

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE COBERTURA DE
FIBRA ÓPTICA MEDIANTE LA SELECCIÓN DE CTOS Y EMPALMES
CERCANOS PARA PROYECTOS DE DESPLIEGUE DE FIBRA ÓPTICA

LAURA SOFIA REBOLLEDO AGUDELO

TUTOR
ANGELA TATIANA ZONA ORTIZ, PhD

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2024

CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN PROYECTO	3
1.1. PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3. ESTADO DEL ARTE	6
1.3.1. RED FIBRA ÓPTICA	6
1.3.2. COMPONENTES CLAVE RED FTTH	7
1.3.3. FORMULA HAVERSINE.....	10
1.4. OBJETIVOS.....	11
2. ALGORITMO PARA IDENTIFICACIÓN DE CTOs EN EL DESPLIEGUE DE PROYECTOS FTTH.....	12
2.1. REQUERIMIENTOS	12
2.2. HERRAMIENTAS DE LA SOLUCIÓN	14
2.3. COMPONENTES.....	16
2.4. DIAGRAMA DE SECUENCIA	17
3. IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO EN PYTHON	21
3.1. CONFIGURACIÓN INICIAL SQL	21
3.2. DEPENDENCIAS.....	24
3.3. EXPLICACIÓN CÓDIGO	24
3.4. MAIN	26
3.5. RESPUESTA DEL ALGORITMO.....	28
4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO.....	30
5. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO	31
6. CONCLUSIONES	34
7. REFERENCIAS.....	35

1. PRESENTACIÓN PROYECTO

Dentro de la presentación se abordará la justificación del proyecto, resaltando su importancia en la selección de CTOs (Cajas Terminales Ópticas) y empalmes en redes de fibra óptica, elementos esenciales para garantizar la calidad y viabilidad de las instalaciones en este tipo de infraestructuras. Las CTOs son componentes clave que permiten la distribución del servicio hacia los usuarios finales, funcionando como puntos de conexión entre la red troncal de fibra óptica y las líneas que llegan a cada cliente. Estas cajas tienen una capacidad limitada, usualmente de 8 o 16 puertos, lo que hace necesario seleccionar aquellas que estén disponibles y más cercanas al usuario final para garantizar la instalación eficiente del servicio.

Por otro lado, los empalmes en las redes de fibra óptica son conexiones físicas que permiten unir distintos tramos de fibra, asegurando la continuidad del enlace óptico. Existen diferentes tipos de empalmes, dependiendo de la finalidad y ubicación dentro de la red, pero en este caso se enfoca en los empalmes cercanos a las CTOs que puedan complementar el servicio al proporcionar capacidad adicional o reconfigurar la red para atender nuevas demandas. A diferencia de las CTOs, los empalmes no distribuyen directamente hacia los usuarios, sino que actúan como nodos estratégicos que permiten la expansión y flexibilidad de la red. Su selección es clave porque un empalme con suficientes hilos disponibles facilita las configuraciones necesarias sin comprometer la calidad de la red o generar interrupciones en el servicio.

Este proyecto presentará el estado del arte para comprender los conceptos y herramientas clave, y se detallarán los objetivos que se desarrollarán en este trabajo para automatizar los procesos de evaluación de cobertura de fibra óptica en la empresa de Telefónica.

1.1. PROBLEMÁTICA

En el ámbito del despliegue de redes de fibra óptica (FTTH) para conexiones B2B (Business to Business), Telefónica enfrenta un desafío crucial en la evaluación de la viabilidad para la instalación masiva de fibra óptica en Colombia al gestionar nuevos contratos y proyectos de manera regular. Empresas como Terpel, Olímpica, Cruz verde entre otras, envían direcciones con coordenadas geográficas para evaluar si la cobertura de fibra óptica es positiva.

No obstante, el proceso se complica cuando las coordenadas no coinciden exactamente con una CTO existente. En estos casos, se debe revisar manualmente direcciones similares para encontrar la CTO más cercana y facilitar la instalación. Este enfoque presenta varios problemas:

- Ineficiencia en la Evaluación: La revisión manual de direcciones similares es lenta y propensa a errores, lo que puede retrasar la instalación y afectar la eficiencia operativa.
- Precisión de la Información: Las diferencias entre las coordenadas exactas y las CTO existentes pueden causar problemas en la planificación de la red y en la asignación de recursos.
- Escalabilidad del Proceso: Con el aumento en el número de solicitudes y la expansión de la cobertura, el sistema actual puede no ser capaz de manejar eficientemente el volumen creciente de solicitudes.

Encontrar una solución que mejore la precisión y la velocidad en la evaluación de viabilidad es crucial para asegurar una implementación efectiva y oportuna de las redes FTTH. Por lo tanto, surge la siguiente pregunta: **¿Cómo viabilizar los CTO de manera masiva y rápida para proyectos de implementación B2B?**

1.2. JUSTIFICACIÓN

El proceso manual de revisión de direcciones similares y la búsqueda de CTOs y Empalmes cercanos es ineficiente y consume una gran cantidad de tiempo y recursos, lo que puede retrasar la implementación de proyectos y afectar la eficiencia operativa.

Para mejorar este proceso, se propone el desarrollo de un algoritmo que calcule las distancias entre coordenadas y permita analizar de manera masiva las viabilidades de instalación. Este algoritmo automatizará la evaluación de las solicitudes, facilitando la identificación rápida de la CTO y Empalmes más cercanos en casos de coordenadas no exactas.

La implementación de esta solución ofrece varias ventajas significativas:

- Reducción del Tiempo de Trabajo: Al automatizar el cálculo de distancias y la evaluación de viabilidad, se reducirá considerablemente el tiempo que los empleados dedican a tareas manuales, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente a las solicitudes.
- Aumento de la Precisión: El algoritmo garantizará una evaluación más precisa al realizar la revisión de direcciones y coordenadas de manera automatizada.
- Mejora en la Escalabilidad: La solución permitirá manejar un mayor volumen de solicitudes en un periodo de tiempo menor, adaptándose al crecimiento de la demanda y expansión de la cobertura.

La implementación de este algoritmo no solo mejora la eficiencia en la evaluación de viabilidad de CTOs, sino que también establece una base sólida para el manejo efectivo de grandes volúmenes de datos en proyectos de expansión de fibra óptica. Al reducir el tiempo de trabajo manual, aumentar la precisión en la selección de CTOs y mejorar la escalabilidad del proceso, Telefónica podrá acelerar la implementación de proyectos B2B y responder de manera más ágil a las demandas del mercado.

1.3. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte proporciona una visión general sobre las redes de fibra óptica y su relevancia en la infraestructura de telecomunicaciones moderna. Se describen los fundamentos de las redes FTTH (Fiber to the Home), sus componentes clave, y las ventajas que ofrecen en términos de capacidad, velocidad y confiabilidad. Este análisis establece el marco conceptual y técnico necesario para comprender los aspectos tratados en este proyecto.

