



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

“Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC”

AUTOR:

Méndez Celi, Luis Enrique

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, Msc

Guayaquil, Ecuador

01 de septiembre del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Luis Enrique, Méndez Celi** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Ing. Daniel Bayardo, Bohórquez Heras, Msc

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Celso Bayardo, Bohórquez Escobar. Ph. D.

Guayaquil, 01 de septiembre del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Luis Enrique, Méndez Celi**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 01 de septiembre del 2025

EL AUTOR

LUIS ENRIQUE, MÉNDEZ CELI



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, Luis Enrique, Méndez Celi

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 01 de septiembre del 2025

EL AUTOR

LUIS ENRIQUE, MÉNDEZ CELI

REPORTE DE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TIC Luis Méndez Celi

< 1%
Textos sospechosos



< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

5% Idiomas no reconocidos (ignorado)

8% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: TIC Luis Méndez Celi.docx ID del documento: a906f5c65c9c5e84003d1fd5c7cf495a82d1667d Tamaño del documento original: 2,68 MB	Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez Fecha de depósito: 31/8/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 31/8/2025	Número de palabras: 11.896 Número de caracteres: 77.783
---	--	--

Reporte Compilatio del trabajo de titulación de la Carrera Telecomunicaciones denominado: “Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC”, del estudiante Méndez Celi, Luis Enrique se encuentra al 1% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Daniel Bayardo, Bohórquez Heras, Msc.

DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

Este proyecto de sustentación y logro académico está dedicado primero a Dios por haberme permitido finalizar una meta más de mi vida.

A mis padres: Mercedes Amalia Celi Nole, a la memoria de mi padre Enrique Iserio Méndez Riera, mis hermanas Marjorie Elizabeth Méndez Celi, Johanna Mercedes Méndez Celi y sobrinas Kiara Noelia Navas Méndez y Phoebe Violet Navas.

Ustedes querida familia fueron el motor e impulso para lograr este objetivo. Estas letras son dedicadas para ustedes, por sus sabios consejos y guiarme con valores y por formarme humanísticamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios por poner en mi camino a mis padres y hermanas. Gracias por las enseñanzas, valores inculcados y por haberme formado desde mi niñez.

Deseo hacer especial mención a la señorita María Jose Loja Reina por su apoyo incondicional en esta etapa de mi carrera profesional y personal, por brindarme su amor, confianza.

A Ronald Navas, mi querido cuñado gracias por todo el apoyo y el ánimo.

A mis docentes quienes me han impartido sus conocimientos y a realizarme profesionalmente.

Además, un agradecimiento enorme a todas las personas que estuvieron a lo largo de mi carrera ayudándome con conocimientos, amistades que sin duda alguna se han convertido como mi familia.

A mis jefes de diferentes departamentos de la empresa Panatel del Ecuador, por su colaboración y capacitación para formarme un gran profesional y colaborador en la rama de las telecomunicaciones

A todos, mi más sincero agradecimiento por el apoyo y fortaleza que me supieron brindar.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**ING. CELSO BAYARDO, BOHÓRQUEZ ESCOBAR PHD.
DIRECTOR DE CARRERA**

**ING. RICARDO XAVIER, UBILLA GONZALEZ MSC.
COORDINADOR DE TITULACIÓN**

**ING. MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ MSC.
OPONENTE**

Índice General

Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas	XIII
Resumen.....	XIV
Abstract	XV
Capítulo 1: Aspectos Generales.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Definición del Problema.	4
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.6. Hipótesis.	5
1.7. Metodología de Investigación.....	6
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....	8
2.1. Información histórica.	8
2.2. Cables de cobre de par trenzado.....	10
2.2.1. Características del cable de cobre de par trenzado	12
2.2.2. Línea de abonado digital	13
2.3. Arquitectura del sistema de línea de abonado digital.....	15
2.3.1. Multitono discreto	17
2.3.2. Transmisión cruzada (CrossTalk).....	20
2.3.3. Cálculo de la capacidad de una línea de abonado digital.....	22
2.4. Mejoras en los estándares HFC	22

La mejora en cuanto a las velocidades de internet se puede llevar a cabo minimizando el número de usuarios de 250 a 128 y esto se conoce como

arquitectura n+0 en la que se compone en un solo nodo sin amplificadores. Los proveedores de servicio de internet van cambiando gradualmente a FTTP utilizando PON.	22
2.4.1. Estándar ADSL2.	22
2.4.2. Estándar ADSL2+.	23
2.4.3. Estándar VDSL.	24
2.5. Sistemas de cables coaxial.	24
2.6. Sistemas de fibra óptica.	27
2.7. Arquitectura de redes HFC.	29
Capítulo 3: Análisis, Diseño y simulación	31
3.1. Descripción general del sistema	31
3.2. Implementación en Python: librerías y herramientas	32
3.2.1. Arquitectura del sistema	32
3.2.2. Definición de umbrales de potencia.	34
3.2.3. Configuración del Entorno de Simulación.	36
3.2.4. Integración con Protocolos de Red Básicos	37
3.3. Resultados obtenidos del nodo SG4000.	38
3.4. Análisis de los resultados del nodo U05145 con la tecnología RMD.	40
3.5. Análisis de resultados obtenidos del nodo G01002.	42
Conclusiones.	45
Recomendaciones.	46
Bibliografía	47

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Terminal DEC VT100	8
Figura 2. 2: Acoplador acústico.	11
Figura 2. 3: Pérdida de trayecto por kilómetro de cable de par trenzado para un medio de 26 AWG en función de la frecuencia.	12
Figura 2. 4: Asignación de bandas de frecuencia ADSL	15
Figura 2. 5: Componentes del sistema DSL.	16
Figura 2. 6: Transmisión de datos multitono discreto usando subportadoras.....	17
Figura 2. 7: Asignación de bandas de frecuencia ADSL	18
Figura 2. 8: Asignación de bandas de frecuencia ADSL con modulación DMT.....	18
Figura 2. 9: Nivel SINR recibido de la portadora ADSL.	19
Figura 2. 10: Tarjetas de red del IOS de un router	20
Figura 2. 11: Arquitectura de ADSL2.	23
Figura 2. 12: Arquitectura de VDSL.	24
Figura 2. 13: Arquitectura del sistema CATV.	25
Figura 2. 14: Asignación de frecuencias a la televisión por cable.....	26
Figura 2. 15: Diagrama del confinamiento de la luz en una fibra de vidrio.....	28
Figura 2. 16: Estructura de una fibra de vidrio.	28
Figura 2. 17: Arquitectura de una red HFC.....	30

Capítulo 3

Figura 3. 1: Diagrama de flujo del sistema propuesto.....	34
Figura 3. 2: Inicialización del entorno de simulación.	36
Figura 3. 3: Lectura de potencia óptica y evaluación de estado.....	37
Figura 3. 4: Procedimiento Correctivo Automático	38
Figura 3. 5: Estado de operación por nodo en el mes de Julio 2025	39
Figura 3. 6: Distribución mensual de potencia óptica por nodo (dBm)	40
Figura 3. 7: Serie temporal mensual para el nodo SG4000 G02020 (Julio 2025)	40

Figura 3. 8: Procedimiento Correctivo Automático	40
Figura 3. 9: Serie temporal mensual – RMD U05145-A (Julio 2025).....	42
Figura 3. 10: Estado de operación – RMD U05145-A (Julio 2025).....	42
Figura 3. 11: Distribución mensual de potencia – RMD U05145-A (Julio 2025).....	43
Figura 3. 12: Serie temporal mensual de potencia para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025).....	43
Figura 3. 13: Estado de operación para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025).....	44
Figura 3. 14: Distribución mensual de potencia para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025).....	44

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Evolución posterior de las tasas de transmisión (después de los 56 kbps) 11

Tabla 2. 2: Anchos de banda de frecuencia y longitudes de onda..... 29

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Umbrales de potencia óptica de referencia para nodos monitoreados 35

Resumen

Este documento presenta el trabajo de integración curricular (TIC) denominado “Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC” el cual se basa en crear simulaciones basadas en Python para la detección de niveles ópticos en una red de fibra y cobre (HFC). En el capítulo 1 se presente la descripción general del trabajo de integración curricular, en la que se destaca la definición del problema a investigar, el objetivo general y los objetivos específicos. En el capítulo 2, se presenta el marco teórico en la que se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte con base al tema propuesto. En el capítulo 3, se diseñan los algoritmos y scripts en el software Visual Studio Code (VSC) implementados bajo Python, y posteriormente se presenta la discusión de los resultados obtenidos. Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Palabras claves: Detección, Corrección, Niveles, HFC, Fibra y Python

Abstract

This document presents the curriculum integration project (TIC) entitled “Development of an automated Python-based system for the detection and correction of out-of-range optical levels in HFC network nodes,” which is based on creating Python-based simulations for the detection of optical levels in a fiber and copper (HFC) network. Chapter 1 presents an overview of the curricular integration work, highlighting the definition of the problem to be investigated, the general objective, and the specific objectives. Chapter 2 presents the theoretical framework, which includes a literature review of the state of the art based on the proposed topic. Chapter 3 designs the algorithms and scripts in Visual Studio Code (VSC) software implemented under Python, and then presents a discussion of the results obtained. Finally, conclusions and recommendations are presented.

Keywords: Detection, Correction, Levels, HFC, Fiber, and Python

Capítulo 1: Aspectos Generales

1.1. Introducción.

Las redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial) han sido durante años la columna vertebral de los servicios de telecomunicaciones en muchas regiones del mundo. A pesar del crecimiento acelerado de la fibra hasta el hogar (FTTH), las redes híbridas continúan siendo una opción vigente por su capacidad de adaptación, su infraestructura existente y sus costos de operación relativamente bajos.

En este tipo de tecnología la señal viaja desde el Headend hasta la última milla por medio de una combinación de fibra óptica y cable coaxial, con nodos operando como puntos de transición. El nodo es considerado una parte fundamental, ya que su función es convertir la señal óptica en eléctrica para su distribución. A fin de tener una correcta operatividad en una red HFC hay que considerar el control de los niveles de potencia óptica en los nodos.

Si los niveles están fuera del rango establecido, se produce una serie de fallas que pueden ser: pixeleo en la parte de video, latencia en la navegación por internet o caída del servicio. Este inconveniente a nivel de cliente afecta la experiencia de navegación por lo cual las empresas proveedoras del servicio tienen que destinar recursos técnicos para el diagnóstico y su pronta solución.

Para aquello existen plataformas diseñadas para entregar información al personal de monitoreo, el cual evalúa y decide las acciones a seguir. Este proceso tiene como misión dar una respuesta ante fallas, pero se puede extender el tiempo de respuesta en especial si el proveedor tiene muchos nodos y si esto sumamos que, al depender de técnicos, se asume el peligro de que los eventos considerados críticos no se atiendan con la urgencia requerida.

La evolución en los lenguajes de programación cada vez es más eficientes, prescindibles tanto en la industria como en la investigación y Python es considerado como lenguaje de alto

nivel multiparadigma. Su aplicación en la tecnología HFC se basa en reducir los tiempos de respuesta y tener una mejor gestión con las aplicaciones asociadas a este programa.

Esta tesis se basa en diseñar un sistema automatizado basado en Python con la finalidad de detectar niveles fuera del rango, ejecutar una acción correctiva o preventiva ante un evento. Este proyecto está enfocado a una solución integral desde la extracción de la data hasta la toma de decisiones, incluyendo avisos y el registro de las incidencias.

Más allá del desarrollo técnico, este proyecto busca responder a una necesidad real dentro del sector: disponer de herramientas flexibles, de bajo costo y adaptadas a las condiciones operativas locales. Muchas soluciones comerciales disponibles en el mercado ofrecen funciones similares, pero a menudo implican altos costos de licencia o dependencia de plataformas cerradas, lo cual no siempre es viable para operadores medianos o pequeños.

En definitiva, esta investigación plantea una alternativa viable, escalable y eficiente para mejorar la operación de redes HFC mediante el uso de tecnologías abiertas. El enfoque se alinea con la tendencia global hacia la automatización inteligente de procesos técnicos y representa un paso importante hacia la transformación digital de la gestión de redes de telecomunicaciones.

1.2. Antecedentes

En estudios recientes han tomado la automatización en redes ópticas y HFC, destacando la importancia de integrar tecnologías abiertas y escalables para optimizar la gestión de la red. Investigaciones como las de Cruzes (2023) han resaltado el papel de la IA y el aprendizaje automático en la gestión autónoma de fallas, creando sistemas capaces de interpretar métricas de red y tomar decisiones sin intervención de cuadrillas de campo.

Estos trabajos tienen en común la migración hacia modelos automatizados que no solo por medio de alarmas indique al personal de MONITOREO, sino que puedan ejecutar respuestas correctivas sin intervención del técnico de campo. Python, por ser un programa de

código abierto, se establece como una herramienta estratégica para este tipo de soluciones a nivel de ingeniería.

1.3. Definición del Problema.

Un control en los niveles ópticos de los nodos es fundamental para mantener la calidad del servicio que reciben los usuarios. En una central de monitoreo se manejan diferentes plataformas en la cual se registran las alarmas de fibra, una acumulación a largo plazo no es muy conveniente para un proveedor de servicios ya que se mesclarían cortes de fibra y no serán detectados a tiempo por el dispatcher.

