



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

IMPLEMENTACIÓN DE UN MONITOREO PREDICTIVO PARA
LA DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES GPON DE UN ISP EN
MANTA

AUTOR

Santacruz Bernabé, Juan Carlos

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR

Radicelli García, Ciro Diego

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Ciro Radicelli García, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Lucrecia Llerena Guevara, Ph.D.
ESPECIALISTA**

**Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por JUAN CARLOS SANTACRUZ BERNABÉ, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

Ing. Ciro Radicelli García, Ph.D.

Santa Elena, 7 de octubre de 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, JUAN CARLOS SANTACRUZ BERNABÉ

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Implementación de un Monitoreo Predictivo para la Detección de Fallas en Redes GPON de un ISP en Manta, previo a la obtención del título en Magíster 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.

Santa Elena, 7 de octubre de 2025

EL AUTOR

Juan Carlos Santacruz Bernabé



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Implementación de un monitoreo predictivo para la detección de fallas en redes GPON de un ISP en Manta, presentado por el estudiante, JUAN CARLOS SANTACRUZ BERNABÉ fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



TUTOR

Ing. Ciro Radicelli García, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

YO, JUAN CARLOS SANTACRUZ BERNABÉ

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 7 de octubre de 2025

EL AUTOR

Juan Carlos Santacruz Bernabé

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento total a mi familia, a mis dos madres que me han sabido criar con sabiduría y paciencia.

Juan Carlos, Santacruz Bernabé

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuelita que me supo ayudar mucho no solo económicamente si no a su vez moralmente. A mí mismo que incluso en mis accidentes que tuve durante este proceso pude culminar y saber que todo se puede en esta vida, a pesar de las múltiples adversidades que se presenten.

Juan Carlos, Santacruz Bernabé

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Revisión de Literatura.....	5
1.2 Desarrollo Teorico y Conceptual.....	8
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	41
2.1 Diseño de la investigación	41
2.2 Alcance de la Investigación	42
2.3 Tipo y métodos de investigación	43
2.4 Diseño de Fases a Implementar	44
2.5 Población y muestra.....	50
2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
2.7 Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.	54

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1 Recolección de datos mediante SNMP	55
3.2 Diseño de modelo del árbol de decisión	56
3.3 Discusión de hallazgos	63
3.4 Desarrollo de sistema de Alertas	63
3.5 Evaluación de efectividad en la reducción del tiempo de respuesta técnica(MTTR)	66
3.6 Alcance de la propuesta	68
3.7 Impacto esperado de la implementación.....	70
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	Características de Zabbix.....	17
Tabla 1. 2	Estructura de Zabbix	18
Tabla 1. 3	Elementos de Zabbix	19
Tabla 1. 4	Requisitos de hardware para recolección de métricas en Zabbix	20
Tabla 1. 5	Requisitos mínimos para instalar Grafana	22
Tabla 1. 6	Comparativa entre bases de datos relaciones y no relacionales.....	25
Tabla 1. 7	Clasificación funcional de IA.	35
Tabla 1. 8	Algoritmos supervisados.....	37
Tabla 1. 9	Ejemplo de estructura de la matriz	39
Tabla 2. 1	Proceso de depuración del dataset (valores originales vs. filtrados)	45
Tabla 2. 2	OID De OLT ZTE.....	51
Tabla 3. 1	Resultado de métricas de árbol de decisión	61
Tabla 3. 2	Matriz de confusión.	62
Tabla 3. 3	Reporte de Clasificación.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 SNMP en las Telecomunicaciones	10
Figura 1. 2 Identificador de Objeto.....	11
Figura 1. 3 Ventana de MatLab	15
Figura 1. 4 Interfaz web de Zabbix.....	17
Figura 1. 5 Ejemplo de un dashboards en Grafana.....	21
Figura 1. 6 Características de Grafana.....	22
Figura 1. 7 Base de datos relacional	23
Figura 1. 8 Base de datos NoSQL	24
Figura 1. 9 Responsabilidades del NOC.....	29
Figura 1. 10 Componentes de la fibra óptica.....	30
Figura 1. 11 Tipos de conexiones en ISP	40
Figura 2. 1 Fases del diseño no experimental.....	42
Figura 2. 2 Fase 1- Extracción de datos operativos.....	45
Figura 2. 3 Fase 2- Extracción de RAW DATA.....	46
Figura 2. 4 Fase 3- Dataset	47
Figura 2. 5 Fase 4- Modelo Predictivo	48
Figura 2. 6 Fase 5- Validación y Ajuste.....	49
Figura 2. 7 Fase 6- Implementación de Alertas.....	50
Figura 2. 8 SNMPWALK en servidor Zabbix a OLT ZTE.....	51
Figura 2. 9 Plantilla descubrimiento automático Item de Tráfico.....	53
Figura 2. 10 Consulta SSH de potencia Rx/Tx hacia onu 1/1/1:1 dentro de la olt.....	54

Figura 3. 1	Captura de Offline Reason a través de SNMP OLT ZTE.....	55
Figura 3. 2	Código de Matlab eligiendo Host a evaluar.	56
Figura 3. 3	Documento de Excel generador de los datos en bruto/sin procesar	56
Figura 3. 4	Diagrama de árbol de decisión	57
Figura 3. 5	Carga de DATASET.	58
Figura 3. 6	Matriz de clases Predictivas vs clases verdaderas.....	59
Figura 3. 7	Evaluación de árbol de decisión.....	61
Figura 3. 8	Generación de Modelo.	65
Figura 3. 9	TRIGGER AI.ONU.....	65
Figura 3. 10	Dashboard de Alertas generadas.	66
Figura 3. 11	Análisis de MTTR ANTES y Después de Implementación.....	66
Figura 3. 12	Análisis de Tickets Soporte Fibergo	67
Figura 3. 13	Análisis de Tickets Soporte Fibergo	67

RESUMEN

El trabajo actual propone un sistema de monitoreo anticipado destinado a identificar de manera temprana problemas en las ONUs en una red GPON gestionada por un proveedor de servicios de internet en la localidad de Manta. El estudio se centró en crear y validar un modelo de árbol de decisión utilizando datos históricos de la red GPON, los mismos que fueron extraídos mediante SNMP y devueltos mediante api a MATLAB, una vez procesados fueron enviados devuelta al extractor de datos(herramienta Zabbix) para creación de alertas y a un visualizador de datos y creación de paneles visuales (herramienta Grafana) .Los hallazgos demuestran que es factible prever eventos inusuales con un alto nivel de precisión, lo que a su vez mejora la efectividad técnica y la continuidad en el servicio. Se concluye que el modelo propuesto puede integrarse al entorno operativo del ISP como una herramienta eficiente de gestión proactiva.

Palabras claves: GPON, SNMP, árboles de decisión.

ABSTRACT

This paper proposes an early monitoring system designed to identify problems in ONUs (Unified Operations Units) within a GPON network managed by an internet service provider in Manta, Colombia. The study focused on creating and validating a decision tree model using historical data from the GPON network. This data was extracted via SNMP and returned to MATLAB via an API. Once processed, the data was sent back to the data extractor (Zabbix) for alert generation and to a data visualization tool (Grafana) for creating visual dashboards. The findings demonstrate the feasibility of predicting unusual events with a high degree of accuracy, which in turn improves technical effectiveness and service continuity. It is concluded that the proposed model can be integrated into the ISP's operational environment as an efficient proactive management tool.

Keywords: GPON, SNMP, decision trees

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de las redes de telecomunicaciones constituye un eje central en el funcionamiento de los proveedores de servicios de internet (ISP), ya que el acceso estable y de calidad a internet es hoy un recurso esencial para las actividades económicas, sociales y educativas. Dentro de estas infraestructuras, las redes de fibra óptica basadas en la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) se han consolidado como la base de los despliegues de banda ancha en múltiples regiones, incluido Ecuador, debido a su capacidad de ofrecer altos anchos de banda, baja latencia y mayor confiabilidad. Sin embargo, la creciente complejidad de estas redes, sumada al aumento repentino de usuarios y a la mayor demanda de servicios, genera retos significativos para los mecanismos de control tradicionales. En la mayoría de los casos, dichos mecanismos solo logran identificar las incidencias de manera tardía, cuando el servicio ya presenta afectaciones visibles para los usuarios. Este trabajo se sitúa en el ámbito de la supervisión de redes de telecomunicaciones, entendida como un proceso continuo de observación, recopilación y análisis de información orientado a mantener la estabilidad y la eficiencia de la infraestructura existente.

En el contexto ecuatoriano, y de manera particular en ciudades costeras como Manta, donde la demanda de conectividad ha aumentado de forma acelerada, esta labor se vuelve indispensable para sostener la calidad del servicio que ofrecen los proveedores locales de internet. Por ejemplo, en los reportes internos de uno de los principales ISP de la zona, se registran interrupciones promedio de entre 25 y 40 minutos mensuales por nodo GPON, asociadas principalmente a degradaciones en la potencia óptica y sobrecargas de tráfico en horarios pico. Estos incidentes, aunque breves, generan un impacto significativo en la percepción del usuario final y en los indicadores de calidad establecidos por los entes reguladores nacionales.

La investigación centra su atención en la supervisión predictiva, concebida como un enfoque capaz de anticipar incidencias técnicas antes de que estas se traduzcan en fallas perceptibles por los usuarios. Dentro de esta perspectiva, la inteligencia artificial se define como un campo científico que busca el diseño de sistemas con comportamientos similares al razonamiento humano, mientras que el aprendizaje automático constituye

una de sus ramas más destacadas, al enfocarse en la detección de patrones en grandes volúmenes de datos tanto históricos como en tiempo real.

La integración de estas técnicas abre un potencial considerable para la gestión de redes GPON, las cuales constituyen la base de la conectividad de múltiples proveedores en la región. La adopción de mecanismos predictivos no solo permite identificar de manera anticipada posibles anomalías, sino que también contribuye a disminuir la frecuencia de interrupciones, optimizar los recursos destinados al mantenimiento y reforzar la confianza de los clientes en los servicios contratados. De igual manera, este enfoque guarda coherencia con las directrices emitidas por los organismos reguladores del Ecuador, que promueven la aplicación de estándares de calidad y la continuidad en la prestación del servicio de internet a nivel nacional. Para los clientes, esto significa un acceso más confiable, con menos cortes y mejor estabilidad, algo esencial para el teletrabajo, la educación virtual y los servicios digitales cotidianos.

Este estudio se vuelve indispensable si observamos que las estrategias de supervisión tradicionales, basadas en alertas reactivas y mediciones periódicas de operatividad, resultan insuficientes ante la complejidad actual de las redes GPON. A menudo, estas tácticas reconocen las complicaciones una vez que ya están impactando el funcionamiento, lo que dificulta la anticipación y prolonga los tiempos de resolución. A diferencia de lo anterior, la adopción de un esquema de predicción facilita el reconocimiento temprano de comportamientos inusuales, permitiendo acciones preventivas que mitigan la posibilidad de degradación del servicio.

La investigación plantea, por tanto, el diseño e implementación de un sistema de supervisión predictiva adaptado a la realidad operativa de un proveedor local de internet en Manta. Este sistema integra datos obtenidos directamente de la infraestructura de red y se apoya en plataformas ya existentes como Zabbix y Grafana, a las cuales se añaden modelos de aprendizaje supervisado que procesan variables clave como potencia óptica, tráfico y eventos de desconexión. El aporte innovador de este trabajo radica en la creación de una metodología replicable que combina monitoreo tradicional con algoritmos de predicción, generando un módulo adaptable a otros ISP que deseen

anticipar fallas y optimizar su gestión de mantenimiento sin reemplazar sus herramientas actuales.

La investigación no solo busca solucionar problemáticas específicas del proveedor analizado, sino también ofrecer evidencia técnica y académica que sirva como modelo de referencia para otros operadores de la región con condiciones similares. El presente documento cuenta con la siguiente estructura organizativa:

- Capítulo I: aborda el marco teórico y los fundamentos conceptuales que sustentan la investigación.
- Capítulo II: desarrolla la propuesta metodológica, el diseño del sistema y la aplicación práctica del modelo predictivo.
- Capítulo III: presenta los resultados, conclusiones y recomendaciones derivadas de la implementación y análisis del sistema propuesto.

Planteamiento de la investigación

La investigación se fundamenta en la necesidad de mejorar la capacidad de detección anticipada de fallas en redes GPON operadas por ISPs locales. La posibilidad de generar alertas predictivas basadas en el comportamiento histórico de los parámetros operativos de las ONUs permitiría transformar el actual modelo de gestión reactiva en uno más proactivo y eficiente.

Actualmente, la falta de herramientas específicas que permiten detectar degradaciones incipientes afecta la calidad del servicio entregado al usuario, disminuye la eficiencia operativa del proveedor, y genera sobrecarga en el personal técnico. Este trabajo busca aportar una alternativa viable y práctica para mitigar estos problemas, alineada con las condiciones técnicas y presupuestarias de un ISP mediano.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo predictivo capaz de detectar fallas tempranas en ONUs de una red GPON, a partir del análisis de datos operativos disponibles mediante herramientas de monitoreo existentes?

Objetivo General:

Desarrollar un sistema de monitoreo predictivo basado en árboles de decisión que anticipe fallas en ONUs de redes GPON en un ISP de Manta, utilizando parámetros recolectados mediante sistemas de supervisión técnica.

Objetivos Específicos:

1. Organizar datos históricos de parámetros operativos de las ONUs GPON (potencia óptica RX/TX, reconexiones, disponibilidad) mediante herramientas de monitoreo como Zabbix y SNMP.
2. Diseñar un modelo de árbol de decisión supervisado en MATLAB, identificando los patrones más representativos de fallas en las ONUs.
3. Desarrollar un sistema de alertas tempranas integrado al entorno de monitoreo del ISP, evaluando su efectividad en la reducción del tiempo de respuesta técnica.

Planteamiento hipotético

Es posible anticipar fallas en las ONUs de una red GPON a partir del análisis estructurado de sus parámetros operativos, mediante un modelo predictivo diseñado sobre datos históricos recolectados en condiciones reales de operación.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Este capítulo tiene como propósito establecer los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan el desarrollo de la presente investigación. En él se abordan los principios teóricos relacionados con las redes de telecomunicaciones, la tecnología GPON (Red Óptica Pasiva), y los mecanismos de monitoreo y diagnóstico en infraestructuras de acceso óptico. Además, se revisan los principales enfoques científicos y antecedentes recientes sobre la aplicación de metodologías predictivas e inteligencia artificial en la gestión de fallas de redes, permitiendo contextualizar el problema dentro del panorama actual de los proveedores de servicios de internet (ISP).

1.1 Revisión de Literatura

El monitoreo predictivo en redes ópticas pasivas ha evolucionado desde enfoques reactivos ante una alarma basada en umbrales o picos de algún dato atípico, hacia esquemas de detección y predicción asistidos por Aprendizaje de máquina que utilizan telemetría de OLT/ONT, trazas OTDR para detectar, localizar y anticipar fallas antes de que afecten la calidad del servicio del cliente. Revisiones recientes en el campo óptico resumen las decisiones de tiempos de respuestas optimizados consolidando que ML supera a técnicas tradicionales en precisión y tiempo de respuesta cuando se implementa correctamente.

En repositorios nacionales se encuentran tesis de diseño e implementación GPON (FTTH, IPTV, impactos de adopción) con enfoque operativo, pero poca evidencia aplicada de predicción de fallas con ML sobre telemetría de OLT/ONT ya desplegada. Esto revela una oportunidad local de transferencia tecnológica: llevar los avances de ML en GPON a entornos ISP ecuatorianos con herramientas open source (Zabbix/Grafana).

Estudios aplicados en redes GPON

- **Performance estimation method for gigabit passive optical networks using machine learning:** Este artículo propone un enfoque basado en aprendizaje

automático para evaluar el rendimiento de redes ópticas pasivas GPON. A partir de un conjunto de datos que incluye variables como la longitud de la fibra, potencia de transmisión y número de divisores ópticos, los autores utilizan técnicas de selección de atributos y modelos de clasificación por árboles de regresión para predecir el valor del factor Q, indicador clave de calidad en redes ópticas. Se comparan varios algoritmos y el modelo propuesto logra altas tasas de precisión, lo que sugiere que esta metodología es efectiva para estimar el desempeño de redes GPON. (Singh, 2023)

- **Classification and detection of inconsistent data from a crash report in field of a GPON broadband access network using Artificial Intelligent Algorithms:** Este trabajo aborda dos desafíos clave en redes de acceso GPON: la identificación de datos inconsistentes en reportes de fallas masivas y la predicción del comportamiento del tráfico de datos. En el primer caso, se emplea un mapa de Kohonen para agrupar reportes reales y detectar discrepancias atribuibles a errores de análisis humano. En el segundo, se utiliza una red neuronal LSTM para predecir el tráfico en interfaces de acceso de banda ancha. Los resultados muestran un alto nivel de precisión, con un coeficiente de determinación (R^2) del 96.17% y una correlación (R) del 98.07%, demostrando el potencial de estas técnicas para mejorar el análisis y gestión de redes GPON. (Cuddapah Anitha, 2024)
- **Framework for Cognitive Self-Healing of Real Broadband Networks:** Este artículo propone un marco de autorrecuperación cognitiva para operadores de telecomunicaciones que utilizan redes GPON. La solución se basa en mecanismos de aprendizaje automático para detectar, analizar y actuar automáticamente ante fallas en redes de fibra óptica, mejorando la continuidad del servicio. Se utilizaron datos reales extraídos del sistema de gestión de red (NMS) de los operadores, lo que refuerza la validez del enfoque. Como prueba de concepto, se evaluaron tres modelos cognitivos con una precisión promedio superior al 96%, demostrando la viabilidad del uso de inteligencia artificial para

una gestión autónoma y eficiente en redes de telecomunicaciones. (Enock Cabral Almeida Vieira, 2024)

En conjunto, los estudios evidencian el potencial comprobado del aprendizaje automático en la optimización de redes ópticas, pero también revelan un vacío práctico: la falta de soluciones adaptadas a entornos operativos medianos, donde las herramientas de monitoreo tradicionales (como Zabbix o Grafana) predominan y los recursos para automatización completa son limitados. Así, la literatura revisada sustenta la necesidad de modelos predictivos ligeros, integrables y escalables que utilicen datos reales de operación sin requerir infraestructura adicional.

Aportes de esta Investigación.

La presente investigación contribuye a cerrar las brechas detectadas mediante un modelo predictivo aplicado al entorno operativo real de un ISP local en Manta-Ecuador. Su aporte se estructura en tres dimensiones principales:

- **Aporte metodológico:** Se desarrolla un sistema de supervisión predictiva basado en aprendizaje supervisado que integra fuentes de datos provenientes de Zabbix y Grafana, lo que permite transformar las métricas de potencia óptica, tráfico y eventos de red en un conjunto de entrenamiento para modelos de predicción. Esta metodología es replicable y de bajo costo, ya que utiliza herramientas ya implementadas en el entorno ISP sin requerir infraestructura nueva.
- **Aporte técnico-operativo:** Se propone un pipeline automatizado que realiza análisis continuo de los indicadores de red, detectando patrones que anticipan posibles degradaciones o desconexiones de ONTs. El sistema genera alertas tempranas y sugerencias de acción preventiva, contribuyendo a reducir los tiempos de detección y respuesta ante fallas
- **Aporte científico y regional:** La investigación ofrece evidencia empírica sobre la aplicabilidad del aprendizaje automático en entornos GPON reales de Ecuador, un campo poco explorado en la literatura local. Además, plantea un

modelo escalable y adaptable que puede ser utilizado por otros ISPs de la región con condiciones similares de infraestructura y recursos.

En síntesis, el trabajo representa una convergencia entre teoría y práctica, al trasladar técnicas avanzadas de inteligencia artificial a un contexto operativo concreto, generando una herramienta predictiva funcional que mejora la continuidad y calidad del servicio en redes GPON locales.

1.2 Desarrollo Teórico y Conceptual

Monitoreo de Redes

Es aquel procedimiento en que se gestiona infraestructuras de telecomunicación, que están dirigidas a una observación continua, el recolectar, analizar y correlacionar datos que procedan de dispositivos, servicios o flujos de información informáticos.

El monitoreo de redes según los autores Tasayco y Junior (2024) no solo ayuda a la identificación temprana de fallas, puntos vulnerables o comportamientos inusuales, sino que también mejora el rendimiento, ayuda a garantizar la calidad del servicio (QoS) y cumplir con las políticas de seguridad y los estándares regulatorios.

Monitoreo en redes GPON

Es un componente esencial para garantizar la continuidad, calidad y eficiencia en la prestación del servicio. La red GPON transmite varios servicios (datos, voz, video) a través de una infraestructura pasiva, el poder controlar y supervisar la red de manera constante permite detectar fallas mucho antes de presentarles para así poder efectuar las correcciones de manera temprano y sin tener afectaciones de por medio. Como menciona el autor Montes (2023), con una supervisión adecuada, los grupos de operación pueden detectar partes o sectores que necesitan mantenimiento preventivo, esta previsión baja gastos y minimiza las interrupciones no programadas, lo que resulta en una mayor eficacia operativa.

El monitoreo según el autor Hernandez (2022) permite a los operadores:

- Identificar problemas de señal o disminución de la calidad del servicio de manera instantánea.

- Encontrar fallos físicos como roturas de cables de fibra, desconexiones de los ONTs y problemas con los splitters.
- Vigilar el uso de ancho de banda por cada usuario o conjunto de usuarios.
- Comprobar los niveles de potencia óptica tanto recibidos como transmitidos (RX/TX).
- Revisar el funcionamiento de las OLTs y ONTs (si están encendidas, si han caído, reinicios, etc.).
- Crear alertas automáticas ante situaciones críticas o irregularidades.
- Mejorar la utilización de recursos a través de informes sobre el rendimiento y la utilización de la red.

Tecnologías y protocolos de monitoreo

SNMP: El SNMP según los autores Anías Calderón, & Gámez Picó (2022) permiten a los administradores de red administrar cualquier tipo de información de los equipos de red que tenga la capacidad de soporte SNMP.

