



Sistema de Monitoreo para el Aseguramiento de la Calidad de la Red de Transmisión Óptica y los Aplicativos basados en Nube de los Servicios de TIGO-COLOMBIA ofrecidos a un Hospital de Tercer Nivel en Antioquia.

Juan David Castaño Saldarriaga

Trabajo de grado presentado para optar al título de Bioingeniero

Asesor

Jenny Kateryne Aristizabal

Universidad de Antioquia

Facultad Ingeniería

Bioingeniería

Medellín-Antioquia

2024

Cita	Castaño Saldarriaga [1]
Referencia	[1] J. Castaño Saldarriaga, “Sistema de Monitoreo para el Aseguramiento de la Calidad de la red de Transmisión Óptica y los Aplicativos basados en Nube de los Servicios de TIGO-COLOMBIA ofrecidos a un Hospital de Tercer Nivel en Antioquia”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: John Fredy Ochoa.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia, quienes nunca dejaron de brindarme su apoyo incondicional, en especial a Martha Lia por su cariño y constante apoyo. Y Aurita, aunque no lograste verme, este logro es para ti.

Cada paso en este camino ha sido guiado por el amor y la inspiración que emanan de todos ustedes.

A todas mis compañeros con quienes logré compartir este viaje, les extiendo un sincero agradecimiento. Cada uno de ustedes ha sido una fuente valiosa de conocimiento y experiencias enriquecedoras. Aprecio profundamente la oportunidad de aprender y crecer juntos en este proceso educativo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
III. JUSTIFICACIÓN	12
IV. MARCO TEÓRICO	14
V. METODOLOGIA	22
VI. RESULTADOS	25
VII. ANÁLISIS	38
VIII. CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	46

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Proceso sin optimizar vs proceso optimizado	30
Tabla II. Proceso comparativo archivo 2022 vs 2023	34

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Estructura básica fibra óptica.....	14
Fig 2. Evolución DWDM.....	16
Fig 3. Topologías de red.....	17
Fig 4. topología MPL's Medellín Centro TIGO-COL	20
Fig 5. Esquemático metodología.....	22
Fig 6. Hospitales Tercer nivel con servicios banda ancha y tecnología GPON.....	25
Fig 7. Router saliente Hospital San Vicente fundación	26
Fig 8. Puertos Hospital San Vicente Fundación.....	26
Fig 9. Topología de Red Hospital San Vicente Fundación	27
Fig 10. Topología IAP TIGO-COL.....	27
Fig 11. Corrección puertos "IN/OUT"	31
Fig 12. Rutas eliminadas código sin optimizar +-60 dB.....	32
Fig 13. Rutas a eliminar código optimizado puerto " IN"	32
Fig 14. Rutas a eliminar código optimizado puerto " OUT"	33
Fig 15. Topología Bidireccional.....	33
Fig 16. Topología Unidireccional	34
Fig 17. Topología de Red Hospital San Vicente Fundación	35
Fig 18. PING Continuo Servidores Huawei.....	36
Fig 19. PING Últimos 3 meses Datacenter TIGO-COL	36
Fig 20. PING Interior Hospital San Vicente Fundación.	37
Fig 21. TraceRoute servidor Google	37
Fig 22. Transición ruta positiva y negativa.....	39
Fig 23. Estructura condicional	39

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IPS	Institución prestadora de servicios de salud.
B2B	Business To Business.
IDC	International Data Corporation.
TI	Tecnología de la información.
WSO	World Stroke Organization.
ITU	International Telecommunications Union.
IP	Internet Protocol.
IAP	Internet Access Provider.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing.
GPON	Gigabit Passive Optical Network.
OMS	Optical Multiplexation Section.
OTS	Optical Transmission Section.
MPL's	Multiprotocol Label Switching.
GHz	Giga Hertz.
dB	Decibelio.
ms	Milisegundos.
TIGO-COL	Tigo Colombia
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

El presente proyecto pretende recopilar y analizar información detallada del cableado estructurado de la red DWDM de TIGO-COL, con el fin de desarrollar un sistema de monitoreo de prevención de caídas de señal y pérdidas de paquetes de información por atenuación, para garantizar la disponibilidad y calidad de un ancho de banda que no genere interferencia en los servicios que involucren la disponibilidad de red brindando una respuesta eficiente a las necesidades hospitalarias, en cuanto a manejo de redes de información.

TIGO-COL es una de las empresas de telecomunicaciones más importantes en el departamento de Antioquia, con presencia en numerosos Hospitales. Por esta razón, se toma la decisión de implementar un sistema de monitoreo con el fin de identificar los puntos críticos en las rutas de cableado estructurado, este sistema desarrollado mediante código en Python tiene como objetivo automatizar parcialmente el proceso y anticiparse a posibles procesos de reparación para contribuir a la reducción de errores en ancho de banda, pérdida de información, y a largo plazo mejorará la satisfacción de los clientes B2B garantizando un servicio ininterrumpido. Este proyecto representa un avance significativo frente a la aplicación de soluciones tecnológicas para el ámbito médico, buscando mejorar la eficiencia operativa, garantizando la seguridad de los datos médicos y contribuir en última instancia a un entorno hospitalario más avanzado y conectado.

Palabras clave: DWDM, Red, ancho de banda, Transformación digital, Prevención, Atenuación, Python, B2B

ABSTRACT

The present project aims to gather detailed information about the structured cabling of the TIGO-COL DWDM network in order to develop a monitoring system for preventing signal drops and losses due to attenuation. The goal is to ensure a bandwidth capacity that does not interfere with services involving network availability. The digital transformation in the healthcare sector has become a fundamental pillar for global progress, given that improvements in medical care have a significant global impact.

TIGO-COL is one of the most important telecommunication companies in the department of Antioquia, with a presence in numerous hospitals. For this reason, the decision is made to implement a monitoring system to identify critical points in the structured cabling routes. This system, developed using Python code, aims to partially automate the process and anticipate potential repair processes. This will contribute to the reduction of errors in bandwidth, loss of information, and, in the long term, improve the satisfaction of Business-to-Business (B2B) customers. This project arises from a deep understanding of the specific requirements demanded by the hospital environment in terms of bandwidth.

Keywords: DWDM, Digital transformation, Health sector, Prevention, Attenuation, Python, B2B.

I. INTRODUCCIÓN

Para el 2025, la organización mundial de la salud espera adoptar un sistema de salud adecuado accesible, asequible, ampliable y sostenible mediante la implementación de la estrategia mundial en salud digital 2020-2025, con el objetivo de mejorar los sistemas de salud respecto a la gestión de sistemas de información interconectados e interoperables. La clave para anticiparse a estas necesidades en el sector salud radica en la conectividad y el ancho de banda. La evolución incesante de la tecnología ha llevado a buscar un aumento continuo del ancho de banda con el fin de mejorar la capacidad, estabilidad y disminuir la latencia, en este contexto, estos elementos están a punto de transformar de forma permanente la prestación de servicios de salud. La promesa es simple: mejorar la calidad del servicio, elevar la seguridad del paciente y aumentar la eficiencia y coordinación en la atención médica. [1]

¿Te imaginas todos los datos médicos flotando en la nube? Bueno, eso ya es una realidad. Según Rightscale, en 2018, el 81% de las empresas que contaban con una nómina de 1000 empleados o más tenían al menos un entorno en la nube, ahora bien, eso es solo el comienzo, para el 2024 se prevé que el 90% de estas empresas tendrán entornos en varias nubes con el fin de combinar entornos locales y externos tanto en nubes públicas como privadas, trayendo consigo un crecimiento cercano al 73 % de inversión en servicios de nube pública[2].

En cuanto a la percepción actual, es crucial comprender que la “nube” va más allá de su asociación tradicional con el cielo. IDC desafía esta perspectiva revelando que la mitad del gasto en tecnología de la información se destina a la nube, con una proyección que alcanza el 60% de toda la infraestructura de TI y los gastos en software, servicios y tecnología en 2020[3]

La nube está tomando el control del sector de la salud, y las posibilidades son infinitas. En resumen, el sector de la salud está forjando un camino hacia un futuro emocionante y lleno de promesas. Con la conectividad digital a la vanguardia, la atención médica se está transformando en algo más que una simple consulta, la mejora en la calidad, la seguridad del paciente y la eficiencia son solo el comienzo ya que se está en el umbral de una revolución médica, y la salud nunca había sido tan emocionante.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar e implementar un aplicativo de monitoreo para el aseguramiento de la disponibilidad de red de transmisión de fibra óptica de TIGOCOL que transporta los servidores de un hospital de tercer nivel en la ciudad de Medellín.

B. Objetivos específicos

- Diseñar un aplicativo que permita recopilar información correspondiente al cableado estructurado desde el Router de salida hasta el servidor, a través de código en Python.
- Optimizar el aplicativo base desarrollado por TIGO-COL con el fin de mejorar los tiempos en la supervisión de la señal de transmisión, lo que permitirá identificar y prevenir futuras pérdidas de señal.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento exhaustivas a los datos recopilados que incluyen pruebas de capacidad del canal, latencia y estabilidad de la red de transmisión óptica.

III. JUSTIFICACIÓN

Los centros hospitalarios se caracterizan por ser entidades con un flujo constante de información generada por el consumo de aplicaciones de manera continua, generando flujos de datos elevados que circulan en la red. Este escenario se ve acentuado por la creciente adopción de nubes públicas y tecnologías avanzadas, que desencadena una demanda significativa en la transmisión de grandes volúmenes de datos. Además, el aumento en la utilización de recursos digitales sigue suscitando la premisa crucial de conservar la privacidad de la información, planteando así desafíos adicionales en la gestión eficiente de datos en el entorno hospitalario[4] .

El actual crecimiento en distintas áreas, como Cloud Computing, Impresión 3D, Redes 5G ha intensificado el desafío de mantener un ancho de banda capaz de mejorar los servicios ofrecidos a los pacientes y facilitar al personal del sector salud el acceso a la información, requiriendo la implementación de elementos que faciliten una transmisión efectiva en tiempos óptimos. En este contexto, la fibra óptica emerge como el medio de transmisión más utilizado debido a su ultra alta capacidad, su transmisión basada en la ley de Snell y su capacidad de transporte de luz con bajas atenuaciones, no solo su capacidad de envío de grandes datos de información, sino que, al conducir cargas eléctricas, asegura la confiabilidad de la información. Esta tecnología y su correcta integración con DWDM en la infraestructura de telecomunicaciones actual constituyen una disminución de costos, debido a que DWDM permite una integración sin un aumento en costos de infraestructura [5].