La problemática se agrava teniendo en la plataforma muchas alarmas que deben ser gestionadas por un técnico lo cual se vuelve inviable. Ante este evento se requiere desarrollar un sistema automatizado que pueda detectar en tiempo real las caídas de potencia, y actuar de manera inmediata enviando un pulso y levantando las potencias, de esa manera queda sin efecto la intervención de una cuadrilla. La solución basada en Python permite construir una herramienta flexible, eficiente y ajustada a las necesidades del operador.

1.4. Justificación del Problema.

Los motivos por la cual se lleva a cabo esta investigación es para mantener una mejor gestión en el área del NOC, se centra en tener lo más reducido posible el dashboard de las alarmas en Grafana, es por eso que mantener los niveles en el umbral correcto no es solo una cuestión técnica, sino más bien un aspecto relacionado con la satisfacción del usuario. Cuando un nodo presenta una de las rutas alarmadas ya sean primaria o secundaria hay que atender en la brevedad posible ya que está operando en el otro sentido.

Por lo tanto, este modelo si bien funcional, seria de mucha ayuda por lo que se tendrían las alarmas que netamente requieran atención de manera física.

Un sistema automatizado para la detección y corrección de niveles ópticos representa significativamente en una central de monitoreo sea pequeña o a gran escala.

La elección de Python como base tecnológica responde a su amplia adopción en el ámbito científico y técnico, su compatibilidad con protocolos de red y su capacidad para integrarse con sistemas existentes la hace muy fiable para el campo de las telecomunicaciones.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Desarrollar un sistema automatizado basado en la herramienta Python para la detección y corrección de niveles ópticos en tiempo real en nodos de redes HFC, con el fin de optimizar la operación, reducir tiempos de respuesta y minimizar la intervención manual de las cuadrillas de campo.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Se Diseña una arquitectura modular al sistema que permita emitir alarmas, análisis y corrección automática de niveles ópticos en nodos HFC.
- Diseñar la comunicación con nodos ópticos mediante protocolos estándar como SNMP, SSH y CLI para la obtención de datos en tiempo real.
- Definir umbrales para la detección precisa de caídas en niveles ópticos.
- Se desarrolla algoritmos en lenguaje Python que permitan la evaluación continua y la ejecución automática de acciones correctivas para mantener estable la red.
- Se diseña un sistema de reportes y alertas que documente eventos y notifique a los operadores mediante correo electrónico.

1.6. Hipótesis.

El diseño de un sistema automatizado, basado en Python, para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC es técnicamente viable y se proyecta

que mejoraría significativamente la eficiencia operativa, la reducción de los tiempos de respuesta y la minimización de la intervención manual.

1.7. Metodología de Investigación.

El enfoque metodológico adoptado para esta investigación es de tipo aplicado y experimental, con un diseño cuantitativo orientado a la validación funcional y operativa de un sistema automatizado para redes HFC. A continuación, se detallan las fases principales:

1. Análisis y Diseño del Sistema

- **Análisis de datos:** Se describirá cómo se obtendrán y analizarán los datos históricos y actuales de los niveles ópticos en los nodos HFC.
- **Diseño de la arquitectura:** Se detallará la arquitectura del sistema propuesto, incluyendo módulos, interfaces de comunicación (SNMP, Telnet, SSH), lógica de evaluación y mecanismos de corrección y notificación.

2. Modelado y Simulación

- **Modelado de la lógica:** Se establecerá un modelo teórico y su representación en Python para demostrar la lógica de detección y corrección de desviaciones en los niveles ópticos.
- **Simulación de escenarios:** Se describirán los escenarios de prueba que se evaluarán (por ejemplo, inducción de fallas o desviaciones controladas) para medir tiempos de respuesta, precisión en la identificación de nodos afectados y eficacia de la reacción automática.

3. Análisis de Resultados y Viabilidad

- **Comparación teórica:** Se contrastarán los resultados obtenidos en la simulación con los procedimientos manuales actualmente utilizados en la operación de redes HFC, identificando ventajas y limitaciones.

- **Evaluación de la viabilidad:** Se analizará la factibilidad técnica y económica de la propuesta, considerando referencias de la literatura, costos de componentes y herramientas de simulación empleadas.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Información histórica.

Las comunicaciones de datos informáticos por conmutación de paquetes entre un terminal informático, por ejemplo, DEC VT100 tal como se muestra en la Figura 2.1 y un ordenador central surgieron en la década de 1960. El posterior crecimiento de su importancia y valor en los años 70 y 80 provocó grandes cambios en la industria de las telecomunicaciones.

Figura 2.1

Terminal DEC VT100



Fuente: (Kocaman, 2015)

Entre ellos cabe citar los trabajos teóricos sobre la conmutación de paquetes y las teorías de colas, así como el desarrollo de equipos de red para facilitar la transmisión de tráfico digital en amplias zonas. Como resultado, se hizo necesaria una nueva infraestructura «digital» para soportar estas «redes de área extensa» y conectar las instalaciones de los clientes con las centrales y centros informáticos, y entre sí.

La nueva infraestructura digital utilizaba medios de líneas fijas, es decir, alámbricas en contraposición a inalámbricas, y surgieron una serie de normas para especificar cómo podía construirse la infraestructura de telecomunicaciones sobre estos medios fijos. La red tradicional

de telecomunicaciones de voz, tal y como se observa en la Figura 2.2, consta de una serie de centrales locales, regionales e internacionales y la infraestructura de conexión suele estar formada por hilos de cobre.

La topología típica de una red HFC es en árbol o estrella, donde la fibra óptica se ramifica en nodos ópticos que alimentan segmentos coaxiales mediante amplificadores. Esta estructura permite segmentar la red para aislar fallas y optimizar la gestión es por eso que en los nodos RMD se tiene segmento A y segmento B. Sin embargo, la heterogeneidad tecnológica, producto de ampliaciones y fusiones de operadores, puede generar desafíos en la uniformidad de la operación (Simakovic & Cica, 2021).

La modulación digital de la voz exigió cambios en los equipos de red, tanto en las instalaciones de los abonados como en las centrales. Se necesitaron nuevos teléfonos digitales con capacidad de conversión analógica a digital (e inversa) en los locales de los abonados, así como conmutadores digitales en las centrales.

Por otra parte, las comunicaciones de datos entre ordenadores centrales y terminales también requerían enlaces especiales entre los centros informáticos y los nodos de la red de telecomunicaciones. Sin embargo, la construcción y el despliegue de una infraestructura totalmente nueva no resultaban prácticos, por lo que hubo que desarrollar nuevos sistemas para utilizar y aumentar el sistema existente de cables de cobre de par trenzado y cables coaxiales.

Esto condujo al desarrollo de nuevas tecnologías y normas, y ha llevado a la modificación y ampliación de la infraestructura de telefonía. Tres medios de línea fija son de interés principal para las telecomunicaciones de banda ancha: los hilos de cobre de par trenzado utilizados tradicionalmente para el sistema de telefonía; los cables coaxiales de cobre utilizados para los enlaces entre centrales y la difusión de televisión por cable; y los sistemas de fibra óptica

utilizados para la telefonía internacional y de larga distancia y el backhaul de telecomunicaciones.

2.2. Cables de cobre de par trenzado

El uso de cables de cobre de par trenzado como medio de comunicación es tan antiguo como la telefonía. Se desarrollaron para la transmisión de voz a largas distancias determinadas por el calibre o grosor de los hilos. Las señales de voz tienen componentes de frecuencia en un rango de 0.30–3.4 kHz, que puede ser soportado para las telecomunicaciones a distancias de decenas de kilómetros a través de los típicos cables de cobre de par trenzado de 0.4 o 0.5 mm de calibre con pérdidas suficientemente bajas.

Las líneas telefónicas de par trenzado de cobre también se han utilizado para comunicaciones de datos a baja velocidad desde los años veinte. Las aplicaciones han incluido teleprompters, telégrafos automatizados y comunicaciones de sistemas de defensa radar-aire. Una aplicación posterior fue en los sistemas de telefonía que utilizaban señalización multifrecuencia de doble tono para el establecimiento de llamadas desde principios de los años sesenta.

En los años 70, los módems de acoplamiento acústico (ver Figura 2.3) utilizaban diferentes tonos de audio para representar el 0 y el 1 y transmitir datos entre los incipientes ordenadores de sobremesa a través del ancho de banda de voz de las líneas telefónicas (es decir, 300-3400 Hz). Las velocidades máximas de transmisión alcanzadas eran del orden de 300 bits por segundo (bps).

Figura 2.2

Acoplador acústico.



Fuente: (Pallavi et al., 2020)

A lo largo de las dos décadas siguientes, la tecnología de los módems telefónicos mejoró y, a finales de los 90, los módems de acceso telefónico eran capaces de soportar 56 kbps en sentido descendente. En la Tabla 2.1 se muestra una lista de módems y sus velocidades de transmisión. Todos estos dispositivos utilizaban la misma banda de frecuencias que la de la voz. En general, no se utilizaba todo el potencial del cable de cobre de par trenzado.

Tabla 2. 1: Evolución posterior de las tasas de transmisión (después de los 56 kbps)

Época/Año	Tecnología	Tasa de Transmisión Aproximada
Finales 1990s	ISDN (Red Digital de Servicios Integrados)	64 kbps a 128 kbps
1999–2005	ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica)	256 kbps a 8 Mbps (descarga)
2005–2010	ADSL2/ADSL2+	Hasta 24 Mbps
2006–2015	Cable módem (DOCSIS)	10 Mbps – 100 Mbps
2010–actualidad	Fibra óptica (FTTH/GPON)	100 Mbps – 1 Gbps (y más)
Desde 2019	5G móvil	100 Mbps – 1 Gbps (en condiciones óptimas)
Desde 2020	Redes Wi-Fi 6 y Wi-Fi 7	Más de 1 Gbps (dependiendo del canal y condiciones)
Desde 2020	XGS-PON (Fibra óptica avanzada)	Hasta 10 Gbps

Fuente: (Hurtado P., 2022)

El ancho de banda del hilo de cobre tiene capacidad para comunicaciones de datos a velocidades mucho mayores que 56 kbps. Como ya se ha indicado, este medio ya se utilizaba para velocidades de transmisión entre centrales de 1.5 Mbps, así como para comunicaciones de voz RDSI que operaban en la gama de 80-120 kHz del espectro. Por tanto, fue necesario desarrollar nuevos sistemas para aprovechar esta capacidad latente.

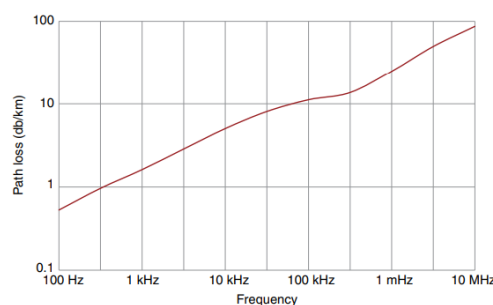
2.2.1. Características del cable de cobre de par trenzado

El cable de cobre de par trenzado tiene un ancho de banda de respuesta en frecuencia específico. En la Figura 2.4 se muestra la pérdida de trayecto de un cable de par trenzado 26 AWG (0,6 mm) en función de la frecuencia. Como se muestra, la pérdida de trayecto para señales a bajas frecuencias, como las de voz, es muy pequeña, y es del orden de unos pocos decibelios por kilómetro.

Sin embargo, a medida que aumenta la frecuencia de la portadora, aumentan las pérdidas en el trayecto, de forma que una señal a 10 MHz pierde potencia por un factor aproximado de 70 dB cada kilómetro. Es evidente que el par trenzado de cobre es más adecuado para aplicaciones de comunicación de datos de baja frecuencia y velocidad.

Figura 2.3

Pérdida de trayecto por kilómetro de cable de par trenzado para un medio de 26 AWG en función de la frecuencia.



Fuente: (Pallavi et al., 2020)

Sin embargo, la pérdida de trayecto es lo suficientemente pequeña en el rango de hasta varios megahercios como para soportar comunicaciones de alta velocidad de datos en distancias cortas. La longitud máxima para este tipo de comunicación se calcula a partir de la pérdida de trayecto, las distorsiones de la línea, las interferencias de otras líneas y la frecuencia de funcionamiento.

2.2.2. Línea de abonado digital

Se han desarrollado varias tecnologías para utilizar el espectro del par trenzado de cobre a frecuencias superiores a las utilizadas para la voz. Las más populares fueron las tecnologías T-Carrier y E-Carrier, desarrolladas en EE.UU. y Europa para multiplexar varios canales de voz en un enlace de intercambio de alta capacidad. También conocidas como T-1 y E-1, estas tecnologías utilizaban cables de cobre de par trenzado para transmitir 24 (32 para E-1) canales digitales de voz y, posteriormente, datos a una velocidad de 1.544 Mbps (2.048 Mbps para E-1) entre centrales de operadores y, más tarde, a las instalaciones de los abonados, en su mayoría empresas.