1.3.1. RED FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es una tecnología de transmisión de datos que utiliza filamentos de vidrio o plástico para transmitir información en forma de pulsos de luz. A diferencia de los cables de cobre tradicionales, la fibra óptica permite la transmisión de datos a velocidades extremadamente altas y con una mayor capacidad de ancho de banda, lo que la convierte en una tecnología ideal para la infraestructura moderna de telecomunicaciones.[1][2][3]

En una red de fibra óptica, la información se transmite a través de cables ópticos que envían señales de luz generadas por láser o LED (diodo emisor de luz) a través del núcleo de la fibra. Esta luz es reflejada internamente en la fibra, permitiendo que los datos viajen grandes distancias con una mínima pérdida de señal, conocida como atenuación. Gracias a su capacidad de transmitir datos a alta velocidad y con bajo nivel de interferencia, la fibra óptica es fundamental en la infraestructura de internet, las redes de telecomunicaciones, y, en particular, en las redes FTTH.[1][2][3]

1.3.1.1. Redes FTTH (Fiber to the Home)

Las redes FTTH son una aplicación específica de la fibra óptica que extiende la conexión de fibra directamente hasta los hogares y empresas. En este tipo de red, la fibra óptica llega hasta el cliente final, asegurando un servicio de alta velocidad y baja latencia. A diferencia de otros sistemas, como las redes FTTN (Fiber to the Node) o FTTB (Fiber to the Building), donde la fibra se extiende solo hasta un nodo o edificio, la tecnología FTTH elimina la dependencia de cables de cobre en el último tramo de conexión, garantizando una mejor calidad y consistencia en la velocidad de transmisión.[2][3][4]

1.3.1.2. Importancia de la Red de Fibra Óptica en FTTH

En el contexto de proyectos B2B, como el de Telefónica, las redes FTTH juegan un papel crucial para ofrecer servicios de internet de alta velocidad y aplicaciones

comerciales avanzadas. La red de fibra permite brindar servicios de alta capacidad, esenciales para empresas que demandan conexiones confiables y de baja latencia. Además, la infraestructura FTTH es escalable, permitiendo que nuevos servicios y mayor ancho de banda puedan ser ofrecidos sin requerir una actualización significativa de la red física.[1][2][5]

1.3.1.3. Ventajas de la Fibra Óptica en FTTH

Las redes de fibra óptica en FTTH ofrecen múltiples beneficios que las hacen superiores a las redes basadas en cobre. Primero, destacan por su alta capacidad y velocidad, permitiendo conexiones de gigabits que son críticas para la transmisión de datos en tiempo real y el soporte de aplicaciones empresariales intensivas en datos. Además, la fibra óptica proporciona estabilidad y confiabilidad, ya que no es susceptible a interferencias electromagnéticas, resultando en una conexión más estable. Otro beneficio importante es la baja latencia, que garantiza tiempos de respuesta rápidos, una característica esencial para aplicaciones que requieren una interacción inmediata. Por último, la escalabilidad de la fibra óptica permite manejar el crecimiento en la demanda de ancho de banda, adaptándose a la expansión futura sin necesidad de una actualización significativa de la infraestructura física. [2][3][4]

1.3.2. COMPONENTES CLAVE RED FTTH

La arquitectura de una red FTTH (Fiber to the Home) se compone de varios elementos fundamentales que permiten la transmisión eficiente de datos desde el proveedor de servicios hasta el cliente final. Estos componentes clave aseguran la alta velocidad, baja latencia y fiabilidad que caracterizan a las redes de fibra óptica.[6][7][8]

Central: La central, también conocida como "headend" o "oficina central", es el punto inicial de la red FTTH donde se originan los servicios de telecomunicaciones, como internet, televisión y telefonía. En esta instalación, se encuentran los equipos de transmisión óptica, como el OLT, que es el dispositivo encargado de convertir las señales eléctricas en señales ópticas para su transmisión a través de la red de fibra.

OLT (Optical Line Terminal): La OLT es el dispositivo principal en la central que conecta la red troncal (backbone) del proveedor de servicios con la red de distribución FTTH. Este equipo permite la multiplexación y demultiplexación de las señales ópticas, además de gestionar y distribuir la señal a múltiples usuarios a través de la red. El OLT también tiene funciones de control, como la asignación de ancho de banda, la autenticación de dispositivos y la supervisión del estado de la red.

Red de Distribución Óptica (ODN): La red de distribución óptica (ODN) es la infraestructura de fibra que conecta el OLT en la central con los puntos de acceso en cada vecindario o edificio. La ODN incluye diferentes componentes, como divisores ópticos (splitters), cables de distribución y conexiones intermedias. Los divisores ópticos son elementos clave en la red FTTH, ya que permiten dividir una sola señal óptica en múltiples señales, posibilitando que una misma fibra sirva a varios clientes sin necesidad de una fibra individual para cada uno. Esto aumenta la eficiencia de la red al reducir la cantidad de fibra necesaria.

Divisores Ópticos (Splitters): Los divisores ópticos son dispositivos pasivos que dividen la señal óptica de un solo cable de fibra en varias señales de menor potencia que pueden distribuirse a múltiples usuarios. Los splitters se encuentran en puntos estratégicos de la red y permiten que una única señal proveniente del OLT sea distribuida a varios hogares o empresas. Existen divisores de diferentes ratios de división, como 1:8, 1:16, o 1:32, lo que permite conectar desde ocho hasta treinta y dos clientes con una sola fibra, optimizando el uso de la infraestructura.

CTO (Caja Terminal Óptica): La caja terminal óptica (CTO) es el punto de terminación en la red de distribución. En esta caja, que suele estar ubicada en postes, paredes externas o dentro de edificios, se realiza la conexión final que lleva la señal óptica hasta el cliente. La CTO permite la conexión y desconexión rápida de los clientes, además de proteger las fibras y facilitar el acceso a los técnicos para realizar mantenimiento y reparaciones. Las CTOs suelen contar con múltiples puertos para conectar a varios clientes en la misma ubicación, facilitando el despliegue de fibra en áreas densamente pobladas.

Empalmes de Fibra Óptica: Los empalmes son conexiones permanentes entre dos cables de fibra óptica y son utilizados en toda la red para unir segmentos de fibra. Estos empalmes pueden realizarse mediante fusión, en donde las fibras se funden para formar una conexión continua, o mediante conectores mecánicos. Los empalmes de fibra son esenciales para mantener la integridad de la señal en la red FTTH, ya que una conexión defectuosa puede generar pérdidas de señal o interferencias.

ONT (Optical Network Terminal): El ONT es el dispositivo instalado en el hogar o empresa del cliente que convierte la señal óptica de la fibra en una señal eléctrica que puede ser utilizada por los dispositivos finales, como routers, televisores y teléfonos. El ONT es el último componente en la red FTTH y es esencial para que el usuario pueda recibir los servicios de telecomunicaciones. Este dispositivo se conecta directamente a la CTO mediante una fibra óptica, y en algunos casos puede estar integrado en el router de los usuarios.