Un monitoreo constante de la red DWDM en corto tiempo frente a las atenuaciones en las rutas salientes hacia los servidores es crucial para garantizar una transmisión de datos de calidad. Este enfoque permitirá anticiparse frente a posibles pérdidas de información, facilitando un seguimiento proactivo de la calidad de la información.

Al asegurar una infraestructura tecnológica avanzada, hospitales de tercer nivel como el Hospital San Vicente fundación se prepara para futuras demandas de conectividad y tecnologías emergentes. Esto asegura que no solo el Hospital, sino todos los centros médicos que cuenten con servicios de TIGO-COL se encuentren a la vanguardia frente a una atención médica digital, además de tener la capacidad de adaptarse rápidamente y sin inconvenientes a las innovaciones tecnológicas.

La conexión a través de los servidores no solo mejora el tiempo de respuesta frente a las necesidades que se generen en los centros médicos, sino que además buscará fomentar la

colaboración con otras instituciones, en pro de un intercambio de conocimiento y mejora de prácticas fortaleciendo la posición de TIGO-COL[6].

En este contexto, la preservación de la privacidad del usuario se erige como una premisa esencial. La búsqueda de soluciones se focaliza en garantizar una transmisión efectiva, rápida y concisa en medio del continuo crecimiento de información que experimentan los centros médicos. La optimización de la estructura digital mediante la implementación de tecnología óptica se refleja directamente con una mejora en la experiencia de los pacientes frente a los servicios de salud.

IV. MARCO TEÓRICO

LEY DE SNELL

Es esencial comprender que la luz se desplaza a la mayor velocidad, cuando no tiene un medio en el cual propagarse (vacío), no obstante, es posible que la luz se mueva por cualquier otro medio, pero su velocidad se verá afectada. Este cambio de medio introduce efectos de reflexión, donde la luz rebota al encontrar un límite, de refracción que implica la alteración de la velocidad y dirección de propagación lumínica, este principio se basa en la ley de Snell [7], que se presenta a continuación.

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (1)$$

FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica consiste en un hilo flexible, aproximadamente 7 veces menor al diámetro de un cabello humano, cuyo núcleo normalmente está hecho de vidrio, revestimiento de vidrio y un recubrimiento en plástico (ver Fig. 1). Esta fibra posee un índice de refracción alto, lo que la capacita para transportar luz con bajas atenuaciones incluso cuando se curva el cable. Todo su funcionamiento se basa en la ley de Snell, donde el núcleo de la fibra óptica tiene un índice de refracción más alto que el revestimiento lo cual evita pérdidas significativas de información a lo largo de su recorrido[8].

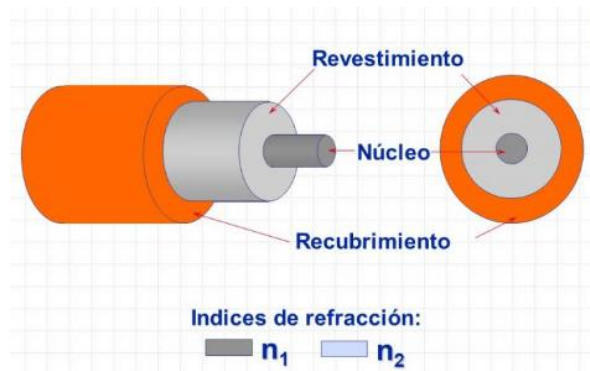


Fig 1. Estructura básica fibra óptica

Nota: Extraído de: https://www.educaplay.com/learning-resources/3424564-fibra_optica.html

WDM

WDM es una tecnología que permite combinar diferentes señales en un mismo hilo de fibra óptica sin que se produzca interferencia entre los canales, ya que cada longitud de onda representa un canal, que según la recomendación ITU-T G694 da un rango de 12,5 GHz, hasta 100 GHz, con espaciamiento de 12,5 GHz por canal. Cada longitud de onda representa un canal dentro de la misma fibra [9].

Transmitir simultáneamente varios canales aumenta significativamente el ancho de banda del medio de transmisión, equivalente a la capacidad de cada una de las longitudes de onda multiplicadas por su número correspondiente. Un sistema básico WDM se fundamenta en un multiplexor que permite la combinación de las señales y un demultiplexor que lleva a cabo la operación inversa, estos sistemas se caracterizan por tener modos de transmisión unidireccionales o bidireccionales, según los requerimientos del cliente, para el caso unidireccional, se utiliza una fibra independiente para la recepción y otra para la transmisión, en contraste, el diseño bidireccional utiliza la misma fibra para la transmisión y la recepción, logrando un ahorro de fibra del 50% en recursos, aunque su diseño y rango de protección son más complejos, lo que reduce su uso en la industria.

Una de las mayores ventajas de la tecnología WDM es su capacidad de acoplarse a fibras ópticas ya existentes. En el proceso de despliegue de una nueva red, se lleva a cabo un análisis de la oferta con mejor rentabilidad mediante la derivación de operación de red y de las obras civiles asociadas a la instalación de fibra óptica.

Después de la implementación del WDM, y ante los constantes requerimientos de ancho de banda a finales de los 90, se exploraron nuevas tecnologías para mejorar la capacidad del sistema, inicialmente se utilizaron dos longitudes de onda espaciadas entre 1310-1550 nm, debido a su baja atenuación, correcta propagación de velocidades ligeramente diferentes, Sin embargo, esta búsqueda conllevó a la aparición de láseres y adaptación mejorada con la fibra óptica, superando las limitaciones iniciales de la tecnología WDM [10].



Fig 2. Evolución DWDM

Nota: Extraído de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4169349.pdf>

TOPOLOGIAS DE RED

La red computacional está compuesta por un sin número de máquinas conocidas como nodos, y rutas o enlaces que son los responsables de garantizar la conexión entre estos nodos. La comunicación entre dos nodos en una red interconectada se lleva a cabo a través de diferentes rutas, para establecer una ruta en cualquier red se debe elegir la ruta óptima mediante la aplicación de reglas predefinidas y se conoce como enrutamiento, este es comúnmente llamado enrutador y es el componente de la red encargado de conectar los dispositivos computacionales y las redes entre sí, desempeñando 3 funciones básicas que son: determinación de la ruta, reenvío de datos y balanceo de cargas [11].

Las redes de transmisión de datos se despliegan a través de diversas estructuras organizadas conocidas como “Topología de red”, algunos ejemplos se observan en la Fig. 3. Actualmente, el intercambio de información mediante routers, servidores y otros dispositivos, se realiza siguiendo una topología específica, donde cada una de ellas conlleva una dimensión física y otra lógica. La topología física se refiere a la disposición espacial de los elementos de la red, mientras la topología lógica se refiere a aquellas normas que logra definir la manera en que se distribuyen los datos en la red.

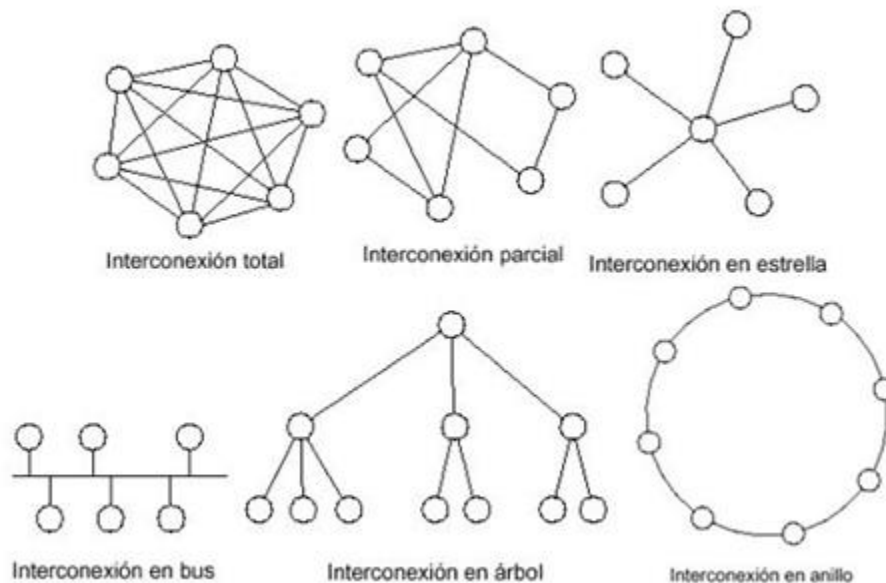


Fig 3. Topologías de red

Nota: Extraído de https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf

A continuación se describen las diferentes topologías de red:

- **Interconexión total y parcial:** Proporciona diversos enlaces físicos entre los nodos, lo que implica la inexistencia de comunicaciones compartidas y la existencia de múltiples rutas de interconexión entre dos nodos. La interconexión se considera total cuando todos los nodos están interconectados entre ellos, y parcial cuando al menos uno de los nodos no presenta una conexión directa mediante enlace punto a punto con otro nodo dentro la red.
- **Interconexión en estrella:** Se destaca la existencia de un nodo central que funge como punto focal encargado de brindar acceso a la red a todos los demás nodos. Estableciendo así una red en la que el nodo central asume la responsabilidad de controlar y gestionar la totalidad de las interacciones entre nodos.
- **Interconexión en bus:** Todos los nodos se vinculan a un único medio de transmisión, mediante el uso de “*Transceiver*” que desempeñan la función crucial de regular el acceso al bus de datos. Los mensajes se envían al bus y todos los nodos lo reciben; sin embargo, solo el destinatario específico acepta el mensaje mediante el reconocimiento de su propia dirección. Es importante destacar que un daño en el medio de transmisión inutiliza completamente la red.
- **Interconexión en árbol:** Esta configuración puede ser entendida como el entrelazado de diversas estructuras en forma de bus. Mediante la formación de ramificaciones de

interconexión. Cuenta con elementos que posibilitan la duplicación y enlace de diferentes líneas, siendo clasificados como “Nodo central”.