Estas tecnologías utilizaban un espectro de frecuencias mucho más amplio de los cables de cobre de par trenzado y más allá de los 4 kHz utilizados para la voz. Las T-1 y E-1 se comercializaban a los abonados empresariales en régimen de arrendamiento como líneas de retorno de datos para la conectividad entre oficinas y entre oficinas y centros de cálculo.

El coste de arrendamiento de una T-1 era bastante elevado, del orden de \$ 2.000 al mes, porque se necesitaban repetidores y otros equipos eléctricos cada 2 km. Esto se debía a que había que mantener velocidades de transmisión de datos simétricas en sentido descendente y ascendente para las comunicaciones de voz.

Las tecnologías DSL surgieron a partir de la T-1/E-1. El principio era el hecho de que el espectro del cable de cobre de par trenzado tiene varios megahercios útiles de ancho de banda

en distancias cortas y, por lo tanto, se pueden soportar velocidades de datos más altas en las líneas de abonado telefónico utilizando este ancho de banda.

Si no se requiere una comunicación simétrica, como es el caso de las aplicaciones de datos, no se necesitan repetidores cada 2 km y, por tanto, muchos abonados atendidos por una central telefónica pueden conectarse a Internet a altas velocidades de transmisión sin necesidad de desplegar nuevas infraestructuras. Dadas las características de pérdida de trayecto mostradas en la Figura 2.4, las posibles velocidades de transmisión a diferentes distancias para un ancho de banda del sistema pueden calcularse utilizando el teorema de Shannon.

Desde principios de los años 90 se han desarrollado y normalizado varias normas DSL en el marco de la serie de normas G.99x de la UIT. Las normas más comunes han sido la DSL asimétrica (ADSL) y sus evoluciones. Asimétrico se refiere al hecho de que las velocidades de transmisión ascendente y descendente son desiguales.

La diferencia entre estas normas radica principalmente en la gama global de frecuencias utilizadas y el espectro asignado a las transmisiones ascendentes y descendentes. Los sistemas ADSL más utilizados son los sistemas DSL de muy alta velocidad de bits (VDSL), que tienen un mayor ancho de banda y proporcionan velocidades de transmisión más elevadas.

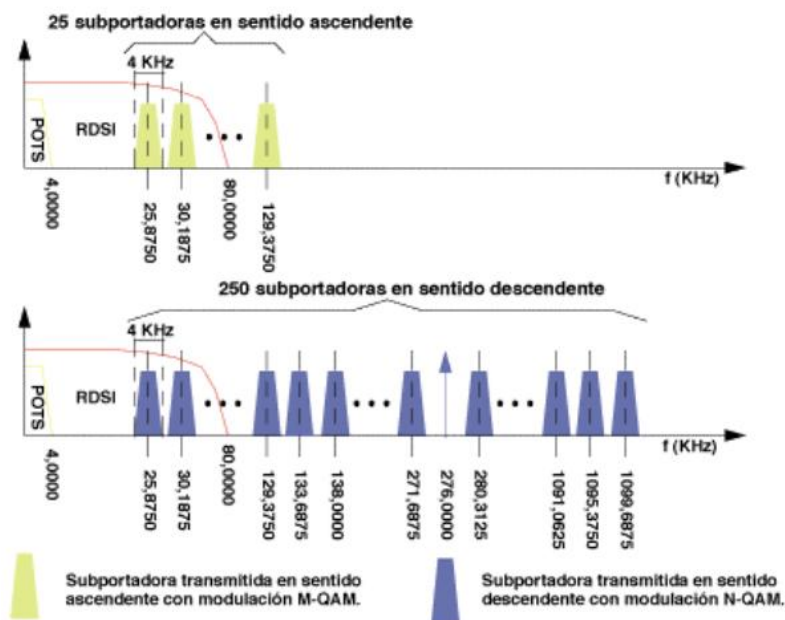
Las tecnologías DSL se normalizaron bajo los auspicios de la UIT-T, por ejemplo, el estándar G.991 especifica el funcionamiento del transceptor ADSL, incluida la modulación, la codificación de canales, el ancho de banda del sistema y los niveles de potencia de transmisión. Otras normas de la serie G99x especifican los procedimientos de establecimiento de llamada (G.994), pruebas (G.996) y gestión de la capa física (G.997).

En particular, G.992 define cómo los sistemas ADSL comparten el ancho de banda del cable de cobre con la voz mediante multiplexación por división de frecuencia (FDM). La banda de frecuencias de 0-4 kHz se reserva para la voz, y la de 25-1104 kHz para las transmisiones

ascendentes y descendentes, tal como se ilustra en la Figura 2.5. Se asigna una banda de guarda entre 4 kHz y 25 kHz para minimizar las interferencias mutuas entre las transmisiones de voz y datos.

Figura 2.4

Asignación de bandas de frecuencia ADSL



Fuente: (Veá, 2013)

2.3. Arquitectura del sistema de línea de abonado digital

La estructura del sistema DSL se construye con una topología en estrella basada en una central telefónica de un operador, también conocida /como oficina central (Central Office, CO). La CO se conecta a un equipo local del cliente (Customer Premises Equipment, CPE) mediante cables de cobre de par trenzado utilizados hasta ahora para los servicios de telefonía. En algunas configuraciones, una CO está conectada a un terminal remoto (Remote Terminal, RT) mediante un enlace de fibra óptica y un RT y un dispositivo CPE están conectados mediante cables de cobre de par trenzado.

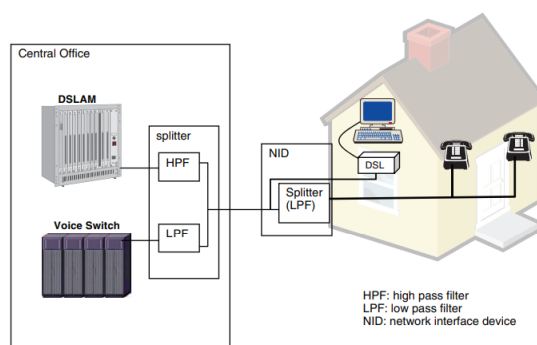
Como se utiliza el mismo medio para DSL y telefonía, se necesita un dispositivo que garantice que los dos servicios no interfieran entre sí. Esto es posible gracias a un «divisor», un dispositivo pasivo compuesto por un filtro pasa bajo y otro de pasa alto. El filtro pasa bajo pasa la señal de voz hasta 4 kHz y suprime toda la energía de frecuencia por encima de esa frecuencia. El filtro pasa alto suprime toda la energía de frecuencia por debajo de 25 kHz, y pasa todas las frecuencias por encima, tal como se utiliza para DSL.

Se necesitan dos divisores para cada abonado, uno en las instalaciones del cliente para las comunicaciones descendentes y otro en la CO (o RT si se utiliza una) para los enlaces ascendentes. Un módem DSL convierte los bits digitales en señales analógicas utilizando un modulador multitono discreto (Discrete Multi-Tone, DMT) en el lado del transmisor y demodula las señales analógicas en bits de datos en el lado del receptor.

La CO da servicio a un gran número de dispositivos CPE de abonados DSL. Las señales de los dispositivos CPE en sentido ascendente se multiplexan juntas en la CO y se reenvían a Internet. En la otra dirección, las señales entrantes de Internet deben conmutarse a su destino final. Estas funciones las realiza un dispositivo conocido como multiplexor de acceso DSL (DSL Access Multiplexer, DSLAM). DSLAM es, de hecho, un enrutador de borde, que conmuta los paquetes del IP tanto en sentido ascendente como descendente. En la figura 2.6 se muestra el sistema DSL típico.

Figura 2.5

Componentes del sistema DSL.



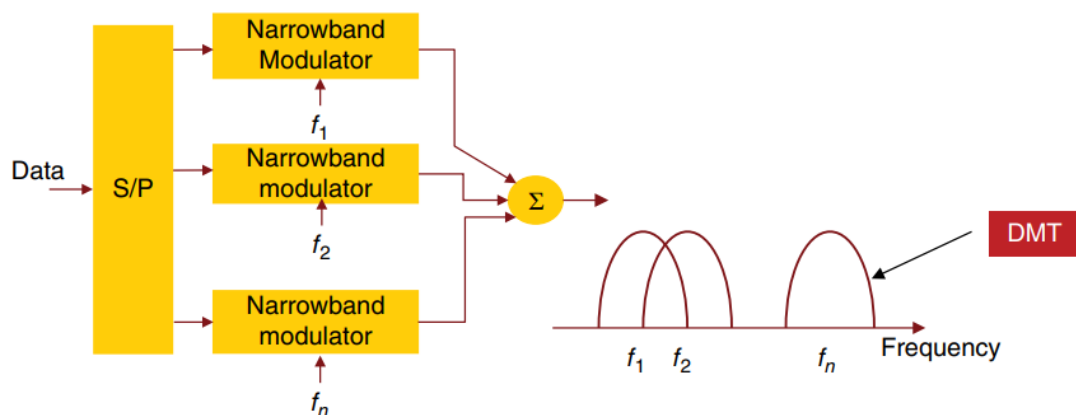
Fuente: (Gorshe et al., 2014)

2.3.1. Multitono discreto

El espectro de transmisión de ADSL se divide en muchas subportadoras de banda estrecha, y la transmisión de datos se realiza en paralelo a través de estas subportadoras. Cada subportadora se conoce como tono, y la transmisión de datos se denomina DMT. En este proceso, los datos de entrada se convierten primero de serie a paralelo y se asignan a una serie de símbolos. A continuación, cada símbolo se modula en una subportadora, que luego se multiplexa por división de frecuencia y se transmiten, tal como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.6

Transmisión de datos multitono discreto usando subportadoras

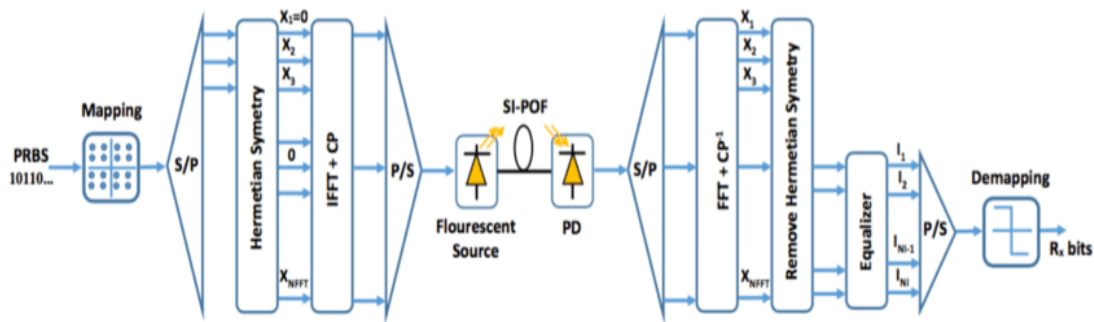


Fuente: (Kim, 2022)

Obsérvese que las subportadoras se solapan y son ortogonales entre sí. La multiplexación y demultiplexación de señales DMT se realiza mediante técnicas de transformada discreta de Fourier (DFT). En este caso, los datos se modulan en el dominio de la frecuencia, y cada símbolo de datos, por ejemplo, un símbolo 16-QAM se representa mediante la amplitud y la fase de una portadora de frecuencia, que es ortogonal a sus portadoras de frecuencia vecinas. En la Figura 2.8 se muestra la multiplexación de señales DMT y su transmisión. (Nogueira S. et al., 2016).

Figura 2.7

Asignación de bandas de frecuencia ADSL

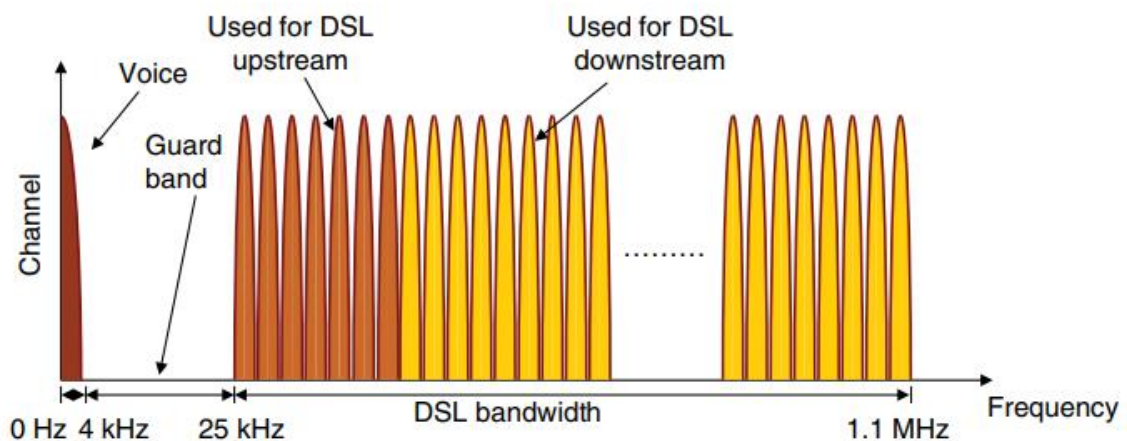


Fuente: (Nogueira S. et al., 2016)

En ADSL, cada subportadora ocupa un ancho de banda de 4.3125 kHz sobre el que se transmite un símbolo de 4k símbolo por segundo. Cada subportadora se evalúa individualmente en función de su relación señal/interferencia más ruido (SINR) para decidir el nivel de modulación QAM múltiple. La capacidad del canal se calcula a partir del número de subportadoras asignadas a las líneas ascendente y descendente, así como del ruido del sistema y las distorsiones de otros hilos del mismo haz de cables (diafonía) en función de la longitud del medio, tal como se observa en la Figura 2.9.