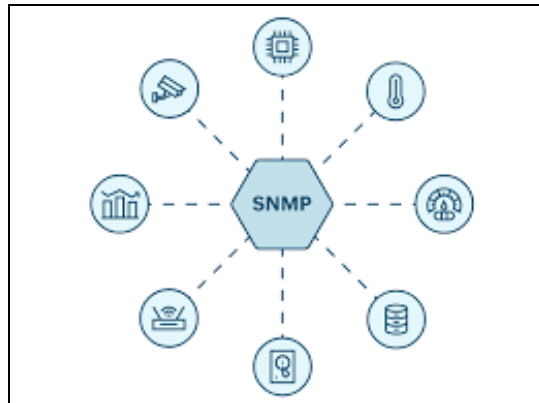
SNMP hace uso de una variedad de comandos simples que se conocen como MIB (Bases de información de administración) los cuales sirven para realizar el control de dispositivos en una red; a su vez se encargan de definir los objetos que el SNMP vaya a administrar y la información de gestión la cual se pueda recolectar sobre estos objetos. Los dispositivos habilitados para SNMP tienen una MIB integrada que puede ser consultada por el software de administración de SNMP.

Cuando se agrega un equipo por SNMP de una red a un software de administración del fabricante se puede obtener una variedad de información de acuerdo al OID solicitado, como el uptime del equipo, la versión, CPU, memoria, entre otros parámetros que estén dentro del mib. Así mismo se podrá realizar cambios con estos OID en parámetros como dirección IP, rutas, interfaces, etcétera; puede ser tanto para lectura y escritura de información.

Como mencionan los autores Moreno León & Nuñez Romero (2025), la adopción de SNMP es crucial para sostener la eficacia operativa de las redes, además de asegurar la protección en circunstancias complicadas.

SNMP como se observa en la Figura 1.1 es un protocolo simple pero poderoso que se puede usar para administrar cualquier tipo de equipo de red. Al usar SNMP, cuenta con la ventaja de tener un control idóneo para realizar monitoreos efectivos.

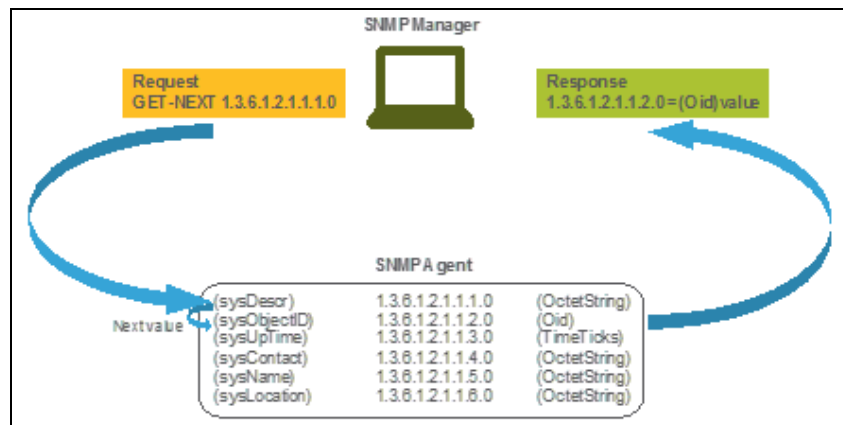
Figura 1. 1 SNMP en las Telecomunicaciones



Fuente: Elaborada por el autor

OIDs: Un identificador de objeto (OID) es un valor numérico o alfanumérico único que se utiliza para identificar objetos en bases de datos y protocolos de red como SNMP; los archivos MIB (base de información de administración) de SNMP contienen múltiples OID, los cuales sirven como referencias únicas a los objetos de datos, lo que permite a los sistemas gestionar, recuperar y actualizar datos de forma eficiente. Para organizaciones como los sistemas de seguridad pública o de protección de personas sin hogar, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la identificación clara de los objetos es fundamental para la integridad de las operaciones del sistema. Como indica el autor Wu (2023) un OID es una dirección asignada para identificar un atributo del dispositivo, de manera que una petición de datos pueda solicitar por diferentes tipos de datos Inequívocamente.

Figura 1. 2 Identificador de Objeto



Fuente: Elaborada por el autor

OMCI: EL OMCI, conocido también como *Optical Network Unit Managment Control Interface* hace referencia al protocolo que se encarga de intercambiar la información entre la OLT (*Optical Line Terminal*) y la ONT (*Optical Network Terminal*) mismas que están definidas gracias al estándar GPON (*Gigabit Passive Optical Network*).

Es principalmente un protocolo de gestión de paradas maestro-esclavo, como exponen los autores Jia-wei, N, & Jin (2024) donde la OLT es el dispositivo maestro y la ONT es el dispositivo esclavo, y el proceso se basa en enviar información a la ONT para así poder aplicar cambios requeridos a través de la OLT, esto funcionara siempre y cuando la marca de ambos equipos sea compatible. Después de recibir la respuesta o el tiempo de espera, continúa emitiendo el siguiente mensaje lo que permite a los proveedores poder controlar y configurar equipos de manera remota.

Entre ellos se utiliza para la gestión de ONT por parte de la OLT en una red GPON:

- Gestión de la configuración,
- Gestión de fallos
- Gestión del rendimiento
- Gestión de la seguridad.

Tipos de Monitoreo

Basado en eventos: El monitoreo basado en eventos se especializa en la detección y en la gestión de situaciones específicas que se dan dentro de la red y que requieren

atención urgente. Estos eventos pueden ser reinicios, errores, fallas, desconexiones, cambios de estado, entre otros.

El tipo de monitoreo según Cisco (2025) permite identificar de manera temprana cualquier incidente que afecte la disponibilidad del servicio. Los eventos más comunes que se monitorean en una red GPON incluyen:

- Desconexión o caída de una ONT.
- Pérdida de sincronización entre la OLT y las ONTs.
- Cambios en la potencia óptica fuera del rango aceptable.
- Fallo en módulos ópticos o puertos PON.
- Alarmas de temperatura o voltaje en la OLT.

Estos eventos suelen ser capturados mediante sistemas de monitoreo los cuales están conectados mediante protocolos como SNMP que notifican mediante traps o logs. Una vez detectado el evento, el sistema puede generar una alerta, generar un ticket y escalarlo a una persona automáticamente. Como menciona el autor Pérez (2021) el mal comportamiento de software proporciona la interrupción de servicios y estos servicios los proporciona una máquina, por lo que redirigir el servicio y su actividad a una máquina en perfecto estado es el reino de la Alta Disponibilidad.

El monitoreo basado en eventos es crucial para reducir el tiempo promedio de detección de fallas y garantizar una respuesta rápida ante incidentes críticos que afecten el rendimiento de la red de clientes.

Por desempeño: A diferencia del anterior, el control basado en el desempeño, como indica Tailwind (2024) , se enfoca en la valoración constante para analizar la calidad del servicio, el uso de los recursos y la operatividad de la red con el paso del tiempo. En lugar de depender de la ocurrencia de un suceso específico, este método se basa en la inspección continua de indicadores operativos, permitiendo así juzgar la eficiencia y la condición global de la red.

En redes GPON, las métricas comunes de desempeño incluyen:

- Niveles de potencia óptica (TX y RX) por puerto PON y por ONT.
- Ancho de banda utilizado (subida y descarga) por cada usuario.

- Porcentaje de utilización de puertos de la OLT.
- Tiempo de disponibilidad (uptime) de las ONTs.
- Latencia promedio y jitter.
- Tasa de errores de transmisión (BER - Bit Error Rate).

Estas métricas permiten identificar tendencias o comportamientos anómalos, como saturaciones en ciertos segmentos de la red, degradación progresiva de la señal o un uso excesivo de ancho de banda proveniente por algún cliente.

El monitoreo de desempeño es fundamental para:

- Planificar la expansión de la red.
- Ejecutar mantenimiento anticipado.
- Identificar restricciones antes de que se transformen en fallos.
- Aumentar la calidad de la experiencia del usuario (QoE).
- Garantizar que se realicen y se respeten los acuerdos de nivel de servicio (SLA).

Conjuntamente, el monitoreo basado en eventos y el de desempeño forman una estrategia completa para el funcionamiento efectivo de redes GPON. La integración de ambos facilita la detección de inconvenientes de manera inmediata y ayuda a evitar fallos en el futuro a través de la supervisión general.

Importancia del monitoreo

El sistema de monitoreo es de vital importancia para una red como expone el autor Romelar (2024) y puede generar alertas ante eventos tales como:

- Potencia RX(Recepción) fuera de rango (-28 dBm o menor).
- Pérdida de sincronización con ONTs.
- ONTs desconectadas por más de "X" minutos.
- Incremento inusual de tráfico o latencia.
- Falla en puertos PON o módulos ópticos.
- Estas alarmas permiten a los operadores actuar de manera proactiva, reduciendo el tiempo promedio de resolución de fallas (MTTR) y mejorando el SLA (Service Level Agreement) ofrecido.

Importancia del monitoreo predictivo: El monitoreo predictivo es aquel que se enfoca en la capacidad de poder anticipar alguna anomalía o falla en los equipos o sistemas, convirtiéndolo así en un factor relevante y de suma importancia puesto que como menciona Kentik (2025) permite obtener datos y resultados efectivos con los cuales evitan congelamientos de producción no planificadas.

Acciones de Monitoreo

Como mencionan los autores Moreno León & Nuñez Romero (2025), la supervisión del estado de los equipos en la gestión del tráfico y la identificación temprana de problemas son aspectos clave que se consiguen mediante la observación de la red, puesto que este enfoque tiene la característica de agregar tráfico en la red y es empleado para medir el rendimiento de esta, es decir, que implica monitorear de cerca el comportamiento de los usuarios, los procesos del sistema, el tráfico de red y el comportamiento de las aplicaciones, al monitorear de cerca estas huellas digitales, el monitoreo de actividad puede detectar anomalías, señalar comportamientos sospechosos y bloquear posibles brechas de seguridad antes de que se conviertan en amenazas reales.

Scripts: Los Scripts según Lenovo (2021) son un conjunto de instrucciones o comandos escritos en un lenguaje de programación que son interpretados por un motor o intérprete de scripts, en lugar de ser compilado en código máquina como un programa compilado. Se suelen utilizar en tareas de automatización o tareas repetitivas como una serie de acciones esto en conjunto con una programación de la tarea en la cual ya no existe una intervención de un usuario a diferencia de un programa compilado, el script se ejecuta directamente.

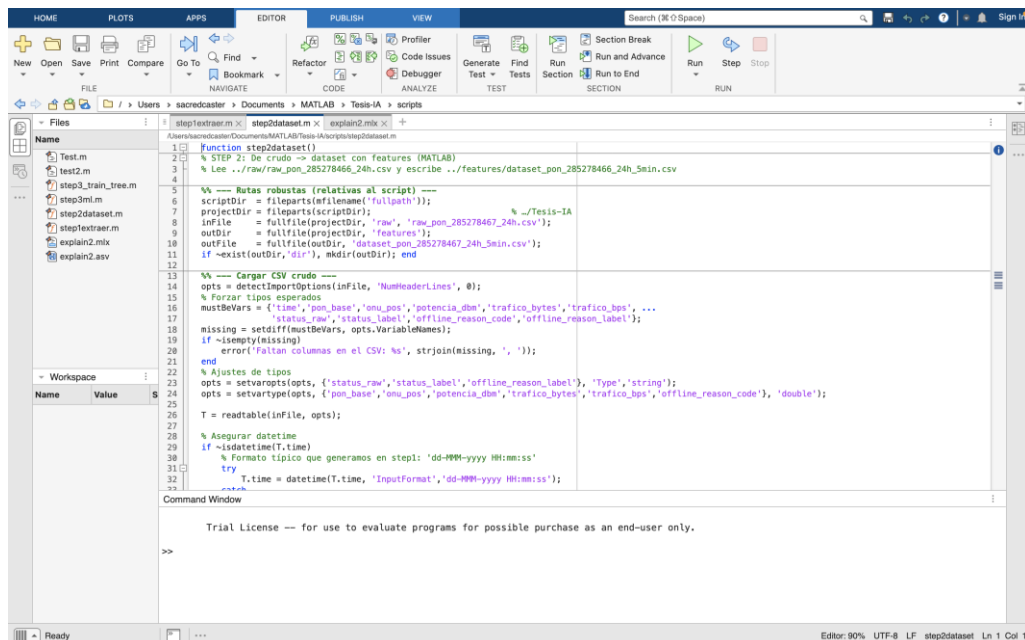
Permiten automatizar procesos y tareas que permiten tener programado controles, encendidos, alarmas entre otras cosas las cuales son activas mediante lenguaje de programación.

MatLab: Es conocido como una tecnología de software mediante la cual se pueden realizar cálculos científicos y tecnológicos completos a partir de una representación de valores basadas en matrices, y citando al autor Jiménez “Matlab es considerado hoy en día como un estándar en la programación científica e industrial” (Jiménez, 2021).

Es un sistema interactivo como se visualiza en la Figura 1.3 cuyo elemento básico de almacenamiento de información es la matriz, la propiedad fundamental es ser adimensional. Esto permite resolver una amplia gama de problemas técnicos de computación en menos tiempo.

Matlab ha evolucionado a lo largo de los años con la participación de numerosos usuarios, pero en el ámbito universitario, es la herramienta docente estándar para cursos avanzados e introductorios de matemáticas, ingeniería y ciencias. Sin embargo, Matlab también es una herramienta industrial ideal para la investigación, el desarrollo y el análisis de alto rendimiento.

Figura 1. 3 Ventana de MatLab



Fuente: Captura de pantalla de la interfaz del software MATLAB R2025a

Herramientas de monitoreo

Zabbix: Es un sistema de monitoreo open source para redes y aplicaciones. Está diseñado para monitorear y rastrear el estado de varios servicios, servidores y otros equipos de red.

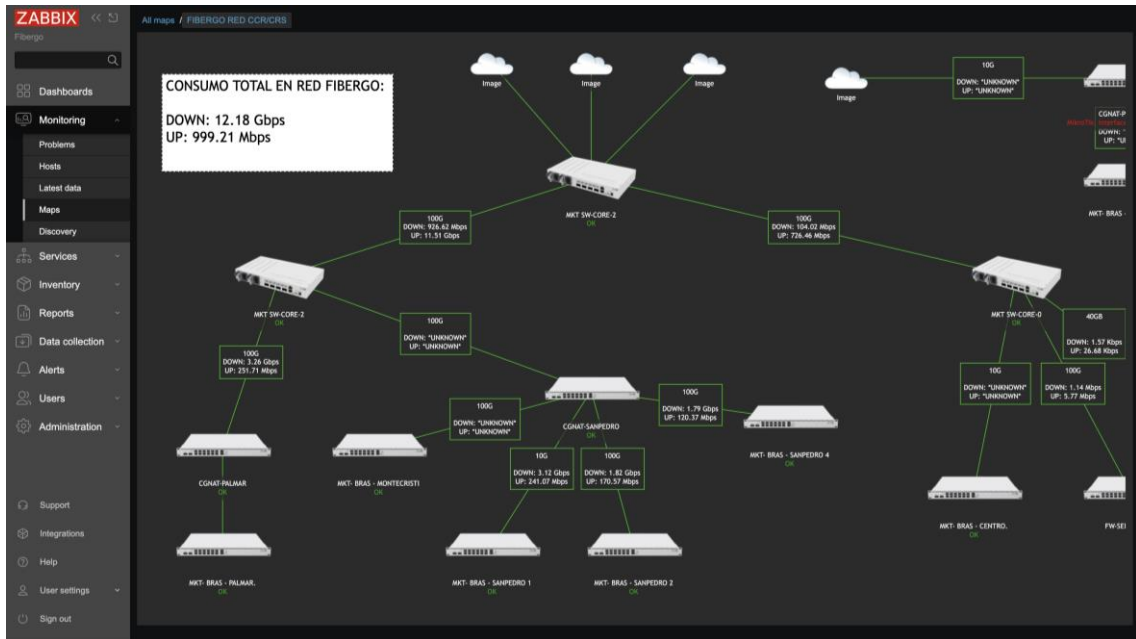
Este software proporciona un monitoreo completo de los equipos de red, nombre de equipo, versiones, uptime. utilización de la red, la carga de la CPU y el consumo de espacio en disco. Según los autores Irianto, Verdi, & Sianipar (2025) es una herramienta

de monitoreo de redes en donde se pueden realizar pruebas en entornos reales, puesto que Zabbix puede utilizarse tanto para la monitorización con agente como sin agente, en donde los agentes se instalan en los equipos informáticos para verificar su rendimiento y recopilar datos. Los agentes reportan a un servidor central de gestión de Zabbix. Esta información se incluye en informes o se visualiza a través de la interfaz gráfica de usuario (GUI) de Zabbix.

Si ocurre un problema con un objeto monitorizado, el sistema envía un mensaje o una notificación al usuario. La monitorización sin agente implementa el mismo tipo de monitorización simulando un agente utilizando los recursos existentes en el sistema o dispositivo. Como indica el autor Tito (2023) permite definir umbrales para determinados problemas y alertas y notificar por correo electrónico ante cualquier evento predefinido.

La interfaz de usuario web de Zabbix como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permite a los usuarios visualizar su entorno informático mediante paneles personalizados basados en dispositivos, tablas, imágenes de red, presentaciones e informes. Por ejemplo, los usuarios pueden personalizar los informes para mostrar métricas relacionadas con los acuerdos de nivel de servicio (SLA) e indicadores clave de rendimiento (KPI) en función de la carga de la CPU.

Figura 1. 4 Interfaz web de Zabbix



Fuente: Captura de pantalla de la interfaz del software Zabbix

- **Monitoreo con Zabbix**

Es una solución de código abierto para el monitoreo de redes y sistemas, diseñada para obtener el desempeño y comportamiento de la infraestructura de TI, esto incluye equipos como switches, routers, servidores, etc. Como menciona el autor Carvajal (2023) Zabbix contiene un sistema de administración centralizado es decir que utiliza un monitor web donde se encuentran todos los dispositivos de la red en una misma interfaz.

- **Características de Zabbix**

Su capacidad de realizar monitoreos en tiempo real, crear alertas configurables y elaboración de dashboards la hacen una herramienta robusta. Su arquitectura flexible permite la integración con otros sistemas lo que facilita su adaptación en entornos de TI complejos, por lo que cuenta con varias características:

Tabla 1. 1 Características de Zabbix

Característica	Descripción
Monitoreo en tiempo real	Permite la supervisión continua gracias a la recopilación de datos actualizados.

Soporte multiplataforma	Accesible para distintos S. O
Alertas y notificaciones	Ofrece la posibilidad de recibir alertas mediante correo electrónico, mensajes de texto o conexión con diferentes plataformas de mensajería.
Visualización de datos	Dispone de recursos para crear gráficos, paneles, mapas, reportes.
Escalabilidad	Se puede ampliar o balancear servicios con proxys.
Informes históricos	Generación de reportes detallados en caso de falencias, aparte mantiene un almacenamiento de datos para un análisis más profundo y detallado en caso de necesitarse.

Nota. Se elaboró la tabla a partir de la concepción de los autores (Silva & Santos, 2024).

- Arquitectura de Zabbix

La arquitectura de Zabbix según la concepción de los que se compone de las siguientes estructuras mostradas en la Tabla 1.2.

Tabla 1. 2 Estructura de Zabbix

Estructura	Descripción
Servidor Zabbix	Es el núcleo del sistema, se encarga de recopilar datos de los agentes, procesar la información e ingresarla a la base de datos. Maneja las alertas y las interfaces de usuario.
Agente Zabbix	Es un software totalmente ligero el cual está destinado para instalar en los dispositivos de red en los cuales se desea monitorear. El agente recopila todos los datos necesarios y los envía al servidor Zabbix para que puedan ser mostrados.
Proxy Zabbix	Es un componente opcional el cual es un intermediario entre el servidor Zabbix y el agente Zabbix, este se utiliza para poder liberarle carga al servidor principal. Se utiliza para poder monitorear redes remotas o distribuidas.
Zabbix Sender	La herramienta de consola zabbix_sender permite transmitir información de monitoreo hacia un servidor o proxy de Zabbix.

Estructura	Descripción
Api de Zabbix	La API de Zabbix ofrece la posibilidad de acceder y modificar la configuración del sistema de manera programada, además de consultar datos históricos. Su uso es común para el desarrollo de aplicaciones compatibles con la plataforma, la integración con soluciones de terceros y la automatización de procesos rutinarios.
Base de Datos	Zabbix utiliza una base de datos relacional para almacenar la recopilación de datos generada donde se encuentran configuraciones, históricos, etc. La base de datos que utiliza Zabbix es MySQL.
Frontend	Cuenta con una interfaz gráfica de usuario vía web, la cual permite al usuario poder realizar la visualización de datos, alarmas y generar informes. Al contar con una GUI la navegación y configuración se torna más fácil.

Nota. Se elaboró la tabla a partir de los elementos que exponen los autores (Gamboa y otros, 2025).

- Elementos de configuración de Zabbix

En la Tabla 1.3 se enlistan los elementos clave de Zabbix.

Tabla 1. 3 Elementos de Zabbix

Elementos	Descripción
Host	Equipos de red a monitorear mediante protocolos integrados.
Items	Pueden ser interfaces o estructuras del equipo como CPU.
Templates	Unificación de Host, Items, Triggers, gráficos y varios elementos los cuales conforman un template los cuales facilitan la configuración y mantenimiento.
Triggers	Reglas las cuales son ejecutadas si una condición previa se cumple, generando así una alerta
Actions	Configuración de respuesta automáticas las cuales envían notificaciones, también ejecución de scripts y cambios de estados.

Nota. Elementos configurables de Zabbix que mencionan los autores (Duffaut & Reyes , 2021)

- Requisitos de Zabbix

Se debe tomar en cuenta la recopilación de información que debe ser relacional en cuenta a la cantidad de métricas, ya que de ello dependerá la infraestructura que deberá soportar la herramienta, se adjunta Tabla 1.4 de estimación de recursos para ello:

Tabla 1. 4 Requisitos de hardware para recolección de métricas en Zabbix

Tamaño de instalación	Métricas monitoreadas	Núcleos CPU/vCPU	Memoria (GiB)	Base de datos
Pequeño	1 000	2	8	Servidor MySQL Servidor Percona Servidor MariaDB PostgreSQL
Mediano	10 000	4	16	Servidor MySQL Servidor Percona Servidor MariaDB PostgreSQL
Grande	100 000	16	64	Servidor MySQL Servidor Percona Servidor MariaDB PostgreSQL Oracle
Muy grande	1 000 000	32	96	Servidor MySQL Servidor Percona Servidor MariaDB PostgreSQL Oracle

Nota. La siguiente tabla fue desarrollada por (Zabbix, 2016) en donde se muestra las estimaciones de requisitos en base a la cantidad de datos a monitorear.