- **Interconexión Anillo:** La topología tipo anillo permite establecer una conexión en la cual cada nodo se conecta exactamente a otros dos nodos, formando una única ruta continua, equivalente a unir los extremos de una red tipo bus, tiene la característica de no contar con un nodo principal y el control de la red queda distribuido entre todos los nodos. Es una red muy ordenada, es bastante fácil de instalar y reconfigurar, ya que para agregar o quitar un dispositivo requiere solo mover dos conexiones [12].

GPON

GPON es un conjunto de normas, establecidas por la ITU donde se describen las técnicas para compartir el acceso de múltiples usuarios sobre la fibra óptica, encapsular la información a ser transmitida y cómo gestionar todos los elementos para lograr transportar todos los servicios de banda ancha, telefonía, voz, a través de la fibra con arquitectura punto a punto más avanzada. Al ser una red completamente pasiva no requiere energía adicional, ya que sus componentes de red no necesitan alimentación adicional [13].

BIG DATA EN SALUD

En la región de las Américas, los países vienen experimentando una mejora constante respecto a los sistemas de información para la salud. No obstante, siguen enfrentando desafíos persistentes relacionados con la veracidad y protección de los datos, se busca que estos se encuentren disponibles de manera oportuna, en el formato adecuado y que sean útiles como evidencia en la toma de decisiones, la formulación, monitoreo y evaluación de políticas de salud, así como la generación de inteligencia enfocada en la salud [14]. En este contexto, el uso del Big data ha surgido como una solución a esta problemática, permitiendo un uso más eficiente de los recursos y facilitando un análisis más detallado sobre los logros en la atención al usuario. Este logro se alcanza mediante la maximización de la capacidad del ancho de banda, que se define como la máxima cantidad de datos que logran ser transmitidos a través de una conexión mediante la diferencia entre la frecuencia más alta y baja en un canal de transmisión a internet en un periodo de tiempo específico. Por otro lado, la latencia, demora o tasa de PING, es el retardo que se genera mientras un paquete de datos es enviado.

La variedad en los equipos hospitalarios constituye uno de los aspectos cruciales en la demanda de la conectividad ya que estos abarcan desde dispositivos manuales hasta dispositivos avanzados como escáneres, máquinas de resonancia o ventiladores pulmonares. La diversidad funcional de estos elementos es esencial para brindar atención médica integral. La mayoría de estos elementos requiere un ancho de banda significativo, y para garantizar una conectividad rápida, fiable y segura, el ancho de banda juega un papel fundamental, permitiendo que el personal médico acceda y logre intercambiar información de manera eficiente [15]. La conectividad robusta se vuelve crítica, especialmente en equipos con un gran volumen de datos, como sistemas de tomografía computarizada o tomografía por resonancia magnética, que requieren un ancho de banda alto debido a razones relacionadas con captura, transferencia, y procesamiento de datos. Esto se debe principalmente a:

- **Captura de datos:** los equipos de imágenes médicas generan grandes cantidades de datos en tiempo real durante su procesamiento, estos equipos al producir imágenes con alta resolución anatómica requieren una mayor cantidad de píxeles, por ende, a medida que incrementamos la resolución el volumen de datos se incrementa.
- **Transferencia de datos:** la necesidad de enviar estos datos a sistemas de almacenamiento o centros de procesamiento centralizados para un análisis más detallado.
- **Procesamiento de datos:** Las imágenes médicas de alta resolución y otros datos clínicos requieren un análisis y procesamiento exhaustivo para lograr obtener información relevante.

La capacidad de transmisión de datos y la eliminación de tiempos de inactividad son elementos esenciales para asegurar que el personal médico pueda acceder a la información necesaria sin obstáculos. En este entorno diverso, la eficiencia y la velocidad de la comunicación se constituyen como pilares fundamentales en un intercambio fluido dentro el entorno hospitalario[16].

En la actualidad el uso de tecnologías de la información y digitales se ha convertido en parte fundamental para obtener información de alta calidad, de fácil acceso y en tiempo real en el ámbito de la salud. La recopilación automatizada de datos con previsión y un diseño adecuado para modelar los sistemas de información de la salud tiene como objetivo superar las barreras

institucionales y abordar numerosos obstáculos que aún persisten durante el desarrollo de estos sistemas.

Por otra parte, tecnologías emergentes y posibilidades ofrecidas por la sociedad de la información, incluyendo el uso de datos masivos, pueden suponer un impacto beneficioso para la salud pública como nunca se ha visto en la historia de la humanidad.

RED MPL'S

Las redes MPL's (fig. 4) son las encargadas de interconectar redes mediante protocolos y arquitecturas avanzadas, ofreciendo así, una menor latencia. Su integración efectiva con el DWDM ha permitido alcanzar anchos de bando de muy elevados, facilitando así la aceleración en el envío de paquetes de información.

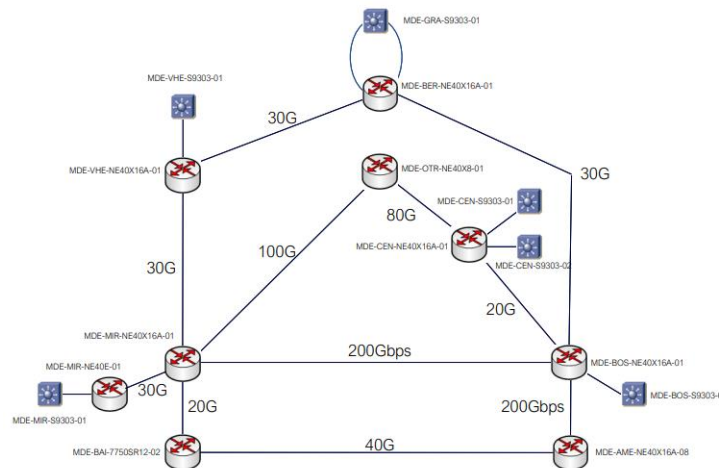


Fig 4. topología MPL's Medellín Centro TIGO-COL

HUAWEI

Actualmente Huawei, con más de 20 años de experiencia y con presencia consolidada en más de 170 países, se posiciona como el proveedor líder a nivel mundial en el mercado de infraestructura de tecnología de información y comunicación. Su enfoque integral abarca soluciones tanto de hardware como de software, contribuyendo de manera significativa a cerrar la brecha digital y proporcionando herramientas ágiles a las empresas de telecomunicaciones para facilitar la conectividad y el acceso a los servicios digitales en la era actual de la transformación digital [17].

Por otro lado, TIGO-COL ha consolidado una sólida asociación estratégica con Huawei, representando aproximadamente el 50% de sus servicios en infraestructura. Esta alianza ha brindado oportunidades excepcionales, permitiendo no solo la adquisición de servicios adicionales y mejoras para la integración del dominio digital, sino también ofrecer la expansión del portafolio de servicios. Mediante esta colaboración TIGO-COL ha logrado llevar sus servicios incluso a los lugares más apartados del país, demostrando un impacto positivo de esta asociación en la conectividad y accesibilidad a nivel nacional [18].

V. METODOLOGIA

La metodología para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos se desglosa como se observa en la Fig. 5, en la cual se contempla una serie de 10 pasos.

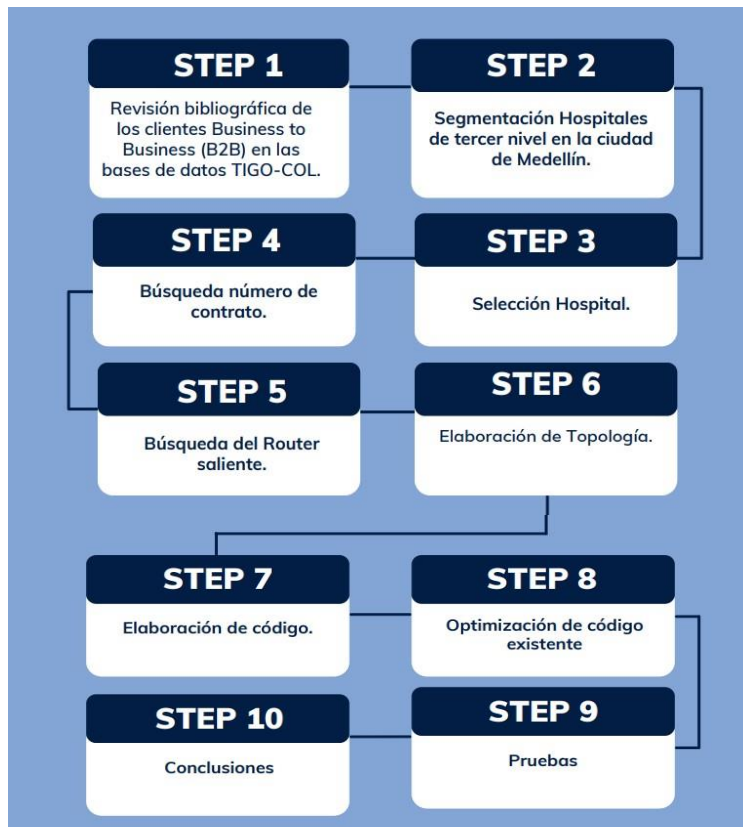


Fig 5. Esquemático metodológica.

Step1.

- En esta etapa se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en las bases de datos relacionales de la compañía TIGO-COL. El objetivo principal de esta búsqueda fue identificar las IPS que tuvieran contratados servicios con la compañía. Los servicios B2B es un modelo de negocio que hace referencia a aquellas transacciones comerciales entre dos o más empresas, y traduce al español Compañía-Compañía.

Step 2

- En esta etapa, de acuerdo con los datos recopilados de la etapa anterior, se realizó una segmentación y filtrado de los hospitales de tercer nivel en la ciudad de Medellín que reportara con los servicios de la compañía TIGO-COL. Esto con el fin de seleccionar un hospital que contara con un volumen de Data elevado.

Step 3

- Posterior a la segmentación se eligieron 5 hospitales con el propósito de tener un margen amplio y representativo para la elaboración subsiguiente de análisis y estructuración de topología del hospital en cuestión.

Step 4

- Se seleccionó un hospital que cuente actualmente con los servicios Banda ancha, Tecnología GPON con el fin de lograr identificar el número de contrato correspondiente.