Figura 2.8

Asignación de bandas de frecuencia ADSL con modulación DMT.

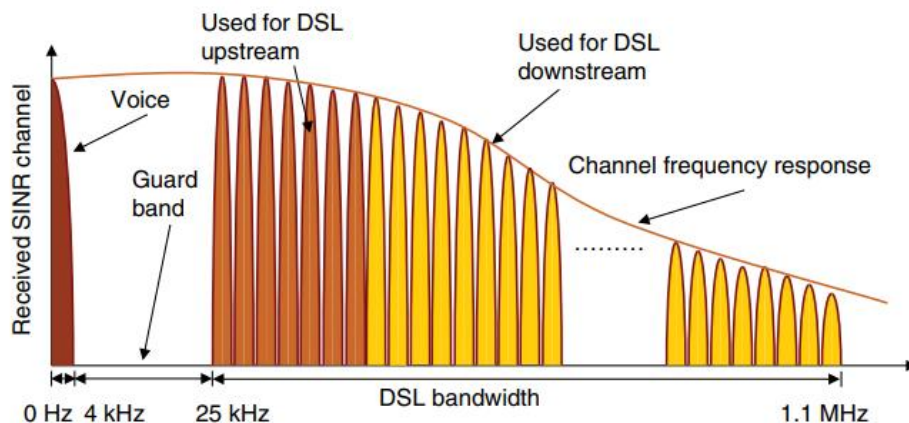


Fuente: (Gorshe et al., 2014)

Como se muestra en la Figura 2.2, el cable de cobre de par trenzado tiene una respuesta en frecuencia de pasa bajo, es decir, las frecuencias más bajas experimentan una pérdida de trayecto menor en comparación con las frecuencias más altas. De ello se deduce que las señales transmitidas a frecuencias más bajas llegarán con un nivel de potencia de señal más alto al receptor en comparación con las frecuencias más altas y, por lo tanto, con una SINR más alta, tal como se observa en la Figura 2.10.

Figura 2.9

Nivel SINR recibido de la portadora ADSL.

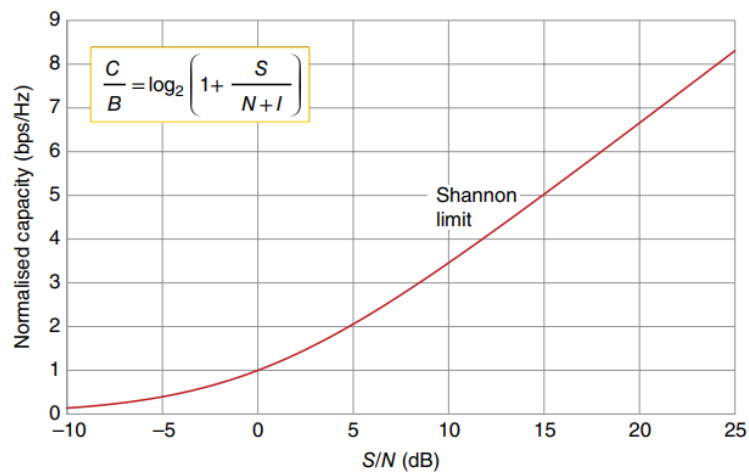


Fuente: (Gorshe et al., 2014)

El teorema de Shannon demuestra que los canales con mayor SINR pueden soportar mayores velocidades de transmisión, es decir, se pueden transportar más bits por segundo por cada hercio de espectro, como se muestra en la Figura 9.10 (nótese el nuevo término I en el denominador, que representa la potencia de interferencia.) Esto significa que las portadoras ADSL de menor frecuencia pueden soportar mayores velocidades de transmisión empleando técnicas QAM multinivel para aprovechar las buenas condiciones del canal.

Figura 2.10

Tarjetas de red del IOS de un router



Fuente: (Gorshe et al., 2014)

2.3.2. Transmisión cruzada (CrossTalk)

El rendimiento de los sistemas de cable de cobre de par trenzado se ve afectado por las interferencias de otras conexiones telefónicas. En general, el teléfono de una casa se conecta individualmente a una central telefónica. Sin embargo, todas las líneas telefónicas de un vecindario se agrupan en un conducto subterráneo y se combinan con cables de zonas cercanas antes de llegar a la central, tal como se muestra en la configuración típica de la figura 2.12. Aunque estos cables están aislados entre sí, siguen actuando como una fuente de interferencias.

Aunque estos cables están aislados entre sí, actúan como antenas electromagnéticas que transmiten su señal a otros cables de los conductos y reciben señales de ellos. Esta interferencia se conoce generalmente como diafonía, y existe en dos tipos principales:

- diafonía en el extremo cercano (NEXT)
- diafonía lejana (FEXT)

NEXT se produce cuando se reciben señales interferentes en dispositivos cercanos. Por ejemplo, dos módems ADSL pueden estar enviando y recibiendo datos a través de sus respectivas líneas hacia/desde una CO. La señal transmitida de un módem ADSL puede inducir interferencias sobre el otro módem, afectando a la señal recibida en el extremo cercano. El FEXT se produce cuando la señal de un módem induce interferencias en sentido ascendente y repercute en la señal de otro abonado en una CO.

Lo mismo puede ocurrir en las transmisiones descendentes. En general, el nivel de potencia NEXT puede ser bastante alto si la longitud del trayecto de la señal interferente es menor en comparación con la señal deseada (procedente de un extremo opuesto). El nivel de potencia FEXT es del mismo orden de magnitud en comparación con la señal deseada, ya que ambas recorren distancias relativamente iguales hasta extremos opuestos. NEXT y FEXT se muestran en la figura 2.13.

Los impactos de NEXT y FEXT son acumulativos. Cada dos usuarios inducen un cierto grado de interferencia sobre las señales del otro en función del nivel de potencia de la señal, la proximidad, el calibre y aislamiento de la línea y la frecuencia de funcionamiento. Como hay muchas líneas agrupadas en el mismo cable físico, cada señal de usuario induce interferencias sobre todas sus vecinas en distintos grados. La interferencia cruzada acumulada añade una cantidad significativa de ruido al sistema ADSL y es una de las principales causas de la reducción de la capacidad.

Dado que las normas ADSL y VDSL especifican el uso de bandas de frecuencia diferentes para los canales ascendente y descendente, las interferencias del flujo ascendente no afectarán significativamente a la recepción del flujo descendente. En consecuencia, el proceso NEXT no contribuye demasiado al cálculo del rendimiento y la capacidad de ADSL. En cambio, el proceso FEXT contribuye significativamente al ruido y las interferencias totales en los sistemas ADSL/VDSL, y es una de las principales causas de la degradación de la capacidad.

2.3.3. Cálculo de la capacidad de una línea de abonado digital

Las velocidades de transmisión máximas posibles de los sistemas ADSL/VDSL, o capacidad de los sistemas, se calculan de forma similar a partir del teorema de Shannon, basándose en el ancho de banda disponible y la SINR. Cuanto mayor sea la SINR, es decir, cuanto más limpia sea la señal en comparación con el ruido y las interferencias, mayores serán las velocidades de transmisión que se puedan soportar.

La respuesta en frecuencia de la interferencia se comporta de forma similar a la de la señal: es más baja a frecuencias más altas. A medida que aumenta la pérdida de trayecto a frecuencias más altas, tanto la señal como la interferencia se debilitan. El AWGN, sin embargo, se mantiene a potencia constante. El resultado es que la limitación de la velocidad de transmisión depende principalmente de la interferencia en las frecuencias bajas, pero también del ruido en las frecuencias altas. Dado que se utiliza un método de modulación DMT, las distintas subportadoras experimentan capacidades diferentes en función de los niveles de potencia de la señal, el ruido y las interferencias en esa frecuencia concreta.

2.4. Mejoras en los estándares HFC

La mejora en cuanto a las velocidades de internet se puede llevar a cabo minimizando el número de usuarios de 250 a 128 y esto se conoce como arquitectura n+0 en la que se compone en un solo nodo sin amplificadores. Los proveedores de servicio de internet van cambiando gradualmente a FTTP utilizando PON.

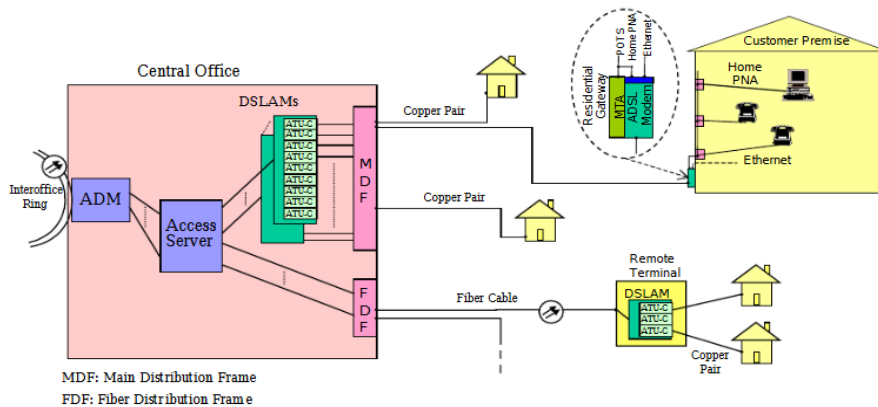
2.4.1. Estándar ADSL2.

ADSL2 incorpora una mejor codificación de canales, reduce la sobrecarga de tramas y admite múltiples pares de hilos, multiplicando así la capacidad (Horvath et al., 2020). El número de bits por canal que se obtienen mediante la técnica de duplexación por división de

frecuencia (Frequency-Division Duplexing, FDD) del servicio ADSL, utilizando parámetros modelados y medidos, se muestra en la Figura 2.12.

Figura 2.11

Arquitectura de ADSL2.



Fuente: (Fryxell et al., 2011)

2.4.2. Estándar ADSL2+.

ADSL2+ incrementó el ancho de banda total de 1.1 a 2.2 MHz, duplicando así la velocidad máxima de transmisión posible en sentido descendente. El espectro de subida sigue siendo el mismo en algunas variantes de los estándares, o se duplica en otras. La figura 2.13 muestra la relación señal/ruido (SNR) para el canal descendente de un sistema ADSL y los posibles bits que admite cada carrera en ese posible nivel de SNR.

La velocidad de transmisión de ADSL depende de la SINR recibida. La potencia de la señal recibida disminuye a medida que aumenta la distancia entre la OC y el CPE. Como se ha comentado anteriormente, la pérdida de trayecto del cable de cobre depende de la frecuencia de la portadora, y las frecuencias más altas experimentan una mayor pérdida de trayecto.

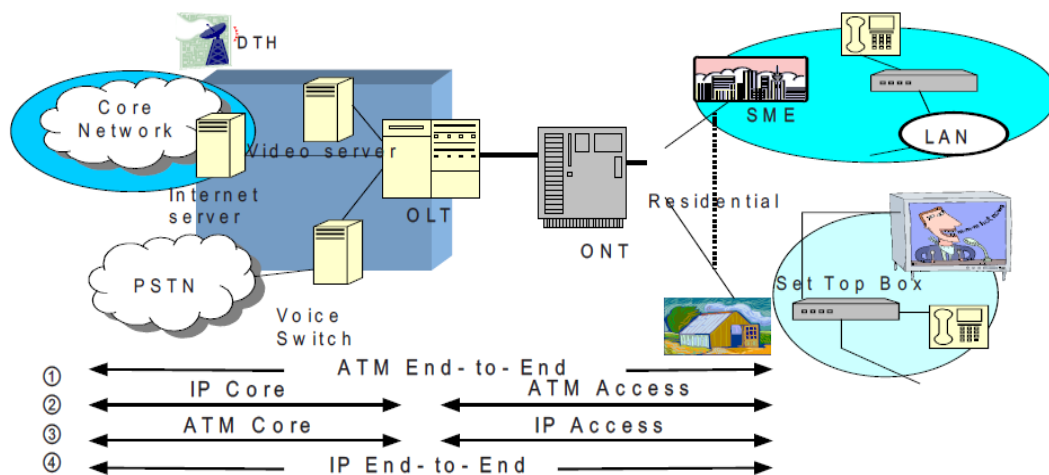
Esto significa que, a distancias cortas, todas las subportadoras experimentan una pérdida de trayecto baja y, por lo tanto, la SINR es alta en todas las subportadoras. En distancias largas, las subportadoras más altas experimentan grandes pérdidas de trayecto y, por tanto, pueden contribuir poco a la capacidad ADSL global.

2.4.3. Estándar VDSL.

La arquitectura de la red VDSL que se muestra en la Figura 2.13 proporciona servicios multimedia (voz, datos y vídeo) combinando la infraestructura actual de la red central ATM o IP con la red de última milla (VDSL). Este resultado se utilizará para el diseño de la red de servicios xDSL de próxima generación, que es uno de los componentes importantes de la informática grid de próxima generación.

