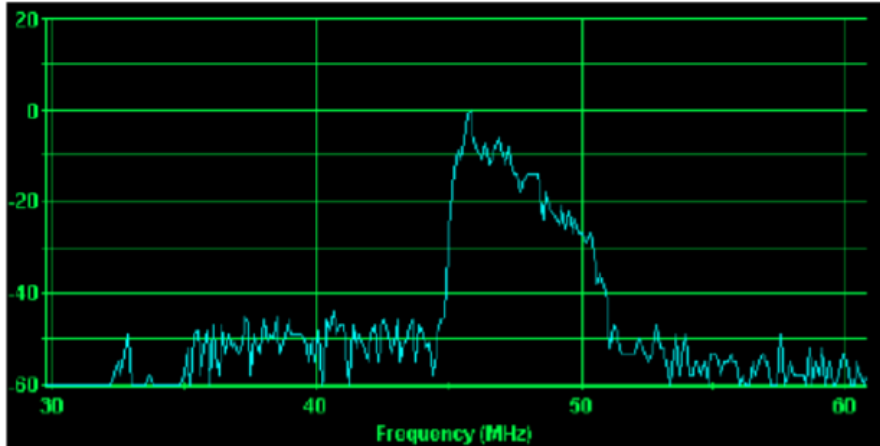
El objetivo de la pre-ecualización es mejorar el rendimiento en el canal ascendente en presencia de determinadas degradaciones de RF. Estas deficiencias incluyen, la respuesta de frecuencia, micro-reflexiones y retardo de grupo (*group delay*).

El método con el que la pre-ecualización mejora el rendimiento de los canales ascendentes en presencia de estas degradaciones de RF es el siguiente:

- El CMTS examina los mensajes que provienen del cablemódem y mide la calidad de la señal recogida.
- Si el CMTS determina que los mensajes pueden mejorarse mediante la pre-ecualización, el CMTS envía los valores de ajuste del ecualizador al cablemódem.
- El cablemódem aplica estos valores de ajuste de ecualización, llamados coeficientes, a su pre-ecualizador.
- El resultado es que el cablemódem transmite una señal distorsionada previamente para compensar las deficiencias en el medio hacia la comunicación con el CMTS.
- Si se requieren más ajustes, el CMTS enviará más valores de coeficientes de pre-ecualización al cablemódem.

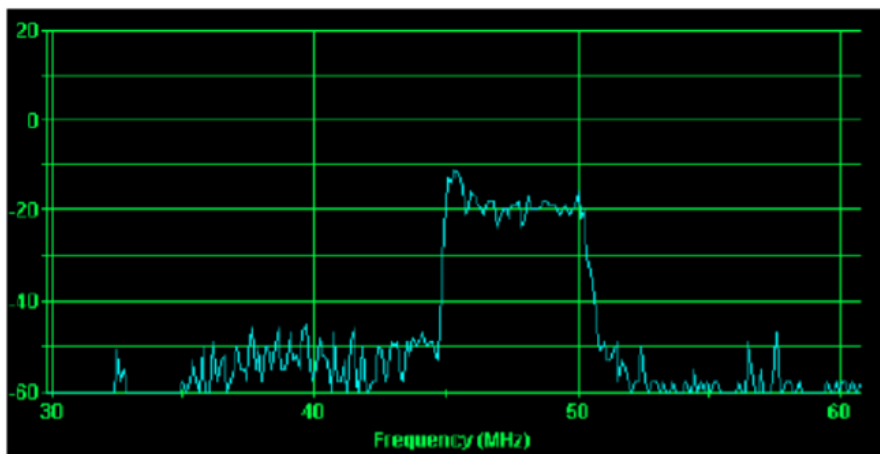
En síntesis, la pre-ecualización es un intercambio de mensajes para el ajuste de los ecualizadores del cablemódem, con el propósito de transmitir una señal previamente deformada para que cuando la señal distorsionada del cablemódem llegue al CMTS, ya no tendrá la distorsión previa original, pues las degradaciones de RF la habrán transformado nuevamente en una señal casi ideal (Volpe, 2014).

Figura 10. **Señal en un medio ruidoso sin pre-equalización**



Fuente: Volpe. (2014). *DOCSIS Pre-Equalization: Vastly Powerful, Often Undervalued*. Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.zcorum.com/wp-content/uploads/Pre-Equalization-Final.pdf>.