Step 5

- Por medio del número de contrato se logró establecer el Router saliente que lleva la Data del hospital.

Step 6

- Luego de la correcta identificación del Router saliente, se modeló la topología que permitió una identificación precisa.

Step 7

- Se diseñó la topología para identificar cuál es la ruta que seguía la Data proveniente del hospital para lograr establecer un ancho de banda óptimo.

Step 8

- Usando el código existe en TIGO-COL, se procedió a realizar una optimización de este con el fin de establecer pérdidas significativas de señal que sugieran daños en la red de transmisión.

Step 9

- Se realizaron pruebas transmisión y envío de datos con el fin de verificar la disponibilidad de ancho de banda.

Step 10

- Conclusiones y resultados.

VI. RESULTADOS

Con el objetivo de abordar el proyecto de una manera precisa, se contactó al área supervisor canales de clientes B2B, para solicitar la base de datos que contendrían las IPS con servicios de TIGO-COL en sus instalaciones. Tras la solicitud, se recibió un archivo llamado “clínicas-Hospitales-EPS-IPS_ocupacion”. En este archivo, se logró identificar que la compañía cuenta con sus servicios en una gran parte del departamento de Antioquia.

Así pues, se llevó a cabo la segmentación de hospitales mediante ciertos filtros. Inicialmente, se focalizó en la columna “Tecnología” filtrando por “GPON”, Luego, en la columna “ciudad” se filtró mediante la palabra clave “Medellín”, que fue la ciudad de interés para el proyecto, obteniendo los resultados mostrados en la **Fig 6**.

CLIENTE_ID	CLIENTE	IDENTIFICADOR_ID	PRODUCTO_H	PRODUCTO
8909046467	E S E HOSPITAL GENERAL DE MEDELLIN	193008745	Banda Ancha	INTERNET
9006253177	CORP. HOSPITAL INFANTIL CONSEJO DE MED	100569147	Banda Ancha	INTERNET
8909046467	E S E HOSPITAL GENERAL DE MEDELLIN	1904204	Banda Ancha	INTERNET
8909005184	FUNDACION HOSPITALARIA SAN VICENTE DE PAUL	1546075	Banda Ancha	INTERNET
8909005184	FUNDACION HOSPITALARIA SAN VICENTE DE PAUL	213321957	Banda Ancha	INTERNET
8909005184	FUNDACION HOSPITALARIA SAN VICENTE DE PAUL	213892484	Banda Ancha	INTERNET
8909046467	E S E HOSPITAL GENERAL DE MEDELLIN	950006691	Banda Ancha	INTERNET
8909018262	HOSPITAL PABLO TOBON URIBE	213968987	Banda Ancha	INTERNET
8909018262	HOSPITAL PABLO TOBON URIBE	213956832	Banda Ancha	INTERNET
8909018262	HOSPITAL PABLO TOBON URIBE	213947041	Banda Ancha	INTERNET

Fig 6. Hospitales Tercer nivel con servicios banda ancha y tecnología GPON.

Con base en los resultados mostrados en la **Fig 6**, se seleccionó el Hospital San Vicente Fundación, el cual ostenta el estatus de centro médico de “Alta complejidad”, y es considerado uno de los hospitales más representativos de la ciudad de Medellín debido a que se encuentra capacitado para ofrecer servicios a problemas de salud que requieren tecnología avanzada y aparatología especializada. Por su grado de complejidad, y servicios prestados sugirieron un ancho de banda significativo para su correcto funcionamiento. La identificación del hospital se realizó desde la compañía a partir del cliente ID 890900518 con el cual, posteriormente se logró ingresar a los gestores de bases de datos de Huawei con el fin de establecer el Router saliente, para conocer su topología e identificar el puerto donde se encuentra conectado obteniendo los resultados que se muestran en la **Fig 7**.

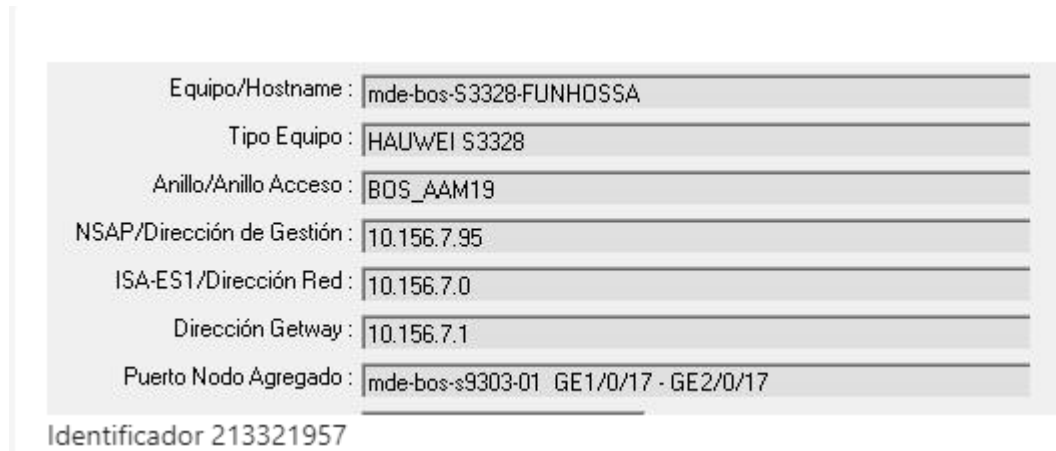


Fig 7. Router saliente Hospital San Vicente fundación.

Cabe mencionar, como se muestra en la **Fig 8**, que el puerto de acceso principal es el puerto 3, ubicado directamente en el Switch dentro el hospital. Además, se identificó el puerto 2 como la conexión de respaldo (Back Up). Esta disposición ofrece una red confiable de la infraestructura hospitalaria, asegurando la continuidad ininterrumpida de la conexión mediante el puerto principal y su respaldo.

Interface	PHY	Protocol	Description
GE0/0/1	down	down	PUERTO_DE_GESTION_DEL_SW_NO_TOCAR
GE0/0/2	up	up	BA_ACP-3286628_FUNDACION_HOSPITALARIA_SAN_VICENTE_(FX:12/60134/)_BOS_AAM19_C2
GE0/0/3	up	up	D_ACCESO-0856_FUNDACION_HOSPITALARIA_SAN_VICENTE_DE_PAUL_(Fenix:48076164-1-6)_BOS_AAM1
GE0/0/4	down	down	
GE0/0/5	up	up	IPTV_INSTIP-15165_FUNDACION_HOSPITALARIA_SAN_VICENTE_PAUL_(FX:130019314)_BOS_AAM19_C2
GE0/0/6	down	down	
GE0/0/7	up	up	TK_SEDT SIP-18098_FUNDACION_HOSPITALARIA_SAN_VICENTE_DE_PAUL_(FX:1386980/9-1-2)_BOS_AAM19_C2
GE0/0/8	down	down	TK_SEDT SIP-18099_FUNDACION_HOSPITALARIA_SAN_VICENTE_DE_PAUL_(FX:138698768-1-2)_BOS_AAM19_C2
GE0/0/9	up	up	BOS_AAM19_MDE-BOS-H2318-COJAMACA_GE_0/0/2
GE0/0/10	up	up	AAM19_MDE-BOS-S1720-UROCLIN-C3 GE0/0/9
NULL0	up	up(s)	
Vlanif1	up	down	VLAN_DE_GESTION_POR_DEFECTO_DEL_SW_NO_TOCAR
Vlanif1024	up	up	GESTION_METRO
Vlanif1100	up	up	GESTION_SW IPTV

Fig 8. Puertos Hospital San Vicente Fundación

De acuerdo con los datos recopilados, se logró establecer la topología que rige las operaciones del hospital, proporcionando una representación clara y detallada del entorno de red en el cual se encuentra inmerso. Esta información es esencial para lograr comprender la configuración y la interconexión de los nodos desde el hospital hasta el cable internacional, lo que facilita la toma de decisiones en futuras optimizaciones o implementaciones de servicio. Como se muestra en la **Fig 9**, se destaca que el puerto 3 del Switch se conecta al anillo BOS_AAM19 a través del equipo MDE-BOS-S3328-FUNHOSSA.

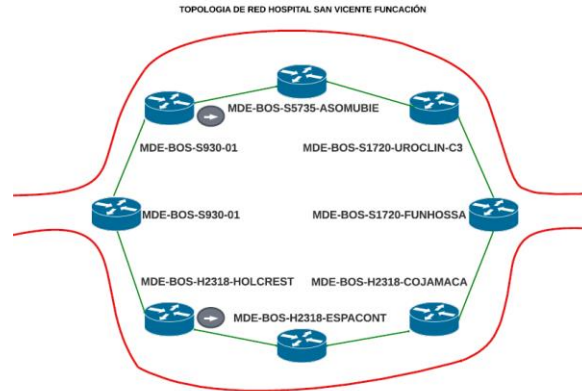


Fig 9. Topología de Red Hospital San Vicente Fundación

A través de la información proporcionada por el IAP de la compañía y el seguimiento de las rutas previamente identificadas, se llevó a cabo un mapeo que reveló que el hospital utilizaba Google como proveedor de servicios en la nube, específicamente el Datacenter 4 de Miami como se muestra en la **Fig 10**. Este hallazgo ofrece la capacidad de identificar claramente la ubicación geográfica específica con el fin de tener una gestión más eficiente y toma de decisiones informada en relación con la conectividad y ubicación de servicios clave.