Figura 2.12

Arquitectura de VDSL.



Fuente: (Yoe & Lee, 2004)

2.5. Sistemas de cables coaxial.

La televisión por cable surgió a finales de la década de 1940 como solución a la débil recepción de la señal de televisión por aire en determinadas zonas (Ciciora, 1990). Desde entonces, la infraestructura de cable coaxial utilizada originalmente para la distribución de televisión se ha reutilizado para otras aplicaciones, como la mejora de la cobertura LTE en interiores (Gandarillas et al., 2011).

Estos avances permitieron incrementar la eficiencia espectral, mejorar la cobertura y satisfacer la creciente demanda de servicios móviles, manteniendo al mismo tiempo la compatibilidad con la infraestructura existente.

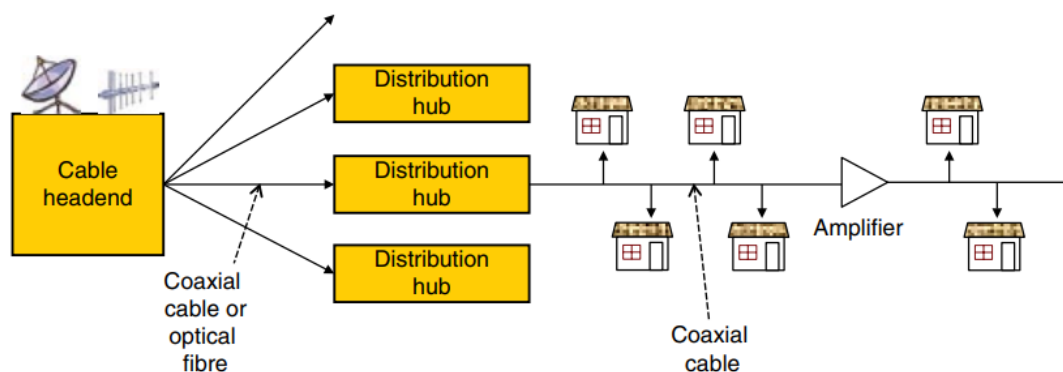
Los sistemas de televisión por cable (Cable Television, CATV) han evolucionado considerablemente desde su creación. Los sistemas tradicionales de CATV utilizaban antenas maestras para recibir y distribuir señales de televisión a través de cables coaxiales a los abonados. Las redes modernas de televisión por cable para ofrecer servicios de voz y datos pueden realizarse mediante 2 vías: redes superpuestas y redes integradas.

Estos sistemas suelen constar de un Headend para la recepción y el procesamiento de la señal, seguida de una red de distribución que llega a los domicilios, tal como se muestra en la Figura 2.14.

El protocolo de especificación de la interfaz de servicio de datos por cable (Data-Over-Cable Service Interface Specification, DOCSIS) permite la transmisión de datos a alta velocidad a través de redes de cable. Además, el desarrollo de decodificadores digitales ha facilitado la implementación de aplicaciones interactivas y servicios basados en Internet, mejorando la experiencia general del usuario (Ovadia, 2001).

Figura 2.13

Arquitectura del sistema CATV.

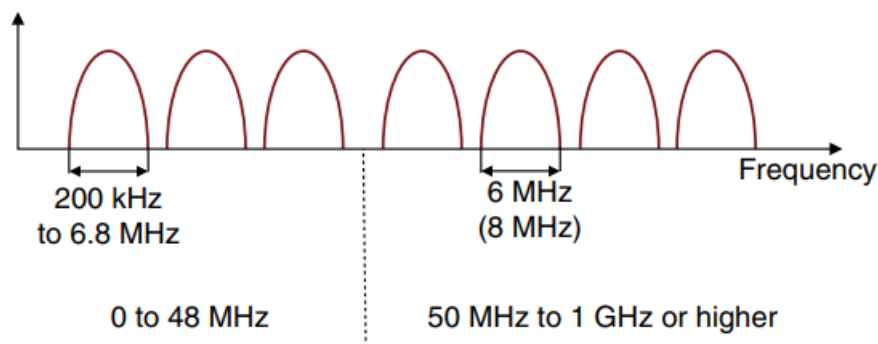


Fuente: (Esmailzadeh, 2016)

DOCSIS es un estándar para la transmisión de datos a través de redes híbridas de fibra coaxial (HFC), que permite a los operadores de televisión por cable ofrecer servicios de Internet y telefonía junto a la radiodifusión tradicional. Desarrollado a finales de los 90, DOCSIS divide el espectro de frecuencias en canales de bajada (50 MHz-1 GHz) y de subida (2-45 MHz), soportando anchos de banda de 6-8 MHz (U. Fischer et al., 2021; W. Fischer, 2020), tal como se muestra en la Figura 2.15.

Figura 2.14

Asignación de frecuencias a la televisión por cable.



Fuente: (Esmailzadeh, 2016)

El protocolo emplea un enfoque centralizado basado en la reserva para las transmisiones ascendentes, controlado por el sistema de terminación de cable módem (Cable Modem Termination System, CMTS) (Droubi et al., 2000). DOCSIS ha evolucionado para abordar los requisitos de calidad de servicio (QoS) y optimizar la asignación de ancho de banda (Campo et al., 2009; Droubi et al., 2000).

Los esfuerzos de normalización se han centrado en crear interfaces y protocolos comunes para permitir que el abonado sea propietario del equipo terminal y garantizar la compatibilidad entre los canales de datos y vídeo (Heyaime-Duverge & Prabhu, 2010). Estos avances han hecho de DOCSIS una tecnología crucial para la prestación de servicios triple play a través de redes de cable.

DOCSIS es una especificación para la transmisión de datos a través de redes HFC que permite servicios de Internet de alta velocidad, telefonía y radiodifusión (W. Fischer, 2020). Utiliza frecuencias de televisión por cable para las comunicaciones de subida y bajada, con paquetes de datos multiplexados por división en el tiempo en la bajada y transmitidos mediante acceso múltiple por división en el tiempo en la subida (Grela & Monzón, 2020).

El CMTS controla las transmisiones y asigna el ancho de banda de forma dinámica para garantizar la calidad del servicio (Droubi et al., 2000). DOCSIS emplea varias técnicas de modulación, incluyendo QPSK y QAM, con versiones más recientes que soportan hasta 4096-QAM (Grela & Monzón, 2020). La adquisición de paquetes en la transmisión ascendente implica procesos basados en preámbulos para la detección de paquetes, la estimación de la temporización del símbolo y la estimación del desplazamiento de la frecuencia portadora (Wang & Speidel, 2003).

Los recientes avances en DOCSIS 3.1 utilizan sistemas OFDM y OFDMA, que permiten velocidades de transferencia máximas teóricas de 16.9 Gbps en sentido descendente y 1.86 Gbps en sentido ascendente, lo que convierte a las redes HFC en una solución viable para las crecientes demandas de transferencia de datos (Grela & Monzón, 2020).

2.6. Sistemas de fibra óptica

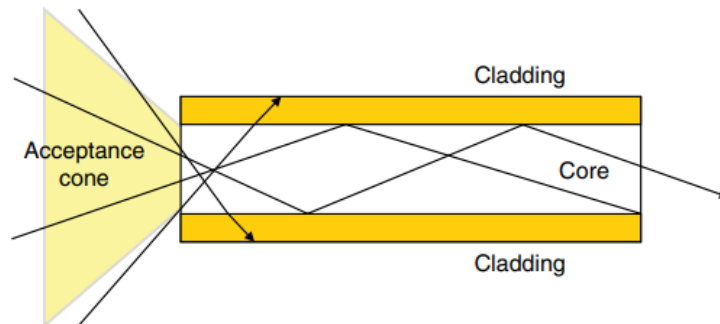
Las comunicaciones ópticas han evolucionado mucho desde los primeros experimentos de Alexander Graham Bell con luz incoherente (Solymar, 2021).

En 1976, las pérdidas de la fibra se habían reducido a 0.5 dB/km, lo que llevó a su adopción generalizada en las líneas telefónicas troncales (Tamura et al., 2018). El equipo de investigación de Corning formado por Keck, Maurer y Schultz desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de las primeras fibras ópticas de bajas pérdidas, allanando el camino para los modernos sistemas de comunicación óptica (Schultz, 2010).

Se basaban en el hecho de que la luz se reflejará en un medio si el ángulo de incidencia es inferior a un determinado valor, tal como se muestra en la Figura 2.16.

Figura 2.15

Diagrama del confinamiento de la luz en una fibra de vidrio.



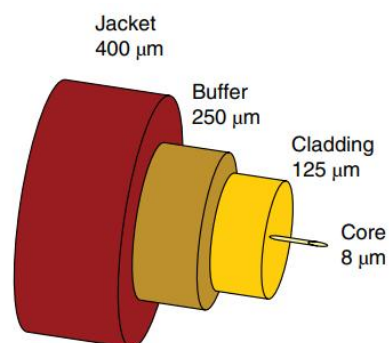
Fuente: (Esmailzadeh, 2016)

Los recientes avances en la tecnología de fibra óptica han mejorado significativamente la capacidad de transmisión de señales. Los investigadores han desarrollado fibras de núcleo hueco con una atenuación comparable o inferior a la de las fibras de sílice tradicionales en varias longitudes de onda (Sakr et al., 2020).

En la Figura 2.17 se muestra una estructura de fibra de vidrio. El núcleo de vidrio es muy fino, del orden de varios micrómetros. Está cubierto por varias capas de protección de plástico para garantizar que el núcleo no se rompa. La hebra de fibra resultante tiene menos de 0,5 mm de grosor.

Figura 2.16

Estructura de una fibra de vidrio.



Fuente: (Esmailzadeh, 2016)

La tabla 2.2 muestra varias frecuencias portadoras centrales para canales de 50 GHz de ancho de banda. En ciertas ocasiones, un proveedor de fibra óptica puede utilizar varias frecuencias portadoras emitiendo en varias fuentes de luz con distinta longitud de onda para multiplexar más flujos de datos y transmitir a mayor velocidad. Esta técnica se conoce como multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

Tabla 2. 2: Anchos de banda de frecuencia y longitudes de onda

<i>Frecuencia portadora nominal (GHz)</i>	<i>Longitud de onda central nominal (nm)</i>
<i>195 650</i>	1532,3
<i>195 700</i>	1531,9
<i>195 750</i>	1531,5
<i>195 800</i>	1531,1
<i>195 850</i>	1530,7

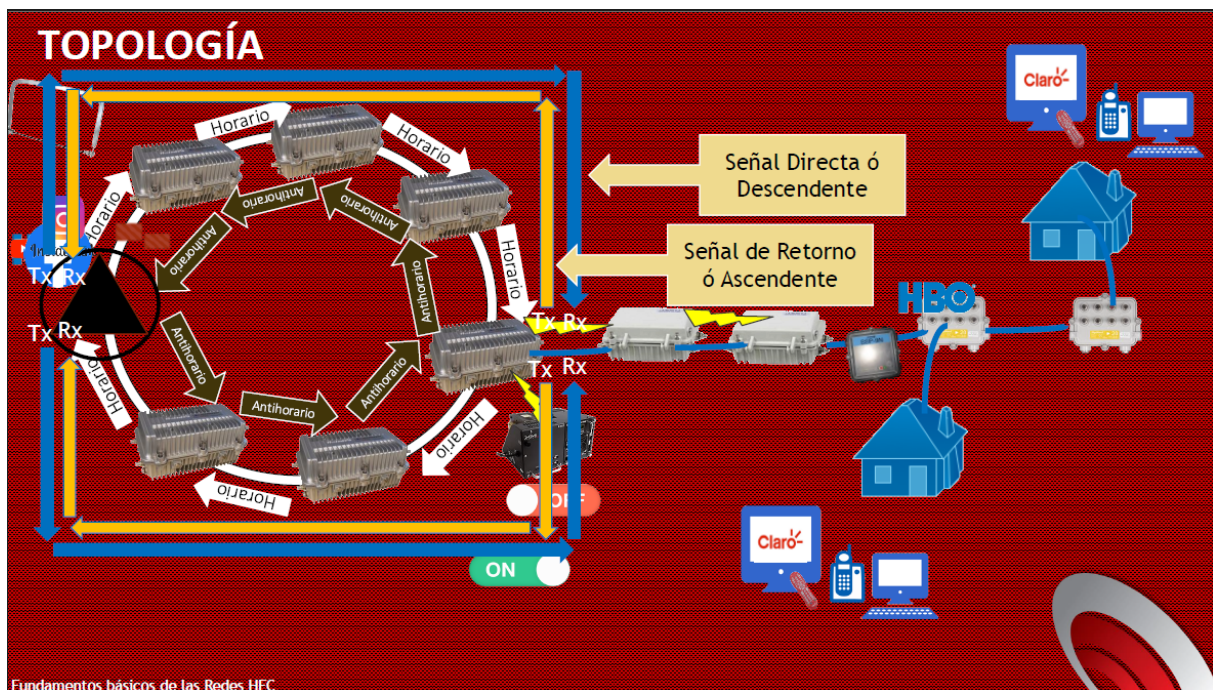
Fuente: (Esmailzadeh, 2016)

2.7. Arquitectura de redes HFC.

Las redes HFC se asemejan a una jerarquía en forma de árbol. En la Figura 2.18 se muestra un ejemplo. A menudo, la red se construye a lo largo de un período prolongado. Normalmente, algunos operadores fueron comprados y fusionados en este proceso. Esto contribuye a una mayor heterogeneidad técnica de los segmentos individuales de la red (hubs). Los concentradores representan la estructura física de la región de la red. Por lo general, los dispositivos de dicha región se construyeron juntos al mismo tiempo con la misma tecnología y configuración. Curiosamente, algunas regiones del país son peores que otras. (Simakovic & Cica, 2021).