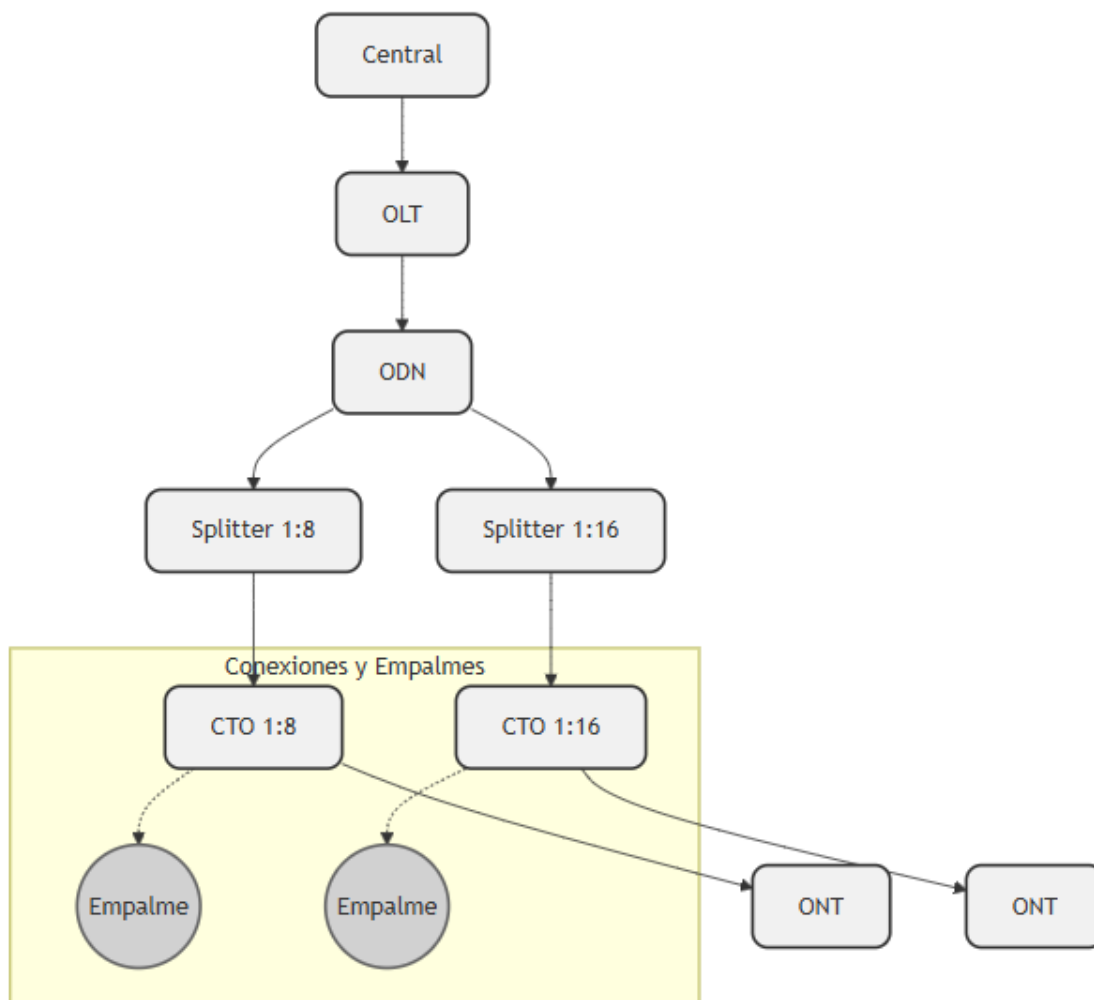


Figura 1. Arquitectura red FTTH.

En la *Figura 1* se muestran los elementos principales de una red FTTH. La señal de fibra óptica inicia en la Central y es gestionada por el OLT (Optical Line Terminal), que actúa como el punto de acceso principal a la red de distribución óptica (ODN). Desde el ODN, la señal se distribuye mediante divisores ópticos (Splitters), con opciones de 1:8 y 1:16, que permiten ampliar la capacidad de la red. Estos splitters dirigen la señal hacia las CTO (Cajas Terminales Ópticas), que pueden soportar 8 o 16 conexiones según el tipo de splitter. Las CTO, a su vez, están conectadas a puntos de Empalme, que facilitan la expansión y el mantenimiento de la red al unir o extender las conexiones de fibra óptica.

1.3.3. FORMULA HAVERSINE

La **fórmula de Haversine** es una fórmula matemática que se utiliza para calcular la distancia entre dos puntos en la superficie de una esfera, dado sus valores de latitud y longitud. Esta fórmula tiene aplicaciones en geolocalización y navegación, ya que permite obtener una estimación precisa de la distancia "en línea recta" entre dos puntos sobre la Tierra, teniendo en cuenta su curvatura. La fórmula de Haversine[9][10][11] se expresa como:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$
$$c = 2 \cdot \text{atan2}\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right)$$
$$d = R \cdot c$$

Donde:

- φ_1, φ_2 son las latitudes de los dos puntos (en radianes).
- λ_1, λ_2 son las longitudes de los dos puntos (en radianes).
- R es el radio de la Tierra (aproximadamente 6,371 km).
- $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ es la diferencia entre las latitudes de los dos puntos.
- $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ es la diferencia entre las longitudes de los dos puntos.
- d es la distancia entre los dos puntos a lo largo de la superficie de la Tierra.

La fórmula comienza calculando la diferencia entre las latitudes y longitudes de los dos puntos en cuestión. Esto se hace en términos de radianes, ya que las funciones trigonométricas de la fórmula requieren que los ángulos estén expresados en este formato.

La parte central de la fórmula utiliza el haverseno de los ángulos ($\sin^2$), que ayuda a ajustar las distorsiones debido a la curvatura de la Tierra, y asegura que la fórmula sea precisa en el cálculo de distancias sobre la superficie esférica.

La función atan2 calcula el ángulo central c , que es la medida del ángulo entre los dos puntos en la esfera terrestre. Este ángulo es clave para determinar la distancia real a lo largo de la curvatura terrestre.

Finalmente, se multiplica el ángulo central c por el radio de la Tierra R para obtener la distancia real entre los dos puntos en línea recta.

1.4. OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un mecanismo automatizado para seleccionar las CTOs Y Empalmes más viables en proyectos de instalación masiva de fibra óptica para el área de Despliegue FTTH en la empresa Telefónica.

ESPECÍFICOS

- Proponer un algoritmo que identifique la CTO más cercana a una coordenada geográfica para proyectos del área de Despliegue FTTH.
- Implementar el algoritmo en Python que permita evaluar puntos de manera individual o masiva para los proyectos B2B en proceso de aprobación de viabilidad de Telefónica.
- Validar el funcionamiento del algoritmo mediante la comparación de los resultados previos a la solución con los resultados generados.

2. ALGORITMO PARA IDENTIFICACIÓN DE CTOs EN EL DESPLIEGUE DE PROYECTOS FTTH

En este capítulo se presenta el algoritmo diseñado para la identificación de CTOs en proyectos de despliegue FTTH, destacando su importancia en la automatización de procesos de viabilidad y selección en proyectos masivos. Este desarrollo responde a los requerimientos específicos proporcionados por mi jefe de área, quien recibió la responsabilidad de automatizar el proceso para mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos en la evaluación de cobertura. El algoritmo tiene como objetivo identificar CTOs disponibles y empalmes cercanos con la capacidad suficiente, lo que permite una selección más rápida y precisa en la fase de planificación.