Grafana: Es una herramienta de código abierto basada en presentación de datos visuales, el cual permite realizar alertas y muestreo de los mismos mediante paneles visuales (Dashboards) lo que nos da una mayor facilidad operativa. Como menciona el autor Hidalgo de Benito (2021) ofrece la capacidad de trabajar con volúmenes grandes de datos en tiempo real. Los cuadros de mando intuitivos permiten visualizar los análisis de la explotación de datos, obtener métricas, vigilar aplicaciones e infraestructuras hardware.

Los paneles de control de Grafana, dan a los datos recolectados de varias fuentes un nuevo significado ya que se pueden compartir con otros equipos o miembros, permitiendo así trabajar juntos y analizar los datos e implicaciones de manera más profunda. Facilita la comprensión y la toma de decisiones basadas en datos al monitorear sistemas, aplicaciones y servicios en tiempo real como se muestran en la Figura 1.5.

Figura 1.5 Ejemplo de un dashboards en Grafana.

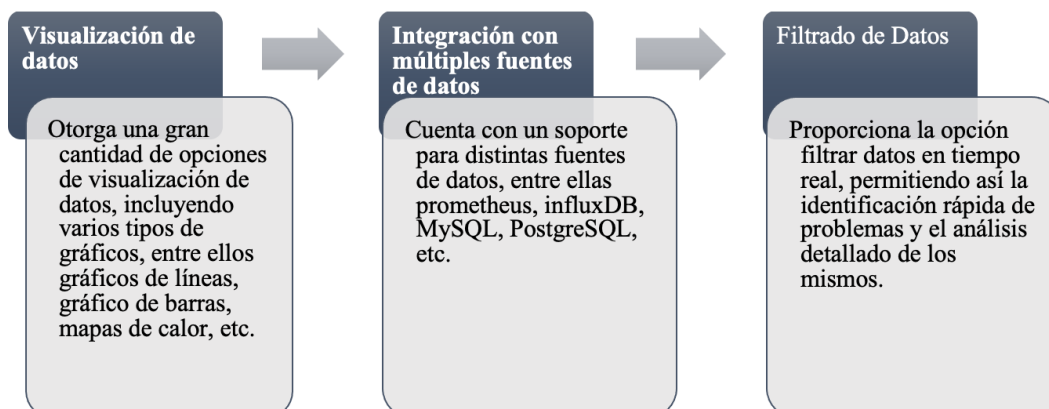


Fuente: Captura de pantalla de la interfaz del software Grafana.

- **Características de Grafana**

Entre las características de Grafana que mencionen los autores Páez Olcha, Ramírez Hidalgo, Deyne Rodríguez, & Rosete Suárez (2025) se exponen las siguiente:

Figura 1. 6 Características de Grafana



Fuente: Elaborada por el autor.

- **Requisitos mínimos de Grafana**

A continuación, en la Tabla 1.5 se exponen los requisitos mínimos con los cuales debe contar el sistema para poder instalar Grafana y que funcione de una manera adecuada.

Tabla 1. 5 Requisitos mínimos para instalar Grafana

Recurso	Requisito mínimo
Sistema operativo	Linux (Ubuntu, Debian, CentOS, RHEL), Windows, macOS
CPU	1 núcleo (x64 o ARM64)
Memoria RAM	1 GB (2 GB recomendados para entornos con varias fuentes de datos)
Almacenamiento	10 GB libres en disco (SSD recomendado)
Base de datos	SQL

Nota. La información de la tabla fue recopilada gracias a (Grafana, 2015).

Bases de datos

- **Bases de datos relacionales**

Como los autores indican Jacinto Parinango & Bravo Ruiz (2020) es un tipo de base de datos la cual orchestra los datos en filas, tablas y columnas, donde cada tabla representa una entidad y estas son relacionadas entre sí mismas.

Características

- Las bases de datos relacionales están compuestas por medio de diversas tablas.
- No puede haber duplicidad en los registros entre dos tablas.
- Las tablas de una base de datos no relación se conforman con filas y columnas, conocidas también como conjunto de registros como se visualiza en la Figura 1.7.
- La existencia de las relaciones entre tablas padre e hijo se da mediante las llaves primarias y foráneas.
- Una clave primaria es conocida como la clave principal dentro del registro de dicha tabla, misma que se debe asegurar que cuente con datos íntegros
- Las claves foráneas son colocadas dentro de una tabla hijo, puesto que contiene el valor exacto que la llave primaria del registro padre.

Figura 1. 7 Base de datos relacional



Fuente: (GettyImages, 2025)

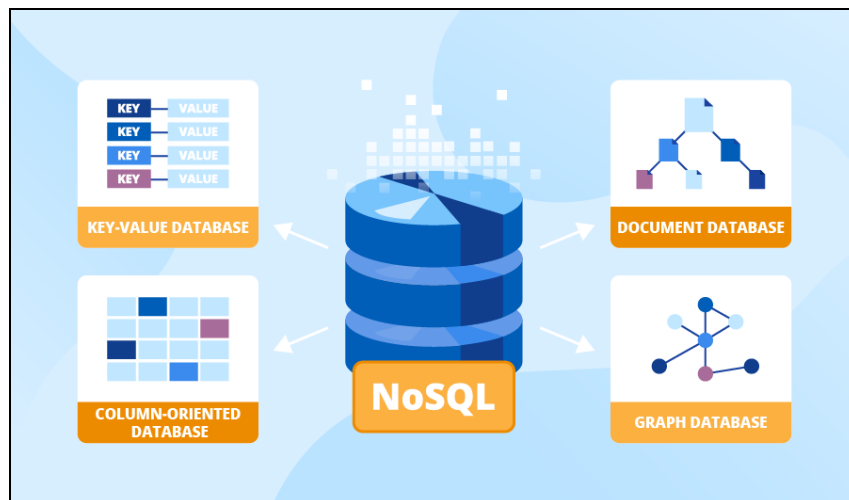
- **Bases de datos no relacionales**

También conocidas como NOSQL, se diferencian de las bases de datos relacionales tradicionales en que almacenan datos en un formato no tabular. Pueden construirse sobre estructuras de datos como documentos.

Los documentos pueden contener información muy detallada y almacenar diversos tipos de datos y formatos como se observa en la Figura 1.8. Esto permite que las bases de datos no relacionales procesen y organicen diversos tipos de datos en paralelo, lo que las hace más flexibles que las bases de datos relacionales. Por lo general son más veloces, gracias a que permiten llevar a cabo consultas que no dependen de analizar información de varias tablas.

Los autores Esquivel & Sevilla (2021) mencionan que las bases de datos no relacionales empiezan a tener una gran importancia para el flujo y control grandes volúmenes de datos e información, gracias a que estas sirven para almacenar y administrar grandes cantidades de datos de una manera flexible y escalable debido a que no requiere un esquema rígido.

Figura 1. 8 Base de datos NoSQL



Fuente: (Transformation, 2023)

- **Comparativa de Bases de datos**

En la siguiente Tabla 6, se presentan elementos fundamentales que analizan las distinciones entre bases de datos relacionales y no relacionales.

Tabla 1. 6 Comparativa entre bases de datos relaciones y no relacionales.

Criterio	Bases de datos relaciones (SQL)	Bases de datos no relaciones (NoSQL)
Modelamiento	Tablas que contienen filas y columnas	Documentos, claves-valor, grafos o columnas
Estructura	Esquema rígido y previamente establecido	Esquema adaptable o variable
Lenguaje de consulta	SQL (Lenguaje de consulta estructurado)	Lenguajes específicos de cada sistema, por ejemplo: MongoDB Query, CQL.
Relaciones	Facilita conexiones entre tablas a través de claves primarias y foráneas	Por lo general, no establece relaciones; los datos tienden a ser independientes.
Rendimiento	Excelente para datos organizados y consultas complejas.	Eficaz para manejar grandes cantidades de datos no estructurados o semiestructurados.

Nota. Criterios comparativos entre los tipos de bases de datos.

Detección de fallas

La detección de fallas es una tarea fundamental en la gestión de redes de comunicaciones, cuyo objetivo es identificar, analizar e informar rápidamente cualquier fallo que interrumpa, degrade o ponga en peligro el funcionamiento normal de un sistema de comunicaciones. El objetivo no es solo restablecer el servicio cuando ocurre un incidente, sino también supervisar continuamente los parámetros clave, analizar la correlación de eventos y generar alertas automáticas para predecir posibles fallos.

La detección de fallas puede incluir problemas físicos como desconexiones, fallos de hardware y daños en la línea de transmisión, así como problemas lógicos como errores de configuración, fallos de autenticación y discrepancias de protocolo, por ello desarrollar un sistema de conocimiento eficaz es crucial para garantizar la disponibilidad, la eficiencia y la satisfacción del usuario. Como mencionan los autores Moreno León & Nuñez Romero (2025) contar con un sistema de monitoreo en tiempo real brinda un control más robusto el cual brinda conocer y anticiparse a errores críticos.

Por lo tanto, en este contexto ciertas redes ópticas, como las redes ópticas pasivas Gigabit (GPON), presentan requisitos especiales que requieren capacidades específicas de detección de fallos. Por ello al tratarse de una tecnología basada en fibra óptica se presentan en diversos formatos y tamaños, y se utilizan en diversas aplicaciones.

Tipos de fallas GPON

Dentro de las redes GPON, se pueden clasificar las fallas en dos tipos, que son:

- **Fallas físicas:** Estos incluyen roturas de fibra, daños en el conector, atenuación óptica excesiva, conexiones deficientes, contaminación del puerto óptico o interferencias mecánicas. Estos defectos suelen tener un impacto directo en la potencia de la señal de recepción (Rx) del dispositivo ONT y pueden detectarse mediante pruebas de reflectometría óptica (OTDR) o (alarmas de pérdida de señal).
- **Fallas lógicas:** Estas fallas indican errores de configuración de OLT u ONT, como errores de perfil de servicio, problemas de autenticación, errores de configuración de VLAN o problemas de dirección IP. Si bien no son errores

físicos, pueden causar interrupciones de la conexión o degradación del rendimiento.

Detección de fallas en redes GPON

La detección de fallos en GPON se basa en una combinación de técnicas de monitorización automatizada, análisis de señales emitidas por los dispositivos y diagnósticos mediante herramientas específicas.

- La monitorización en tiempo real a través del Sistema de Gestión OLT (EMS) puede detectar eventos como fallas de sincronización, fluctuaciones de intensidad óptica y errores de ONT.
- Utilización de OTDR remoto para localizar de manera efectiva la distancia del punto de interrupción o atenuar en la fibra óptica.
- Las alarmas SNMP informan al equipo de gestión central mediante alertas las fallas detectadas, y de esta manera activa los sistemas de respuesta automatizados para notificar a los técnicos sobre los mismos.
- Análisis histórico y evaluación de eventos para ayudar a identificar y anticipar patrones de fallas recurrentes y desarrollar planes de mantenimiento anticipado.

Importancia de detectar fallas GPON

Identificar de manera temprana las fallas en las redes GPON es esencial no solo para la continuidad del servicio, sino además para garantizar para la satisfacción del cliente, aprovechar los recursos técnicos de manera más eficiente y reducir los costes de soporte posventa. En entornos donde muchos clientes dependen de un único enlace de fibra distribuido, una falla conocida puede afectar a decenas o incluso miles de clientes simultáneamente.

Como menciona el autor Ramírez Huanca & Meza (2023) una red GPON permite brindar varios servicios como telefonía IP, vigilancia y telecomunicaciones, por lo que es importante contar con un sistema que permita detectar errores a tiempo.

NOC (Network Operation Center)

El NOC o mejor conocido como centro de operaciones de red consiste en sitio centralizado el cual las telecomunicaciones, servicios informáticos o los medios satelitales buscan llevar a cabo la monitorización y administración a tiempo completo de las mismas en donde la primera línea de defensa se encargue de controlar las interrupciones y fallas de red.

Los autores Sánchez Revollo & Dulce (2021) mencionan que los centros de operaciones de red están generalmente conformados por analistas e ingenieros de seguridad, a su vez también por gerentes los cuales monitorean y supervisan las operaciones de seguridad

- **Funciones y responsabilidades del Centro de Operaciones de Red (NOC)**

El autor Guzmán (2020) indica que el NOC (centro de operaciones de red) es un centro de comando para monitorear cualquier red, especialmente si está basada en IP. La infraestructura de TI puede estar alojada localmente o en un proveedor de la nube, según las necesidades de la organización.

Los NOC operan en fases, los incidentes se clasifican del Nivel 1 al Nivel 3. El Nivel 1 se refiere a incidentes de bajo nivel, como la revisión del sistema, mientras que el Nivel 3 se relaciona con incidentes de alto nivel como ataques de ransomware o fallos de red. Si un técnico no puede resolver un problema a tiempo, se deriva a un técnico con más experiencia. Los ingenieros del NOC solucionan cualquier problema que surja y trabajan para prevenir futuras interrupciones de la red y problemas de conectividad.

Algunas organizaciones gestionan sus NOC internamente, con sus oficinas y estaciones de trabajo ubicadas principalmente en centros de datos. Sin embargo, otras organizaciones externalizan estas tareas como se observa en la Figura 1.9 a expertos en mantenimiento y gestión de instalaciones.

Figura 1. 9 Responsabilidades del NOC.



Fuente: Diagrama de un Noc por (NewNet, 2024)

Redes y tecnología GPON

Tecnología de fibra óptica

La fibra óptica es una tecnología de transmisión que utiliza pulsos de luz los cuales transportan datos a través de cables los cuales están fabricados ya sea con vidrio o plástico. Estos cables se componen de un núcleo central por el cual viaja la luz, un revestimiento el cual permite la reflexión interna total, y una capa externa protectora que otorga resistencia mecánica y protección contra factores ambientales.

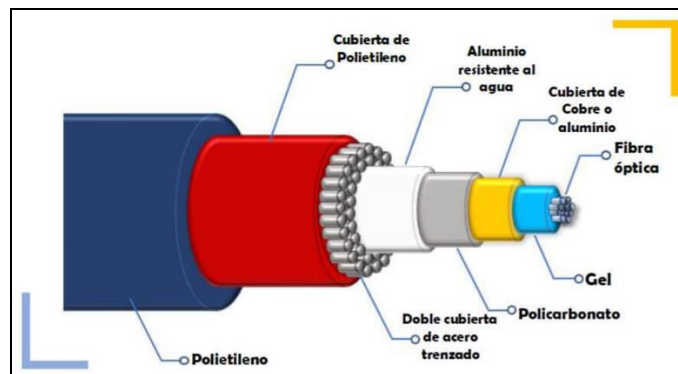
Esta tecnología ofrece ventajas significativas frente a los medios tradicionales de transmisión, como lo es el cobre, incluyendo mayor capacidad de ancho de banda, menores pérdidas de señal y mayor inmunidad a interferencias electromagnéticas. Gracias a estas características, la fibra óptica se ha convertido en la base de las redes de telecomunicaciones modernas, sobre todo en arquitecturas de acceso como FTTH (Fiber To The Home) y redes GPON como se muestra en la Figura 1.10.

Según lo expresado por Trujillo y Quishpe (2022), en la práctica, la fibra óptica permite establecer conexiones a distancias considerables sin requerir la regeneración de la señal, lo cual reduce los costos de mantenimiento y optimiza la eficiencia en las operaciones. Su adopción ha posibilitado que los proveedores de internet ofrezcan velocidades superiores a las ya ingresadas en el mercado, aseguren una conexión más confiable y atiendan a numerosos usuarios al mismo tiempo.

Una fibra óptica consiste en un finísimo hilo de vidrio muy puro (aunque también se construyen de plástico, por economía), con un diámetro de entre cinco o diez micras. Para darle rigidez mecánica, al fabricarlo se rodea de más vidrio o plástico, pero este vidrio o plástico de fuera no es el que conduce la luz

El aumento de la demanda de servicios digitales y la expansión de infraestructuras de conectividad han impulsado la masificación de la fibra óptica como solución estratégica en zonas urbanas y rurales, agilizando así la inclusión digital y la transformación tecnológica en varios sectores.

Figura 1. 10 Componentes de la fibra óptica



Fuente: (Candia, 2025)

Modelamiento de las redes GPON

El modelamiento de redes GPON es un proceso indispensable dentro de la planificación, diseño e implementación de redes de acceso de fibra óptica, este permite representar de forma lógica y física la estructura el comportamiento de la red antes de su despliegue real. Este modelamiento mejora la toma de decisiones técnicas y económicas, optimizando recursos y asegurando la calidad del servicio QOS, por sus siglas en inglés.

- Modelamiento lógico

Este tipo de modelamiento se enfoca en representar la relación funcional entre los diferentes elementos de la red, tales como OLTs, splitters y ONTs, sin considerar aún su ubicación geográfica.

- Modelamiento físico o geoespacial

Este modelamiento físico o geoespacial es aquel modelo que considera la ubicación real o proyectada de los elementos de red sobre un entorno geográfico determinado. Para ello se utilizan herramientas de Sistemas de Información Geográfica, GIS por sus siglas en inglés, en este tipo de proyectos, tales como QGIS, pero se puede utilizar además software de diseño como AutoCAD o herramientas específicas para redes FTTH las cuales permiten realizar las trazar rutas de fibra óptica, medir distancias reales y simular rutas subterráneas o aéreas, calcular pérdidas ópticas, etc.

Infraestructura GPON

Las redes GPON (Gigabit Passive Optical Networks) se consideran una tecnología amplia y eficiente para el acceso de banda ancha mediante fibra óptica. Utilizan una topología tipo punto-a-multipunto, en donde una fibra desde la Optical Line Terminal (OLT) se distribuye entre múltiples usuarios mediante divisores ópticos, lo que reduce costos y facilita el despliegue en entornos urbanos y rurales.

Como indica el autor Paul (2022) las redes GPON en comparación con otras tecnologías, presenta ventajas superiores, incluso en las estimaciones de costos de implementaciones dentro del Ecuador, esto evaluando la calidad de servicio (QoS), velocidad, escalabilidad y gestión de red.

En el contexto ecuatoriano se han desarrollado investigaciones orientadas a evaluar la factibilidad de desplegar redes FTTB sobre la base de la tecnología GPON. Uno de estos estudios concluyó que la implementación resulta viable en ciudades de tamaño intermedio, debido a que combina ventajas técnicas con beneficios económicos que hacen sostenible su adopción. De manera complementaria, en Quito la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) llevó a cabo el diseño y la simulación de una red FTTH en la parroquia de Checa, cuyos resultados evidencian no solo la escalabilidad técnica de este tipo de soluciones, sino también su capacidad para garantizar servicios de conectividad con estándares de alta calidad.

Además, en un proyecto de la Universidad de UTA en 2020, se creó una red GPON para la compañía Clicknet en Patate, validando la arquitectura con relaciones de

compartición de 1:8 y 1:16, lo que resultó en mejoras en la calidad del servicio y la eficiencia óptica. Este estudio ejemplifica cómo GPON permite desplegar redes flexibles y con requisitos de desempeño adecuados para pequeños ISPs locales.

En la Indonesia la investigación del autor Hantoro (2022) buscó optimizar la capacidad de redes GPON incrementando la relación de división de 1:32 a 1:64, considerando la capacidad de la OLT y el presupuesto óptico, aplicando varios esquemas de splitters

En conjunto, estas investigaciones respaldan que GPON representa una solución respaldada por análisis técnico y económico en el contexto ecuatoriano, latinoamericano y mundial, consolidándose como la opción preferida para redes de acceso de última milla basadas en fibra óptica.

- **OLT**

La OLT es el equipo central ubicado en la cabecera del proveedor de servicios (ISP), que se encarga de administrar, controlar y coordinar toda la red GPON. Su función según (Sol, 2025) es enviar señales ópticas a los usuarios finales y recibir información de retorno. Además, gestiona la banda ancha y realiza tareas de autenticación, monitoreo y provisión de servicios.

- **ONU**

La ONT (o en algunos casos ONU) es el dispositivo el cual se deja instalado en el domicilio del usuario, encargado de convertir la señal óptica en señales eléctricas las cuales puedan ser utilizadas por equipos como routers, teléfonos IP o decodificadores. También realiza tareas de control de tráfico, asignación de prioridad y ajustes de firewall.

- **ODN**

La ODN es la parte pasiva de la red que interconecta la OLT con los equipos del cliente final mediante un conjunto de cables de fibra óptica, empalmes, cajas de distribución y splitters. Esta red como menciona (Bwinner, 2024) no requiere alimentación eléctrica, lo cual reduce los costos operativos y de mantenimiento.

- **Splitters**

Dispositivos pasivos la cual divide la señal óptica proveniente de la OLT. Por lo general, se emplean ratios de división 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 o 1:32.

- **Troncales de fibra óptica**

Desde la OLT hacia los puntos de distribución, se realizan conexiones mediante fibra óptica.

- **Cajas NAP**

Se instalan en el campo para facilitar la conexión final al momento de necesitar conectar un cliente en la zona.

Fundamentos probabilísticos aplicados al monitoreo de redes GPON

En el ámbito del monitoreo de redes, la estadística proporciona herramientas que permiten describir y anticipar el comportamiento de parámetros críticos. Entre ellas, la media refleja el valor central de un conjunto de mediciones, útil para estimar el nivel típico de potencia óptica en un enlace. La varianza como indica el autor Ammar (2020) en cambio, mide la dispersión de los datos y permite identificar inestabilidades o fluctuaciones significativas que podrían anticipar fallas en la transmisión

De manera complementaria, los valores mínimos y máximos delimitan los rangos de operación observados. En telecomunicaciones, estas métricas son esenciales para establecer umbrales de referencia y evaluar si los parámetros de red, como el tráfico o la potencia, se mantienen dentro de márgenes aceptables definidos en estándares como ITU-T G.984 (ITU-T, 2016)

En conjunto, estas medidas probabilísticas básicas constituyen la base teórica sobre la cual se desarrollan técnicas de análisis más avanzadas para la detección temprana de anomalías en redes ópticas según Luna (2025)

Inteligencia Artificial

Según el autor Mata & Duran (2018) Las entidades y sistemas de inteligencia artificial (IA) tienen la capacidad de realizar operaciones análogas al aprendizaje y la toma de decisiones imitando procesos biológicos, con especial énfasis en los procesos cognitivos humanos. Mejora el rendimiento de las telecomunicaciones la integración la inteligencia artificial ya que permite conocer y tener el control de la red ante cualquier incidente.