Figura 2.17

Arquitectura de una red HFC.



Fuente: Autor.

El nodo raíz de un concentrador denominado sistema de terminación de módem por cable (CMTS) contiene varias zonas de nodos de fibra que se conectan mediante fibra óptica. Así, estas conexiones son muy fiables y, en caso de avería, resulta sencillo identificar el punto exacto del fallo. El área de cada nodo de fibra limita cualquier interferencia de señal. Un nodo de fibra, que suele utilizar amplificadores de línea y distribución, y divisores ópticos que conecta la última milla a la red. El último amplificador antes del consumidor final, es decir, la casa, se denomina amplificador de última línea. Basadas en cables coaxiales de cobre, en particular, la corrosión puede influir gravemente en la calidad de las conexiones, ya que algunas partes de estas redes tienen ya muchas décadas.

Capítulo 3: Análisis, Diseño y simulación

3.1. Descripción general del sistema

El sistema automatizado diseñado en esta investigación está orientado a mejorar la gestión técnica de redes HFC, abordando uno de los aspectos más sensibles de su operación: los niveles de potencia óptica en nodos. Estos niveles, si no se mantienen dentro de un rango específico, pueden desencadenar fallos en la calidad del servicio, como interrupciones, pérdida de señal o degradación del rendimiento.

Lo que motivó este desarrollo fue la necesidad de contar con una herramienta que no solo permita supervisar constantemente estos valores, sino que también reaccione sin intervención humana cuando se detectan condiciones críticas. La mayoría de las soluciones comerciales disponibles en el mercado requieren altos costos de licencia, capacitación especializada o no se adaptan con facilidad a redes heterogéneas, como suele ocurrir con redes HFC que han sido construidas en etapas y con distintas tecnologías.

Este sistema fue diseñado como una solución de bajo costo, portable, y adaptable. Su concepción en lenguaje Python lo hace accesible para operadores que ya cuenten con plataformas abiertas, o que estén en proceso de transición hacia modelos automatizados de gestión. Además, puede funcionar en modo de simulación o conectado a una red real, según el entorno en el que se requiera aplicar.

En su configuración actual, el modelo de simulación del sistema permite generar potencias ópticas simuladas, analizarlas según umbrales definidos por el operador, activar una acción correctiva si fuera necesario, y registrar cada evento detectado. De esta manera, reproduce las condiciones reales de monitoreo y permite evaluar con datos estadísticos cómo sería su desempeño en producción.

3.2. Implementación en Python: librerías y herramientas

Se eligió Python por su versatilidad y amplio soporte para protocolos de red y análisis de datos. Entre las librerías utilizadas destacan:

- `pysnmp`: Comunicación mediante SNMP, permitiendo consultas.
- `paramiko`: Conexiones SSH seguras y ejecución remota de comandos.
- `netmiko`: Facilitar la interacción con dispositivos de red mediante CLI.
- `smtplib`: Para envío de correos electrónicos de alarma.

El desarrollo se realizó en un entorno integrado en Visual Studio Code, facilitando la depuración y gestión del código.

3.2.1. Arquitectura del sistema

El diseño del sistema se basa en una arquitectura modular que permite realizar funciones específicas de manera eficiente. Para entender claramente la interacción y dependencia entre estos módulos, se incluye un diagrama de flujo (ver Figura 3.1) que muestra de manera visual y ordenada cada paso involucrado en el proceso operativo del sistema. Se define en cuatro módulos principales, cada uno con funciones claramente definidas:

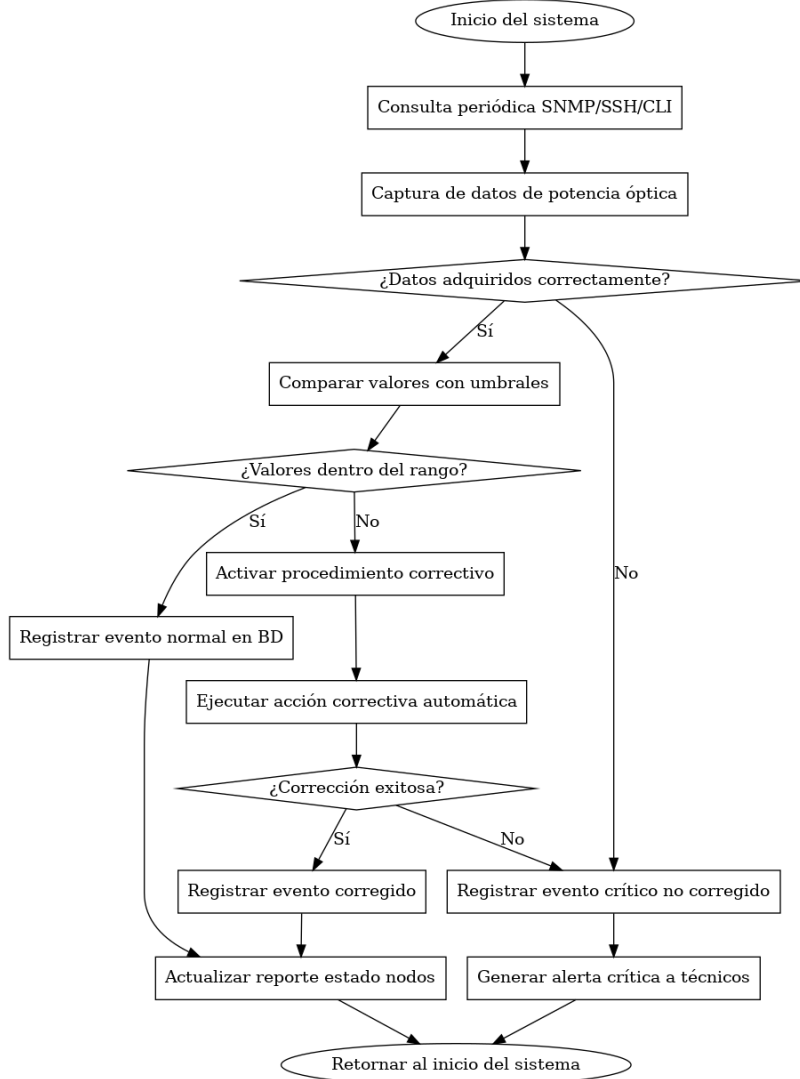
- **Módulo de adquisición de datos:** el diseño conceptual del módulo de adquisición de datos tiene como función la obtención de datos de los niveles ópticos de cada nodo HFC en tiempo real. Para esto, se utilizarán protocolos estándar de la industria como SNMP (Simple Network Management Protocol), SSH (Secure Shell), y CLI (Command Line Interface). El módulo realizará consultas periódicas automáticas a los nodos, obteniendo valores instantáneos de potencia óptica recibida en tiempo real. Estos datos formarán la base para las decisiones que tome posteriormente el operador.

- **Módulo de análisis y comparación:** el diseño del módulo de análisis en el cual se registran los datos y comparación, nos permite la evaluación inmediata contra los umbrales previamente establecidos y almacenados en una data de referencia y posteriormente obtener los valores de potencia óptica. Por medio de un análisis se determina si la potencia óptica está dentro del rango aceptado, o si, por el contrario, esta fuera del rango. Este módulo es muy importante, pues su precisión determina el correcto funcionamiento del sistema completo.
- **Módulo de acciones correctivas automáticas:** Cuando el módulo de análisis detecta un estado que se considera realizar un ticket, este módulo se activa para intentar corregir la caída de niveles de potencia sin intervención humana, es decir que el personal técnico acuda al punto. Las acciones a implementarse pueden variar según el tipo de nodo y el problema que se tenga, pero generalmente incluye:
 - Ajustes remotos: Modificar los niveles de potencia para estabilizar la señal de la red.
 - Reinicios controlados: Un reset parcial o completo del nodo para restablecer condiciones normales.
 - Reconfiguraciones rápidas: Aplicar comandos para restaurar configuraciones predeterminadas o corregir errores.

Después de ejecutar una acción, el sistema vuelve a medir la potencia para verificar si la corrección fue exitosa. Si el problema continúa, se genera una alerta y un ticket para que el personal técnico intervenga de manera manual.

Figura 3.1

Diagrama de flujo del sistema.



Elaborado por: Autor.

3.2.2. Definición de umbrales de potencia.

La precisión del sistema depende en gran medida de la correcta definición de los umbrales de potencia óptica. Estos valores no son arbitrarios; se basan en:

- Especificaciones técnicas del fabricante: Cada nodo tiene un rango operativo recomendado para la potencia óptica junto con los amplificadores.

- Condiciones operativas de la red: Factores como la distancia, tipo de cableado y condiciones ambientales pueden influir en los valores óptimos.

- Experiencia operativa: Datos históricos y conocimiento del comportamiento típico de la red ayudan a ajustar los umbrales para minimizar falsas alarmas. A continuación, en la tabla 3.1 muestra los valores específicos utilizados como referencia para validar las lecturas de potencia óptica de cada nodo monitoreado:

Tabla 3. 1: Umbrales de potencia óptica para nodos SG4000 Y RMD

<i>Tipo de Nodo</i>	<i>Potencia Óptima (dBm)</i>	<i>Umbral Inferior (dBm)</i>	<i>Umbral Superior (dBm)</i>
<i>Nodo SG4000 (G02020)</i>	0.0	-5.0	3.0
<i>Nodo RMD U05145AB (Segmento A)</i>	-7.0 y -18.0	-18.0	-7.0
<i>Nodo RMD G01002AB (Segmento B)</i>	-7 y -18	-18	-7

Elaborado por: Autor.

Un dato importante de establecer estos rangos es que implica que fuera de ellos indica una condición anormal que debe corregirse con suma urgencia. Un ejemplo, un nodo SG4000 puede tener un rango óptimo entre 0 dBm y +3 dBm, con un umbral máximo en -6 dBm. Estos valores se almacenan en una base de datos accesible para el sistema y pueden ser actualizados según sea necesario

Estos valores vienen por default en las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del nodo, así como por recomendaciones de prácticas y estándares internacionales en redes HFC.

El desarrollo se llevó a cabo en un entorno integrado como Visual Studio Code, que permitió una gestión eficiente del código y pruebas.

3.2.3. Configuración del Entorno de Simulación

Para validar el trabajo propuesto, se diseñó un entorno de simulación en el cual podemos ver cómo se comporta la red HFC con los nodos. Este entorno genera valores de potencia óptica simulados bajo vigilancia, incluyendo condiciones normales y caídas controladas para su respectivo análisis.

El sistema está configurado a ejecutar análisis y corrección sobre estos datos simulados, permitiendo evaluar la precisión, tiempos de respuesta y estabilidad del algoritmo la cual fue realizado. Los resultados se registran para análisis estadísticos y comparación con métodos donde la cuadrilla tiene que acercarse al punto.

Figura 3.2

Inicialización del entorno de simulación.

Algorithm 1 Inicialización del Entorno de Simulación

```
1: Definir lista de nodos ópticos: nodos_hfc []
2: for cada nodo en nodos_hfc do
3:   Establecer IP, tipo de nodo y credenciales
4: end for
5: Definir intervalo de muestreo (tiempo entre consultas)
6: Establecer umbrales de potencia óptica por tipo de nodo
7: Inicializar estructuras de almacenamiento de eventos
8: Cargar librerías: pysnmp, netmiko, pandas, logging
9: Configurar sistema de log para registrar eventos históricos
```

Elaborado por: Autor.

Figura 3.3

Lectura de potencia óptica y evaluación de estado.

Algorithm 2 Lectura de Potencia Óptica y Evaluación de Estado

```
1: for cada nodo en nodos_hfc[] do
2:   Obtener potencia óptica actual: potencia_actual ←
   obtener_valor_potencia(nodo)
3:   Umbral de referencia: potencia_ref ← umbral[nodo.tipo]
4:   if potencia_actual <potencia_ref.min or >potencia_ref.max then
5:     evento ← "Nivel fuera de rango"
6:     registrar_evento(nodo, potencia_actual, evento)
7:     activar_procedimiento_correctivo(nodo)
8:   else
9:     evento ← "Potencia normal"
10:    registrar_evento(nodo, potencia_actual, evento)
11:   end if
12:   Esperar intervalo de muestreo
13: end for
```

Elaborado por: Autor.

3.2.4. Integración con Protocolos de Red Básicos

La integración con protocolos SNMP, SSH y CLI es clave para la interoperabilidad del sistema.

Se implementaron adaptadores específicos para cada protocolo, que permiten:

- Consulta variables de estado y parámetros de umbrales técnicos.
- Ejecutar comandos de configuración o reset.
- Recibir notificaciones y eventos en tiempo real.