Se detallan los requerimientos necesarios para su implementación, las herramientas utilizadas, como bases de datos SQL Server y Python, y los componentes clave del sistema. Además, se incluye un diagrama de secuencia que ilustra las interacciones y flujos principales del algoritmo, proporcionando una visión clara de su funcionamiento. Este sistema no solo mejora la precisión en la identificación de CTOs y empalmes, sino que también contribuye a la reducción de recursos y la agilización de los procesos dentro del proyecto, alineándose con los objetivos de mejora establecidos por mi jefe de área.

2.1. REQUERIMIENTOS

- El programa debe permitir ingresar coordenadas geográficas válidas (latitud y longitud) y una dirección parametrizada (ejemplo: "CL 51 KR 13-92"). La dirección debe estar correctamente estructurada según el formato establecido para que el sistema pueda realizar la búsqueda exacta. Es necesario que las coordenadas tengan una precisión adecuada, preferiblemente con al menos cuatro decimales, para evitar errores de localización. Coordenadas con poca precisión, como solo dos decimales, pueden generar un margen de error significativo y afectar la asignación correcta de CTOs y empalmes, lo que impacta negativamente en la viabilidad del proyecto.
- El programa debe ser capaz de procesar desde 1 hasta puntos de manera masiva, permitiendo ingresar múltiples puntos en un solo proceso y responder de manera correcta para cada uno de ellos, asegurando que cada búsqueda se realice de forma eficiente y precisa.
- El programa debe realizar una búsqueda por dirección exacta en las tablas Postes y Patch Panels, comparando la dirección y las coordenadas geográficas. Si la distancia calculada por la fórmula de Haversine es cero, pero la dirección no coincide exactamente, se considerará igualmente como una dirección exacta.

Estas tablas ya existen y contienen datos históricos de instalaciones de la organización, incluyendo todos los conversores. Fueron creadas previamente y se actualizan regularmente con la información de las instalaciones.

- Las CTOs seleccionadas deben estar a una distancia máxima de 500 metros en línea recta de la dirección buscada. Sin embargo, la distancia real puede ser mayor a 500 metros después de aplicar la fórmula de distancia para determinar la proximidad exacta de la CTO.
- Las CTOs PC (conjunto cerrado) deben ser descartadas de la búsqueda, ya que no se pueden acceder para instalaciones. Solo se deben considerar las CTOs CT (conjunto terminal) como opciones viables.
- Para cada CTO encontrada, se debe verificar la disponibilidad de puertos. Si una CTO tiene puertos ocupados, el programa debe continuar la búsqueda hasta encontrar una CTO con puertos disponibles. La disponibilidad de todos los puertos se encuentra registrada en la tabla de Ocupación. Si no hay puertos disponibles en ninguna CTO dentro de un rango cercano, se debe informar de la falta de disponibilidad.
- Si no se encuentra una CTO con puertos disponibles en la dirección exacta, el programa debe buscar la CTO más cercana, aplicando la fórmula de Haversine y tomando en cuenta la proximidad de la dirección ingresada.
- El programa debe ser capaz de manejar situaciones donde se encuentren varias CTOs dentro de un área geográfica similar, pero no todas estén disponibles, eligiendo la más cercana con puertos disponibles.
- Las CTOs deben estar a una distancia máxima de 500 metros de la dirección proporcionada, pero la distancia real entre la dirección y la CTO puede superar los 500 metros después de aplicar el cálculo de distancia con la fórmula. Para el cálculo de la distancia real entre la dirección y la CTO, se debe utilizar la fórmula: 'Distancia' = $\text{int}((\text{distancia} * 0.41) + \text{distancia} + 0.999999)$, donde "distancia" es el valor obtenido por la fórmula de Haversine.
- Las CTOs deben tener el suficiente número de puertos disponibles para el nuevo servicio, de acuerdo con la demanda de la instalación. En caso de que la CTO esté completamente ocupada, el programa debe descartar esa CTO y buscar la siguiente más cercana con capacidad libre.
- Si la CTO no está a menos de 500 metros, el sistema debe descartar esa CTO y buscar la siguiente más cercana que cumpla con el criterio de distancia.

- Los empalmes cercanos deben estar a una distancia máxima de 1000 metros de la dirección solicitada. La búsqueda de empalmes debe ser realizada cruzando la información con las tablas EmpalmesV2 y EmpalmesV3, para encontrar los empalmes más cercanos con la capacidad necesaria y dentro del rango de distancia especificado. Para el cálculo de la distancia de los empalmes, se debe utilizar la distancia lineal.
- El programa debe devolver dos resultados de CTOs y empalmes si están disponibles dentro de los parámetros establecidos. Si se encuentran más de dos CTOs o empalmes viables, el sistema debe mostrar los dos más cercanos a la dirección solicitada. Estos resultados deben estar ordenados por distancia.
- El programa debe devolver los resultados ordenados por distancia, desde la CTO más cercana hasta la más lejana, y debe mostrar la información relevante de la CTO viable para cada punto.
- El reporte generado debe incluir dos hojas: CTO y Empalmes, donde se detallen las CTOs y los empalmes encontrados, junto con la información de distancia, puertos e hilos disponibles, respectivamente.
- El sistema debe ser escalable, permitiendo la integración con otras bases de datos y plataformas en futuros proyectos de despliegue masivo de fibra óptica, y debe ser capaz de manejar una gran cantidad de datos y solicitudes simultáneas sin afectar su rendimiento.

2.2. HERRAMIENTAS DE LA SOLUCIÓN

Dentro de las herramientas de la solución, se utilizó SQL Server Express y Visual Studio. SQL Server Express es una versión ligera y gratuita de Microsoft, ideal para gestionar los datos del proyecto de fibra óptica, permitiendo consultas eficientes y el almacenamiento organizado de la información. Por su parte, Visual Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) que facilita la ejecución y desarrollo del código, integrando lenguajes como Python, utilizado para automatizar el procesamiento de datos.

Es fundamental contar con una base de datos estructurada para gestionar la información de las CTOs y empalmes, y un lenguaje de programación flexible como Python para automatizar las consultas y análisis. A continuación, se explican en detalle estas herramientas y su rol en el proyecto.

2.2.1. SQL

SQL (Structured Query Language) es un lenguaje de programación especializado en la gestión y manipulación de bases de datos relacionales. Es el estándar para la

creación, consulta, actualización y gestión de datos en sistemas de bases de datos. SQL Server Express es una versión ligera y gratuita del sistema de gestión de bases de datos de Microsoft (DBMS), diseñada para manejar volúmenes medianos de datos y proporcionar una solución eficiente y escalable para proyectos que requieren la administración de grandes cantidades de información.[12][13]

En este caso, SQL Server Express se utiliza para almacenar y organizar los datos esenciales del proyecto de despliegue de fibra óptica. La base de datos CDS, ubicada en el servidor local BOGLSREBOLLEDO, contiene tablas como FPostes, PatchPannelF, DivisorSitio, DivisorTerminal, EmpalmesV2, EmpalmesV3 y Ocupación, que almacenan información sobre la ubicación de los postes, los paneles de parcheo, los divisores de sitio y terminal, los empalmes y la ocupación de puertos. La capacidad de SQL para realizar consultas avanzadas, como la búsqueda de coordenadas geográficas y la verificación de disponibilidad de puertos, permite realizar búsquedas rápidas y precisas que mejoran el proceso de selección de CTOs y empalmes, reduciendo significativamente el tiempo necesario para realizar estas tareas manualmente.