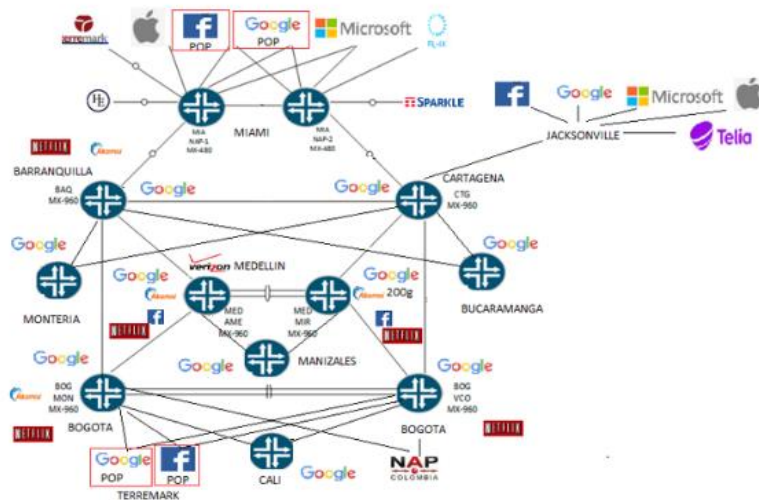


Fig 10. Topología IAP TIGO-COL

Después de determinar el servidor del hospital, se inició la fase de optimización del código “Proceso Completo” desarrollado en Python, donde se encontró la distribución nacional DWDM, respecto al cableado estructurado de todas las rutas que tenía la compañía en Colombia. El proceso contaba con 6 fases y tras llevar a cabo una revisión exhaustiva se identificaron diversos errores. A continuación, se hará una descripción de manera secuencial de la composición de cada una de las fases:

- Fase 1:

Se cargó el archivo “Single Route Specifics” que contenía un total de 3200 rutas. Para este caso, las columnas de interés fueron, “Name” (nombre de la ruta), “Level” (fase), “Working Route” (ruta de inicio, ruta de llegada, canal, puerto y tipo de tarjeta), “Suggested Direction” (modo de transmisión). Cada ruta estaba compuesta por varios nodos agrupados en la columna “Working Route”, por ende, se realizó una segmentación mediante un Split con el carácter (->) para lograr identificar cada uno de los nodos que la conformaban, luego se llevó a cabo un cruce de datos con el archivo “Optical Power management” para vincular a cada nodo su respectiva atenuación, en esta fase se crearon dos nuevas columnas llamadas “Input Power(dBm)” y “Output Power(dBm)”. donde se almacenó la información correspondiente a la medición de entrada y salida respectivamente, este archivo resultante quedó almacenado bajo el nombre de “Dashboard_Backbone_DWDM_Nacional”.

- Fase 2:

Se cargó el archivo “Dashboard_Backbone_DWDM_Nacional” y, a partir de este, se llevó a cabo una filtración en la Columna “Level” utilizando la clave “OTS”. Este filtro se realizó ya que para esta fase del proceso solo se necesitaron los puntos donde la señal se multiplexe (OMS), posteriormente en la columna “Working Route” se aplicaron los filtros correspondientes a las palabras clave “[RDC',TDC']”, ya que se identificó que estos puertos no presentan atenuación. Para la fase 2 el dashboard quedó almacenado en el archivo “Dashboard_SFP”.

- Fase 3:

Se cargó el archivo “Dashboard_SFP” donde se realizó un cruce de datos con el archivo “Optical Attenuation Management” en el cual se buscó la relación de atenuación y se almacenó en una nueva columna llamada “Optical Interface Attenuation Ratio(dB)”, para esta fase el dashboard se almacenó con el nombre “dashboard_sfp_attenuation”.
- Fase 4:

Se cargó el archivo “dashboard_sfp_attenuation” donde se realizó un cruce de datos con el archivo “Card Report_2022-11-09_09-33-25_1 (1)”, esto con el fin de establecer el tipo de tarjeta, para analizar su correspondencia con otros elementos, el archivo resultante se almacenó con el nombre de “dashboard_SFP_ATTENUATION_CARD_1”
- Fase 5:

Se cargó el archivo “dashboard_SFP_ATTENUATION_CARD_1.xls”, donde se aplicó la función “buscarUltimo”, para realizar un cruce de datos para finalmente encontrar la ganancia nominal de los amplificadores, el archivo resultante se almacenó con el nombre de “Dashboard_SFP_ATTENUATION_CARD_BOARD_1”.
- Fase 6:

Finalmente, se realizó un procesamiento donde se creó una tabla que contenía los registros con los que se iba a trabajar, los primeros pasos de atenuación y atenuación de cada ruta, se identifica con máximo 5 puertos en cada una de ellas, los demás puertos se omitieron en este paso, el archivo resultante se almacenó con el nombre de “DF”.

Como primera medida se inició con la fase 2 del proceso con el objetivo optimizar la memoria del sistema, ya que en el proceso anterior se llevaba a cabo una segmentación de las 3200 rutas, a partir de las cuales se realizaban las respectivas filtraciones. Con el código actual se logró reducir el análisis a solo 210 rutas y a partir de estas, se procedió a realizar la segmentación de nodos.

En la **Tabla I**, se presentan los datos recopilados durante ambos procesos, permitiendo un análisis comparativo entre el enfoque anterior y el proceso optimizado, con el fin de ofrecer una visión más clara de las modificaciones implementadas y su impacto en la eficiencia del algoritmo.

Tabla I.
Proceso sin optimizar vs proceso optimizado

Dashboard	Proceso Sin optimizar (A)	Proceso Optimizado (B)	Descripción
Single Route	3200	3200	Cantidad total rutas.
Aplicación OTS	3200	716	Aplico el filtro solo en la fase B
Filtro (Am – (Bm Proceso A	3200	210	Aplico el filtro solo en la fase B
Split (->)	4778	3290	Se aplico el filtro en las dos fases de cada uno de los nodos dentro cada ruta
Filtro RDC	4524	3020	Elimino 254 nodos en las dos rutas
dashboard_SFP	4524	3020	Anexo columnas en los dashboard
Dashboard	4524	3020	Anexo columnas en los dashboard
Dashboard	4524	3020	Anexo columnas en los dashboard
dashboardBoard	4524	3036	Anexo columnas en los dashboard
Filtro (Am –(Bm	3638	3036	Aplico el filtro solo a proceso A
Df	1634	1034	Dashboard fase 6.
Rutas	336	220	Total de rutas por fase

A partir del análisis de la tabla anterior y realizando una revisión detallada con la asistencia del experto de dominio sobre el Dataframe que arrojó la fase 6, se llevaron a cabo los siguientes filtros y correcciones identificadas en esta fase del proceso:

- Filtro EXPO-EXPI

Se aplicó un filtro sobre la columna “Working Route” para identificar los puertos que contenían las palabras clave “EXPO” o “EXPI”, ya que dichos puertos no presentan cambio de ruta, lo que no proporciona información relevante para el proceso. Mediante este filtro únicamente permanecieron 139 rutas que requirieron atención y análisis detallado.

- W3DSMD9

Al momento de realizar los cruces de datos con la tabla “Optical Power Management”, se observó que, en los datos extraídos, en la columna “Board Name” correspondiente al W3DSMD9, se registraba atenuación en su primer puerto de salida “OUT” de cada ruta, posterior a la revisión del experto de dominio se determinó que esta atenuación carece de relevancia, ya que las mediciones de atenuación se realizan posterior al proceso amplificación.

- Puerto IN/OUT

En el archivo “Optical_Attenuation_Management” se detectaron mediciones en algunos puertos “IN/OUT”, los cuales corresponden a mediciones de atenuación de entrada y salida. Debido a la estructura del algoritmo, no se estaba realizando un cruce de información adecuado con estos puertos, para garantizar la correcta implementación, se agregaron las líneas de código que se muestran en la **Fig 11**.

```
if "IN/OUT" in port:  
    port=port.replace("IN/OUT","OUT")
```

Fig 11. Corrección puertos "IN/OUT"

En la implementación anterior, existían 17 rutas con una diferencia de +-60 dBm, los cuales en ese momento se eliminaron, debido a la falta de conocimiento sobre las razones detrás de los valores de atenuación. Con la optimización del código se logró establecer que estas rutas requerían atención inmediata, dichas rutas se muestran en la **Fig 12**.

```
# 60 db en el Input Power(dBm):
# - MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80961
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80962
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80965
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80966
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80973
# - MDEAME M12-MDEAME M12-OMS-80974
# - AXMCCA M12 en Implementacion-AXMCCA M12 en Implementacion-OMS-86618
# - AXMCCA M12 en Implementacion-AXMCCA M12 en Implementacion-OMS-86619
# - SFAEDA Universal-SFAEDA Universal-OMS-101390
# - MDERIO 1800V-MDERIO 1800V-OMS-74577
# - MDERIO 1800V-MDERIO 1800V-OMS-74579
# - MDEJMC 1800V-MDEJMC 1800V-OMS-74581
# - MDEJMC 1800V-MDEJMC 1800V-OMS-74583
# - MDEJMC 1800V-MDEJMC 1800V-OMS-74585
# - MDEMIR 1800V-MDEMIR 1800V-OMS-74587
# - MDEMIR 1800V-MDEMIR 1800V-OMS-74589
```

Fig 12. Rutas eliminadas código sin optimizar +-60 dB

Mediante la implementación del nuevo algoritmo se determinaron que 10 rutas con medición de entrada input requerían atención inmediata, como se muestra en la **Fig 13**.

Index	Name	Working Route	Input Power(dBm)	Output Power(dBm)
181	APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	DABEIBA-DABEBA Unviersal-shelf0(subrack)-4-...	-60	0
191	APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf0(To/From Dabeiba)-14-130AU1-1(IN: From Dabeiba)-1	-60	0
215	APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	APOAPA-1 -ANT0074--APOAPA Universal (9-402)...	-60	0
374	MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDEMIR-2-MDEMIR 1800V-shelf1(To/From MDECOL)-2-B1DAP-13(VI_2)-1	-60	0
376	MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDEMIR-2-MDEMIR 1800V-shelf1(To/From MDECOL)-2-B1DAP-8(IN_2)-1	-60	0
382	MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDECOL-MDECOL M12-shelf1(To/From EPM y Miraflores)-12-G3DAPXF-6(R_VI)-1	-60	0
384	MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDECOL-MDECOL M12-shelf1(To/From EPM y Miraflores)-12-G3DAPXF-1(R_IN)-1	-60	0
386	MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDECOL-MDECOL M12-shelf1(To/From EPM y Miraflores)-10-G3WSMD9-1(IN)	-60	0
1190	SFAEDA Universal-MDEEDA Universal-OMS-100892	SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf1(To/From Edate1)-3-130AU1-1(IN)-1	-60	0
1200	SFAEDA Universal-MDEEDA Universal-OMS-100892	MDEEDA-MDEEDA Universal-shelf0(To/From Sant...	-60	0

Fig 13. Rutas atención inmediata puerto " IN".