Figura 11. **Señal en un medio ruidoso con pre-equalización**



Fuente: Volpe. (2014). *DOCSIS Pre-Equalization: Vastly Powerful, Often Undervalued*. Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.zcorum.com/wp-content/uploads/Pre-Equalization-Final.pdf>.

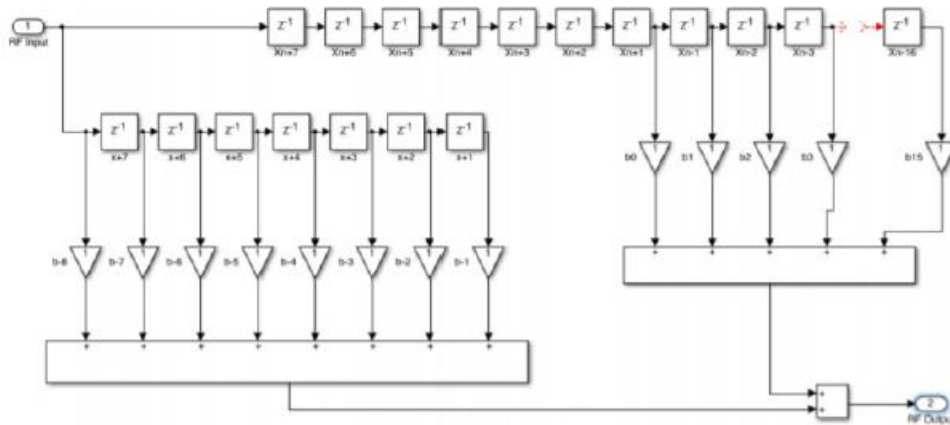
#### 7.4.3.1.1. **Tap de Pre-ecualización**

La pre-ecualización de DOCSIS basa su funcionamiento en un circuito electrónico de retardo de tiempo, con bloques de ganancia y suma de señal, denominado *tap* pre-ecualizador o *tap* digital.

Un *tap* digital representa un corte o muestra en una señal y los coeficientes de ecualización. Estos se pueden ajustar para cancelar la distorsión lineal que ve el CMTS en la señal enviada por el CM, de la misma manera en que el ecualizador gráfico en un sistema de audio se utiliza para ajustar diferentes bandas de frecuencia para mejorar la calidad del sonido (Yuzzi, 2021).

Dependiendo de la versión de DOCSIS de los cable módems, así es la cantidad de *taps* digitales con los que cuenta. Los dispositivos DOCSIS 1.1 admitían 8 *taps*, y los DOCSIS 2.0 en adelante tienen 24 *taps* que se pueden analizar y ajustar. A continuación, se muestra una representación conceptual de un *tap* con 24 pre-ecualizadores.

Figura 12. **Arquitectura conceptual de DOCSIS 24-Tap**

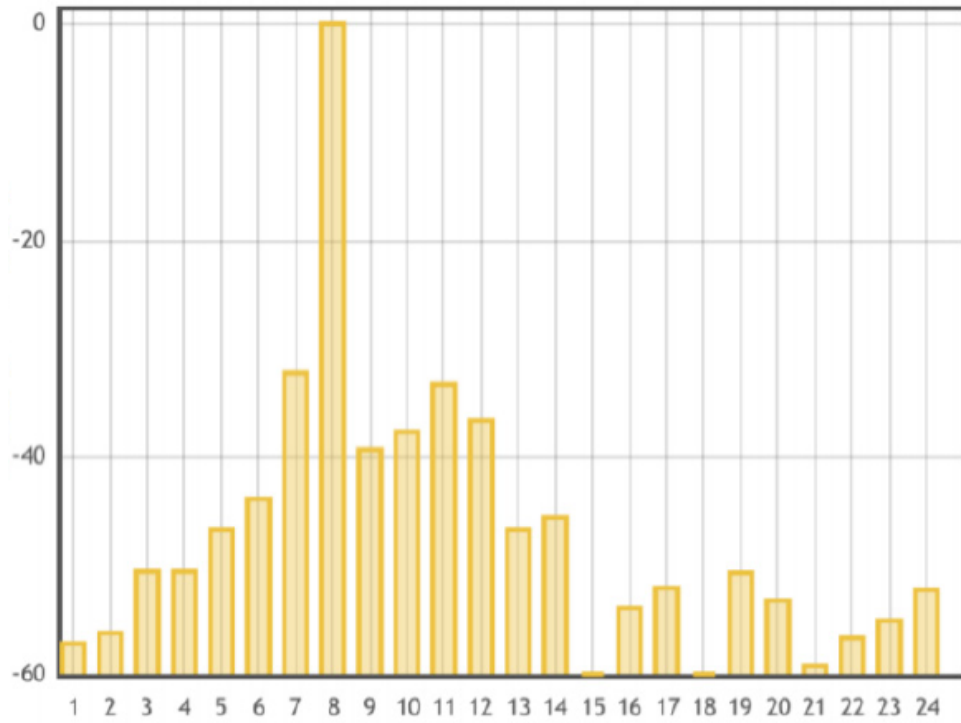


Fuente: Volpe. (2014). *DOCSIS Pre-Equalization: Vastly Powerful, Often Undervalued*.

Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.zcorum.com/wp-content/uploads/Pre-Equalization-Final.pdf>.

Cada uno de estos pre-ecualizadores se ajusta a ciertos valores de transmisión y desfase, dependiendo del valor de coeficiente de ecualización enviado por el CMTS. Cada *tap* está fuertemente relacionados con la identificación de problemas en algún sector de la línea coaxial de distribución, es decir, que los valores de potencia y la respuesta en frecuencia pueden aportar significativamente al diagnóstico de potenciales fallas.

Figura 13. Valores de potencia en *taps* pre-ecualizadores



Fuente: Volpe. (2014). *DOCSIS Pre-Equalization: Vastly Powerful, Often Undervalued*. Consultado el 22 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.zcorum.com/wp-content/uploads/Pre-Equalization-Final.pdf>.





## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Red HFC 37

##### 1.1.1. Componentes de una red HFC

1.1.1.1. Cabecera

1.1.1.2. Troncal

1.1.1.3. Distribución

1.1.1.4. Acometida

##### 1.1.2. Estándar DOCSIS

1.1.2.1. Evolución de DOCSIS

#### 1.2. Canales de transmisión

1.2.1. Espectro de RF

1.2.2. Ancho de canal

1.2.3. Métodos de acceso

1.2.4. Modulación

- 1.3. Degradaciones de RF
  - 1.3.1. Atenuación
  - 1.3.2. Distorsión de retardo
  - 1.3.3. Ruido
  - 1.3.4. Degradaciones de la señal ascendente
- 1.4. Sistemas automatizados y gestión de red
  - 1.4.1. Requerimientos de la gestión de red
    - 1.4.1.1. Gestión de rendimiento
    - 1.4.1.2. Gestión de fallos
  - 1.4.2. Gestión de red SNMP
  - 1.4.3. DOCSIS PNM
    - 1.4.3.1. Pre-ecualización DOCSIS
    - 1.4.3.2. *Tap* de Pre-ecualización

## 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 5. METODOLOGÍA

## 6. TÉCNICA DE ANÁLISIS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

Azuero (2018) en su trabajo Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación afirma que “la formulación del marco metodológico en una investigación es permitir, descubrir los supuestos del estudio para reconstruir datos, a partir de conceptos teóricos habitualmente operacionalizados” (p. 110).

El diseño de marco metodológico de esta investigación pretende describir las acciones destinadas al análisis profundo del problema planteado, y buscar solución al mismo mediante pasos estructurados, técnicas y procedimientos específicos que permitan observar el fenómeno, recolectar información, determinar la manera de abordar el estudio.

### **9.1. Diseño de la investigación**

Existen 2 contextos en los que toma lugar un diseño experimental: en laboratorio bajo condiciones controladas excluyendo las variables influyentes que no interesan al estudio; y en campo en situaciones realistas donde debe manipularse al menos una variable para poder establecer relaciones. (Sampieri, Collado, Lucio, Valencia, y Torres, 2014, p. 150)

El diseño metodológico de la investigación es experimental con experimentos puros pues deberá construirse una maqueta de prueba para medir la mejora de la variable degradaciones de señal cuando manipulamos la variable de calibración del sistema automatizado. Es decir, manipular intencionalmente

una variable para conocer la consecuencia de ella en el sistema en un entorno controlado.

El estudio tiene un alcance correlacional ya que pretende comparar el estado actual de detecciones de degradación en la red, contra el estado futuro de detecciones que la plataforma automatizada permitirá visualizar.

## **9.2. Paradigma de la investigación**

García (2007) en su trabajo Paradigmas de Investigación en Salud, explicó: “El paradigma lógico positivista postula la existencia de una realidad objetiva que es posible conocer empíricamente a través de métodos cuantitativos, construyendo modelos que permiten explicar y predecir fenómenos similares” (p. 32).