El uso de SQL Server Express es una excelente solución porque proporciona un sistema confiable y seguro para almacenar los datos. Además, la estructura relacional de SQL permite gestionar de manera eficiente la interrelación de las distintas tablas, lo cual es fundamental para un proyecto de la magnitud de este, que maneja múltiples variables como distancias, coordenadas y disponibilidad de equipos.

2.2.2. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado, conocido por su sintaxis clara, sencilla y fácil de aprender. Es muy utilizado en el análisis de datos, desarrollo web, automatización y programación científica, entre otros campos. Python es particularmente poderoso para la manipulación y procesamiento de grandes volúmenes de datos gracias a sus bibliotecas especializadas, como Pandas y NumPy, que facilitan el análisis, procesamiento y cálculos matemáticos y geoespaciales.[14][15]

En este proyecto, Python es la herramienta central para el procesamiento de datos, la automatización de las consultas y la implementación de la lógica de selección de CTOs y empalmes más cercanos. Con Python, se pueden integrar diversas fuentes de datos y realizar cálculos complejos, como el cálculo de distancias entre coordenadas utilizando la fórmula de Haversine o la conversión de distancias geográficas en distancias lineales. Además, Python permite la integración fluida con SQL Server para realizar consultas a la base de datos, optimizando el flujo de trabajo y permitiendo la automatización de tareas repetitivas, lo cual acelera el proceso de selección de CTOs y empalmes.

Python es una excelente solución para este problema porque ofrece flexibilidad, rendimiento y una amplia gama de bibliotecas que hacen que las tareas complejas, como el análisis de grandes volúmenes de datos o la integración de diferentes sistemas, sean mucho más sencillas de implementar. Además, Python es un lenguaje abierto y ampliamente soportado por la comunidad, lo que significa que existen muchas herramientas y recursos disponibles para mejorar y optimizar el código a medida que surgen nuevas necesidades o desafíos en el proyecto.

2.2.3. Salida Programa

El archivo Excel generado a partir de las consultas y procesamiento de datos contiene los resultados organizados en dos hojas principales: CTO y Empalmes. Este formato es ideal para la revisión y análisis de los resultados por parte de los miembros del equipo, ya que Excel es una herramienta de uso común.

El uso de Excel permite que los resultados sean fácilmente filtrados, ordenados y analizados, facilitando la toma de decisiones sobre los CTOs y empalmes más viables para el despliegue de fibra óptica.

La capacidad de Excel para realizar operaciones de análisis de datos, como la creación de gráficos y tablas dinámicas, también permite realizar un análisis más profundo de los resultados, lo que facilita la verificación y validación de las CTOs y empalmes seleccionados. Esta solución es beneficiosa porque no solo presenta los resultados de manera clara y accesible, sino que también permite un fácil intercambio de la información con otros miembros del equipo o la integración de los resultados en reportes más amplios.

2.3. COMPONENTES

La Figura 2 ilustra las herramientas clave utilizadas en el proceso automatizado de búsqueda y selección de CTOs y empalmes cercanos, mostrando las interacciones entre las tecnologías involucradas. La combinación de SQL Server Express, Python y Excel proporciona un flujo de trabajo cohesivo y eficiente, donde cada componente cumple un rol específico, complementando los otros en sus funcionalidades.

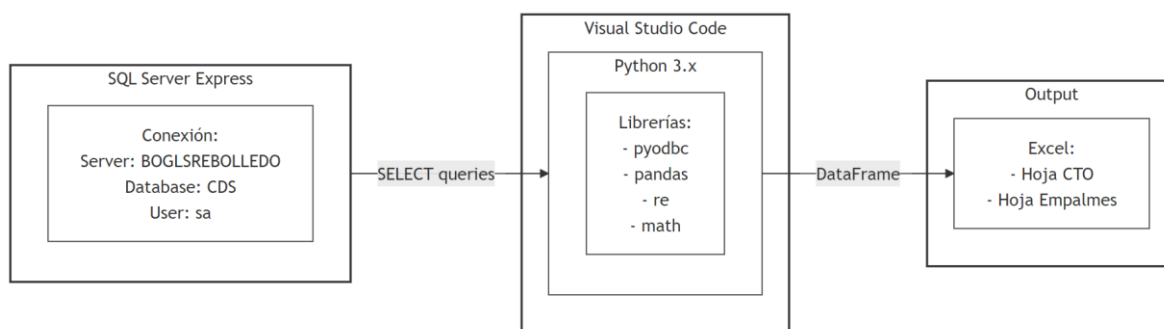


Figura 2. Componentes Solución.

1. SQL Server Express gestiona y organiza grandes volúmenes de datos, permitiendo realizar consultas complejas y rápidas sobre coordenadas, disponibilidad y características de CTOs y empalmes.[12][13]
2. Python procesa la información extraída, aplicando cálculos avanzados y automatizando las decisiones en base a criterios predefinidos como proximidad y disponibilidad de puertos, asegurando precisión y rapidez.[14][15]
3. Excel facilita la presentación final de resultados, donde los datos procesados se organizan en un formato intuitivo y accesible para el usuario final, permitiendo revisar y analizar los resultados sin necesidad de interactuar con bases de datos o código.

Esta integración permite al sistema operar con una alta precisión y eficiencia, transformando los datos complejos en información clara y útil para el despliegue de redes de fibra óptica.

2.4. DIAGRAMA DE SECUENCIA

Para representar el proceso de selección de CTOs y empalmes en el sistema, se optó por utilizar un diagrama de secuencia. Esta decisión se tomó debido a que el diagrama de flujo, aunque útil para representar procesos generales, resultaba ser demasiado extenso y complicado para ilustrar de manera clara las interacciones entre los diferentes componentes del sistema. El diagrama de flujo no lograba transmitir de forma eficiente la secuencia de acciones ni las relaciones entre los elementos del proceso. En cambio, el diagrama de secuencia permite representar de manera más precisa y detallada las interacciones paso a paso entre los distintos actores y el sistema, facilitando su comprensión y proporcionando una visión más clara del flujo de información y decisiones a lo largo del proceso.

En la Figura 3 se muestra el diagrama con el proceso previo, donde las interacciones entre los componentes del sistema requerían de más tiempo y de mayor interacción de personas por el intercambio de información entre áreas. En este proceso, la selección de CTOs y empalmes dependía en gran medida de la intervención humana dado que se revisaban puntos 1 a 1, lo que provocaba demoras y posibles errores en la identificación de las opciones más adecuadas. Aunque no se conocen todos los detalles específicos del proceso previo, ya que se manejaba en otra área, se sabe que la revisión de direcciones se realizaba de forma manual y el tiempo dependía en gran medida del volumen de puntos. En la mayoría de los casos, la respuesta por dirección exacta se obtenía casi de manera inmediata, pero el proceso por coordenadas tomaba más tiempo, y en general,

todas las respuestas del área nunca fueron menores a 3 días, incluso con volúmenes de datos menores a 250 puntos.

Por otro lado, en la Figura 4, se presenta el diagrama con el proceso actual, el cual ha sido automatizado mediante el algoritmo desarrollado. Este nuevo proceso agiliza la selección al realizar búsquedas más rápidas y precisas, reduciendo los tiempos y mejorando la exactitud en la identificación de las CTOs y empalmes viables para cada proyecto.