Introducción a la inteligencia Artificial en redes GPON

Según los autores Mata & Duran (2018) el tipo de escenarios de red más simples que podemos pensar son deterministas, observables, estáticos y completamente conocidos. Para estos escenarios, los algoritmos de búsqueda y la teoría de optimización son elementos clave del área de IA y, por lo tanto, se han utilizado ampliamente en el diseño y control de redes ópticas durante mucho tiempo.

La inteligencia artificial según (Nexus, 2020) permite una aceleración de procesos y a su vez brinda una mejora de seguridad. El uso de IA permite detectar con precisión puntos de instalación óptimos lo cual reduce errores y accidentes, minimizando así la intervención humana en lo que son cámaras, drones, imágenes y videos, por ejemplo.

Tipos de IA

- **IA Débil**

Según el autor Briva-Iglesias, (2023) es un tipo de IA diseñada para hacer una tarea específica o un conjunto de tareas relacionadas dentro de un dominio limitado. Algunos ejemplos son los chatbots de atención al cliente y los sistemas de recomendación de películas en plataformas de streaming.

- **IA Fuerte**

La IA fuerte según (IBM, 2021) Tiene la capacidad de cumplir con cualquier tarea intelectual que un humano puede hacer. Aún está en desarrollo y no ha culminado su etapa más alta, es el objetivo final de muchos investigadores en el campo.

- **Clasificación funcional**

La clasificación funcional de las inteligencias artificiales se evalúa según los criterios expuestos en la Tabla 1.7.

Tabla 1. 7 Clasificación funcional de IA.

CLASIFICACIÓN	
IA Basada en la memoria:	Usa la información almacenada para la toma de decisiones.
IA Autoconsciente:	Se refiere a una IA con conciencia propia y capacidad de sentir emociones y tener autoconciencia.
IA de aprendizaje limitado:	Comprende un aprendizaje y adaptación sobre la información proporcionada, pero tiene limitaciones en términos de autonomías.

Nota. La tabla contiene información recopilada gracias a (GAMCO, 2023).

Modelos de Inteligencia Artificial

Los modelos de inteligencia artificial según la concepción de los autores Abeliuk & Gutiérrez (2021) hacen referencia al uso de computadoras y otras tecnologías para simular la inteligencia humana. Los modelos de inteligencia artificial son cruciales para los sistemas de inteligencia artificial y aprendizaje automático. Los sistemas de inteligencia artificial emplean modelos de IA como herramientas computacionales para hacer predicciones, tomar decisiones o llevar a cabo tareas concretas.

Los modelos de inteligencia artificial son el motor que fomenta la innovación. Estos modelos generativos emplean visión por computador, procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático para examinar patrones complejos en los datos.

Además del reconocimiento de patrones, los modelos de IA también pueden aprender mediante algoritmos de toma de decisiones. Mediante el entrenamiento, la recopilación y el análisis de datos, los modelos de IA se vuelven más competentes para completar las actividades y los objetivos que se les asignan.

Según el autor Mera (2024) los modelos de IA son superhéroes que ayudan a resolver problemas complejos. Se destacan en el procesamiento de grandes cantidades de datos y la resolución de problemas complejos. Desde encontrar las fotos de gatos más adorables en internet hasta predecir el clima, los modelos de IA son nuestros solucionadores de problemas de confianza, siempre buscando la perfección.

No Supervisado

Según el autor (Pathania, 2023) nos muestra que en el aprendizaje no supervisado los algoritmos no hacen uso de información previamente etiquetada u organizada para determinar cómo debería ser clasificada la nueva data, sino que deben descubrir por su cuenta cómo agruparla. Por lo tanto, este enfoque no necesita la participación de una persona. Estos algoritmos identifican patrones ocultos o agrupaciones de datos sin que sea necesaria la intervención humana.

El modelo no supervisado permite hallar semejanzas y diferencias de los datos e información convirtiendo así su capacidad de aprendizaje en una forma ideal de uso para el análisis de exploración de datos, así como los diversos medios de venta cruzada o segmentación de clientes y a su vez la identificación o reconocimiento de imagen.

Supervisado

El aprendizaje supervisado es una técnica de modelado predictivo, este tipo de modelo es caracterizada por la creación de un algoritmo el cual aprende a mapear una entrada a una salida particular. Esto se logra entrenando el modelo en un conjunto de datos etiquetado, que incluye un conjunto de variables de entrada y sus correspondientes variables de salida. Este proceso permite que el modelo mencionado aprenda del conjunto de datos y aplique las reglas para predecir con precisión la salida cuando se proporcionan nuevos datos de entrada.

El autor (Rouhiainen, 2018) menciona que se requiere la intervención humana para proporcionar retroalimentación. Por ejemplo, Los árboles de decisiones comienzan con la búsqueda de una pregunta básica con la cual se plantea formular diversas variedades de preguntas que lleven a una respuesta, dichas preguntas son conocidas como los nodos de decisiones del árbol las cuales permiten seccionar los datos recolectados y así

un individuo consiga tomar una decisión final en base a lo obtenido. Este algoritmo permite tomar decisiones estratégicas siendo de los más útiles y aplicados debido a su simpleza ya que puede ayudarte a tomar decisiones. Entre ellos hay varios algoritmos supervisados tales como los que se muestran en la Tabla 1.8:

Tabla 1. 8 Algoritmos supervisados

IA (Modelo)	Funcionalidad
Árboles de decisión	Este algoritmo permite tomar decisiones estratégicas en base a lo que necesitas, es uno de los más útiles y aplicado debido a su simpleza ya que puede ayudarte a tomar decisiones
Random Forest	Permite seleccionar distintas muestras aleatorias para así entrenar de manera individual a cada árbol, esto se realiza seleccionando un subconjunto de variables obtenidas con la finalidad de que existan diferencias entre cada árbol
Redes neuronales	Este algoritmo se repite varias veces hasta que la red aprenda patrones y secuencias las cuales pueda relacionar sus resultados con la finalidad de que el modelo pueda por sí solo ser capaz de reconocer imágenes, contenido visual o auditivo
Perceptrón	Este algoritmo tiene la capacidad de recibir datos de múltiples entradas, cada una de ellas es identificada por un valor binario aplicado por un umbral y crea una sola salida.
Deep Learning	Se basa en la alimentación de datos mediante lo son imágenes, audio o texto los cuales pasan a convertirse en vectores numéricos para ser procesados, luego pasa por capas de tratamiento de datos hasta que llegan a la parte de propagación en la cual el resultado es analizado muchas veces hasta que la red pueda aprender con precisión.
Convolucionales (CNN)	Utiliza convulsiones que son filtros los cuales recorren la imagen por partes para encontrar patrones, como lo son bordes y colores, va de lo más general a lo más específico con la finalidad de clasificar objetos, reconocer rostros o detectar anomalías

Nota. La información que alberga esta tabla fue elaborada gracias a los autores (Pérez J & Martínez L, 2021), (Wu H. &, 2022), (Singh, R., & Patel, A., 2023), (Singh, R., & Patel, A., 2023), (Ali, 2021) y (Zhang, 2022).

Dentro de los modelos supervisados como indican los autores Pérez J & Martínez L (2021) los árboles de decisión se destacan por su simplicidad e interpretabilidad, ya que permiten representar el proceso de clasificación a través de reglas jerárquicas fácilmente comprensibles.

A diferencia de enfoques más complejos, como las redes neuronales profundas, que suelen considerarse estructuras de tipo “caja negra”, los árboles ofrecen transparencia en la forma en que se toman las decisiones. Esta cualidad es importante en el sector de las telecomunicaciones, donde es esencial entender los principios que guían la clasificación de errores o incidentes en la red. Adicionalmente, tienen un costo computacional más bajo en comparación con otros algoritmos más complejos, como Random Forest o Deep Learning, lo que los hace una opción apropiada para el estudio de conjuntos de datos de tamaño moderado según los autores Singh R & Patel (2023).

Varios estudios en el ámbito de las redes ópticas han subrayado su utilidad en la vigilancia del rendimiento y el mantenimiento anticipado, lo que refuerza su significancia teórica en este tipo de investigaciones.

Métricas de validación de Inteligencia Artificial

Las métricas de validación permiten comprobar el desempeño de los modelos aplicados en la detección temprana de fallas en redes GPON. Entre las más utilizadas se encuentran la exactitud (accuracy), que mide el promedio de aciertos generales, aunque puede ser engañosa en conjuntos de datos desbalanceados; la precisión (precision), que indica qué proporción de predicciones positivas fueron correctas, reduciendo falsos positivos; y el recall, que mide la capacidad de identificar correctamente los casos positivos, fundamental cuando es crítico no dejar fallas sin detectar.

Para mantener un balance entre la exactitud y el recall se utiliza el F1-Score, a la vez que la matriz de confusión proporciona una perspectiva más completa sobre los aciertos y fallos, lo que permite examinar en qué categorías el modelo tiene más problemas.

Estas métricas, en su totalidad, aseguran una valoración más fiable de los algoritmos supervisados elegidos para la detección predictiva.

Estas medidas son frecuentemente utilizadas en investigaciones recientes en este campo, por ejemplo, Amole et al. (2025) evaluaron diversos modelos supervisados para clasificación de pérdidas en redes eléctricas utilizando parámetros de validación como la previsión, matriz de confusión entre otros, lo cual refuerza la validez de su aplicación en el monitoreo predictivo de redes GPON.

En resumen, son herramientas importantes para validar la IA. No solo se mide la eficacia general, sino que también indica claramente la naturaleza de los errores cometidos, en la tabla 1.9 se ejemplifica la estructura de una matriz:

Tabla 1. 9 Ejemplo de estructura de la matriz

	Predicción positiva	Predicción negativa
Real positiva	VP	FN
Real negativo	FP	VN

Nota. En la tabla se muestra la estructura predicción/real

ISP (Proveedor de servicios de internet).

El autor (Alegsa, 2023) señala que un ISP (proveedor de servicios de Internet) es una compañía o institución que ofrece a sus usuarios la posibilidad de conectarse a Internet a través de diferentes métodos, tales como cable, fibra óptica, conexiones inalámbricas, satélites, redes móviles o líneas telefónicas (DSL). Todo hogar u organización con acceso a Internet tiene un ISP, estos suelen ofrecer también otros servicios, como paquetes de navegación, televisión por cable o satélite, telefonía, alojamiento web y registro de nombres de dominio.

- **Implementaciones de IA en ISPs**

En los últimos años, diversos proveedores de servicios de Internet (ISP) han comenzado a incorporar tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático con el fin de optimizar la gestión y operación de sus redes. Por ejemplo, se han implementado

estrategias basadas en IA para la ciberseguridad Proactiva, como detección de amenazas en tiempo real y protección del tráfico de hogares inteligentes tal como lo mencionan los autores (Agoro, H., & Gray, R., 2020). Otras iniciativas según (Olabiyi, W., Samuel, J., & Anderson, K, 2023) incluyen monitoreo inteligente y automatización operativa para detectar anomalías o mejorar la calidad del servicio mediante análisis de datos en tiempo real. Además, se han propuesto marcos de trabajo centrados en la restauración autónoma del servicio el autor (Singh, P, 2024) evidencia que estás se dan con agentes que diagnostican y corrigen fallas sin intervención humana. En redes emergentes, la IA está siendo empleada para el enrutamiento adaptativo y predictivo, así como para la predicción de tráfico y la seguridad automatizada así lo menciona (Aktas, F., et al., 2025). Estas tendencias respaldan teóricamente la propuesta de integrar modelos supervisados, como árboles de decisión, en el monitoreo predictivo de redes GPON.

Existen varias formas de proporcionar servicios de internet, a continuación, en la Figura 1.11 se muestran las más usadas dentro de las telecomunicaciones.

Figura 1. 11 Tipos de conexiones en ISP



Fuente: (Yami, 2017)

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló en el cantón Manta, provincia de Manabí, Ecuador, específicamente en la infraestructura de red de la empresa proveedora de servicios de Internet (ISP), Fibergo Telecom S.A. Esta red se extiende por áreas tanto urbanas como suburbanas, proporcionando conectividad a través de la tecnología GPON.

El estudio se enfocó en el monitoreo de los puertos PON de una OLT ZTE modelo C650 y las ONUs desplegadas en campo, con la finalidad de anticipar fallas operativas mediante un sistema de análisis predictivo.

2.1 Diseño de la investigación

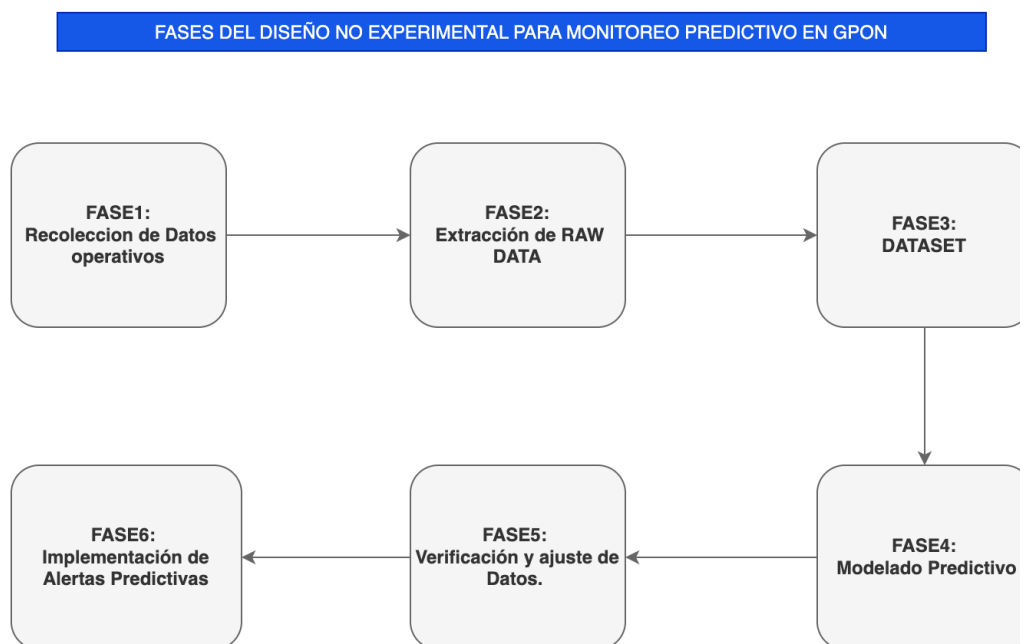
Se hace uso del diseño de investigación de tipo no experimental, puesto que con este que no se manipulan deliberadamente las variables ni se tratan de forma controlada, sino que solo se observan y se lleva a cabo el análisis de los eventos tal como ocurren en el entorno natural de la red GPON.

En efecto, para el autor (Escamilla, 2022) este tipo de investigación está enfocada en sucesos, variables o contextos sin una intervención del investigador, puesto que no existen condiciones o estímulos a los que se vea afectado la variable de estudio.

En la Figura 2.1 se exponen las fases de diseño no experimental que hace uso en esta investigación para llevar a cabo el análisis de eventos y comportamientos de la red GPON a estudiar.

- Fase 1: Recolección de Datos operativos
- Fase 2: Extracción de RawData
- Fase 3: Dataset
- Fase 4: Modelado Predictivo
- Fase 5: Verificación y ajuste de Datos
- Fase 6: Implementación de Alarmas Predictivas

Figura 2. 1 Fases del diseño no experimental



Fuente: Elaborada por el autor

2.2 Alcance de la Investigación

En cuanto al alcance, la investigación es de tipo descriptivo-correlacional, ya que mediante esta se busca representar y describir como ocurre un fenómeno de la forma en como sucede al mismo tiempo de hallar las asociaciones entre sus variables.

En esta investigación es de vital importancia la combinación de ambos alcances, tanto el descriptivo como el correlacional, ya que busca no solo describir el comportamiento de las variables relacionadas con la degradación o falla de las ONUs (como pérdida de señal óptica, tráfico irregular, entre otras) sino que también identificar y establecer relaciones significativas entre estas variables y posibles eventos de falla en el servicio.

El autor (Rendón, 2025) menciona que este tipo de alcance de investigación busca detallar lo que caracteriza a cada variable y posteriormente asociarlas por medio de técnicas estadísticas para medir de manera cuantitativa dicha relación.

2.3 Tipo y métodos de investigación

Tipo de Investigación Cuantitativa

El enfoque para esta investigación es de tipo cuantitativo, ya que se basa en la recolección de datos numéricos provenientes de los parámetros SNMP (como el tráfico en bytes, los errores FEC (corrección de errores hacia adelante) y la potencia óptica) para realizar un análisis objetivo y medible.

Los autores (Pérez Castaños & Santamaría, 2023) declara que la investigación cuantitativa está enfocada en medir las variables de manera numérica haciendo uso de técnicas estadísticas que permiten llevar a cabo el análisis de dichos datos.

Este tipo de investigación busca lograr cuantificar un fenómeno en específico mediante una técnica o herramienta matemática y así lograr establecer un patrón, relación o hasta llegar a generalizar un resultado de una población específica.

Tipo de Investigación aplicada

La investigación aplicada según los autores (Benites et al., 2021) hacen referencia a la resolución de un problema específico en un entorno específico aplicando conocimientos, o métodos existentes, es decir, aplicar algo que ya se sabe y generar una solución práctica.

Se hace uso de la investigación aplicada, ya que por medio de esta se combinan los enfoques analíticos, para descomponer el comportamiento de los indicadores monitoreados y permitir así llevar a cabo la solución de un problema en concreto.

Método de investigación Deductivo

El método deductivo según los autores (Espinoza & Eudaldo, 2023) es aquel enfoque que en donde se comienza la investigación a partir de conceptos, principios o teorías generales de forma que se consiga obtener conclusiones más específicas y concretas

Por ello en esta investigación se hace uso del método deductivo, pues se parte de la teoría e hipótesis técnicas sobre el comportamiento esperado de las ONUs en condiciones normales para detectar así lo mas específico como son sus desviaciones.

2.4 Diseño de Fases a Implementar

La simulación desarrollada en esta investigación se basa en la arquitectura de red GPON desplegada por la empresa Fibergo Telecom S.A., en su nodo ubicado en el cantón Manta. Esta infraestructura está compuesta por una OLT ZTE C650, conectada a múltiples ONUs mediante splitters ópticos pasivos. Cada ONU, a su vez, distribuye conectividad hacia hogares. Esta topología representa la base sobre la cual se ejecutó el monitoreo predictivo.

A continuación, se detallan las fases propuestas para este diseño de la investigación:

Fase 1: Recolección de Datos Operativos

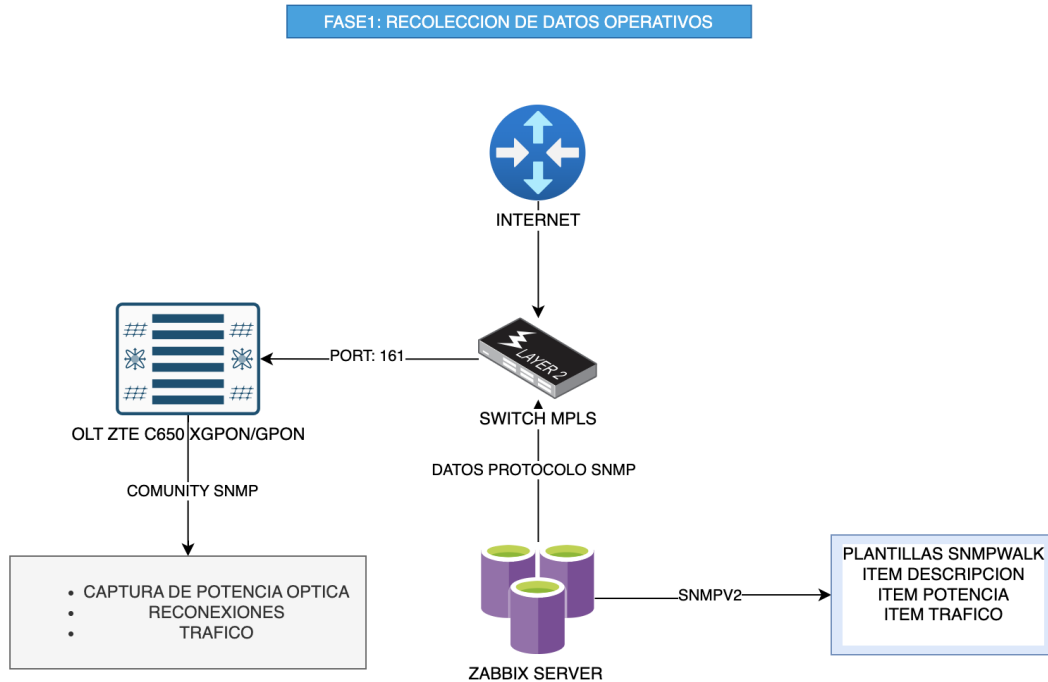
En esta fase inicial se busca llevar a cabo el obtener todos los datos requeridos vía SNMP que se usarán para la respectiva extracción.

Se busca recolectar los datos de las siguientes acciones:

- Datos de captura de la potencia óptica que permiten lograr un monitoreo de calidad en la señal de la red GPON.
- Datos de monitoreo de ultima desconexión de aquellos problemas o fallos que existan en el equipo final.
- Datos del tráfico de las interfaces de los equipos en tiempo histórico para identificar consumos generados en el tiempo.
- Datos de los Puertos GPON que entreguen información clave de monitoreo.

En la Figura 2.2 se puede visualizar el esquema representativo del entorno de simulación de la red GPON en Fibergo Telecom, considerando datos requeridos, protocolos, OLTS, servers de Monitoreo.

Figura 2. 2 Fase 1- Extracción de datos operativos.