De manera similar, se llevó a cabo un análisis para el puerto de salida “OUT”, obteniendo los resultados mostrados en la **Fig 14**.

Name	Working Route	Input Power(dBm)	Output Power(dBm)
APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	APOAPA-1 -ANT0074--APOAPA Universal (9-402)-shelf1(To/From Dabeiba)-3-130AU1-4(OUT)-1	0	-60
APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	DABEIBA-DABEBA Unviersal-shelf0(subrack)-4-12RAU2-4(OUT)-1	0	-60
APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf0(To/From Dabeiba)-14-130AU1-4(OUT)-1	0	-60
APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	DABEIBA-DABEBA Unviersal-shelf0(subrack)-16-130AU1-4(OUT)-1	0	-60
APOAPA Universal (9-402)-SFAEDA Universal-OMS-104741	APOAPA-1 -ANT0074--APOAPA Universal (9-402)-shelf1(To/From Dabeiba)-14-12RAU2-4(OUT)-1	0	-60
MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDEMIR-2-MDEMIR 1800V-shelf1(To/From MDECOL)-6-F1EMR8-9(OUT)	0	-60
MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDEMIR-2-MDEMIR 1800V-shelf1(To/From MDECOL)-2-B1DAP-11(OUT_2)-1	0	-60
MDEMIR 1800V-MDECOL M12-OMS-80955	MDECOL-MDECOL M12-shelf1(To/From EPM y Miraflores)-12-G3DAPXF-4(R_OUT)-1	0	-60
SFAEDA Universal-MDEEDA Universal-OMS-100892	SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf1(To/From Edate1)-3-130AU1-4(OUT)-1	0	-60
SFAEDA Universal-MDEEDA Universal-OMS-100892	MDEEDA-MDEEDA Universal-shelf0(To/From Santa Fe Antioquia)-14-130AU1-4(OUT)-1	0	-60
MDEJMC 1800V-MDEAME M12-OMS-89437	MDEAME-2-MDEAME M12-shelf3(To/From JMC)-1-G3DAPXF-4(R_OUT)-1	0	-60

Fig 14. Rutas atención inmediata puerto " OUT".

Finalmente, para una mejor interpretación de cada una de las rutas, se diseñaron las topologías de cada una de ellas mediante la biblioteca de Python Network x, a cada uno de los nodos se le asignó un nombre con el fin de que el experto de dominio lograra identificar con facilidad, cada una de estas gráficas quedaron almacenadas en una nueva carpeta, las figuras 15 y 16 son un ejemplo de las gráficas que muestran las topologías. Además, cada gráfica en la parte superior contiene el nombre de la ruta.

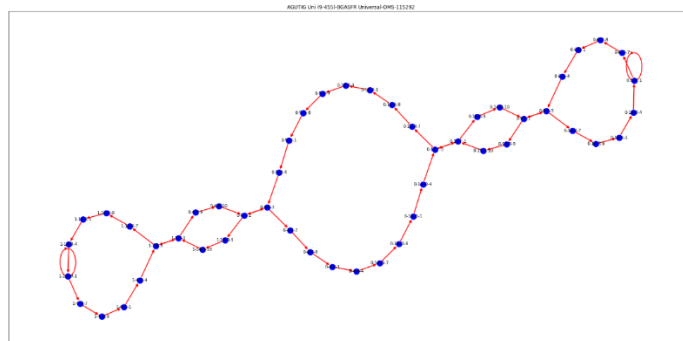


Fig 15. Topología Bidireccional

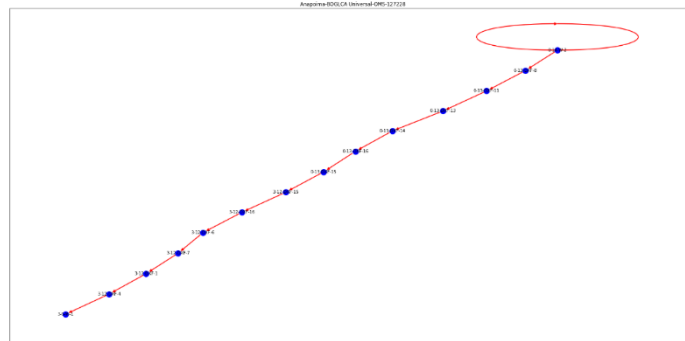


Fig 16. Topología Unidireccional

El algoritmo mediante el cual se estaba trabajando, tenía insumos correspondientes al año 2022. Con el objetivo de tener la información actualizada y detectar nuevas rutas o pérdidas por atenuación en la red nacional DWDM, se descargaron los archivos correspondientes al año 2023. Al momento de implementar los archivos, se logró detectar un aumento en las rutas, algunas de las cuales no contaba con información ya que se encontraban en implementación, recientemente establecidas o en sitios virtuales, por ende, se procedió a eliminarlas. En la **Tabla II** se muestra los resultados comparativos entre los insumos correspondiente al año 2022 y 2023, respectivamente, con la aparición de 18 nuevas rutas posterior a las correcciones.

Tabla II.
Proceso comparativo archivo 2022 vs 2023

Dashboard	2022	2023
Single Route	3200	3357
Aplicación OTS, (AM, (DM	716	780
Numero Rutas	210	220
Split (->)	3290	3378
Dashboard_F6	3290	3378
Rutas	202	220

Luego de identificar el servidor que utiliza el Hospital San Vicente a través de la red MPL's Nacional, y mediante la segmentación de rutas para la identificar los nodos se trazó la ruta que siguen los datos hasta el puerto saliente en la ciudad de Barranquilla. Esta ruta está compuesta por los siguientes 10 OMS.

1. Medellín-América (MDEAME) ->Medellín-Miraflores (MEDMIR)
2. Medellín-Miraflores (MEDMIR) -> Medellín-Edatel (MDEEDA)
3. Medellín-Edatel (MEDEEDA) -> Santa Fe de Antioquia-Edatel (SFAEDA)
4. Santa fe de Antioquia- Edatel (SFAEDA) -> Apartado (APOAPA)
5. Apartado (APOAPA) -> Montería-Zona Sur (MTRZSU)
6. Montería-Zona Sur (MTRZSU) -> Sincelejo (CZCULFL)
7. Sincelejo (CZCULFL) -> TLUPOP
8. TLUPOPO- Cartagena (CTGBOS)
9. Cartagena (CTGBOS) -> CTGCFX
10. CTGCFX- Barranquilla (BAQGLO) -> Cable Internacional

Mediante del proceso implementado, se logró establecer la topología completa hasta el cable internacional, obteniendo información detallada sobre la configuración de red, fue posible identificar los nodos con atenuaciones superiores a 3 dB, señalando así que los puntos críticos que requerían atención inmediata para asegurar una conexión óptima al cable internacional y así lograr garantizar la capacidad de ancho de banda requerida por el hospital.

En la **Fig 17** se muestra la ruta que sigue hasta el puerto saliente al cable internacional en el puerto de Cartagena dirigida hacia los servidores en Miami.

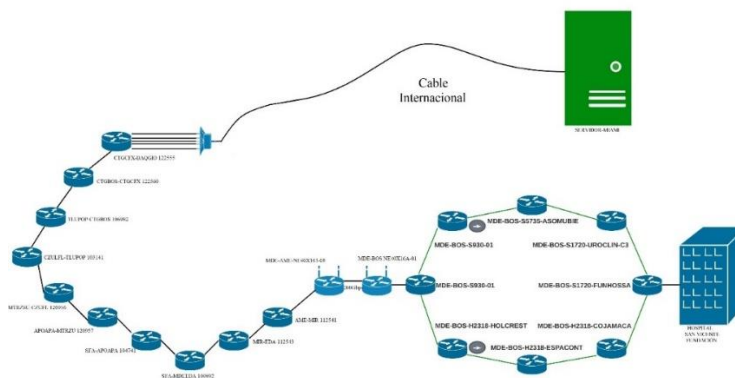


Fig 17. Topología de Red Hospital San Vicente Fundación

Finalmente, luego de trazar la ruta completa, y conocer el destino de los datos desde el hospital hacia el servidor, se llevó a cabo una prueba mediante un “PING” dirigido desde la dirección IP del servidor interno del hospital, como se muestran en la **Fig 18**.

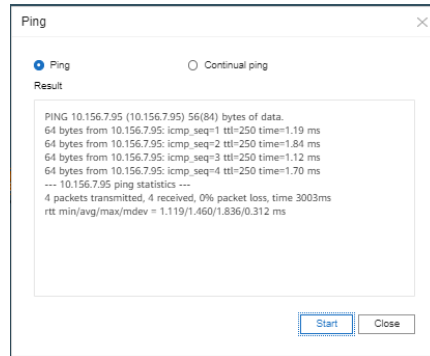


Fig 18. PING Servidores Huawei

Como se muestra en la **Fig 19**, mediante un “PING CONTINUO” y la información almacenada en el Datacenter de TIGO-COL, se logró identificar que los picos más altos de latencia se registraron aproximadamente entre 22 de septiembre y 2 de octubre. Durante este periodo, la señal de latencia experimentó los niveles más altos superando los 60 dB, lo que generó las alarmas que se destacaron mediante el código y previamente fueron marcados para revisión.

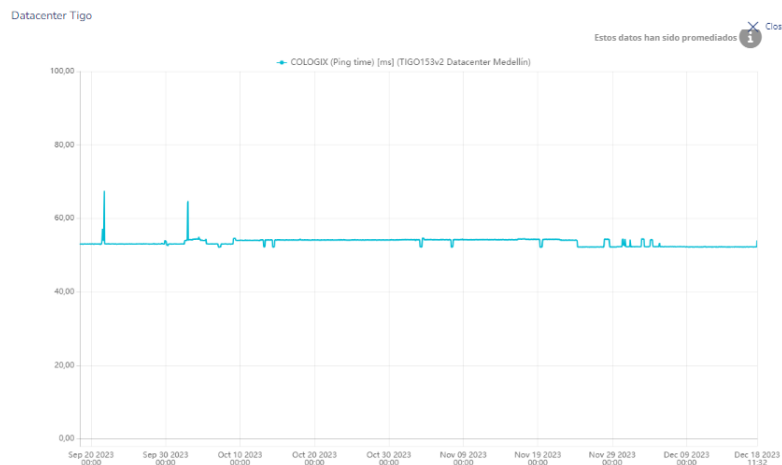


Fig 19. PING Continuo Datacenter TIGO-COL

Realizando un PING directamente desde el interior del Hospital se obtuvieron los resultados que se muestran en la **Fig 20**.

```
Haciendo ping a www.google.com.co [142.251.135.163] con 32 bytes de datos:
Respuesta desde          bytes=32 tiempo=6ms TTL=116
Respuesta desde          bytes=32 tiempo=7ms TTL=116
Respuesta desde          bytes=32 tiempo=7ms TTL=116
Respuesta desde          bytes=32 tiempo=8ms TTL=116

Estadísticas de ping para
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
  Mínimo = 6ms. Máximo = 8ms. Media = 7ms
```

Fig 20. PING Interior Hospital San Vicente Fundación.