El modelo del conocimiento de este trabajo es representado por el paradigma lógico-positivista ya que el sistema automatizado será expuesto a un evento de prueba en donde se utilizarán métodos cuantitativos y análisis estadístico, para construir un modelo que permita predecir la cantidad de detecciones que el sistema permitirá mejorar.

## **9.3. Enfoque de la investigación**

Según García (2007) la investigación cuantitativa trata de investigar fuerzas de asociación o correlación entre variables y generaliza los resultados a través de los obtenidos en una muestra, los cuales tienen validez para la población en general.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo pues requiere de métodos estadísticos para medir y expresar el porcentaje de mejora que se espera en la detección de degradaciones a través de la implementación del sistema automatizado de recolección y análisis de datos propuesto.

#### 9.4. Población de estudio y muestra

Se ha definido que la población de estudio son los canales ascendentes de todos los nodos de la red del cableoperador que brindan cobertura a la ciudad de Guatemala, 6,500 canales en total.

El tipo de muestra es probabilístico, pues se elegirán aleatoriamente una cantidad aproximada 363 canales que se monitorizarán para analizar y validar la funcionalidad del sistema automatizado de detección de degradaciones.

Tabla III. **Tamaño de la muestra**

Tipo de indicador	Servicio	¿Qué mide?
Cant. canales ascendentes	Sistema automatizado de detección	La muestra necesaria para realizar el análisis funcional

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$n = \frac{6500 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.5^2 * (6500 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 362.78$$

Donde:

n= Muestra

N = Tamaño de la población o universo

Z<sub>α</sub><sup>^</sup> = Parámetro estadístico del nivel de confianza (NC)

p = Probabilidad de que ocurra en evento en estudio

q = Probabilidad de que no ocurra el evento en estudio

e<sup>^</sup>= Error de estimación máximo aceptado

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## **9.5. Técnicas de la investigación**

Las técnicas de investigación bajo enfoque cuantitativo que se utilizarán son la encuesta/entrevista y el estudio experimental.

## **9.6. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos adecuados para las técnicas de investigación son, la cédula de entrevista diagnóstica del sistema actual, una guía experimental de pruebas, la indagación bibliográfica.

Como técnicas de investigación bajo el enfoque cuantitativo se utilizará:

- La cédula de entrevista, para contar con la información en base a la experiencia de los ingenieros y técnicos encargados del área de operación y mantenimiento de la red respecto al problema de investigación.
- La observación científica de los experimentos diseñados bajo una estructura clara, ordenada y precisa de escenarios controlados.
- La documentación bibliográfica que permita fundamentar y enriquecer el estudio, a fin de contar con las bases teóricas que permitan identificar los parámetros, umbrales y métricas que permitirán establecer indicadores de calidad en la red para comprobar la hipótesis descrita.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La primera fase se analizará documentación bibliográfica y registrarán los parámetros de RF que deben monitorizarse en el sistema de gestión.

La segunda fase es el diseño de la arquitectura de red e implementación del sistema automatizado que realizará el análisis de los todos datos que se recolectarán vía snmp de la red en producción.

La tercera fase analizará los cable módems utilizados como sondas de red para cuantificar los canales ascendentes degradados que son detectados por el actual gestor de monitoreo y luego correr una prueba del nuevo sistema de detección para evaluar la cantidad de potenciales fallas que logra visualizar la solución. Es decir, obtener los datos del antes y después de la herramienta.

La cuarta fase analizará los planes de mantenimiento preventivo y predictivo que permitan solventar los problemas identificados por el sistema automatizado.

Y finalmente, en la quinta fase se realizará el análisis de los resultados obtenidos.





# 11. CRONOGRAMA

Tabla IV. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

En este capítulo se prestan el costo final del estudio y los gastos que conlleva el desarrollo de la investigación propuesta.

Tabla V. **Costos del estudio**

	<b>Materiales</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>Humano</b>	Estudiantes	Q. 0.00
	Asesor	Q. 2,000.00
<b>Físicos</b>	Maqueta de pruebas	Q. 0.00
<b>Materiales</b>	1 computador personal	Q. 8,500.00
	1 Impresora Epson	Q. 450.00
	Sistema de inyección de tinta	Q. 150.00
	Alimentación	Q. 500.00
	Transporte	Q. 800.00
	Servicios de telefonía móvil e internet	Q. 1,000.00
	Gastos imprevistos 10 %	Q. 1,000.00
<b>Financieros</b>	Financiada por el proveedor de la plataforma/sistema automatizado ServAssure	Q. 0.00
	<b>TOTAL</b>	<b>Q. 14,400.00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