Fuente: Elaborada por el autor

Fase2: Extracción RAW DATA

En esta fase extraemos la información ya recolectada, es decir el histórico de información de los ítems indicados, para ello hacemos uso de la API de Zabbix para poder conectarnos desde Matlab y desarrollar los ítems requeridos, como se muestra en la Tabla 2.1:

Tabla 2. 1 Proceso de depuración del dataset (valores originales vs. filtrados)

Parámetro	Registros	Valores nulos	Outliers detectados	Registros válidos	% Conservado
Potencia óptica (dBm)	1440	18	6	1416	98.3 %
Tráfico (Mbps)	1440	0	9	1431	99.4 %
Errores FEC (%)	1440	3	5	1432	99.4 %
Eventos LOS (conteo)	1440	0	2	1438	99.9 %

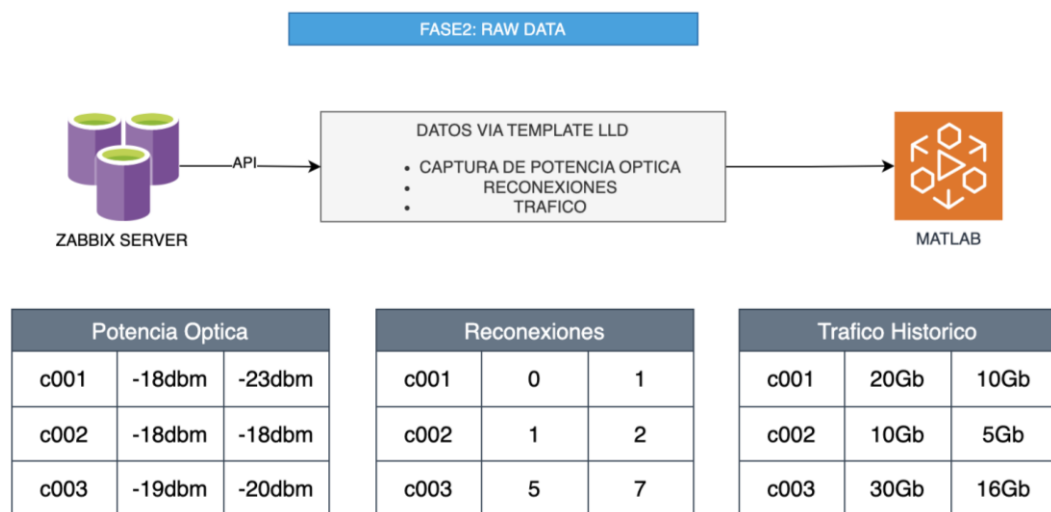
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la OLT ZTE C650 mediante API Zabbix (24h).

El proceso de depuración permitió eliminar aproximadamente el 1,3 % de los registros, principalmente por datos faltantes o lecturas anómalas fuera de los rangos técnicos esperados como potencias inferiores a -35 dBm o tasas de errores FEC superiores al 10 % o cambios de equipos o retiro de clientes/equipos. Este filtrado garantiza la consistencia estadística del dataset y evita sesgos en el modelo de predicción posterior.

Una vez validado el api de conexión, host e ítems requeridos como en la Figura2.3, se selecciona el puerto o los puertos requeridos para el análisis para ello:

- Se realiza un ajuste en el horario para que extraiga el valor cada 1 min.
- Se ajusta la zona horaria
- Se realiza limpieza de datos nulos o Nan
- Se genera un csv en base al histórico requerido (24h)

Figura 2. 3 Fase 2- Extracción de RAW DATA



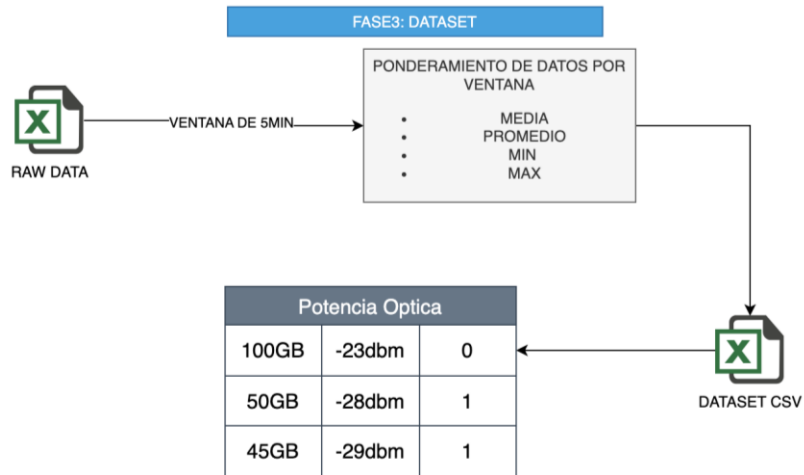
Fuente: Elaborada por el autor

Fase3: DATASET

En esta tercera fase al ser un modelo supervisado, debe haber un experto en medio de la información e IA, por lo tanto, no podemos enviar la información en cruda directa al modelo, se debe organizar los datos de recolección, en este caso se hará cada 5min la

extracción de datos. Es decir, la ventana en la que se armará esta agregación de datos (dataset) para cálculos como varianza, media, promedio, min, máx. se hará cada 5 datos, así como se muestra en la Figura 2.4.

Figura 2. 4 Fase 3- Dataset



Fuente: Elaborada por el autor

Fase 4: Modelo Predictivo

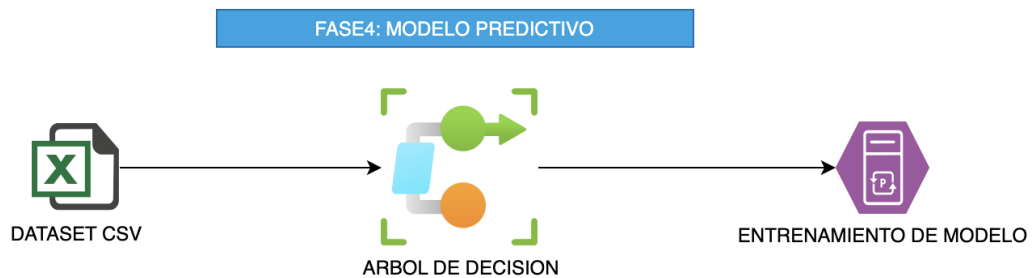
En esta fase se creará un modelo a partir de un dataset de datos GPON, el cual será capaz de realizar predicciones sobre acontecimientos o fallas futuras.

Entre las acciones a llevar a cabo en esta fase se presentan las siguientes:

- Construir un árbol de decisiones en la Herramienta Matlab el cual permita llevar a cabo el modelo predictivo basado dicho árbol para permitir el aprendizaje automático.
- Entrenar el modelo predictivo con un conjunto de datos históricos de todas las fallas o los patrones presentados en la red ajustando parámetros y permitiendo que realice predicciones precisas.

En la Figura 2.5. se muestra el proceso de creación del modelo de predicción basado en el árbol de decisiones para entrenar el modelo.

Figura 2. 5 Fase 4- Modelo Predictivo



Fuente: Elaborada por el autor

Fase 5: Validación y Ajuste

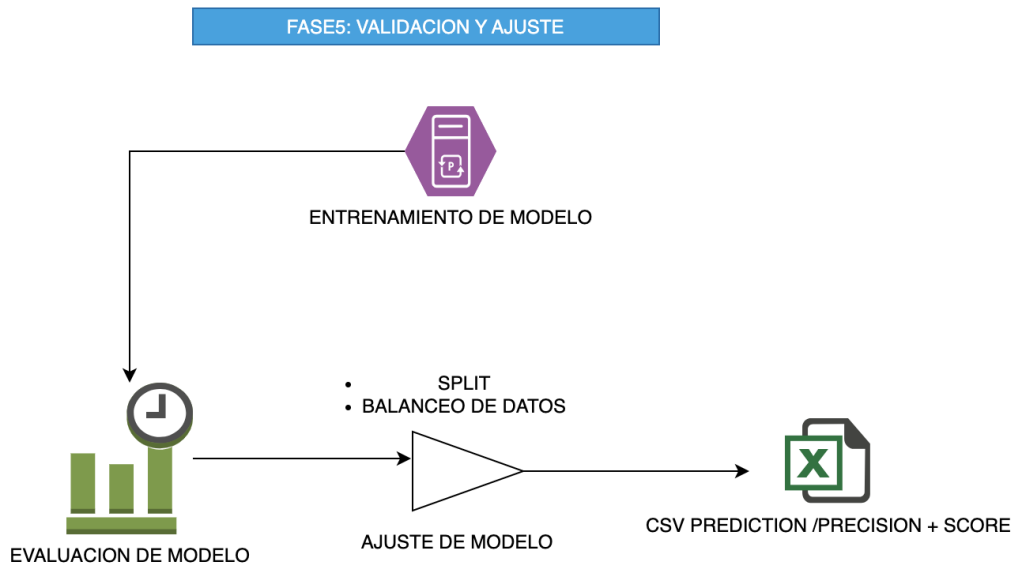
Dentro de esta fase se busca la validación de la precisión del modelo creado en la fase anterior permitiendo realizar todos los ajustes que se vean necesarios.

Entre las acciones a realizar en esta fase se presentan:

- Comparar las predicciones con métricas de evaluación como el accuracy, f1, recall, matriz de confusión y reporte de clasificación de forma en que se verifique el modelo realizado.
- Llevar a cabo todos los ajustes necesarios si se observa que el modelo predictivo no está siendo adecuadamente preciso, en dicho caso se ajusta parámetros o también se vuelve a entrenar una versión mejorada para las predicciones.
- Realizar balanceo de datos de ser necesario en el caso de que haya una predominancia de datos 0 o 1.
- Realizar para lo mismo un SPLIT de datos o un RANDOM puede ser 60/40.
- Exportar un csv con las predicciones del puerto GPON.

En la Figura 2.6. Se observa el esquema en donde posterior a entrenar el modelo se lleva a cabo la tarea de balancear datos y splitearlos aumentando su precisión y uso del modelo llevándolo a un csv que será usado al entorno real.

Figura 2. 6 Fase 5- Validación y Ajuste.



Fuente: Elaborada por el autor

Fase6: Implementación de Alertas

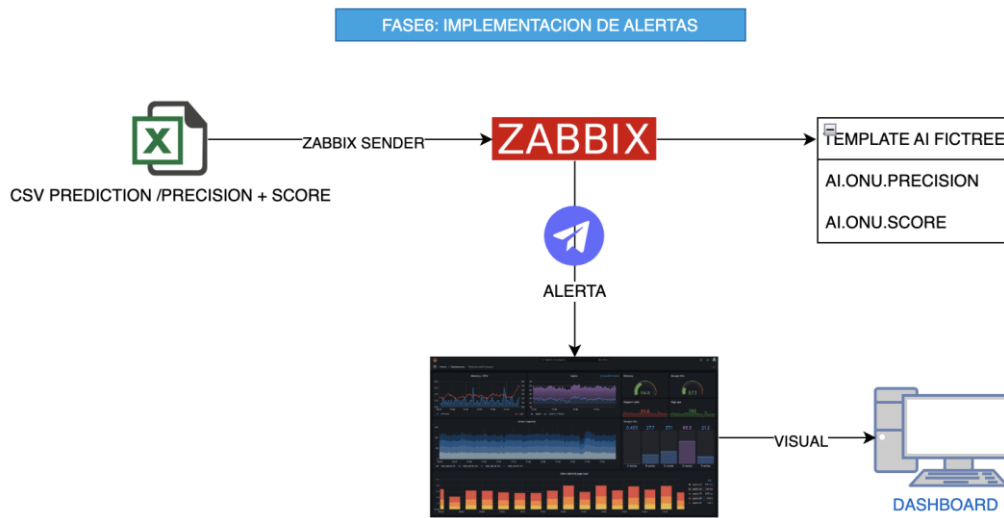
En esta última etapa de las fases se busca realizar la integración del modelo predictivo creado a un sistema de alertas para predecir las futuras fallas.

Las Acciones para llevar a cabo en esta fase están detalladas de la siguiente forma:

- Hacer uso de la herramienta Zabbix para de esta forma crear alertas predictivas las cuales estén basadas en el modelo creado.
- Crear 2 ítems nuevos en base al csv con la predicción.
- Crear Trigger en base a estos ítems.
- Crear un Dashboard en Grafana para monitorizar el estado de la red o las alertas.

En la Figura 2.7. se observa el envío de datos bajo un sender de Zabbix, este a su vez realiza la recolección de datos de estos ítems y se conecta con Grafana mediante api para así compartir la recolección de datos con la finalidad de tabular la información, crear Trigger y vincularlo a Grafana vía api para la emisión de dashboards.

Figura 2. 7 Fase 6- Implementación de Alertas.



Fuente: Elaborada por el autor

2.5 Población y muestra

La población de estudio de esta investigación se encuentra conformada por el total de ONUs activas, las cuales son 4000 gestionadas desde la OLT ZTE C650 en el área de cobertura del ISP.

A su vez se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando 1 puerto de una tarjeta de servicio que equivale a 60 onts aproximadas, siendo este número los datos estimados sobre el cual se trabajará y se evaluará el historial de alarmas o comportamientos atípicos en las últimas 24 horas, de acuerdo con los registros históricos del sistema de monitoreo Zabbix.

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó una técnica cuantitativa basada en la recopilación automática de datos mediante el protocolo SNMP, implementado en la herramienta de monitoreo Zabbix.

Figura 2. 8 SNMPWALK en servidor Zabbix a OLT ZTE

```

Last login: Thu Aug 21 12:29:57 2020 from 10.30.30.11
fibergo@zabbixserver:~$ snmpwalk -v2c -c FiberGoSNMP 10.1.0.6 1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.1 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.2 = INTEGER: 2
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.3 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.4 = INTEGER: 2
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.5 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.6 = INTEGER: 9
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.7 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.8 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.9 = INTEGER: 9
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.10 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.11 = INTEGER: 3
iso.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7.285278465.12 = INTEGER: 3

```

Fuente: Elaborada por el autor

Para ello se evalúa los OID de la OLT ZTE en la cual se verifica documentación del fabricante, y el cómo navegar por el árbol de objetos como se muestra en la Figura 2.8.

Una vez realizado el escaneo de datos en las rutas de objetos podemos extraer la información de cada parámetro como se detalla en la Tabla 2.1:

Tabla 2. 2 OID De OLT ZTE

OID	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
1.3.6.1.4.1.3902.1082.20.40.2.5.1.2.1.1.1	versión de las ont	v1.0.26
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.1.2.4.2	es el OLTs Rx power	Rx: -20.916 (dbm)
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.10.1.2	distancia de ont	1513
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.3	Perfil de ONT	ONT_GENERAL
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.3	Uptime de ont	816778888
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.3.1.18	serial de las ont	1, SERIAL
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.3.1.3	descripción de las ont	ONT 27
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.6	vport ont	vport1
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.4	status de onu	1-7(4 online)

OID	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.10.2.3.8.1.7	Razón de ultima desconexión	Valores: {1: desconocido, 2: perdida de potencia óptica, 3: LOSi, 4: perdida de fibra, 5: fallo de señal, 6: longitud de onda, 7: perdida de lambda, 8: Autenticacion fallida, 9: Apagado 10: deactivacion operativa, 11: deactivacion Fallida, 12: Reinicio, 13: Apagado }}
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.4.2.2.2.1.1	es el input total/descarga total acumulada	5Gb
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.4.2.2.2.1.3	Muestra tráfico actual de descarga	100Mbps
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.4.2.2.2.1.44	es el output total/subida total acumulada	100Gb
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.20.2	Muestra vendor ont	BDCM/GPON
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.4.2.2.2.1.46	Muestra tráfico actual de carga	10Mbps

OID	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.20.2.2.2.1.10	Es el RX de la ONU, pero crudo habrá que procesarlo con: * 0,002 - 30	$4672 * 0,002 - 30 = -20,65 \text{ dbm}$

Nota. En esta tabla se muestran los OID extraídos en la práctica mediante MIB Browser.

A partir de los datos recolectados se crean plantillas personalizadas como se ve en la Figura 2.9 para guardar valores como potencia óptica, tráfico de entrada/salida y estado de conectividad de cada ONU.

Figura 2. 9 Plantilla descubrimiento automático Item de Tráfico.

Fuente: Elaborada por el autor

La información es almacenada en la base de datos del Zabbix para su posterior análisis con herramientas estadísticas y de aprendizaje automático, el cual permitió recolectar de manera continua los siguientes datos:

- Potencia óptica recibida (RX)
- Potencia óptica transmitida (TX)
- Offline Reason (1-7)
- Tráfico total de entrada (input bytes)

- Tráfico total de salida (output bytes)

2.7 Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

Se evaluó una revisión técnica de los OIDs utilizados, asegurando su correspondencia con las especificaciones del fabricante de la OLT y los estándares del protocolo SNMP. Se observó la estabilidad y consistencia de los datos recolectados durante un periodo continuo de monitoreo. Además, se aplicaron técnicas de limpieza y de organización de datos que pudieran alterar el análisis predictivo. Para validar los instrumentos de recolección se compararon los datos SNMP del OID 1.3.6.1.4.1.3902.1082.500.20.2.2.2.1.10 con un resultado de $3332 * 0,002 - 30 = -23,34$ dbm los cuales son en comparativa valores iguales en comparativa con valores extraídos directamente desde la CLI de la OLT como se muestra en la Figura 2.10.

Figura 2. 10 Consulta SSH de potencia Rx/Tx hacia onu 1/1/1:1 dentro de la olt

```
ZAAN(config)#show pon power attenuation gpon_onu=1/1/1:1
```

	OLT	ONU	Attenuation
up	Rx :-23.336(dbm)	Tx:2.332(dbm)	25.668(dB)
down	Tx :6.390(dbm)	Rx:-20.758(dbm)	27.148(dB)

Fuente: Elaborada por el autor

Las mediciones se confirmaron con un mínimo de tres muestras seguidas y con un rango de cambio inferior al 2%, lo que garantizó la fiabilidad de la información.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

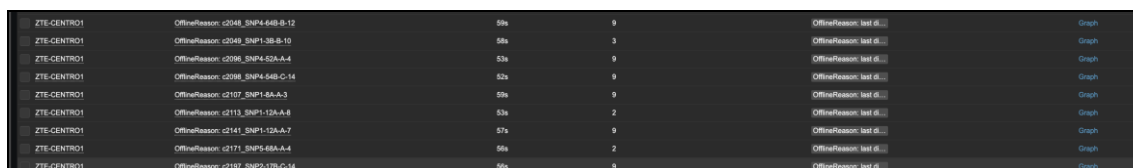
Los hallazgos se exponen en correspondencia con los objetivos específicos planteados y la metodología seguida. Cada resultado se discute de manera comparativa con la literatura y con la operación real de la red, evidenciando la pertinencia de la propuesta.

3.1 Recolección de datos mediante SNMP

Como resultado de la implementación del sistema de monitoreo basado en Zabbix, se logró recolectar información crítica de las ONUs conectadas a la OLT ZTE C650 como se muestra en la Figura 3.1. Entre los datos obtenidos se encuentran:

- Potencia óptica recibida (RX Power)
- Tráfico de entrada y salida en bytes (Input/Output)
- Estado de conexión (Online/Offline)
- Errores FEC y pérdida de sincronización

Figura 3. 1 Captura de Offline Reason a través de SNMP OLT ZTE.



Host	Item	Value	Unit	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c048_SNPA-60B-B-12	59s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c049_SNPA-3B-B-10	59s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c098_SNPA-52A-A-4	53s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c098_SNPA-54B-C-14	52s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c107_SNPA-5A-A-3	59s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c113_SNPA-12A-A-8	53s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c141_SNPA-12A-A-7	57s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c171_SNPA-68A-A-4	56s	s	Graph
ZTE-CENTRO1	OfflineReason: c187_SNPA-17B-C-14	55s	s	Graph

Fuente: Elaborada por el autor

Estos datos fueron recolectados de forma automatizada mediante SNMP, con intervalos de 1 minuto, y posteriormente almacenados para su análisis. Mediante el api que nos ofrece el sistema generamos una conexión hacia nuestro servidor con los ítems que ya hemos detallado para el análisis como se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3. 2 Código de Matlab eligiendo Host a evaluar.

```
%% === 1) HOSTID ===
Rh = zbxcall(zabbix_url,opts,'host.get', ...
    struct('output','extend','filter',struct('host',{host_name})), 2);
hostid = Rh.result(1).hostid;

%% === 2) ITEMS DEL HOST ===
Ri = zbxcall(zabbix_url,opts,'item.get', ...
    struct('output','extend','hostids',hostid,'selectInterfaces','extend'), 3);
items = Ri.result;
```

Fuente: Elaborada por el autor

Mediante Matlab, se extrae esta información en un formato raw (crudo) es decir los datos en base al tiempo en un csv, así como se muestra en la Figura 3.3:

Figura 3. 3 Documento de Excel generador de los datos en bruto/sin procesar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
504	30-Aug-2025 05:24:00	285278466	1	-20.316	40572076469	390	OK	OK	3	LOSi	1		
505	30-Aug-2025 05:25:00	285278466	1	-20.316	40572293128	284.142.950.819.672	OK	OK	3	LOSi	1		
506	30-Aug-2025 05:26:00	285278466	1	-20.316	40572294733	214	OK	OK	3	LOSi	1		
507	30-Aug-2025 05:27:00	285278466	1	-20.316	40572296916	212.975.609.756.098	OK	OK	3	LOSi	1		
508	30-Aug-2025 05:28:00	285278466	1	-20.316	40572298760	37.825.641.025.641	OK	OK	3	LOSi	1		
509	30-Aug-2025 05:29:00	285278466	1	-20.316	40572378383	104.423.606.557.377	OK	OK	3	LOSi	1		
510	30-Aug-2025 05:30:00	285278466	1	-20.316	40572400739	2980.8	OK	OK	3	LOSi	1		
511	30-Aug-2025 05:31:00	285278466	1	-20.316	40572415683	195.986.885.245.902	OK	OK	3	LOSi	1		
512	30-Aug-2025 05:32:00	285278466	1	-20.316	40572437892	240.300.232.172.471	OK	OK	3	LOSi	1		

Fuente: Elaborada por el autor

Este procedimiento permitió organizar datos históricos de parámetros operativos de las ONUs GPON, conformando un dataset estructurado para su posterior análisis.