Por otra parte, como se observar en la **Fig 21**, se realizó un trazado hacia los servidores de Google mediante el comando “Trace Route”. Este procedimiento tuvo como objetivo obtener información valiosa respecto a los saltos de red y el tiempo que demora cada salto en recibir los paquetes, para identificar latencia o pérdida de nodos que no responden. Además, este comando permitió identificar nodos específicos ubicados en otros países. Esta capacidad fue crucial para comprender la topología global de la conexión y facilitó la identificación de posibles cuellos de botella que afectarían la capacidad del ancho de banda.

```
Traza a la dirección Google.com
sobre un máximo de 30 saltos:

 1  <1 ms  <1 ms  2 ms
 2  6 ms   <1 ms  1 ms
 3  1 ms   3 ms   2 ms
 4  8 ms   6 ms   7 ms
 5  6 ms   7 ms   8 ms
 6  7 ms   6 ms   10 ms
 7  6 ms   6 ms   11 ms
 8  7 ms   6 ms   7 ms
 9  7 ms   6 ms   7 ms
10  6 ms   7 ms   6 ms

Traza completa.
```

Fig 21. Trace Route servidor Google

VII. ANÁLISIS

La elección del Hospital San Vicente fundación se fundamentó principalmente por sus características únicas de infraestructura de red, ya que eliminan los conmutadores de Ethernet de acceso y distribución mediante dispositivos ópticos pasivos con el fin de mejorar la eficiencia y gestión de red. Además, el reconocimiento otorgado por la WSO por su destacada calidad en la atención del ataque cerebro vascular, refuerza su elección. El galardón en la categoría oro resalta la excelencia en el manejo de eventos críticos asociados a los ataques cerebrovasculares. [19]

En este contexto las imágenes diagnósticas desempeñan un papel fundamental al permitir que los profesionales de la salud detecten anomalías, lesiones, enfermedades y otras condiciones médicas. Estas imágenes proporcionan información detallada sobre ubicación, tamaño y extensión de afecciones dentro del cuerpo. Es crucial destacar que las imágenes diagnósticas consumen una parte significativa del ancho de banda utilizada de en el hospital, subrayando la necesidad de una gran disponibilidad de recursos para garantizar el correcto funcionamiento de estas herramientas en el ámbito médico.

Después de la selección del hospital, se identificó que el hospital opera a través del Switch “MDE-BOS-S1720-FUNHOSSA”, que se conecta directamente a la topología de tipo anillo “BOS_AAM19” y es el que permite la conexión. La transmisión de información en esta topología se realiza directamente desde el Switch, conectado al puerto 3 de la tarjeta. Es importante destacar que también se conecta a la red MPL’s, enlazándose directamente al Router MDE-BOS-S9301-01. Este enlace garantiza el flujo de datos en la red del hospital.

Para iniciar la fase de optimización se sugirió comenzar con las filtraciones para evitar trabajar sobre nodos que eventualmente se eliminarían. Durante esta etapa, se observó al finalizar la fase positiva e iniciar la negativa, que faltaba el carácter “->”, lo que resultaba en la pérdida de un nodo como se muestra en la **Fig 22**.

```

CTGCFX-CTGCFX univ-shelf0(To/From Santa Catalina)-14-13OAU1-5(RDC/TDC)-1->
CTGCFX-CTGCFX univ-shelf0(To/From Santa Catalina)-14-13OAU1-5(RDC/TDC)-1->
CTGCFX-CTGCFX univ-shelf0(To/From Santa Catalina)-14-13OAU1-4(OUT)-1->
CTGCFX-CTGCFX univ-shelf0(To/From Santa Catalina)-10-52WSMD9-1(IN/OUT)
Negative
CTGCFX-CTGCFX univ-shelf0(To/From Santa Catalina)-10-52WSMD9-1(IN/OUT)->

```

Fig 22. Transición ruta positiva y negativa

Con el propósito de corregir este problema, se implementó una estructura condicional que analizó la columna “Direction” con el fin de identificar los casos en los cuales el modo de transmisión era bidireccional. Utilizando la palabra clave “Negative”, como identificador, se aplicó una operación de reemplazo mediante el método “Replace”, añadiendo “->” al principio de la palabra ->Negative, como se muestra en **Fig 23**, Esta corrección asegura una correcta implementación evitando la pérdida de nodos en la transición positiva y negativa.

```

if data["Direction"]=="Bidirectional": ##Ingresamos a la fila seleccionada para analizar
    data["Working Route"] = data["Working Route"].replace("Negative", "->Negative")# si
else:
    pass

```

Fig 23.
Estructura condicional

Al finalizar la fase 3 del proceso sin optimizar, se realizó la eliminación de rutas en las cuales se detectó una medición de ± 60 dB. Esta eliminación se llevó a cabo debido a la falta de conocimiento sobre la aparición de estos valores. Sin embargo, posterior a la optimización del código, se identificó que dichas rutas requerían una atención inmediata lo que conllevaba, a pérdida de señal, posterior a esta detección se generó una alerta para la corrección del error de manera inmediata, estos nodos se presentan a continuación:

- SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf1(To/From Edate)-3-13OAU1-1(IN)-1
- SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf1(To/From Edate)-3-13OAU1-4(OUT)-1
- SFAEDA-SFAEDA Universal-shelf1(To/From Edate)-3-13OAU1-4(OUT)-1
- MDEEDA-MDEEDA Universal-shelf0(To/From Santa Fe Antioquia)-14-13OAU1-4(OUT)-1

- APOAPA-1 -ANT0074--APOAPA Universal (9-402)-shelf1(To/From Dabeiba)-3-13OAU1-4(OUT)-1
- DABEIBA-DABEIBA Unviersal-shelf0(subrack)-4-12RAU2-1(IN: From Apartado)-1
- DABEIBA-DABEBA Unviersal-shelf0(subrack)-4-12RAU2-4(OUT)-1

En total, se identificaron alertas críticas en la medición de 7 de los 256 nodos que componen la ruta del Hospital. Estos valores revelaron nodos específicos de la red que requieren una atención inmediata para implementar correcciones y asegurar un rendimiento óptimo, así como la continuidad de la conexión.

Se sugiere prestar atención a los siguientes nodos de entrada (input), ya que superaron el umbral de 3dB establecido por el experto de dominio. Estos nodos pueden generar futuros problemas de atenuación en la fase de entrada, lo que subraya la implementación de medidas correctivas para mantener la calidad de la conexión.

- MDEAME-2-MDEAME M12-shelf1(To/From Miraflores)-1-G3DAPXF-16(RC/TC)-1. Diferencia input = 6.7 dB
- MDEMIR-MDEMIR M12-shelf1(MDEAME-MDEEDA)-12-G3DAPXF-13(T_VI)-1. Diferencia input= 7 dB
- MDEMIR-MDEMIR M12-shelf1(MDEAME-MDEEDA)-12-G3DAPXF-16(RC/TC)-1. Diferencia input = 8.1 dB
- CTGBOS-CTGBOS M12-shelf1(To TLU - to Cfx)-12-G3DAPXF-13(T_VI)-1. Diferencia input= 4.5 dB.
- CTGBOS-CTGBOS M12-shelf1(To TLU - to Cfx)-12-G3DAPXF-16(RC/TC)-1.

De manera similar, se aconseja poner énfasis en los nodos de salida (Output) que han superado el umbral de 3dB establecido por el experto de dominio. Estos nodos también podrían indicar potenciales problemas de atenuación en la fase de salida, resaltando la importancia de implementar medidas correctivas para preservar la calidad de la conexión.

- MDEAME-2-MDEAME M12-shelf1(To/From Miraflores)-1-G3DAPXF-11(T_OUT)-1. Diferencia Output= 7 dB
- MDEMIR-MDEMIR M12-shelf1(MDEAME-MDEEDA)-12-G3DAPXF-11(T_OUT)-1. Diferencia Output= 7.1 dB
- TLUPOP-TLUPOP Universal-shelf0(To/From Bosque)-5-13OAU1-4(OUT)-1. Diferencia Output= 8.4 dB
- TLUPOP-TLUPOP Universal-shelf0(To/From Bosque)-5-13OAU1-4(OUT)-1. Diferencia Output= 8.4
- CTGBOS-CTGBOS M12-shelf1(To TLU - to Cfx)-12-G3DAPXF-11(T_OUT)-1. Diferencia Output= 4.4
- BAQGLO-BAQGLO Universal-shelf1(To/From Santa Catalina)-3-13OAU1-4(OUT)-1. Diferencia Output=8.4

La pérdida de nodos llevaba a una acumulación de atenuación que persistía hasta la fase 6 del proceso. Sin embargo, esta atenuación podría no verse reflejada, ya que aquí se llevó a cabo una segmentación limitada a los 5 primeros nodos de cada ruta, lo que generaba un gran error significativo, ya que lo que determina el cambio de fase es la transición entre sitios, y algunos sitios llegan a tener más de 10 nodos debido a la presencia de tarjetas amplificadoras anidadas, en este punto se hizo necesario la reconstrucción de la fase 6.

Se recomendó realizar un análisis exhaustivo de las tarjetas DAPXF, ya que son los elementos activos con mayor atenuación de toda la red DWDM. Dichas atenuaciones podrían atribuirse principalmente a factores como desgaste o daño, contaminación o problemas de amplificación.