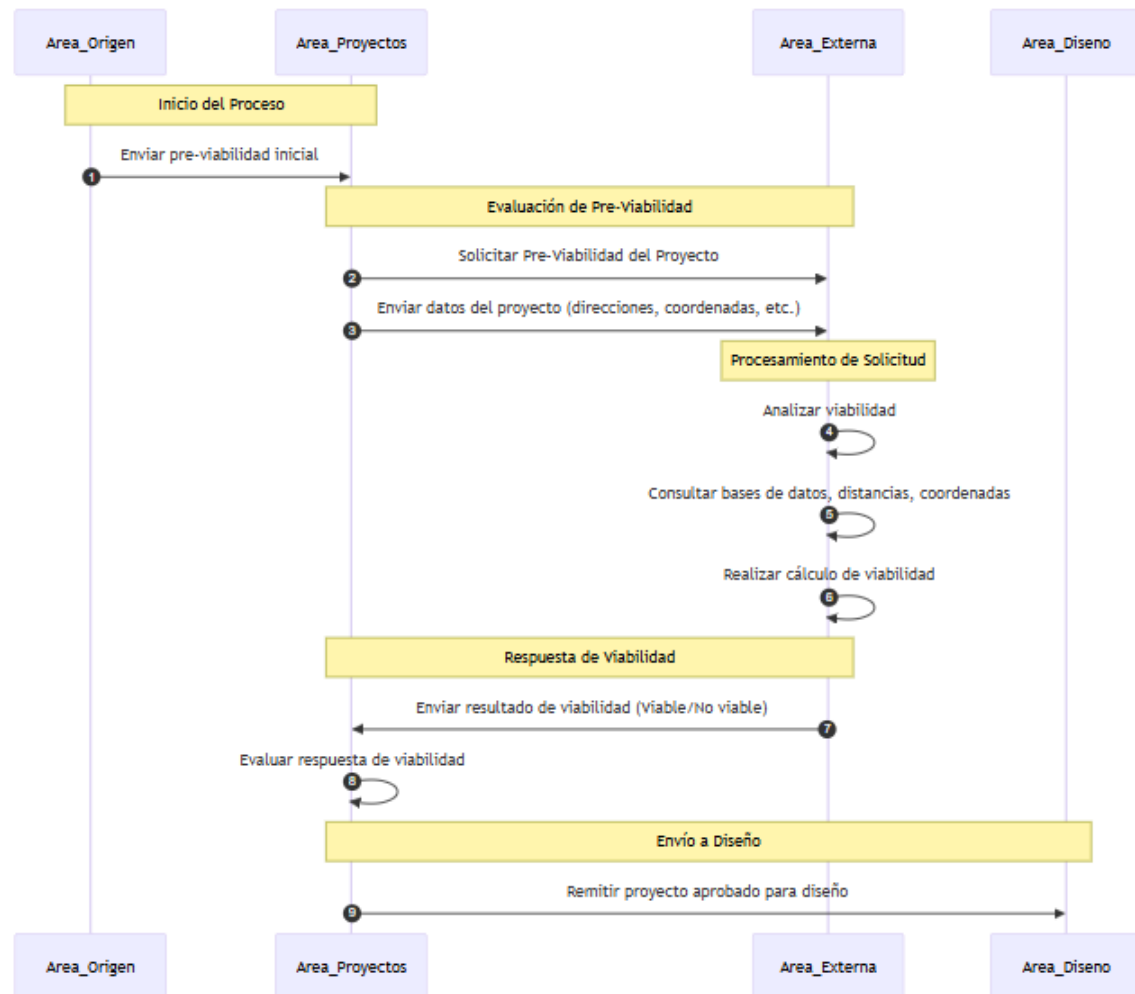


Figura 3. Diagrama de Secuencia Previa

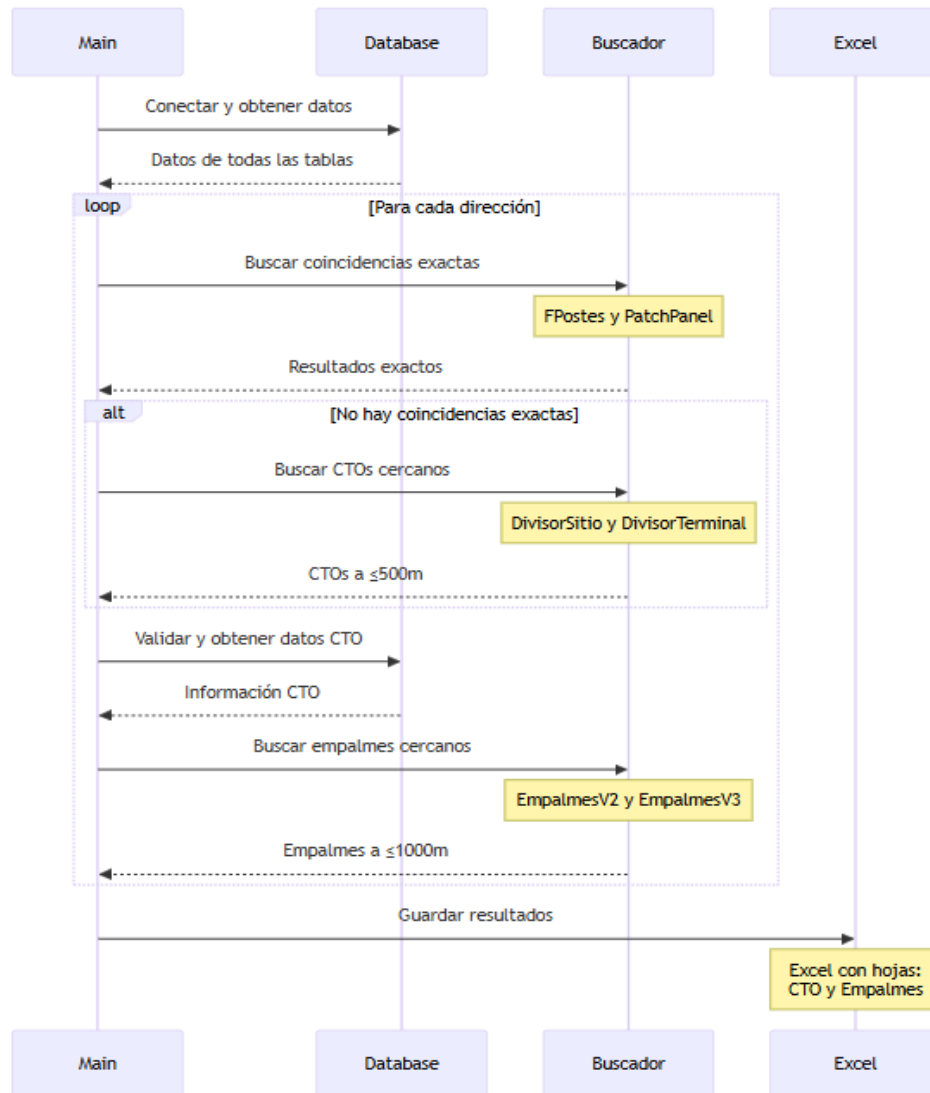


Figura 4. Diagrama de Secuencia Actual

La Figura 4 describe el proceso secuencial para la búsqueda y validación de CTOs (Cajas Terminales Ópticas) y Empalmes dentro del sistema de despliegue de fibra óptica. Este flujo es fundamental para evaluar la viabilidad de instalación de fibra en nuevas ubicaciones, asegurando tanto precisión como eficiencia en el análisis masivo de direcciones propuestas.