3.2 Diseño de modelo del árbol de decisión

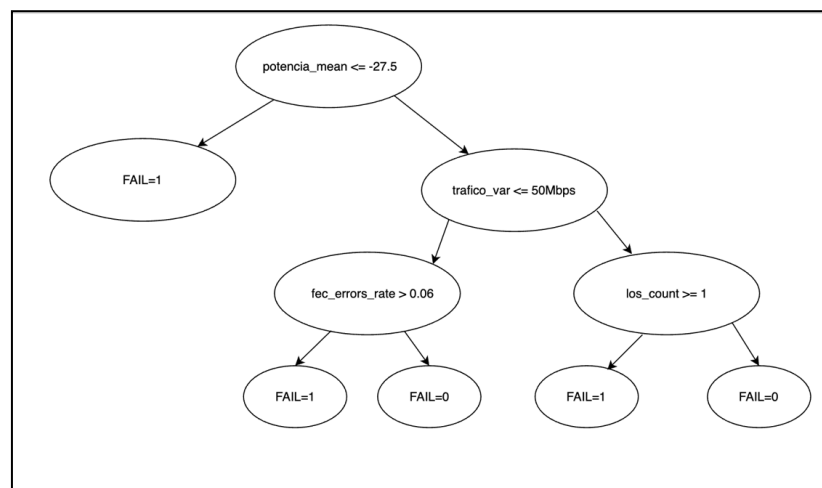
El modelo se entrenó con métricas recolectadas directamente del sistema de monitoreo de la red, tales como potencia óptica media, variabilidad del tráfico y tasa de errores FEC. Cada nodo representa una regla de decisión derivada del análisis de estas variables, mientras que las ramas muestran las rutas que conducen hacia los diferentes escenarios operativos.

En la Figura 3.4 las hojas finales indican la clasificación del estado de la red, siendo FAIL (1) las condiciones que implican degradación o pérdida de servicio, y Normal (0) aquellas que reflejan un funcionamiento estable.

Este modelo visualiza las relaciones causa-efecto entre las métricas técnicas, facilitando la interpretación de los patrones que anteceden a una falla y sirviendo como herramienta de apoyo para el personal técnico en la toma de decisiones preventivas.

El árbol sintetiza de manera comprensible el comportamiento del modelo predictivo, permitiendo anticipar incidentes en la red y priorizar intervenciones antes de que impacten al usuario final.

Figura 3. 4 Diagrama de árbol de decisión



Fuente: Elaborada por el autor

Construcción del Dataset

La construcción del dataset se realizó a partir de las series de datos crudos obtenidas en Zabbix (muestreo cada 1 minuto) del documento anteriormente realizado. Las series fueron integradas mediante las claves timestamp_ventana, pon_base y onu_pos, y posteriormente agregadas en ventanas de 5 minutos para estabilizar ruido y homogeneizar horizontes de predicción.

Para ello se realizó un preprocesamiento y limpieza de datos para poder conformar el dataset como se muestra en la Figura 3.5, tales como:

- Ajuste del tiempo y re-muestreo a intervalos de 5 minutos (promedio para potencia óptica, diferencia para bytes totales acumulados).
- La variable offline reason que es multiclase al tener valores del 0-7 fue ajustado a binario para poder agrupar los estados que interrumpen o no el servicio a corto plazo y poder tener mejor precisión en el entrenamiento (Si es 0=ok, Diferente de 0= Fail).
- Se ajustaron datos de fail y ok, para poder balancear las clases, para una mejor predicción de clase del entrenamiento
- Se ordeno datos, de acuerdo con la zona horaria establecida.

Figura 3. 5 Carga de DATASET.



Fuente: Elaborada por el autor

Validación de hipótesis

Con los datos extraídos el modelo logró una precisión del 90% en la predicción de eventos de desconexión, utilizando como variables predictoras la potencia óptica, el tráfico acumulado y el número de errores por intervalo.

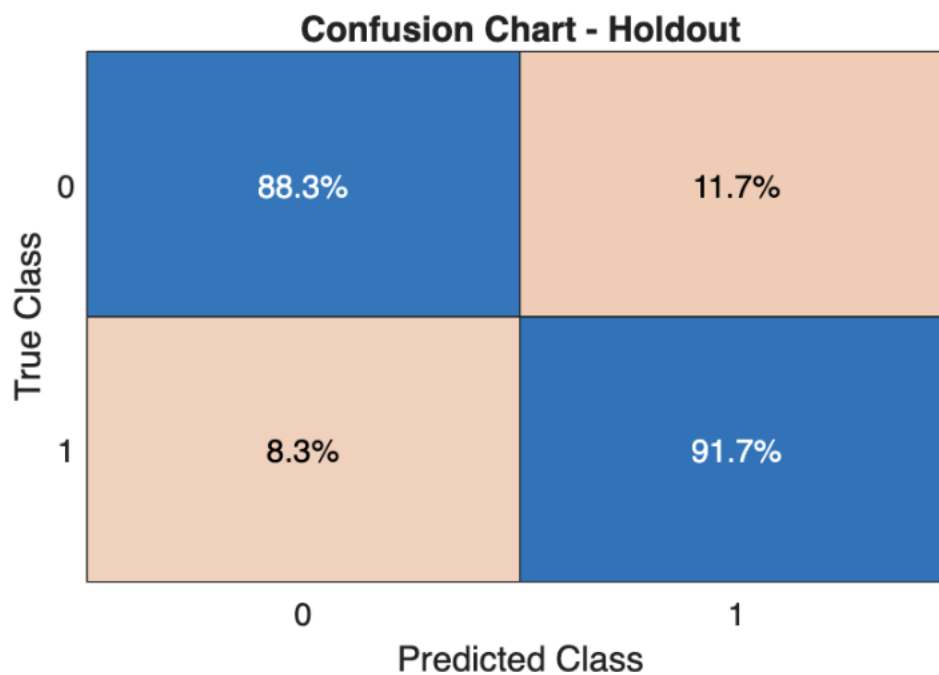
Planteamiento

Hipótesis de trabajo (H1): Es posible predecir fallas en la red GPON usando variables históricas de potencia y tráfico con desempeño superior a un clasificador base.

Nula (H0): El desempeño no supera la línea base.

Se adoptarán métricas estándar: Accuracy, Precision/Recall/F1 macro y matriz de confusión, como se visualiza en la Figura 3.6.

Figura 3. 6 Matriz de clases Predictivas vs clases verdaderas



Fuente: Elaborada por el autor

Modelo y validación

El modelo predictivo seleccionado fue un árbol de decisión supervisado (CART), implementado en MATLAB a partir del dataset construido con datos históricos recolectados desde la OLT ZTE C650 mediante la plataforma de monitoreo Zabbix.

La elección de este modelo se fundamentó en criterios de interpretabilidad, bajo costo computacional y facilidad de integración en entornos operativos de un ISP.

- **Entrenamiento del modelo:** Durante la construcción del dataset se calcularon diferentes features de tipo estadístico y temporal. Entre las más relevantes se incluyeron la media, la varianza, los valores mínimo y máximo, la pendiente de

la serie (slope) y el número de cambios de estado registrados, además de otros indicadores útiles para caracterizar el comportamiento de la red. Respecto a la variable de salida, se definió una etiqueta binaria con dos categorías: OK (0) para los casos en los que la operación se mantenía estable y FAIL (1) para los eventos relacionados con desconexiones críticas o interrupciones del servicio. Este esquema permitió simplificar el análisis y facilitar el entrenamiento de los modelos predictivos. Finalmente, para evaluar el rendimiento del modelo se aplicó un procedimiento de partición temporal mediante la técnica hold-out, destinando un 60% de los datos al entrenamiento y el 40% restante a la fase de prueba. Esta decisión buscó preservar la secuencia cronológica de los registros y reducir el riesgo de fuga de información. El dataset de entrada estuvo constituido por un conjunto de variables extraídas directamente de la red GPON en estudio. Entre ellas se incluyeron los niveles de potencia óptica, expresados en dBm, los volúmenes de tráfico de recepción y transmisión medidos en bits por segundo (bps), así como el estado operativo de las ONUs. Con el fin de facilitar su análisis, toda esta información fue procesada en intervalos de tiempo fijos de cinco minutos, lo que permitió capturar tanto las variaciones de corto plazo como las tendencias asociadas a eventos de mayor duración dentro de la red. Esta decisión metodológica buscó preservar la secuencia cronológica de los registros y reducir el riesgo de fuga de información, garantizando que la evaluación se ajustara a condiciones más cercanas a la operación real de la red.

- **Validación del modelo:** fue evaluado mediante un conjunto de métricas estándar de clasificación. En primer lugar, se calculó la accuracy global, que refleja el porcentaje total de aciertos obtenidos por el modelo. De manera complementaria, se priorizó el recall en la clase FAIL, considerado como métrica principal al garantizar la detección de fallas reales y reducir al mínimo la ocurrencia de falsos negativos. Asimismo, se incorporó la precisión en la clase FAIL, que permite medir la proporción de alertas verdaderas respecto al total de predicciones de falla realizadas como se muestra en la Figura 3.7. Para equilibrar ambos indicadores se utilizó el F1-score, el cual ofrece una medida armonizada entre recall y precisión. Finalmente, se incluyó la matriz de confusión, que

facilita la visualización de aciertos y errores en cada clase (OK/FAIL) y proporciona una perspectiva más detallada del comportamiento del modelo en la Figura 3.6.

Figura 3. 7 Evaluación de árbol de decisión

class	support	precision	recall	f1
{'0'}	325	0.91401	0.88308	0.89828
{'1'}	325	0.8869	0.91692	0.90166

Fuente: Elaborada por el autor

Resultados del Modelo Aplicado

Los resultados obtenidos evidenciaron que el modelo alcanza un desempeño satisfactorio en la detección de fallas, superando al clasificador base (clase mayoritaria) y validando la hipótesis planteada en la investigación.

Se tiene como resultado las siguientes métricas expuestas en la Figura 3.7 y la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Resultado de métricas de árbol de decisión

Accuracy global	0.900000
F1 (macro)	0.899971
Precision (macro)	0.900459
Recall (macro)	0.900000

Nota. La tabla muestra los criterios de métricas utilizados con sus respectivos resultados obtenidos en la investigación.

- **Precisión:** Indica que, en promedio, el 90% de las predicciones del modelo fueron correctas considerando el balance de clases.
- **Recall:** Refleja la capacidad del modelo para identificar correctamente instancias positivas y negativas; el 90% de los casos reales fueron detectados adecuadamente.
- **F1-score:** Combina precisión y recall en una sola métrica, mostrando un balance adecuado entre ambas.

Estos valores demuestran un rendimiento sólido y balanceado, sin favorecer excesivamente a una clase, se adjunta la matriz de confusión en la Tabla 3.2:

Tabla 3. 2 Matriz de confusión.

287	38
27	298

Nota. En la tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos para la clase 0: De 325 instancias, 287 fueron clasificadas correctamente y 38 se etiquetaron erróneamente como 1 y para la clase 1: De 325 instancias, 298 fueron predichas correctamente y 27 se confundieron con la clase 0.

Esto se traduce en un 88.3% de aciertos para la clase 0 y un 91.7% de aciertos para la clase 1, evidenciando que el modelo distingue bien entre ambas categorías, aunque tiende ligeramente a confundir algunos casos de clase 0 como 1.

- **Reporte de clasificación:**

Tabla 3. 3 Reporte de Clasificación

Clase	Support	Precision	Recall	F1
0	325	0.91401	0.88308	0.89828
1	325	0.8869	0.91692	0.90166

Nota. El reporte de clasificación demuestra que la Clase 0: Precisión = 0.914, Recall = 0.883, F1 = 0.898 y que la Clase 1: Precisión = 0.887, Recall = 0.917, F1 = 0.902

Demostrando así que la clase 0 tiene mejor precisión (menor cantidad de falsos positivos), mientras que la clase 1 logra mejor recall (menor cantidad de falsos negativos). Esto indica que el modelo es ligeramente más conservador al etiquetar casos como clase 1, priorizando no omitir instancias verdaderas de esa categoría.

3.3 Discusión de hallazgos

Comprobación formal de la hipótesis

Los resultados obtenidos con el árbol de decisión evidencian un desempeño significativamente superior al clasificador base (clase mayoritaria). Con una precisión global del 90%, así como métricas de Precision, Recall y F1-score en torno al 0.90, se valida la hipótesis de trabajo (H1), confirmando que es posible anticipar fallas en una red GPON mediante el análisis de variables históricas como potencia y tráfico. En este sentido, la hipótesis nula (H0), que planteaba que el desempeño del modelo no superaría al baseline, queda rechazada. La magnitud de la mejora lograda constituye evidencia suficiente para comprobar la validez de la hipótesis propuesta.

Implicaciones operativas

El desempeño obtenido con enfoque en (LOS), donde el árbol muestra reglas claras y útiles para anticipar desconexiones (ej.: tendencias decrecientes de potencia + picos de tráfico). Las limitaciones en clases minoritarias orientan la hoja de ruta: enriquecer *features*, balancear clases y evaluar modelos complementarios (p. ej., Random Forest para mayor *recall* sin perder interpretabilidad básica vía importancias y reglas extraídas).

Esto refuerza la validez de implementar un modelo de monitoreo predictivo como mecanismo de mantenimiento proactivo en redes FTTH.

3.4 Desarrollo de sistema de Alertas

El sistema de monitoreo predictivo planteado integra las fases de recolección de datos, procesamiento predictivo y notificación de alertas dentro del entorno operativo. Esta

arquitectura asegura que los eventos de falla en ONUs de la red GPON puedan anticiparse con un horizonte suficiente para reducir la indisponibilidad del servicio y optimizar la gestión técnica.

Se propone la implementación de un sistema alertas integrado por las siguientes capas:

- Capa de adquisición de datos: Uso de SNMP en Zabbix para la captura continua de parámetros técnicos por ONU.
- Capa de análisis y predicción: Procesamiento de los datos en MATLAB mediante árboles de decisión, alimentado por registros históricos.
- Capa de visualización y alerta: Dashboards en Grafana integrados con Zabbix para notificar patrones de riesgo antes de la caída del servicio.

Flujo operativo propuesto

- **Recolección de datos**

La plataforma Zabbix obtiene, a través de SNMP, los parámetros de operación de cada ONU en la OLT ZTE C650. Estos parámetros incluyen potencia óptica recibida, tráfico agregado y estado de conectividad, los cuales se registran a intervalos de un minuto.

- **Construcción de dataset**

Los datos crudos exportados de Zabbix se procesan en MATLAB mediante ventanas de 5 minutos, donde se calculan features estadísticos y temporales (media, mínimo, pendiente de potencia, ratios de tráfico, cambios de estado, entre otros). El resultado es un dataset estructurado apto para entrenamiento de modelos supervisados.

- **Modelo predictivo**

Se utiliza un árbol de decisión supervisado, entrenado con los datos históricos y validado con métricas de clasificación como se observa en la Figura 3.8. Este modelo genera como salida una etiqueta binaria: 0 (OK) cuando la ONU opera en condiciones normales y 1 (FAIL) cuando se detecta probabilidad de interrupción inminente del servicio.

Figura 3. 8 Generación de Modelo.

11) bloque 11- Genera Modelo

Crea el modelo en base a ultimas metricas obtenidas.

```
%% Bloque 11 - Guardar modelo y métricas
root = fileparts(fileparts(matlab.desktop.editor.getActiveFilename));
modelsDir = fullfile(root,'models'); if ~exist(modelsDir,'dir'), mkdir(modelsDir); end
stamp = datestr(now,'yyyymmdd_HHMMSS');

mdl = dt; % si quieres: mdl = compact(dt);
info = struct('created',datetime('now'), 'features', {X.Properties.VariableNames}, ...
            'classes',{cellstr(categories(y_train))}, 'acc',acc, 'auc',AUC);

save(fullfile(modelsDir, sprintf('dt_bin_%s.mat',stamp)), 'mdl','info');
writetable(reporte, fullfile(root,'features', sprintf('metrics_holdout_%s.csv',stamp)));

fprintf(' Guardado en models/ y features/ (stamp %s)\n', stamp);
```

Guardado en models/ y features/ (stamp 20250908_235605)

Fuente: Elaborada por el autor

- **Generación de alertas tempranas**

Los resultados del modelo pueden integrarse nuevamente a Zabbix mediante módulos como zabbix_sender como se muestra en la Figura 3.9, donde se crean ítems dependientes que reciben la predicción. Cuando la salida del modelo corresponde a FAIL, se dispara un Trigger de alerta temprana que notifica al personal técnico antes de que se concrete la desconexión.

Figura 3. 9 TRIGER AI.ONU

Host	Name ▲	Last check	Last value
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c65_SNP1-3B-B-14]	18h 8m 53s	OK (0)
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c526_SNP1-3B-B-11]	18h 8m 53s	OK (0)
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c814_SNP1-3B-B-10]	18h 8m 53s	OK (0)
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c909_SNP1-3B-B-10]	18h 8m 53s	OK (0)
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c1205_SNP1-3B-B-13]	18h 8m 53s	OK (0)
ZTE-CENTRO1	AI — Predicción [c2049_SNP1-3B-B-10]	18h 8m 53s	OK (0)

Fuente: Elaborada por el autor

- **Visualización y gestión**

Las alertas predictivas pueden mostrarse en paneles de Grafana como muestra la Figura 3.10, complementando los indicadores tradicionales de monitoreo. De este modo, el NOC cuenta con una visión proactiva que combina supervisión en tiempo real con predicción de fallos, permitiendo planificar acciones correctivas.

Figura 3. 10 Dashboard de Alertas generadas.



Fuente: Elaborada por el autor

3.5 Evaluación de efectividad en la reducción del tiempo de respuesta técnica (MTTR)

Se realizó una evaluación interna del tiempo de respuesta técnica al cliente en comparación con el reporte mensual de visitas técnicas de la cual se realiza el siguiente análisis en la Figura 3.11:

Figura 3. 11 Análisis de MTTR ANTES y Después de Implementación.

	HORAS	MINUTOS
TIEMPO PROMEDIO DE RESPUESTA ANTES (MTTR Antes)	7:44:38 a. m.	465
TIEMPO PROMEDIO DE RESPUESTA DESPUÉS (MTTR Después)	2:01:00 a. m.	121

FORMULA GENERAL
Reducción (%) = $\frac{MTTR\ antes - MTTR\ después}{MTTR\ antes} \times 100\%$

TOTAL 73,96%

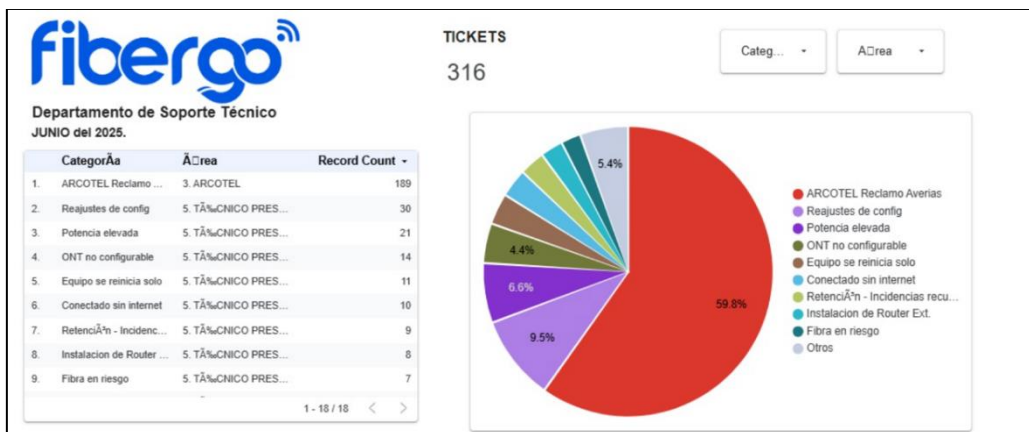
Fuente: Elaborado por el autor

Tras la implementación del sistema de alertas tempranas basado en IA y árboles de decisión, el tiempo promedio de respuesta técnica se redujo de 7 horas con 44 minutos a

2 horas con 1 minuto, lo que representa una mejora del 73.94 % en la eficiencia de atención ante incidentes de red.

En el reporte mensual de Junio de 2025, antes de implementación, podemos evaluar la categoría “Arcotel, Reclamo Averías” que hace énfasis a los tickets que se solicitan o ingresan por averías de fibra, en la Figura 3.12 se visualiza un 59.8% de visitas

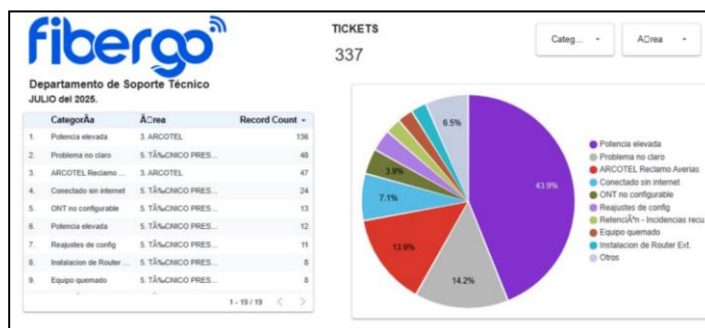
Figura 3. 12 Análisis de Tickets Soporte Fibergo



Fuente: Elaborado por la empresa Fibergo en Google Looker Studio.

Para las visitas de clientes que tendrían fallos el mes de Julio se adjuntaron los tickets a la categoría “Potencia Elevada”, podemos visualizar un aumento al 43,9% en la Figura 3.13, reduciendo la categoría de reclamos, es decir ingresaron visitas técnicas antes que el cliente reporte una avería definitiva, reduciendo a un 13,9% las averías totales.

Figura 3. 13 Análisis de Tickets Soporte Fibergo



Fuente: Elaborado por el autor

3.6 Alcance de la propuesta

La propuesta se centra en el diseño y validación de un mecanismo predictivo para ONUs, demostrando su viabilidad a partir de datos reales del ISP. La integración completa de alertas en Zabbix se plantea como un proceso progresivo, que inicia con pruebas en entorno de laboratorio con un template de un puerto y puede escalarse hacia la red en producción.