Durante la elaboración de las topologías, se optó por trabajar con el layout Kamada_Kawai de Network X, con el propósito de organizar los nodos de manera que las aristas se acortaran, creando así, una representación más clara y estéticamente agradable del grafo. Esta disposición distribuye los nodos de forma clara, evitando superposiciones, y asegurando que la disposición general del grafo fuera agradable para facilitar su interpretación. Posteriormente, fue necesario almacenar las gráficas en una carpeta independiente para una interpretación más sencilla.

En cuanto a los insumos provenientes del año 2022, al actualizar los archivos se observó un incremento en las rutas y se obtuvo información adicional. Con base en esto, se sugiere la

automatización del proceso de obtención de archivos, y que actualmente, estos se deben descargar de manera manual desde los servidores de Huawei. La correcta implementación de esta permitirá acceder a la información en tiempo real, conservando la integridad de los datos, evitando así, posibles pérdidas de información.

Para lograr identificar la ruta completa que componía el Hospital, fue necesario realizar el proceso de forma manual, ya que se compone de 10 segmentos OMS. Este seguimiento se realizó sitio a sitio para una identificación precisa, dado que la implementación mediante código no fue posible. A través del ID_CLIENTE y el número puerto al cual se conectaba el nodo que se enlaza directamente vinculado al Hospital se estableció la ruta. Posteriormente, se creó la topología y se estableció la conexión con la red MPL's TIGO-COL, estos archivos se extraen directamente de las bases de datos relacionales de la compañía.

Luego de mapear la ruta completa desde el Hospital hasta el servidor y comprender la dirección de los datos, se realizó una prueba de conectividad mediante un "PING" desde los servidores internos de Huawei con el fin de analizar la capacidad. La prueba se llevó a cabo con un tamaño de paquete (ICMP) de 64 bytes identificando cada paquete con un número de secuencia (ICMP_SEQ) del 0 a 4. Además, se estableció el tiempo de vida (TTL) de 250 ms, y el tiempo de respuesta promedio (TIME) 1,460 ms como se muestra en la **Fig 18**.

Con el objetivo de verificar la información proporcionada por los servidores internos de Huawei y evaluar la eficiencia de la conexión entre el Hospital y su servidor, se realizó un "PING" desde la dirección IP interna del servidor. Esta prueba consistió en enviar paquetes ICMP de 32 bytes, numerados secuencialmente del 0 a 4. Además, se estableció el tiempo de vida (TTL) de 116 ms, y se registró un tiempo de respuesta promedio (TIME) 7 ms. Este análisis en tiempo real confirmó que el hospital disfruta de una conectividad sólida y un ancho de banda adecuado como se muestra en la **Fig 20**.

Tras ello mediante la implementación del comando "Trace Route" se logró identificar la atenuación en los nodos que componían la ruta del Hospital. Este análisis proporcionó información valiosa sobre la calidad de la conexión, permitiendo evaluar la eficiencia y detectar posibles problemas como alertas significativas en algunos nodos como se muestra en la **Fig 21**. Estas alertas podrían conllevar a pérdida de información, destacando la importancia de abordar cualquier alerta que genere el sistema para garantizar una conexión óptima sin interrupciones.

Mediante un “PING” continuo desde los servidores internos de TIGO-COL se logró establecer los picos más altos de latencia del Hospital, atribuyéndose a problemas como congestión de red e interrupciones en la conectividad. A pesar de esto, el Hospital demostró estabilidad a lo largo de los 3 últimos meses, a pesar de los picos de latencia, lo cual indica que, en general, la conexión es rápida y estable. Este resultado es coherente con las pruebas anteriores lo que refuerza la fiabilidad de la conexión interna con los servidores internos del Hospital.

Es crucial destacar que, durante el mes de diciembre, se lleva a cabo un congelamiento de la red. Este periodo proporcionó la oportunidad de observar la estabilidad de la red y evaluar su rendimiento bajo condiciones controladas. Durante este tiempo, se pudo analizar si las medidas implementadas para abordar la latencia han tenido impacto y si la red ha logrado mantener niveles aceptables de rendimiento.

Finalmente, mediante los datos recopilados y las pruebas ejecutadas, es posible determinar un ancho de banda óptimo, considerando factores como el volumen de tráfico de datos, aplicaciones utilizadas, cantidad de dispositivos conectados y necesidades específicas de la institución. Es crucial tener en cuenta servicios como las imágenes diagnósticas, servidores en nube y monitorización continua ya que son elementos que contribuyen significativamente a la demanda del ancho de banda.

VIII. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto, la optimización del código condujo a una reducción de la memoria del equipo, alcanzando cerca del 30% de su capacidad, esto debido a las implementaciones planteadas, que comenzaron con la ejecución de las filtraciones necesarias para trabajar únicamente con las rutas de interés. Además, se recuperaron nodos y rutas que habían sido eliminadas, facilitando la implementación de nuevas fases y permitiendo la continuidad del proceso sin repercusiones negativas. Este enfoque centrado en la gestión de recursos contribuyó significativamente al control y estabilidad de red del Hospital San Vicente fundación.

Por otra parte, a partir de los datos recopilados y un seguimiento manual se logró determinar que el Hospital cuenta con una conexión tipo anillo, que se conecta desde el puerto 3 a la red MPLS's, donde posteriormente se compone de 10 secciones OMS hasta la ciudad de Barranquilla. Durante este proceso, se identificaron varios nodos que requerían atención inmediata, abordados mediante el código implementando para prevenir caídas de señal o pérdidas de paquetes, asegurando así un funcionamiento óptimo de la red del Hospital.

Es importante resaltar que la disponibilidad de red se asegura hasta el punto de entrada al cable internacional, a partir de este punto, los servidores asumen la responsabilidad de gestionar y procesar los datos para garantizar calidad y disponibilidad de la red en su totalidad. Este enlace entre la infraestructura de red de la fase de transmisión y la gestión de datos por parte de los servidores es fundamental para mantener un servicio eficiente y confiable.

En cuanto a las pruebas realizadas para confirmar la disponibilidad, se llevaron a cabo pruebas de PING tanto internas en el Hospital como desde los servidores de HUAWEL, que se llevaron a cabo mediante el envío de paquetes de 32 y 64 bytes confirmando la disponibilidad acorde a los requerimientos del hospital.

En conclusión, es posible afirmar que un sistema de monitoreo para el aseguramiento de la calidad de la red de transmisión óptica es esencial para garantizar la operación continua, segura y eficiente de la red hospitalaria ya que asegura que los servicios se encuentren disponibles de manera constante, contribuyendo al correcto funcionamiento de aplicativos médicos y servicios esenciales para la atención de pacientes. Además, el monitoreo continuo permitió identificar de manera temprana posibles problemas de latencia o pérdida de paquetes, posibilitando la implementación de acciones correctivas.

Finalmente, la rápida disponibilidad de información médica de manera interoperable contribuirá a un entorno de atención más eficiente y seguro, generando beneficios tanto para el proveedor del servicio como para los servicios de salud. La implementación del código logró reducir significativamente los tiempos de análisis, pasando de 15 días a 5 minutos, logrando mejorar no solo la eficiencia operativa sino un control más acertado sobre las fallas en el sistema.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, “Proyecto de presupuesto por programas 2024-205,” 2023. Accessed: Dec. 19, 2023. [Online]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA76/A76_4Add1-sp.pdf
- [2] Google Cloud, “El futuro de la computación en la nube”, Accessed: Dec. 01, 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/484L0al>
- [3] C. Vera-Cruz, “Presente y futuro del cómputo en la nube en América Latina.” Accessed: Dec. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.computerweekly.com/es/cronica/Presente-y-futuro-del-computo-en-la-nube-en-America-Latina>
- [4] Y. Suárez Zubieta and H. Parra Riveros, “Gobernanza de datos en instituciones prestadoras de salud: mejorando la eficiencia y calidad de la atención médica,” Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI, Sep. 2023, pp. 1–11. doi: 10.26507/paper.3205.
- [5] Furukawa Electric LatAm, “Hospitales Inteligentes: Tecnología y Fibra Óptica para Salvar Vidas.” Accessed: Dec. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.furukawatam.com/es/conexion-furukawa-detalles/hospitales-inteligentes-tecnologia-y-fibra-optica-para-salvar-vidas>
- [6] Ó. Ávila Mejía, “Computación en la nube,” May 2011.
- [7] M. Enrique Álvarez Ramos Roberto Pedro Duarte Zamorano Ezequiel Rodríguez Jáuregui Santos Jesús Castillo, “Física II Tercera parte: Óptica.” [Online]. Available: <http://paginas.fisica.uson.mx/qb>
- [8] Y. Rodriguez, “Fibra óptica,” 2009. [Online]. Available: <http://ebookcentral.proquest.com>
- [9] Itu-t, “ITU-T SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS” 2012.
- [10] D. A. Peñaredona Buelvas, I. D. Téllez Silva, and E. A. Mateus, “REDES ÓPTICAS DWDM: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DWDM OPTICAL NETWORKS: DESIGN AND IMPLEMENTATION.”
- [11] Amazon Web Services, “¿Qué es una red de computadoras?” Accessed: Sep. 24, 2023. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/computer-networking/>
- [12] Universidad de Valencia, *Tema 2. Redes de comunicación: Topología y enlaces*. 2.
- [13] E. T. López, *Modulo 9 Red GPON (Gigabit-capable passive optical networks)*.

-
- [14] Organización Panamericana de la salud, “Conectividad y ancho de banda: Áreas clave para mejorar la salud pública.”
- [15] Asociación colombiana de hospitales y clínicas, “Big Data en salud: cómo va su desarrollo en Colombia,” pp. 2–3, Jun. 13, 2022.
- [16] TELTONIKA, “CONECTIVIDAD DE RED DE EMERGENCIA PARA HOSPITALES,” 2021.
- [17] HUAWEI, “HUAWEI.” Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://consumer.huawei.com/co/about-us/>
- [18] Asociación empresarial colombo china, “HUAWEI TECHNOLOGIES COLOMBIA SAS.” Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.aecc.com.co/huaweicolombia/>
- [19] Recavar, “Hospitales de tercer nivel en colombia.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.recavar.org/hospitales-de-tercer-nivel-en-colombia>