En primer lugar, el sistema, representado por el componente principal 'Main', establece una conexión con la base de datos ('Database'). Una vez que la conexión es exitosa, 'Main' obtiene información relevante de todas las tablas necesarias, incluyendo 'FPostes', 'PatchPannelF', 'DivisorSitio', 'DivisorTerminal', 'EmpalmesV2', y 'EmpalmesV3'. Si la conexión falla, el proceso se interrumpe de inmediato.

Luego, para cada dirección recibida, `Main` inicia un proceso de búsqueda en el módulo `Buscador` para encontrar coincidencias exactas en las tablas `FPostes` y `PatchPannelF`. Si se encuentra una coincidencia exacta, `Buscador` retorna los resultados a `Main`.

En caso de que no haya coincidencias exactas, `Main` solicita al `Buscador` realizar una búsqueda de CTOs cercanos utilizando las tablas `DivisorSitio` y `DivisorTerminal`. Aquí, el sistema busca CTOs que se encuentren a una distancia máxima de 500 metros de la dirección dada. Si se encuentran CTOs viables en esta etapa, `Buscador` devuelve la lista de CTOs cercanos a `Main`.

A continuación, `Main` valida la información de CTO obtenida y solicita a la base de datos (`Database`) más detalles sobre estos CTOs para asegurar su disponibilidad y viabilidad. Posteriormente, `Main` solicita al `Buscador` realizar una búsqueda de empalmes cercanos en las tablas `EmpalmesV2` y `EmpalmesV3`, buscando aquellos que se encuentren a una distancia máxima de 1000 metros de la dirección objetivo.

Finalmente, con todos los resultados recopilados, `Main` transfiere los datos al componente `Excel`, donde los resultados se guardan en un archivo Excel. Este archivo contiene dos hojas principales: una con los CTOs encontrados y otra con los empalmes cercanos, permitiendo una revisión y análisis más detallados.

Este flujo secuencial permite no solo mejorar la evaluación masiva de direcciones, sino también asegurar que cada CTO y empalme seleccionado cumpla con los requisitos necesarios para la instalación de fibra óptica en nuevas ubicaciones.

3. IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO EN PYTHON

Para la implementación del algoritmo en Python, se detallan los aspectos clave que conforman su estructura y funcionamiento. En primer lugar, se realiza la configuración inicial SQL, que establece los parámetros de conexión y las consultas necesarias para acceder a las bases de datos y obtener los datos de las CTOs y empalmes. A continuación, se describen las dependencias del sistema, incluyendo las bibliotecas necesarias para interactuar con SQL Server, realizar cálculos geográficos y manipular los resultados. En la sección de explicación del código, se profundiza en la estructura y el flujo del programa, destacando las funciones esenciales que gestionan las búsquedas y validaciones. La función main organiza y ejecuta el proceso principal del algoritmo, gestionando las fases de búsqueda y selección de las CTOs más viables, utilizando la fórmula de Haversine para calcular las distancias más cercanas. Finalmente, en la respuesta del algoritmo, se explica cómo el sistema presenta los resultados en un archivo Excel, mostrando las CTOs seleccionadas, las validaciones realizadas y el flujo completo de trabajo que da como resultado una selección eficiente y automatizada de las CTOs y empalmes.

3.1. CONFIGURACIÓN INICIAL SQL

La configuración inicial en **SQL Server Express** establece la base para almacenar, organizar y ordenar los datos que el sistema automatizado utilizará para la búsqueda y selección de CTOs y empalmes cercanos. Este proceso de configuración organiza las tablas, ajusta los índices y reduce el tamaño de las bases, lo cual es esencial para realizar consultas complejas y cálculos de proximidad de manera eficiente.

Para lograr esto, se emplean una serie de comandos y procesos que permiten estructurar las tablas de manera adecuada, asegurar la integridad de los datos y configurar los parámetros que serán utilizados en el análisis automatizado.

3.1.1. DESCRIPCION SCRIPTS SQL

Para la correcta ejecución del programa, se realizó una preparación previa de las tablas en la base de datos, lo cual permitió que el algoritmo pudiera ser ejecutado de manera efectiva. En total, se emplearon seis scripts SQL, los cuales están disponibles en formato .txt para su consulta y análisis. A continuación, se detallan cada uno de estos scripts, explicando su función y la manera en que contribuyen al procesamiento de datos en el sistema.

El [Anexo1.1.txt](#) incluye las operaciones SQL aplicadas a la tabla de postes. En primer lugar, se elimina la tabla AcometidasPostesF existente para evitar redundancias y se realiza una actualización sobre esta misma tabla, añadiendo la columna DIRECCIONP. Esta columna permite almacenar una versión

estandarizada y limpia de las direcciones, eliminando información entre paréntesis para facilitar las búsquedas y mejorar la exactitud de coincidencia de direcciones. Posteriormente, se elimina la tabla Postes, y mediante una consulta de eliminación de duplicados, se crea nuevamente. Este último paso garantiza que cada ubicación de poste tenga una representación única, mejorando así la eficiencia de las consultas que buscarán coordenadas precisas de postes para el despliegue de la red de fibra óptica.

El [Anexo1.2.txt](#) describe las modificaciones realizadas en la tabla de AcometidasPatchPannelF, que contiene la información relacionada con los puntos de conexión de red (patch pannels). Al igual que con la tabla de postes, primero se elimina la tabla existente AcometidasPatchPannelF para prevenir duplicados. Luego, se añade la columna DIRECCIONP, la cual permite almacenar una dirección estandarizada al eliminar cualquier información adicional no relevante (como datos entre paréntesis) de los campos TITLE_STREET_NAME y NUM. Esta operación se realiza mediante una actualización que limpia las direcciones en ambas columnas de la tabla. Posteriormente, se elimina la tabla PatchPannel y se crea de nuevo usando una consulta que elimina duplicados, garantizando que cada entrada de la tabla tenga coordenadas únicas. Esto es fundamental para mejorar la precisión de las consultas que se en el sistema de despliegue de fibra óptica.

El [Anexo1.3.txt](#) describe las modificaciones realizadas en la tabla Divisor_Ampliacion_Sitio_3 para mejorar su estructura y funcionalidad en el contexto del proyecto de despliegue de fibra óptica. Primero, la tabla es eliminada para evitar conflictos y luego se agregan las columnas Coordenada_X y Coordenada_Y, que almacenan coordenadas estandarizadas extraídas del campo Rep Gráfica Site Holder Punto Ángulo, el cual contiene las coordenadas en un formato de texto. También se eliminan las filas con campos vacíos en Rep Gráfica Site Holder Punto Ángulo, asegurando que solo los registros con coordenadas válidas se mantengan. Posteriormente, se añade una columna llamada cruce, donde se almacena el identificador de CTO obtenido mediante una consulta que vincula el Sitio ID con la tabla OcupTelefonica. Finalmente, se depuran los registros eliminando aquellos que no contienen una CTO válida (que debe empezar con "CT" o no estar vacía), garantizando que solo los datos relevantes permanezcan en la tabla.