Criterios técnicos de diseño

El diseño del sistema de monitoreo predictivo se sustentó en una serie de criterios técnicos que garantizan su viabilidad, interpretabilidad y aplicabilidad en el entorno real del ISP. A continuación, se detallan los más relevantes:

Selección de la plataforma de monitoreo

Se empleó Zabbix como fuente de datos debido a su compatibilidad nativa con SNMP, lo que permite consultar directamente los OIDs de la OLT ZTE C650, así como su capacidad de automatizar la recolección de métricas en intervalos de 1 minuto y su facilidad para exportar datos históricos en formatos estándar (CSV, API), necesarios para el entrenamiento del modelo. Este criterio asegura que la solución se apoye en herramientas ya implementadas en el NOC, reduciendo costos de integración.

Definición de variables de entrada

Las variables seleccionadas para el análisis como potencia óptica, tráfico de datos y estado de las ONUs, fueron definidas en función de tres criterios principales. En primer lugar, su importancia funcional, dado que estos parámetros se relacionan de manera directa con la accesibilidad y estabilidad del servicio de internet ofrecido al usuario final. En segundo lugar, su carácter cuantificable, ya que es posible recolectar información sobre dichas métricas de forma continua y automatizada sin generar un impacto negativo en el rendimiento de la red. Finalmente, se consideró su potencial de anticipación, puesto que la disminución en los niveles de potencia óptica y la aparición de irregularidades en el tráfico han sido reconocidas en la literatura especializada como indicadores tempranos de fallas en redes GPON.

En coherencia con estos criterios, la etiqueta de salida fue definida bajo un esquema binario (OK/FAIL), lo que favorece la integración con sistemas de alerta temprana y se alinea con el propósito operativo de anticipar interrupciones antes de que afecten a los usuarios.

Elección del modelo predictivo

Se optó por un árbol de decisión supervisado debido a su interpretabilidad ya que las reglas de decisión son comprensibles para técnicos de campo, lo que facilita su aceptación en el entorno operativo. Cuenta con un bajo costo computacional ya que puede ejecutarse en un entorno estándar sin requerir infraestructura especializada. Este modelo también permite incorporar nuevas variables y reentrenar fácilmente conforme se disponga de más datos históricos.

Aunque existen modelos más complejos (Random Forest, redes neuronales), la prioridad en esta fase fue garantizar la simplicidad y la claridad de las reglas de predicción.

Intervalos de análisis y ventana temporal

Se estableció una ventana de 5 minutos para el procesamiento de datos, como compromiso entre:

- La granularidad suficiente para detectar variaciones rápidas en potencia y tráfico.
- La reducción de ruido proveniente de fluctuaciones instantáneas.
- La viabilidad operativa, al no generar volúmenes de datos excesivos que saturen el sistema.

Este criterio fue validado en pruebas iniciales que mostraron estabilidad en el rendimiento del modelo.

Estrategia de integración con el NOC

El diseño contempla que el resultado del modelo (OK/FAIL) pueda:

- Reingresar a Zabbix como ítem dependiente mediante *zabbix_sender*.
- Activar triggers predictivos, generando alarmas antes de que el fallo ocurra.

- Visualizarse en Grafana, complementando la supervisión tradicional con indicadores de predicción.

De esta forma, el sistema se integra de manera modular al ecosistema ya existente en el ISP, sin reemplazar herramientas, sino ampliando su funcionalidad.

Escalabilidad y sostenibilidad

El diseño prioriza que la solución pueda:

- Escalarse a múltiples OLTs con mínima reconfiguración utilizando plantillas.
- Reentrenarse de forma periódica con datos actualizados, adaptándose a nuevas condiciones de red.
- Evolucionar hacia modelos multiclase para diagnóstico de causa raíz, una vez se disponga de datos balanceados por tipo de fallo.

3.7 Impacto esperado de la implementación

La implementación de un sistema de monitoreo predictivo en la red GPON del ISP tiene un impacto significativo en la gestión operativa, la continuidad del servicio y la satisfacción de los usuarios finales. Los beneficios se pueden analizar desde distintas perspectivas:

Impacto técnico

- Reducción del tiempo medio de detección de fallas: el sistema no solo detecta fallas en tiempo real, sino que las anticipa, disminuyendo el tiempo de identificación de incidentes.
- Disminución de desconexiones inesperadas: al identificar tendencias de degradación en potencia óptica o saturación de tráfico, se pueden ejecutar acciones correctivas antes de que ocurra la caída de las ONUs.
- Mejora en la gestión de capacidad: el análisis predictivo permite detectar patrones de congestión, optimizando la planificación de recursos GPON (p. ej., redistribución de ONUs o actualización de splitters).

Impacto operativo

El sistema se integra de forma modular con plataformas ya operativas como Zabbix y Grafana, lo que aprovecha las herramientas existentes en el entorno del ISP y disminuye los requerimientos de capacitación del personal.

Impacto económico

- Reducción de costos asociados a fallas masivas: menos desplazamientos de emergencia y menor tiempo de indisponibilidad se traducen en ahorro de recursos técnicos y logísticos.
- Mejora en la disponibilidad del servicio: al anticipar fallas, se cumple de mejor forma con los acuerdos de nivel de servicio ofrecidos a clientes residenciales y corporativos.
- Incremento en la fidelización de clientes: la continuidad del servicio impacta directamente en la satisfacción y en la reducción de bajas contractuales.

Impacto estratégico

- Transformación hacia un NOC proactivo: el sistema convierte el monitoreo tradicional (reactivo) en un esquema predictivo que agrega valor frente a la competencia.
- Base para soluciones más avanzadas: la implementación sienta las bases para evolucionar hacia modelos multiclase y técnicas de *machine learning* más sofisticadas (Random Forest, Deep Learning), así como la integración con módulos de diagnóstico automático.
- Expansión: Puede ser implementada en todos los puertos, slots de las Olt yéndose a nodos y por último a otros operadores de internet.

En síntesis, los resultados proyectados apuntan a una reducción sustancial de los periodos de indisponibilidad del servicio, acompañada de una mayor eficiencia en las operaciones técnicas y de una mejora perceptible en los niveles de satisfacción de los usuarios.

CONCLUSIONES

- Se logró demostrar que es posible implementar un esquema de monitoreo predictivo en redes GPON utilizando datos históricos obtenidos desde Zabbix mediante SNMP. El modelo de árbol de decisión permitió anticipar fallas en las ONUs con un nivel de desempeño satisfactorio, lo que valida la viabilidad de la propuesta como herramienta de gestión proactiva en el entorno operativo del ISP.
- Se recopiló un conjunto de datos histórico basado en los aspectos más importantes para el funcionamiento de las ONUs: potencia de la señal óptica, volumen de tráfico y situación de conectividad. Este conjunto de datos se organizó en intervalos de 5 minutos, incluyendo estadísticas como promedio, variabilidad, valor mínimo, valor máximo y pendiente, lo que posibilitó una representación sólida de la dinámica de la red.
- Se creó y entreno en MATLAB un modelo de árbol de decisión supervisado que detectó patrones característicos de fallos. Este modelo logró métricas de rendimiento importantes (Precisión, Recall, F1-score), validando que las variables elegidas poseen potencial predictivo ante situaciones de desconexión o deterioro en la red.
- Se propuso un esquema de alertas tempranas integradas al entorno de monitoreo del ISP. Mediante la exportación de las predicciones del modelo hacia Zabbix y Grafana, se plantea generar notificaciones preventivas que permitan al personal técnico intervenir antes de la ocurrencia de fallas críticas, transformando así el enfoque de un monitoreo reactivo hacia uno predictivo.
- De forma general, la investigación demuestra que el uso de técnicas de aprendizaje supervisado en combinación con plataformas de monitoreo tradicionales representa una alternativa viable y escalable para los ISPs locales. La propuesta contribuye a reducir los tiempos de detección de fallas, mejorar la disponibilidad del servicio y fortalecer la satisfacción de los clientes, constituyéndose en una herramienta estratégica para la evolución hacia redes más inteligentes y resilientes.

RECOMENDACIONES

- Sobre la gestión de datos históricos, se recomienda ampliar la base de información recolectada en Zabbix, incrementando el periodo de observación y considerando más variables operativas de las ONUs y de la OLT, como temperatura de los módulos ópticos, número de sesiones activas y utilización de puertos PON. Esto permitiría enriquecer el dataset y fortalecer la capacidad predictiva del modelo.
- En cuanto al modelo predictivo, se recomienda ampliar la evaluación hacia técnicas adicionales de aprendizaje supervisado, tales como Random Forest o enfoques más recientes de aprendizaje profundo (Deep Learning), los cuales pueden aportar ventajas en contextos donde se presentan clases desbalanceadas.
- En cuanto al envío de información se recomienda automatizar el envío de información predecida con Zabbix sender desde el pc que está realizando o ejecutando Matlab para que la alerta sea en tiempo real, es decir aumentar el tiempo de envío de datos.
- Implementar políticas de prioridades administrativas y capacitación constante al equipo del NOC, para que puedan ser capaces de dar prioridad a los eventos predictivos y/o organizar mantenimientos preventivos.
- Se recomienda cambiar a multiclase las fallas es decir no binario, para no solo predecir si va a fallar o no, si no el por que será la falla, esto permitirá un monitoreo avanzado en la red.

REFERENCIAS

1. Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia*(21), 14-21.
2. Acle Mena, R. S., Santos Díaz, J. Y., & Herrera López, B. (2020). La gastronomía tradicional como atractivo turístico de la ciudad de Puebla, México. *Rev.investig.desarro.innov.*, 10(2), 237-248.
<https://doi.org/10.19053/20278306.v10.n2.2020.10624237>
3. Agoro, H., & Gray, R. (2020). *Impact of Artificial Intelligence on Network Management*.
4. Aktas, F., et al. (2025). *AI-enabled routing in next generation networks: A survey*.
5. Alegsa, L. (10 de Junio de 2023). *Definición de ISP (proveedor de internet)*. Obtenido de ALEGSA.com.ar:
<https://www.alegsa.com.ar/Dic/isp.php#gsc.tab=0>
6. Ali, K. &. (2021). *Deep learning-based proactive fault management in GPON networks*.
7. Ammar, H. A. (2020). *Statistical Analysis of Downlink Zero-Forcing Beamforming*.
8. Amole, A. O. (2025). *Performance Analysis of Artificial Intelligence Models for Transmission Loss Classification*. *Energies*.
9. Araújo Pereira, G., & de Sevilha Gosling, M. (2017). LOS VIAJEROS Y SUS MOTIVACIONES Un estudio exploratorio sobre quienes aman viajar. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(1), 62-85. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180749182004>
10. Arboleya, J. C.-b. (2014). Arboleya, J. C. *Board*. Obtenido de <http://www.gastronomyfoodscience.com/editorial-board/>
11. Arias Gómez, J., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (abril-junio de 2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista*

- Alergia México*, 63(2), 201-206. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
12. Armijos, Bustamante, & Iñiguez, C. (2019). Percepción del turista sobre el servicio de alimentos y bebidas. Sitio, Playa Bajoalto, Cantón El Guabo, El Oro, Ecuador. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 93-101.
 13. Arnandis, R. (2019). ¿Qué es el desarrollo Turístico? Un análisis Delphi a la Academia Hispana. *Cuadernos de Turismo*(43), 39-68. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6018/turismo.43.02>
 14. Asencio, P. L. (2017). *El Turismo Gastronómico como generador de empleos en la Comuna Libertador Bolívar, Cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, año 2016*. Recuperado el 20 de 11 de 2020, de repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4121/1/UPSE-THT-2017-0002.pdf
 15. Banco Central del Ecuador. (2018). *Rendición de cuentas 2018*. Obtenido de <https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2019/02/Informe-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas-2018-MINTUR.pdf>
 16. Bedregal, P., Besoain, C., Reinoso, A., & Zubarew, T. (2017). La investigación cualitativa: un aporte para mejorar los servicios de salud. *Rev Med Chile*(145), 373-379. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872017000300012&lng=es&nrm=iso
 17. Beltrán Bueno, M. Á., & Parra Meroño, M. C. (enero-junio de 2017). Perfiles turísticos en función de las motivaciones para viajar. *Cuadernos de Turismo*(39), 41-65. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39851043002>
 18. Benites, L., Villalba-Condori, K. O., Arias-Chávez, D., Berrios-Espezua, M., & Cano, S. (2021). . Aula invertida en una plataforma virtual para el desarrollo de competencias. Caso de estudio: curso de investigación aplicada. *Campus Virtuales*, 10(2), 185-193.
 19. Bormann, A. (1930). Doctrina del turismo: un plano de planta. Sociedad de ayudas para la enseñanza de las ciencias del transporte en d. Reichsbahn alemán. *. Deutschen Reichsbahn*.

20. Boullón, R. (2006). Planificación del espacio Turístico. 3ra.ed. México: Trillas.
21. Briva-Iglesias, V. (2023). *Inteligencia artificial (IA)*. PID_00297803. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/107230295/Briva_Iglesias_Materiales_IA-libre.pdf?1699437754=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInteligencia_artificial_IA.pdf&Expires=1753553703&Signature=LjwNvGOB8rX~AOYFlaioZ-JqS8kjQqmLJkFlOini4JJwlt
22. Bwinner. (2024). *ODN: Optical Distribution Network - BWNFiber*. Obtenido de [https://www.bwnfiber.com/odn/#:~:text=La%20ODN%20\(Red%20de%20Distribuci%C3%B3n,transmisi%C3%B3n%20bidireccional%20de%20se%C3%B1ales%20%C3%B3pticas](https://www.bwnfiber.com/odn/#:~:text=La%20ODN%20(Red%20de%20Distribuci%C3%B3n,transmisi%C3%B3n%20bidireccional%20de%20se%C3%B1ales%20%C3%B3pticas).
23. Cadena Iñiguez, P., Rendón Medel, R., Aguilar Ávila, J., Salinas Cruz, E., de la Cruz Morales, F. d., & Sangerman Jarquín, D. M. (septiembre-noviembre de 2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1603-1617. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153520009>
24. Candia, M. (2025). *Estructura de Fibra Optica | Planta Externa pilar de Telecomunicaciones*. Obtenido de <https://plantaexterna.cl/fibra-optica/estructura-de-fibra-optica/>
25. Carvache Franco, M., Carvache Franco, W., & Torres Naranjo, M. (2017). ANÁLISIS DE SATISFACCIÓN. La gastronomía de Samborondón - Ecuador. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(3), 731-745. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180752116013>
26. CARVAJAL, A. S. (2023). *IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO EN TIEMPO REAL EN LA RED CORE CON SNMPV3 UTILIZANDO EL SOFTWARE ZABIBIX PARA LA EMPRESA MAXXNET*. Riobamba. Obtenido de

<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/f58df221-27b0-467b-8606-10a1fc18c54a/content>

27. Castillo Canalejo, A. M., & Sánchez Cañizares, S. M. (2017). DESARROLLO TURÍSTICO EN CABO VERDE EN BASE AL TURISMO COMUNITARIO. Actitudes de los residentes. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(3), 644-661. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180752116008>
28. Castro Rodríguez, C., González Roca, I., Marsinyach Ros, M. I., Sánchez Luna, M., & Pescador Chamorro, M. I. (2020). Encuesta de satisfacción sobre atención hospitalaria tras el nacimiento y seguimiento al alta del recién nacido sano. *An Pediatr*. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.08.006>
29. Castro, T., & Marcano. (2016). Ecoturismo y Geoturismo: alternativas estratégicas para la promoción del turismo ambiental sustentable venezolano. *de Investigación*, 40(88), 202-228. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376147131011.pdf>
30. Cisco. (2025). *Cisco Tech Talk: Cisco Business Dashboard Network Monitoring*. Obtenido de <https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/networking/what-is-network-monitoring.html#:~:text=La%20monitorizaci%C3%B3n%20de%20red%20proporciona,la%20eficiencia%20y%20mucho%20m%C3%A1s>.
31. Corona Lisboa, J. (febrero de 2016). Apuntes sobre métodos de investigación. *Medisur*, 14(1). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2016000100016&lng=es&nrm=iso
32. Cuddapah Anitha, S. S. (2024). *Classification and detection of inconsistent data from a crash report in field of a GPON broadband access network using Artificial Intelligent Algorithms*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/InCACCT61598.2024.10550983>
33. de la Cuesta Benjumea, C. (Jul-Sep de 2015). LA CALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA: DE EVALUARLA A LOGRARLA.

Florianópolis, 24(3), 883-890. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0104-070720150001150015>

34. Duffaut , C., & Reyes , R. (2021). *Influencia del software Zabbix para el monitoreo de infraestructura de TI en la SUNARP Zona Registral N° XI - Sede Ica*.
35. Enock Cabral Almeida Vieira, P. C. (2024). *Framework for Cognitive Self-Healing of Real Broadband Networks*. . Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 201. Springe. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-57870-0_15
36. Escamilla, M. D. (2022). *Diseño no Experimental*. Universidas Autonoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercado_tecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf
37. Espinoza, F., & Eudaldo, E. (2023). La enseñanza de las ciencias sociales mediante el método deductivo. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 34-41.
38. Espinoza, Martínez, Ortiz, & Vizcarra. (2016). Motives for food choice of consumers in Central México Br Food J., 1(18), 2744-2760. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/BFJ-04-2016-0143>
39. Esquivel, W. C., & Sevilla, G. L. (2021). Paralelismos entre bases de datos relacionales y no relacionales (un enfoque en seguridad). *Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 10(2), 1-16.
40. Fernández Sánchez, L., Rodríguez Cotilla, Z., Pozo Rodríguez, J. M., & Espinosa Manfugás, J. M. (2016). Estrategias para el Fortalecimiento del Turismo Gastronómico en el Cantón Pastaza, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2), 118-136.
41. Fernández, Rodríguez, Pozo, & Espinosa. (2016). Estrategias para el fortalecimiento del Turismo Gastronómico en el Cantón Pastaza, Ecuador. *Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2), 118-136. Obtenido de Dialnet-[EstrategiasParaElFortalecimientoDelTurismoGastrono-5761082%20\(1\).pdf](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761082)

42. Franco Jubete, F. (2018). PATRIMONIO GASTRONÓMICO Y TURISMO. *PITTM*(89), 303-309.
43. Fusté Forné, F., Medina, F. X., & Mundet i Cerdan, L. (2020). La Proximidad de los Productos Alimentarios: Turismo Gastronómico y Mercados de Abastos en la Costa Daurada (Cataluña, España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 76, 213-231. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000200213>.
44. Gabriel Ortega, J. (2017). Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación°. *J. Selva Andina Res. Soc.* , 8(2). Obtenido de <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942017000200008&lng=es&nrm=iso>.
45. Gamboa, G., Julian, D., & Moya., V. J. (2025). *Migración de mapas de red de Cacti a un Dashboard en Zabbix para el monitoreo y autorremediación de redes en tiempo real en una empresa de telecomunicaciones*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/96902>
46. GAMCO. (2023). *Tipos de inteligencia artificial: Capacidad y Funcionalidad*. Obtenido de <https://gamco.es/tipos-de-inteligencia-artificial-capacidad-funcionalidad/>
47. García, S. C. (2006). *Cocina casera*. Obtenido de <https://cocina-casera.com/cocina-criolla-que-es-y-platos/>
48. GettyImages. (2025). *sql*. Gettyimages. Obtenido de <https://www.gettyimages.com.mx/detail/ilustraci%C3%B3n/database-flat-design-ilustraciones-libres-de-derechos/1673063844?adppopup=true>
49. Gómez, M. B. (2017). Retos del turismo español ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*, 31-47. <https://doi.org/HTTPS://doi.org/10.14198/INGEO2017.67.02>
50. Grafana. (2015). Obtenido de <https://grafana.com/docs/grafana/latest/setup-grafana/installation/>
51. Guelmes Valdés., E. L., & Nieto Almeida, L. E. (2015). Algunas reflexiones sobre el enfoque mixto de la investigación pedagógica en el contexto cubano. *Revista Universidad y Sociedad* , 7(2), 23-29. Obtenido de <http://rus.ucf.edu.cu/>

52. Gutiérrez, C. (2016). La cocina tradicional kumiai de ensenada, México: un análisis teórico sobre globalización y cultura alimentaria. *Multidisciplina*(23), 100-119. Obtenido de <http://revistas.unam.mx/index.php/multidisciplina/art>
53. GUZMAN, A. E. (2020). *IMPLEMENTACIÓN DE UN NOC (NETWORKING OPERATION CENTER) PARA LA EMPRESA CYMA INGENIERÍA LTDA*. Fundacion universitaria San Mateo, Bogotá. Obtenido de <https://caoba.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/telecomunicaciones/article/download/168/145>
54. Hantoro, G. D. (2022). *Analysis of GPON capacity by hybrid splitting-ratio base on customer segmentation for Indonesian market during the Covid-19 pandemic*. Idonesia: Iournal.eu-jr.eu.
55. Hernán García, M., Lineros González, C., & Ruiz Azarola, A. (2020). Cómo adaptar una investigación cualitativa a contextos de confinamiento. *Gac Sanit*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.06.007>
56. Hernández, & Dancausa. (2018). Turismo Gastronómico La gastronomía tradicional de Córdoba (España) Estudios y Perspectivas en Turismo., *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 27(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1807/180755394013/html/index.html>
57. Hernández, Di-Clemente, & López. (2015). El turismo gastronómico como experiencia cultural. El caso práctico de la ciudad de Cáceres (España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(68), 407-427. <https://doi.org/ISSN:0212-9426>
58. Hernández, M. &. (2020). *Application of perceptron-based classifiers for binary fault detection in telecom systems*.
59. Hernandez, S. (2022). *Diseño e implementación de una red CWDM para el monitoreo de servicios*. Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12249/3241>
60. Hernández, Tamayo, Castro, & Muñoz. (2016). Tendencias gastronómicas predominantes en la producción de revistas científicas de Iberoamérica. *Ciencia*

Ergo Sum, 23(1), 76-84. Obtenido de
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10444319009>

61. Hernández; Tamayo; Castro; Iberoamérica, Muñoz. (2016). Tendencias gastronómicas predominantes en la producción de revistas científicas de Iberoamérica. *Científicas de Iberoamérica*, 23(1), 76-84. <https://doi.org/ISSN:1405-0269>
62. Hidalgo de Benito, C. (2021). *Monitorización de un Entorno Empresarial con PROMETHEUS-GRAFANA*.
63. Hjalager, A. M., & Richard, G. (2002). Demand for the gastronomy tourism product. Motivacional factors. In: *Tourism and Gastronomy*. *Routledge*,, 36-50.
64. Huertas López, T. E., Pilco Segovia, E. A., Suárez García, E., Salgado Cruz, M., & Jiménez Valero, B. (2020). Acercamiento conceptual acerca de las modalidades del turismo y sus nuevos enfoques. *Universidad y Sociedad*, 12(2), 70-81. Obtenido de
<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000200070&lng=es&nrm=iso>
65. Huilcapi, Castro, & Jácome. (2017). Motivación: las teorías y su relación en el ámbito empresarial. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), 311-333.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.311-333>
66. Hunziker, & Krapf. (1942). Plano de la educación turística general. *Universidad de Berna*.
67. IBM. (2021). *IA fuerte*. Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/strong-ai>
68. INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de INEC: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/santa_elena.pdf
69. Irianto, D., Verdi, Y., & Sianipar, A. Z. (2025). Design and Implementation of Network and Server Monitoring Using Zabbix at The Financial and Development Supervisory Agency. *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, 11(2), 678-693.