Esto garantiza que el sistema pueda operar en diferentes entornos y con distintos fabricantes de nodos ópticos.

Figura 3.4

Procedimiento Correctivo Automático

Algorithm 3 Procedimiento Correctivo Automático

```
1: Entrada: nodo con nivel óptico fuera de rango
2: comando ← obtener_comando_ajuste(nodo.tipo)
3: conexión ← establecer_conexión(nodo)
4: enviar_comando(conexión, comando)
5: Cerrar conexión
6: Esperar un tiempo breve
7: potencia_revisada ← obtener_valor_potencia(nodo)
8: if potencia_revisada dentro de umbral then
9:   registrar_evento(nodo, potencia_revisada, "Corrección exitosa")
10:  enviar_alerta(nodo, "Desvío corregido automáticamente")
11: else
12:  registrar_evento(nodo, potencia_revisada, "Error persistente")
13:  enviar_alerta(nodo, "Intervención manual requerida")
14: end if
```

Elaborado por: Autor.

3.3. Resultados obtenidos del nodo SG4000.

Se evalúan los datos del mes de julio de 2025 reflejando un comportamiento estable de la red HFC bajo el sistema de monitoreo automatizado. Cada uno de los nodos presenta un porcentaje de operación en estado normal superior al 90%. Las condiciones que se considera como alarma aparecen en lapsos de corta duración con caídas en el nivel de potencia.

El nodo de la tecnología SG4000 G02020 se mantiene con un promedio cercano al valor óptimo de 0 dBm. Las caídas que se consideran por debajo de -6 dBm activan el proceso automático de corrección para que se nivele la red. La recuperación de su totalidad se estima que está en un rango de 1 a 2 horas de monitoreo. Los valores promedio de cada nodo muestran una proximidad a los niveles óptimos preconfigurados por el departamento de Planta Interna.

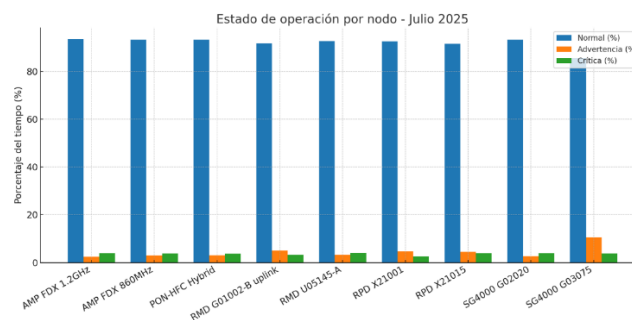
Si se llegase a comparar entre los promedios, potencias correctas existen una similitud con los parámetros de referencia. Las caídas corresponden a casos donde se pierde la señal.

Las gráficas permiten validar la capacidad de respuesta de la programación ante situaciones anómalas. La implementación del módulo de corrección automatizado cumple con la meta de mejorar el tiempo de respuesta y reducir la dependencia de intervención de las cuadrillas.

La Figura 3.5 demuestra la estabilidad como en el estado “Normal”, “Advertencia” y “Crítico” durante el mes de julio de 2025. De esta forma podemos decir que existe una estabilidad operativa. Los avisos se centran en nodos con variación en sus niveles por encima del umbral máximo, especialmente en equipos RMD ya que esta es una tecnología nueva. La reducción de estos eventos confirma el correcto funcionamiento del sistema automatizado por la cual fue creado.

Figura 3.5

Estado de operación por nodo en el mes de Julio 2025



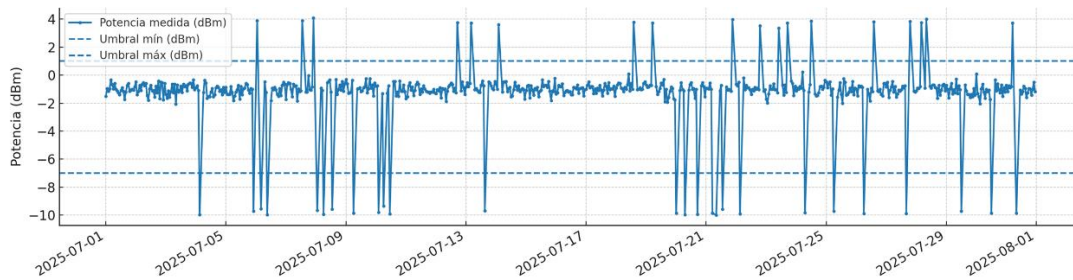
Elaborado por: Autor.

La Figura 3.6 podemos observar el comportamiento del nodo SG4000 G02020, el cual claramente se visualiza estable con incidencias limitadas a periodos en concreto. Las caídas por debajo de -7 dBm fueron registradas y tratadas mediante procesos en cual no involucra el técnico de campo. La mayor parte de las mediciones se mantiene dentro de los niveles de funcionamiento segura definida por los umbrales mínimo y máximo.

La Figura 3.7 en esta imagen podemos determinar las medidas mensuales de potencia óptica con los valores óptimos preestablecidos. Las diferencias que son pocas respecto a los umbrales confirman que el sistema mantiene la señal dentro de parámetros correctos que pueden continuar con la operación en la red sin problema. Las caídas detectadas se asocian a eventos puntuales que no afectan de manera significativa el desempeño de la red como tal.

Figura 3.6

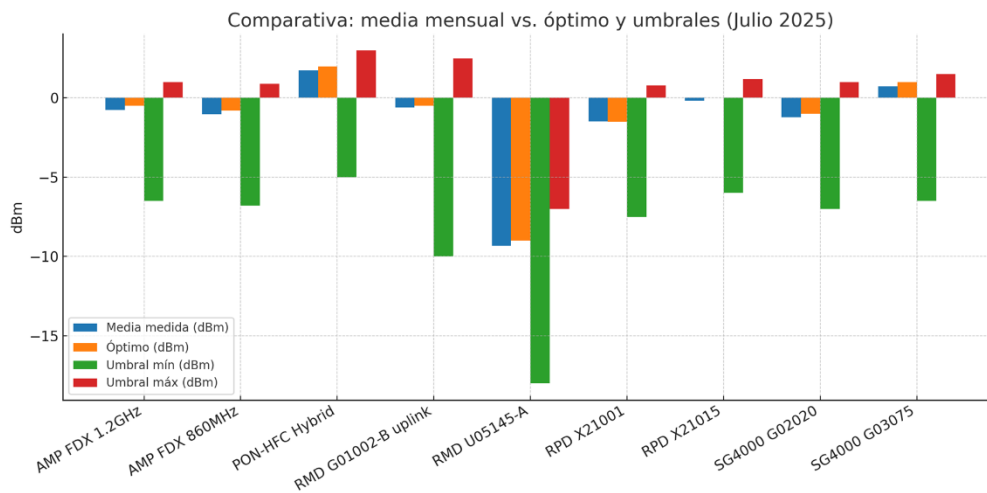
Serie temporal mensual para el nodo SG4000 G02020 (Julio 2025)



Elaborado por: Autor.

Figura 3.7

Procedimiento Correctivo Automático



Elaborado por: Autor.

3.4. Análisis de los resultados del nodo U05145 con la tecnología RMD.

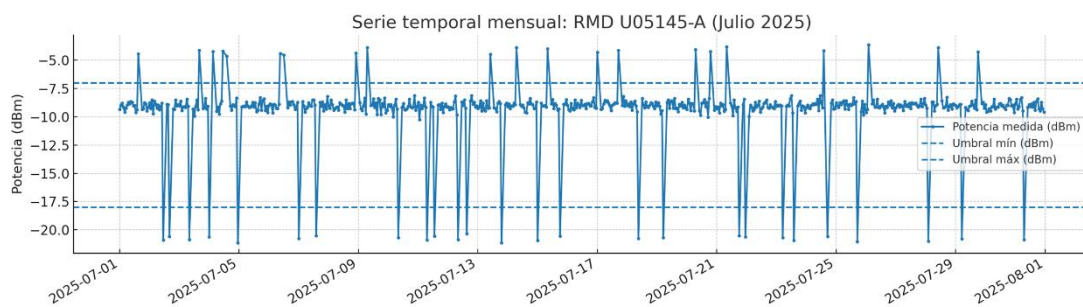
En esta grafica observamos que tiene valores muy cercanos al establecido que es -7 dBm. Las mediciones como baja potencias es bien baja. Y los puntos críticos están relacionados a incrementos en la potencia que pasan del rango establecido en 0.6 dB. La parte estable de este nodo refleja un ajuste del balance y un bajo porcentaje a eventos externos.

En la Figura 3.8 el nodo U05145-A se puede visualizar que se tiene una potencia promedio a -9 dBm, lo que se podría indicar como un comportamiento estable en la mayor parte del mes. Los niveles ópticos estuvieron dentro del rango operativo de -18 dBm a -7 dBm según su fabricante, se obtiene un porcentaje del 92% del tiempo en condiciones normales. Se

registran caídas hasta valores próximos a -20 dBm considerando que -40 se obtiene como corte de fibra. También se detecta picos breves por encima del umbral superior, llegando a 2 dB lo cual es el límite permitido. En resumen, se puede decir que se corrobora una confiabilidad en el sistema en el cual existen pocas y mejora ante incidencias lo cual resulta fiable para un proveedor de internet.

Figura 3.8

Serie temporal mensual – RMD U05145-A (Julio 2025).



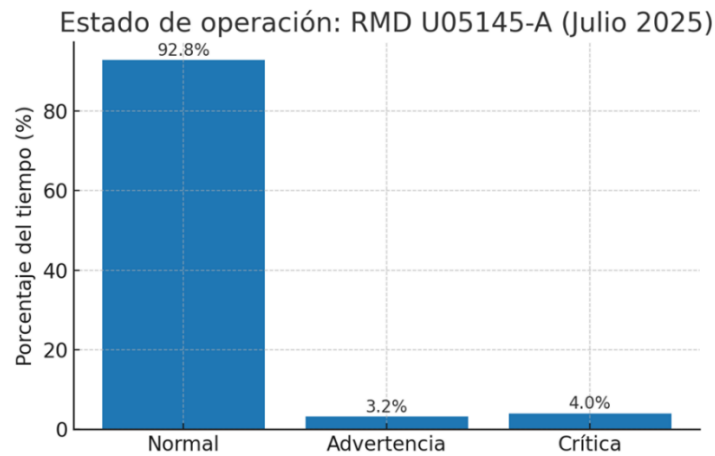
Elaborado por: Autor.

El nodo trabajó en estado normal durante el 92.8% del tiempo monitoreado, tal como se visualiza en la Figura 3.9. Las condiciones que se determinan como alarma representaron un 3.2%, principalmente a picos de potencia por encima del umbral máximo permitido. Las incidencias críticas alcanzaron un 4.0%, efectuadas por caídas de potencia óptica por debajo del umbral en la cual debe de operar normalmente.

La Figura 3.10 nos indica valores de potencia alrededor de -9 dBm. lo que sugiere estabilidad en la operación general del nodo durante el mes analizado.

Figura 3.9

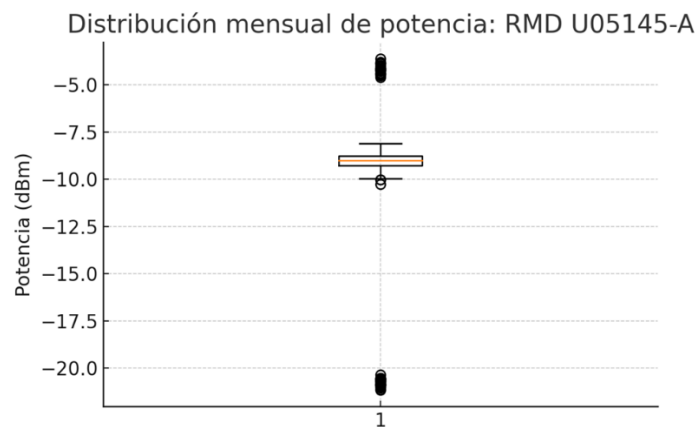
Estado de operación – RMD U05145-A (Julio 2025)



Elaborado por: Autor.

Figura 3.10

Distribución mensual de potencia – RMD U05145-A (Julio 2025)



Elaborado por: Autor.

3.5. Análisis de resultados obtenidos del nodo G01002.

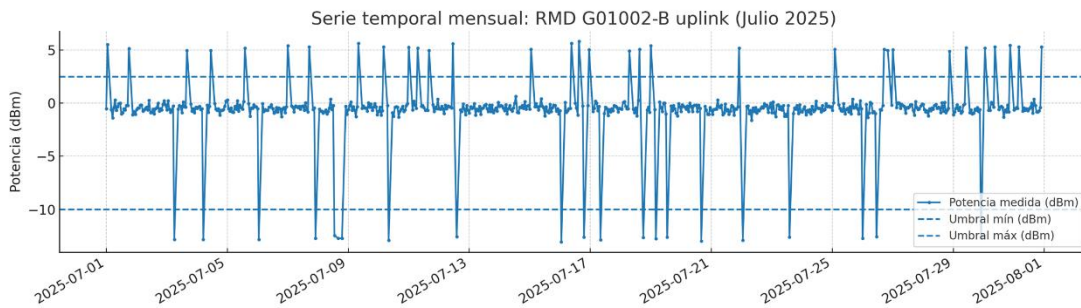
La data analizada del mes de julio 2025 muestran un promedio mensual alineado con el nivel de -1.5 dBm. El número de eventos de alarmas es ligeramente superior al del nodo U05145. No se registraron caídas que se consideren como críticas.