## 13. REFERENCIAS

1. Andreula, L. (2002). Sistema de televisión por cable. México: Autor. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/sistema-television-cable/sistema-television-cable.pdf>.
2. Arcom Digital. (2016). *Dramatic network improvements through predictive maintenance – a case study*. Nueva York, Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://www.arcomdigital.com/wp-content/media/predictive-maintenance-case-study.pdf>.
3. ARRIS Enterprises Inc. (2015). *DOCSIS Essentials Study Guide 1.1*. Georgia, Estados Unidos: COMMSCOPE.
4. AVSystem. (5 de septiembre, 2005). What is DOCSIS? The past and the future of Data Over Cable Service Interface Specifications. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.avsystem.com/blog/DOCSIS/>.
5. AXIROS. (10 de julio, 2021). What is PNM (Proactive Network Maintenance)? | Axiros. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.axiros.com/knowledge-base/docsis-pnm>.
6. Azuero, Á. (noviembre, 2018). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 110-127.

7. Barberán, P. (2013). *Control y gestión de redes, septiembre 2013*. España: Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/75226>.
8. CableLabs. (25 de julio, 2016). PNM Best Practices Primer: HFC Networks (DOCSIS 3.0). [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.cablelabs.com/specifications/proactive-network-maintenance-using-pre-equalization>.
9. CableLabs. (7 de diciembre, 2017). Operations Support System Interface Specification DOCSIS 3.0. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-OSSlv3.0>.
10. CableLabs. (5 de marzo, 2020). Proactive Network Maintenance (PNM). [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.cablelabs.com/technologies/proactive-network-maintenance>.
11. CableLabs. (22 de octubre, 2021). DOCSIS® 4.0 Technology. [Mensaje de blog]. de <https://www.cablelabs.com/technologies/docsis-4-0-technology>.
12. Ciciora, W., Large, D., Farmer, J. y Adams, M. (2004). *Modern Cable Television Technology*. San Francisco, Estados Unidos: Elsevier Gezondheidszorg.
13. CommScope. (18 de marzo, 2021). Liberando DOCSIS 4.0 para redes HFC y FTTH. [Mensaje de blog]. Recuperado de

<https://es.commscope.com/blog/2021/unleashing-docsis-4.0-for-hfc-ftth/>.

14. Excentis. (27 de octubre, 2014). OFDM(A) in DOCSIS 3.1: Multiplexing, modulation and multiple access? [Mensaje de blog]. Recuperado <https://www.excentis.com/blog/ofdma-docsis-31-multiplexing-modulation-and-multiple-access>.
15. García, P. (octubre, 2007). Paradigmas de la investigación en salud. *Revista de Estudiantes de Medicina del Sur*, 3(2), 32-34.
16. Garg, V. y Wang, Y. (2004). *The electrical engineering handbook*. Estados Unidos: Data communication concepts.
17. Garrido, C. (2017). *Diagnóstico de fallos en redes HFC con el análisis de datos de pre-ecualización* (Tesis de licenciatura). Universidad de Vigo, España. Recuperado de [http://castor.det.uvigo.es:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/44/TFG\\_C%25E9sar\\_Bonilla\\_Garrido%202015-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://castor.det.uvigo.es:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/44/TFG_C%25E9sar_Bonilla_Garrido%202015-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
18. Grela, A. (mayo, 2016). Evolución de las redes de CATV hacia la transmisión de datos. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 3, 55-64.
19. Herrera, P., Vargas, L. y Micolini, O. (marzo, 2013). *Diseño e implementación de un sistema de anticipación de fallas basado en mediciones en tiempo real para un ISP de Banda Ancha en Redes HFC*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.



20. Mahmood, T. y Munir, K. (mayo, 2020). Enabling predictive and preventive maintenance using IoT and big data in the telecom sector. *Science and Technology Publications*, 1, 169-176.
21. Mejía, A., Garzón, H. y Bedoya, J. (diciembre, 2007). Monitoreo del estado de una red hfc utilizando datos reportados por cable módems. *Scientia et technica*, 5(37), 115-119.
22. Sampieri, R., Collado, C., Lucio, P., Valencia, S. y Torres, C. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Education.
23. Volpe, B. (2014). *DOCSIS Pre-Equalization: Vastly Powerful, Often Undervalued*. Estados Unidos: ZCorum.
24. Yuzzi, R. (27 de enero, 2021). What is DOCSIS PNM and Why You Need It. ZCorum. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://blog.zcorum.com/how-docsis-pnm-works-and-why-you-need-it>.