70. Iturralde Durán, C. (2019). Los paradigmas del desarrollo y su evolución: Del enfoque económico al multidisciplinario. *Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(17), 7-23.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.01>.
71. Iturralde, D. C. (2019). Los paradigmas del desarrollo y su evolución: Del enfoque económico al multidisciplinario. . *Ciencias de la Administración y Economía*, 9(17), 7-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.01>
72. ITU-T. (2016). *Recommendation G.984: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics*. International Telecommunication Union.
73. Jacinto Parinango, E. A., & Bravo Ruiz, J. A. (2020). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE BASE DE DATOS RELACIONES CON MARCOS DE TRABAJO PARA PROCESAMIENTO DE DATOS MASIVOS*. Pimentel. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/10234/Jacinto%20Parinango%20Edwin%20Alfredo.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
74. Jia-wei, N, Y. U., & Jin, Z. H. (2024). OMCI model similarity computation based on graph neural networks. *Computer Engineering & Science/Jisuanji Gongcheng yu Kexue*, 46(9).
75. Jiménez, E. C. (2021). *Introducción al machine learning con Matlab*. Marcombo.
76. Kentik. (2025). *The Role of Predictive Analytics in Network Performance Monitoring*. Obtenido de <https://www.kentik.com/blog/the-role-of-predictive-analytics-in-network-performance-monitoring/>
77. Kowszyk, & Rajiv. (2018). Estudios de caso sobre modelos de Economía Circular e integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en estrategias empresariales en la UE y ALC . *Perspectivas Económicas Birregionales*, 162-175. <https://doi.org/10.12858.1018ES>
78. L., Pérez J & Martínez. (2021). *Predictive maintenance in optical access networks using decision tree algorithms*.
79. Larousse. (2021). *Cocina criolla*. Obtenido de <https://laroussecocina.mx/palabra/cocina-criolla/>

80. Lemoine, Castellanos, Hernández, Zambrano, & Carvajal. (2018). Análisis de los atractivos y recursos turísticos del cantón San Vicente, Ecuador,. *Retos de la dirección*, 12(2), 133-148. Recuperado el 27 de 11 de 2020, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v12n2/rdir07218.pdf>
81. Lenovo. (2021). *Script: ¿Qué es un Script? | ¿Cómo creo un Script? | Lenovo España*. Obtenido de <https://www.lenovo.com/es/es/glossary/script/?srsltid=AfmBOopGKk868n8yqXBgAemaj216c8jKLP1cxij0JE5Tme3bXJhqDGTb>
82. León, S. L. (2019). Tendencias actuales de la economía y su influencia sobre la teoría del consumidor. *100-cS*, 1-33. Obtenido de <http://100cs.cl/gallery/4%20v%205%20n%201%202019%20100cs.pdf>
83. Llano, F. A. (2017). Gastronomía, turismo y potencialidades territoriales: el plato minero y la salazón, bases para el turismo alimentario en Nemocón. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 26(2), 295-306. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281852304016>
84. Loaiza, T. J. (2018). Del ciclo de vida del producto al ciclo de vida del cliente: Una aproximación hacia una construcción teórica del ciclo de vida del cliente,. *Investigación & Negocios*, 11(18), 100-110. <https://doi.org/2521-2737>
85. Lopez, Carabias, & Díaz. (2017). Ofertas gastronómicas. Madrid, España: Paraninfo S.A.
86. Luna, A. (2025). *Machine Learning-Based Optical Performance Monitoring in GPON Networks*.
87. Madrazo Miranda, M. (2005). Algunas consideraciones en torno al significado de la tradición. *Coatepec*(9), 115-132. Obtenido de <http://www.redalyc.org:9081/home.oa?cid=18176018> ,
88. Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation". *Psychological Review*, 50, 370-396.
89. Mata, J., & Duran, R. J. (2018). *Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157342771730231X>

90. Mejía, J. (2015). CRECIMIENTO ECONÓMICO DE LARGO PLAZO EN ANTIOQUIA, COLOMBIA: ESTIMACIÓN DEL PIB, 1800-1913. *Cuadernos de Economía*, XXXIV(66), 507-544. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=282138247003>
91. Mejía, M. O., Franco, W. C., Franco, M. C., & Flores, F. Z. (2017). Perfil y Preferencias de los Visitantes en Destinos Con Potencial Gastronómico: Caso 'Las Huecas' de Guayaquil [Ecuador]. *Rosa dos Ventos*, 9(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.18226/21789061.v9i2p200>
92. Mera, M. K. (2024). La aplicación de modelos de inteligencia artificial para personalizar el proceso de aprendizaje en función de las inteligencias múltiples. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 5(3), 751-771.
93. Ministerio de Turismo Ministerio de Turismo (MINTUR). (2019). *Programas y Servicios: Direccion de Inversión Turística*. Obtenido de <https://ecuadorec.com/ministerio-de-turismo-www-turismo-gob-ec/>
94. MINTUR. (2018). *Turismo ecuatoriano creció un 11 por ciento en 2018*. Obtenido de www.turismo.gob.ec:<https://www.turismo.gob.ec/el-turismo-ecuatoriano-crecio-un-11-en-2018>
95. MINTUR. (2019). *Ministerio de Turismo del Ecuador. El Plan Nacional de turismo 2030*. Obtenido de https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/PLAN-NACIONAL-DE-TURISMO-2030-v.-final-Registro-Oficial-sumillado-comprimido_compressed.pdf
96. MINTUR. (2018). *Mapa gastronómico del Ecuador*. Obtenido de <https://files.goraymi.com/2020/04/01/60d71579ff1651d857a1a6c8f25af41c.pdf>
97. Molina, S. (1994). El marco del turismo: hacia una definición de turismo, turismo e industria turística. *Annals of Tourism Research*,, 390-407. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0160-7383\(79\)90003-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0160-7383(79)90003-3)
98. Monroy Ceseña, M. A., & Urcádiz Cázares, F. J. (2019). Calidad en el servicio y su incidencia en la satisfacción del comensal en restaurantes de La Paz, México. *Investigación administrativa*, 48(123). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456057665005>

99. Montes, S. (5 de Agosto de 2023). *Linkedin.com*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/la-importancia-de-un-sistema-monitoreo-en-redes-ftth-sebastian-montes/>
100. Mora Pisco, L. L., Díaz Rodríguez, N. P., & Vergara Cevallos, D. A. (octubre-diciembre de 2018). El turismo en la matriz productiva de Ecuador: resultados y retos actuales. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 255-262. Obtenido de <http://rus.ucf.edu.cu/index>
101. Moratt, Zapata, & Messenger. (2015). Conceptualización de ciclo vital familiar: una mirada a la producción durante el período comprendido entre los años 2002 a 2015. *CES Psicología*, 8(2), 103-121. <https://doi.org/2011-3080>
102. Mordecki, G., & Ramírez, L. (enero-marzo de 2018). ¿Qué es lo primero: el crecimiento del PIB o la inversión? El caso de una economía pequeña y abierta. *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, LXXXV (1)(137), 115-136. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2018000100115
103. Moreno León, J. S., & Nuñez Romero, M. J. (2025). *Desarrollo de un sistema de monitoreo de la red de acceso para la empresa Marvicnet en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29814>
104. Moreno León, J. S., & Romero, M. J. (2025). Desarrollo de un sistema de monitoreo de la red de acceso para la empresa Marvicnet en la ciudad de Cuenca.
105. Muñoz Fernández, G. A., Uribe Lotero, C. P., Pérez Gálvez, J. C., & Ríos Rivera, I. C. (jul-sep de 2017). Festivales Gastronómicos y Turismo en Latinoamérica. El Festival Raíces de Guayaquil, Ecuador. *Revista Rosa dos Ventos – Turismo e Hospitalidade*, 9(3), 356-376. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v9i3p356>
106. Naranjo, A. N., & Leones. (2018). La Gastronomía. Atractivo Turístico en Crecimiento en la ciudad de Colombia. *Original*, 24(65), 105-115. Obtenido de <https://revistas.ujat.mx/index.php/hitos/article/view/2509/1921>

107. Navarrete Torres, M. d., & Muñoz Aparicio, C. G. (2018). TURISMO GASTRONÓMICO: SABOR Y TRADICIÓN. *Journal of Tourism and Heritage Research* , 1(3), 23-40. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7400807>
108. Navarro, D. (2015). Recursos turísticos y atractivos turísticos: conceptualización, clasificación y valoración. *Cuadernos de Turismo*,(35), 335-357. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/398/39838701014.pdf>
109. NewNet. (2024). *Network Operation Center / NOC / NewNet S.A.* Obtenido de <https://www.newnetsa.com/noc/>
110. Nexus. (2020). *Inteligencia Artificial (IA): Ventajas y Desventajas de su Uso.* Obtenido de <https://nexusintegra.io/es/ventajas-y-desventajas-de-la-inteligencia-artificial/>
111. Olabiyi, W., Samuel, J., & Anderson, K. (2023). *How AI and ML are being implemented in network management.*
112. Oliveira, S. (2012). La gastronomía como atractivo turístico primario de un destino. El Turismo Gastronómico en Mealhada-Portugal,. *Estudios y Perspectivas en Turismo*., 20(3), 738-752. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1870-9036201800020015100021&lng=en
113. Orlandini González, I. E., Paco Janco, P. L., & Torricos Ponce, P. F. (2019). CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LA INDUSTRIA HOTELERA UN ANÁLISIS EN DOS CIUDADES PATRIMONIALES DEL SUR DE BOLIVIA. *Revista Investigación y Negocios*, 12(19), 36-45. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2521-27372019000100005
114. Ortiz, & Peralta. (2019). El Turismo de sol y playa: Impacto turístico en los ecosistemas de la comuna Ayangue, para mejorar la gestión de la actividad turística en la provincia de Santa Elena. *Científica y Tecnológica*, 6(2), 82-90. <https://doi.org/10.26423/10.26423/rctu.v6i2.4>

115. Ortiz; Peralta. (2019). El Turismo de sol y playa: Impacto turístico en los ecosistemas de la comuna Ayangue, para mejorar la gestión de la actividad turística en la provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 82-90. Recuperado el 21 de 10 de 2020, de <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/494/447>
116. Páez Olcha, C., Ramírez Hidalgo, K., Deyne Rodríguez, D. A., & Rosete Suárez, A. (2025). Una solución para visualizar modelos de agrupamiento, correlación y regresión en Grafana. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 18(2), 28-4.
117. Panosso, & Lohman. (2012). Epistemología del turismo. Teoría del Turismo: Conceptos, modelos y sistemas. México : Trillas.
118. Pathania, Y. S. (2023). [Artículo traducido] Inteligencia artificial en la urticaria crónica: aprendizaje sobre una máquina no supervisada frente a una supervisada. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 114(7), T659.
119. PAUL, S. C. (2022). *ESTUDIO DEL IMPACTO DEL USO DE LAS REDES GPON EN ECUADOR FRENTE A OTRAS TECNOLOGIAS AÑO 2022 Y SUS PERSPECTIVAS DE CRECIMIENTO*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23888/1/UPS-GT004097.pdf>
120. Pérez Castaños, S., & Santamaría, S. G. (2023). La investigación cuantitativa. *¿ Cómo investigar en Didáctica de las Ciencias Sociales? Fundamentos metodológicos, técnicas e instrumentos de investigación.* , 121-196.
121. Pérez J & Martínez L. (2021). *Predictive maintenance in optical access networks using decision tree algorithms*.
122. Pérez, R. d. (2021). *Universidad de las Ciencias Informáticas Facultad 6*. Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.uci.cu/bitstream/ident/TD_04515_11/2/TD_04515_11.pdf
123. Piza Burgos, N. D., Amaiquema Marquez, F. A., & Beltrán Baquerizo, G. (2019). Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias. *Revista Conrado*, 15(70), 455-459. Obtenido de <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>

124. Prada Trigo, J., & Pesántez Loyola, S. (2017). SATISFACCIÓN Y MOTIVACIÓN EN DESTINOS CULTURALES: TIPOLOGÍA DE LOS TURISTAS ATRAÍDOS POR EL PATRIMONIO INMATERIAL EN CUENCA (ECUADOR). *Diálogo Andino - Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*(52), 77-91. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371351097008>
125. Quintero, S. J. (2016). Sostenibilidad sociocultural del turismo: propuestas para el cantón Playas. Provincia del Ecuador. *Revista Espiga*, 15(31), 31-43. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467846264003>
126. Ramírez Huanca, G. A., & Meza, L. E. (2023). Red gpon para monitorear actos de inseguridad en el distrito el porvenir trujillo.
127. Ramírez, R. D. (07 de 03 de 2019). *Gastronomía*. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de Santa Elena, destino gastronómico: <https://ecuador.gastronomia.com/noticia/8754/santa-elena-destino-gastronomico>
128. Reglamento Turístico de Alimentos y Bebidas. (2018). *Acuerdo Ministerial 53 Registro Oficial Edición Especial 575 de octubre 5 del 2018 Estado: Vigente*. Recuperado el 26 de 11 de 2020, de https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/Reglamento-de-alimentos-y-bebidas_OCTUBRE.pdf
129. Rendón, M. C. (2025). *Investigación Descriptiva Correlacional*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/432629281/INVESTIGACION-DESCRIPTIVA-CORRELACIONAL-2-docx>
130. Reyes Pérez, O., Rivera González, J. G., & Castañeda Camacho, X. (2017). Destinos turísticos potenciales en el litoral del Pacífico Sur Occidental Mexicano: un diseño construido desde abajo. *El periplo sustentable*(32). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-90362017000100003&lng=es&nrm=iso
131. Reyes, Guerra, & Quintero. (2017). Educación en gastronomía: su vínculo con la identidad cultural y el turismo. *El periplo sustentable*, . *Scielo.*, 9(32). <https://doi.org/ISSN 1870-9036>

132. Rodríguez Trujillo, D., Anías Calderón, C. E., & Gámez Picó, L. (2022). Sistema Integrado de Gestión de conmutadores LAN empleando el protocolo SNMP. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 43(3), 1-14.
133. Romelar. (2024). *Monitoreo y Mantenimiento de Redes: La Clave para una Red Saludable y Eficiente*. Obtenido de <https://romelar.es/monitoreo-y-mantenimiento-de-redes-la-clave-para-una-red-saludable-y-eficiente/>
134. Romero, C. J. (2018). La gastronomía como atractivo turístico primario en el centro histórico de Quito. 3(11), 194-203.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33890/innova.v3.n11.2018.813>
135. Rouhiainen, L. (2018). *INTELIGENCIA ARTIFICIAL 101 COSAS QUE DEBES SABER HOY SOBRE NUESTRO FUTURO*. Barcelona, España: Planeta, S.A., 2018. Obtenido de https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf
136. Sánchez Revollo, J. G., & Dulce, S. M. (2021). Implementación de un centro de operaciones de seguridad (COS) para mejorar la seguridad en la red informática de la Universidad Nacional del Santa.
137. Sánchez, & Ruano. (2018). Diseño de Productos y servicios turísticos locales HOTI0108. IC .
138. Santiago Chávez, N. I., Romero Fernández, A. J., & Álvarez Gómez, G. A. (julio-septiembre de 2017). Actualidad y proyecciones de desarrollo del turismo internacional en Ecuador. *UNIANDES EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(3).
139. Silva, A. d., & Santos, M. J. (2024). Estudio de gestión de redes con Zabbix Server. *Revista Brasileña de Tecnología*, 7(4).
140. Singh, P. (2024). *Leveraging AI for Internet Service Issue Restoration: A User-Centric Approach*.
141. Singh, R. (2023). *Performance estimation method for gigabit passive optical networks using machine learning*.

142. Singh, R., & Patel, A. (2023). *Deep neural networks for traffic prediction in optical networks*.
143. Sol. (2025). *¿Qué es OLT (Optical Line Terminal)? Características y Aplicaciones - VSOL(ES)*. Obtenido de <https://es.vsolcn.com/blog/what-is-olt.html#:~:text=Significado%20de%20OLT,viceversa%20para%20la%20transmisi%C3%B3n%20ascendente>.
144. Sosa Arguez, L. I., & Silvestre Campos, M. A. (Julio / Diciembre de 2018). Evaluación de la calidad de los servicios turísticos gastronómicos en los establecimientos de alimentos y bebidas de comida tradicional regional Colimota en Manzanillo, Colima. *El Periplo Sustentable*(35), 151 - 179. Obtenido de <http://rperiplo.uaemex.mx/>
145. Tailwind. (2024). *Network Performance Monitoring (NPM) | Key Metrics To Track*. Obtenido de <https://www.tailwindvoiceanddata.com/blog/how-to-measure-network-performance#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20monitorizaci%C3%B3n%20del,entre%20aplicaciones%20dispositivos%20y%20servicios>.
146. Tasayco, A., & Junior, A. (2024). *Sistema de monitoreo de red-NMS de detección de fallos de enlace en el proceso de monitoreo de redes definidas por software*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13067/3231>
147. Torres Oñate, F., Romero Fierro, J., & Viteri M., F. (2017). DIVERSIDAD GASTRONÓMICA Y SU APORTE A LA IDENTIDAD CULTURAL. *Revista de Comunicación de la SEECI*.(44), 1-13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15198/seeci.2017.44.01-17>
148. Transformation, O. T. (2023). *NoSQL Databases: An Introduction and Definition - O2 Technologies Inc | IT Services | Digital Transformation*. Obtenido de <https://o2inc.net/nosql-databases-an-introduction-and-definition/>
149. Troncoso Pantoja, C., & Amaya Placencia, A. (2017). Entrevista: guía práctica para la recolección de datos cualitativos en investigación de salud. *Rev. Fac. Med.* , 65 (2), 329-332. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n2.60235>

150. Troncoso, P. C. (2011). Nutrición. *Educación*, 2(8), 124-136.
<https://doi.org/10.17533/udea.penh.v21n1a08>
151. Trujillo, P. E., & Quishpe, L. A. (2022). Características y ventajas existentes en la conexión inalámbrica y fibra óptica. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(9), 14-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id224>
152. Ttito, D. E. (2023). *Diseño de un sistema de alarmas de monitoreo ambiental utilizando la plataforma ZABBIX para el centro de datos de la empresa WOW PERU*. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670948>
153. Turismo, O. M. (2020). Guía para el desarrollo del turismo gastronómico. *OMT*, 54. <https://doi.org/https://www.e-unwto.org/doi/book/10.18111/9789284420995>
154. VENTURA LEÓN, J. L., & BARBOZA PALOMINO, M. (2017). El tamaño de la muestra: ¿Cuántos participantes son necesarios en estudios cualitativos? *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 28(3). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=377653383009>
155. Wu, H. &. (2022). *Anomaly detection in GPON using Random Forest ensemble methods*.
156. Wu, J. D. (2023). *Aplicación de monitorización de dispositivos con protocolo SNMP*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN, Ingeniería Telemática y Electrónica. Recuperado el 26 de Julio de 2025, de https://oa.upm.es/77385/1/PFG_DONG_WU_JAVIER.pdf
157. Yami. (2017). *Tipos de Conexiones a Internet*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/355256582/Tipos-de-Conexiones-a-Internet>
158. Zabbix. (2016). Obtenido de <https://www.zabbix.com/documentation/current/es/manual/installation/requirements>
159. Zhang, L. &. (2022). *CNN-based image analysis for optical fiber fault detection*.

ANEXOS

ANEXO 1. CARTA DE AUTORIZACION DE DATOS FIBERGO

Ing. Juan Carlos Santacruz
Estudiante de Maestría en Telecomunicaciones
Universidad Politecnica de Santa Elena
Teléfono: +593 99 00 63 643
Correo electrónico: juan.santacruzbernabe8510@upse.edu.ec

11 de junio de 2025

A quien corresponda,
FIBERGO TELECOM S.A.
Atención: Representante Legal
Dirección: Av. Principal, Edificio FiberGo, Manta, Ecuador

Por medio de la presente, en mi calidad de **Estudiante de Maestría en Telecomunicaciones** en la **Universidad Politecnica de Santa Elena**, me permito solicitar a la empresa **FIBERGO TELECOM S.A.** la autorización para hacer uso de la información necesaria para el desarrollo de mi trabajo de titulación titulado **"Implementación de un Monitoreo Predictivo para la Detección de Fallas en Redes GPON de un ISP en Manta"**.

Este proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de monitoreo predictivo que permita la detección temprana de fallas en la infraestructura de redes GPON de un ISP en Manta. La información que se utilizará será exclusivamente para fines académicos, con el compromiso de no divulgarla de ninguna forma que pueda comprometer la confidencialidad o la seguridad de la empresa.

Agradezco de antemano la colaboración y apoyo que pueda brindarme para llevar a cabo este importante proyecto académico.

Quedo atento a su respuesta y, en caso de ser necesario, a la firma de un acuerdo de confidencialidad.

Atentamente,

Juan Carlos Santacruz
Estudiante de Maestría en Telecomunicaciones
Universidad Politecnica de Santa Elena
Correo electrónico: juan.santacruzbernabe8510@upse.edu.ec



FIBERGO TELECOM S.A
Representante Legal