La Figura 3.11 nos indica la potencia media mensual cercana a -0.8 dBm, generalmente considerable estable dentro del intervalo operativo que se encuentra en -10 dBm y $+3$ dBm. Adicional a esto, se observan incidencias con caídas por debajo del umbral mínimo establecido

y con una ligera elevación con respecto al umbral máximo. En decir, se observa que se tiene una recuperación rápida después de cada caída, manteniendo la mayoría del tiempo la señal en condiciones de niveles correctos.

Figura 3.11

Serie temporal mensual de potencia para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025).

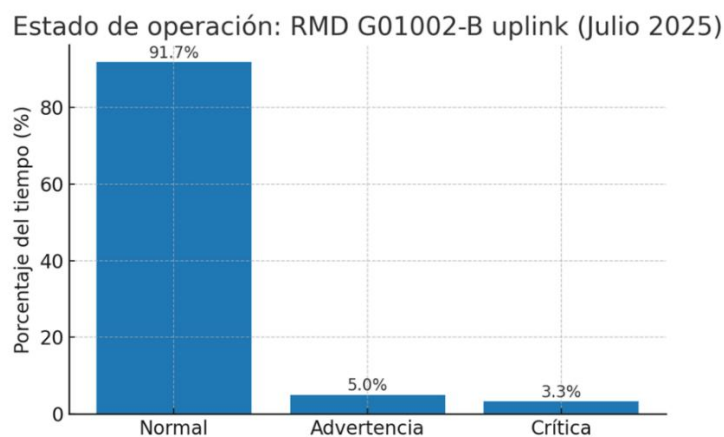


Elaborado por: Autor.

En estado crítico se encontró el 3,3 % del tiempo, se vincula a caídas de potencias ópticas registradas en eventos posteriores. Se encontró en un desempeño estable durante la mayor parte del tiempo que se monitorea.

Figura 3.12

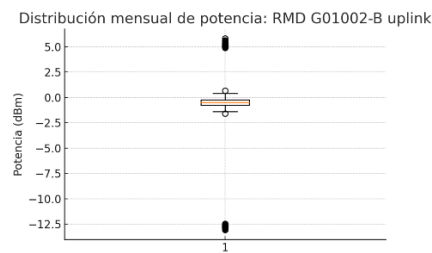
Estado de operación para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025)



Elaborado por: Autor.

Figura 3.13

Distribución mensual de potencia para el nodo RMD G01002-B uplink (julio 2025).



Elaborado por: Autor.

En resumen, un diseño modular con la implementación en Python permite estructurar un sistema automatizado robusto para la gestión de niveles ópticos en redes HFC. La definición clara de parámetros o umbrales, la integración con protocolos estándar y la capacidad de corrección automática contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio. La validación mediante simulación proporciona evidencia preliminar de la viabilidad técnica y funcional del sistema, y de esta forma para su futura implementación en entornos reales la cual funcionaría sin ningún inconveniente.

Conclusiones.

La automatización de un sistema para detectar y corregir nodos de nivel óptico en redes HFC ha permitido alcanzar varios objetivos, además de optimizar la gestión y las operaciones, así como la infraestructura necesaria para estas redes. El sistema diseñado cuenta con una arquitectura modular que mejora la recopilación continua de datos, el análisis autónomo de la información y la implementación de acciones correctivas, todo ello compatible con protocolos como SNMP, SSH y CLI. Esta configuración facilita la portabilidad del sistema en diferentes entornos y ayuda a equipar las redes HFC de manera efectiva. Por otro lado, el rendimiento en Python ha sido excelente. Las bibliotecas de terceros especializadas han proporcionado una solución rápida y económica para sistemas que requieren dispositivos de red específicos, flujos de datos y sistemas automáticos funcionales. Este sistema es viable, escalable y práctico para los operadores de servicios que buscan mejorar la calidad del servicio que ofrecen. De acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar esta estrategia, el sistema puede detectar con gran precisión las desviaciones en los niveles ópticos, clasificarlas correctamente y llevar a cabo correcciones automáticas que, en la mayoría de los casos, logran restaurar la señal de manera significativa.

Recomendaciones.

Con base en las conclusiones y la experiencia adquirida durante el desarrollo y evaluación del sistema, se plantean las siguientes recomendaciones para su implementación y mejora continua:

- Implementación progresiva en entornos reales: Se sugiere iniciar la adopción del sistema en segmentos controlados de la red HFC, permitiendo validar su desempeño en condiciones operativas reales y ajustar parámetros según las particularidades del entorno.
- Evaluación de seguridad: Dado que el sistema interactúa con dispositivos críticos de la red, es necesario implementar medidas de seguridad robustas para proteger la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información y los equipos.

Bibliografía

- Barreno G., H. J., Martínez G., O. G., López O., J. R., & Carrión B., D. P. (2024). Análisis y evaluación de parámetros de eficiencia de la señal en un sistema de transmisión sobre fibra óptica utilizando modulación QAM y empleando Optisystem. *AlfaPublicaciones*, 6(3.1), 49–68. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i3.1.516>
- Bradley, T. D., Hayes, J. R., Chen, Y., Jasion, G. T., Sandoghchi, S. R., Slavik, R., Fokoua, E. N., Bawn, S., Sakr, H., Davidson, I. A., Taranta, A., Thomas, J. P., Petrovich, M. N., Richardson, D. J., & Poletti, F. (2018). Record Low-Loss 1.3dB/km Data Transmitting Antiresonant Hollow Core Fibre. *2018 European Conference on Optical Communication (ECOC)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ecoc.2018.8535324>
- Capitia, A. D., & Mwinken, D. K. (2020, junio 30). *Estudo de implementação de uma rede de fibra óptica como meio de transmissao dos sinais de radiodifusao da rádio nacional*. <https://www.semanticscholar.org/paper/ESTUDO-DE-IMPLEMENTA%C3%87%C3%83O-DE-UMA-REDE-DE-FIBRA-%C3%93PTICA-Capitia-Mwinken/2a8206d281e63e2ca46435481c056b9f5d7aa748>
- Cruzes, D. S. (2023). Automation in Optical Networks: AI for Autonomous Fault Management. *IEEE Communications Magazine*, 61(2), 45-52. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2023.1234567>
- Fischer, U., Haupt, M., & Kußmann, P. (2021). Optical Inhouse Networks. En G. Huerta-Cuellar (Ed.), *Fiber Optics—Technology and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98921>

- Fischer, W. (2020). DOCSIS – Data over Cable Service Interface Specification. En *Signals and Communication Technology* (pp. 687–714). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-32185-7_33
- Grela, Abel. A., & Monzón, J. E. (2020). Data Transfer Rates in HFC Networks. *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, 1–8.
<https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505550>
- Heiler, G., Gadermaier, T., Haider, T., Hanbury, A., & Filzmoser, P. (2022). *Identifying the root cause of cable network problems with machine learning* (arXiv:2203.06989). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.06989>
- Horvath, T., Radil, J., Munster, P., & Bao, N.-H. (2020). Optical Amplifiers for Access and Passive Optical Networks: A Tutorial. *Applied Sciences*, *10*(17), 5912.
<https://doi.org/10.3390/app10175912>
- Hurtado P., I. G. (2022). *Desarrollo de una red FTTH con tecnología GPON para el acceso de telecomunicaciones en hogares de la ciudad de Yanahuanca, provincia Daniel Alcides Carrión, departamento Pasco* [Tesis, Universidad Tecnológica del Perú].
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6709>
- Kanamori, H. (2021). Transmission Loss of Optical Fibers; Achievements in Half a Century. *IEICE Transactions on Communications*, *E104.B*(8), 922–933.
<https://doi.org/10.1587/transcom.2020ebi0002>
- Kim, G. (2022). Design Space Exploration of Single-Lane OFDM-Based Serial Links for High-Speed Wireline Communications. *IEEE Open Journal of Circuits and Systems*, *3*, 134–146. <https://doi.org/10.1109/OJCAS.2022.3189550>

- Li, M.-J. (2020). Optical Fiber Evolution Over the Past 5 Decades. *Frontiers in Optics / Laser Science*, FM4D.1. <https://doi.org/10.1364/fio.2020.fm4d.1>
- Nogueira S., F. A., Silva, V., Anet N., L., Barbero, A. P., Ribeiro, R., & Ferreira, T. (2016). A Fast Fluorescent Light Source for Data Communication over SI-PMMA-POF. *25th International Conference on Plastic Optical Fibers*. Plastic Optical Fibers. https://www.researchgate.net/publication/313904887_A_Fast_Fluorescent_Light_Source_for_Data_Communication_over_SI-PMMA-POF
- Pallavi, Ch., Department of Electronics and Communication Engineering, Sri Venkateswara University College of Engineering, Sri Venkateswara University, Tirupati, Andhra Pradesh, India., Sreenivasulu, G., & Department of Electronics and Communication Engineering, Sri Venkateswara University College of Engineering, Sri Venkateswara University, Tirupati, Andhra Pradesh, India. (2020). A review on underwater acoustic/optical modems: Design issues, recent developments and challenges in underwater communication. *I-Manager's Journal on Communication Engineering and Systems*, 9(2), 21. <https://doi.org/10.26634/jcs.9.2.18042>
- Peñaranda V., V., Puerto L., K. C., & Ramírez M., J. J. (2022). Sistemas de radio sobre fibra y redes 5G: Perspectiva y aplicaciones. *Ingeniare*, 33, 73–88. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9732>
- Pérez A., S. A., & Puerto L., G. A. (2018). Diseño de red óptica de larga distancia reconfigurable. *Visión electrónica*, 12(1), 32–42. <https://doi.org/10.14483/22484728.13309>
- Petrovich, M. N., Fokoua, E. N., Chen, Y., Sakr, H., Adamu, A. I., Hassan, R., Wu, D., Ando, R. F., Papadimopoulos, A., Sandoghchi, S., Jasion, G., & Poletti, F. (2025, marzo 27).

First broadband optical fibre with an attenuation lower than 0.1 decibel per kilometre.

<https://www.semanticscholar.org/paper/First-broadband-optical-fibre-with-an-attenuation-Petrovich-Fokoua/f3584e74b5d0a9fea21aab79c2855610b614584e>

Sakr, H., Chen, Y., Jasion, G. T., Bradley, T. D., Hayes, J. R., Mulvad, H. C. H., Davidson, I. A., Numkam Fokoua, E., & Poletti, F. (2020). Hollow core optical fibres with comparable attenuation to silica fibres between 600 and 1100 nm. *Nature Communications*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19910-7>

Simakovic, M., & Cica, Z. (2021). Detection and Localization of Failures in Hybrid Fiber–Coaxial Network Using Big Data Platform. *Electronics*, *10*(23), 2906. <https://doi.org/10.3390/electronics10232906>

Solymar, L. (2021). Optical Communications: The Beginning. En *Getting the Message* (pp. 211–224). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198863007.003.0012>

Tamura, Y., Sakuma, H., Morita, K., Suzuki, M., Yamamoto, Y., Shimada, K., Honma, Y., Sohma, K., Fujii, T., & Hasegawa, T. (2018). The First 0.14-dB/km Loss Optical Fiber and its Impact on Submarine Transmission. *Journal of Lightwave Technology*, *36*(1), 44–49. <https://doi.org/10.1109/jlt.2018.2796647>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Méndez Celi, Luis Enrique** con C.C: # 092518507-6 autor del Trabajo de Titulación: **Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 01 de septiembre del 2025

Nombre: Luis Enrique, Méndez Celi

C.C: 092518507-6

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC		
AUTOR(ES)	Luis Enrique, Méndez Celi		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Daniel Bayardo, Bohórquez Heras Msc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	01 de septiembre del año 2025	No. DE PÁGINAS:	49
ÁREAS TEMÁTICAS:	DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO, PYTHON, NOC.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Detección, Corrección, Niveles, HFC, Fibra y Python		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este documento presenta el trabajo de integración curricular (TIC) denominado “Desarrollo de un sistema automatizado basado en Python para la detección y corrección de niveles ópticos fuera de rango en nodos de redes HFC” el cual se basa en crear simulaciones basadas en Python para la detección de niveles ópticos en una red de fibra y cobre (HFC). En el capítulo 1 se presente la descripción general del trabajo de integración curricular, en la que se destaca la definición del problema a investigar, el objetivo general y los objetivos específicos. En el capítulo 2, se presenta el marco teórico en la que se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte con base al tema propuesto. En el capítulo 3, se diseñan los algoritmos y scripts en el software Visual Studio Code (VSC) implementados bajo Python, y posteriormente se presenta la discusión de los resultados obtenidos. Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593	E-mail:	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ubilla Gonzalez, Ricardo Xavier		
	Teléfono: +593 99 952 8515		
	E-mail: ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			