El [Anexo1.4.txt](#) describe las modificaciones realizadas en la tabla Divisor_Ampliacion_3 para mejorar su estructura y facilitar la integración de datos en el proceso de selección de CTOs y empalmes. En primer lugar, se elimina la tabla existente para evitar conflictos, y luego se añaden las columnas Coordenada_X y Coordenada_Y para almacenar las coordenadas extraídas del campo Rep Gráfica Punto de acceso Punto Ángulo. Posteriormente, se eliminan los registros con valores vacíos en este campo para asegurar que solo se conserven registros con

datos válidos. A continuación, las coordenadas geográficas se extraen y se dividen en dos columnas, utilizando una combinación de funciones de manipulación de texto para convertir el formato POINT(x, y) en valores separados para Coordenada_X y Coordenada_Y. Este proceso asegura que las coordenadas estén en un formato adecuado para su uso en la búsqueda y análisis dentro del sistema.

El [Anexo1.5.txt](#) explica las modificaciones realizadas en la tabla OcupTelefonica, que involucran la creación y filtrado de datos relevantes para el proceso automatizado de selección de CTOs y empalmes. Primero, se eliminan las tablas OcupDispTelefonicaV3 y OcupTelefonica si existían previamente, para garantizar que los datos se actualicen correctamente. Luego, se realiza una consulta para seleccionar y organizar los registros de la tabla OcupDispTelefonicaV3, creando una nueva tabla OcupTelefonica que contiene información sobre el estado de los CTOs, las OLTs (Optical Line Terminals), el cable asignado, los propietarios, y los puertos disponibles (PTO), filtrando por aquellos registros cuyo estado sea "VG" (de disponibilidad). Durante este proceso, también se ajustan ciertos valores, como el nombre del propietario, cambiando "PRE-ONNET" a "ONNET", y se agrupan los registros por CTO, OLT y otros criterios relevantes.

Finalmente, se realiza un filtro para eliminar los registros que no tengan un CTO que comience con 'CT%' o que tengan valores nulos en el campo CTO, asegurando que solo se conserven los datos válidos y pertinentes para la búsqueda y análisis de viabilidad de la instalación de fibra óptica.

El [Anexo1.6.txt](#) describe una serie de modificaciones realizadas a las tablas Empalmes_VB_V2 y Empalmes_VB_V3 con el objetivo de mejorar el manejo y actualización de los datos relacionados con los empalmes en el sistema. En primer lugar, se añaden nuevas columnas a la tabla Empalmes_VB_V2, tales como Coordenada_X, Coordenada_Y, Hilos y Consulta de conexiones Función del Cable lógico de origen, para almacenar información sobre las coordenadas geográficas de los empalmes, la cantidad de hilos disponibles y la función asociada al cable lógico de origen. Posteriormente, se actualizan las columnas de coordenadas (Coordenada_X y Coordenada_Y) extrayendo los valores de la columna Rep Gráfica Punto de acceso Punto Ángulo, que contiene las coordenadas en formato POINT (x y). Además, se calcula la cantidad de hilos disponibles en cada terminal de fibra óptica, restando el número de empalmes ocupados de la capacidad total de cada terminal, lo que se almacena en la columna Hilos. Finalmente, la columna Consulta de conexiones Función del Cable lógico de origen se actualiza con los datos correspondientes de la tabla Empalmes_VB_V3, lo que permite mantener coherente la información sobre las conexiones de cada terminal de fibra óptica.

3.2. DEPENDENCIAS

En esta sección se detallan las librerías y módulos utilizados en el desarrollo del proyecto, que permiten realizar diversas tareas como la manipulación de datos, la conexión con bases de datos y el cálculo de distancias geográficas.

1. re: La librería de expresiones regulares (re) es utilizada para la limpieza y normalización de direcciones, eliminando espacios y garantizando que los formatos de las direcciones sean consistentes.[16]

2. pyodbc: `pyodbc` es una librería que permite la conexión con bases de datos SQL Server (y otras bases de datos compatibles con ODBC). Esta dependencia se utiliza para realizar consultas y obtener datos directamente desde las bases de datos del proyecto, lo que es fundamental para interactuar con la información almacenada en servidores externos.[17]

3. pandas: `pandas` es una de las librerías más populares para el análisis de datos en Python. Facilita la manipulación de grandes volúmenes de datos en estructuras tabulares (como DataFrames), proporcionando herramientas poderosas para filtrar, agrupar, y realizar operaciones estadísticas sobre los datos. Esta librería es esencial para procesar la información extraída de las bases de datos y presentarla en formatos más manejables.[18]

4. radians, sin, cos, sqrt, asin: Estas funciones provienen del módulo matemático de Python y se utilizan para realizar cálculos de distancias geográficas. En particular, se emplean en la fórmula de Haversine para calcular la distancia entre dos puntos geográficos, lo cual es crucial para el análisis de ubicaciones en proyectos de despliegue de fibra óptica.[19]

Estas librerías son fundamentales para el funcionamiento del sistema, ya que permiten la conexión con bases de datos, la manipulación y análisis de datos geoespaciales, y la realización de cálculos matemáticos para determinar distancias entre ubicaciones.

3.3. EXPLICACIÓN CÓDIGO

En el desarrollo de este programa, se implementaron un total de doce funciones principales. Estas funciones cubren aspectos fundamentales del proceso, como la estandarización de direcciones, la corrección de coordenadas, el cálculo de distancias geográficas, la búsqueda de coincidencias exactas en diversas tablas y el almacenamiento de resultados. A continuación, se describen detalladamente estas funciones, explicando su propósito y cómo contribuyen al funcionamiento del sistema, el código completo se encuentra en el [Anexo2.txt](#)

estandarizar direccion(direccion) Esta función toma como entrada una dirección y la convierte a un formato estándar, eliminando espacios adicionales y convirtiendo

todo el texto a mayúsculas. Esto garantiza que las comparaciones de direcciones sean consistentes.

corregir coordenada(coordenada) Se encarga de asegurar que las coordenadas sean numéricas. Si la coordenada está en formato texto, la convierte en un número flotante, corrigiendo comas por puntos cuando es necesario, y maneja casos donde la coordenada es nula.

haversine(lat1, lon1, lat2, lon2) Calcula la distancia entre dos puntos geográficos dados en coordenadas de latitud y longitud utilizando la fórmula de Haversine. Este cálculo es esencial para determinar la proximidad entre ubicaciones.

obtener datos(query, cursor) Ejecuta una consulta SQL en la base de datos y retorna los resultados. Es utilizada para obtener los datos necesarios de las tablas de la base de datos que contienen la información de las CTOs y otras entidades relevantes.

buscar en fpostes(direccion buscar, ciudad buscar, resultados fpostes) Realiza una búsqueda de coincidencias exactas en la tabla FPostes, comparando la dirección y ciudad. Si encuentra una coincidencia exacta, guarda la distancia como cero y agrega la fila a la lista de resultados.

buscar en patchpanel(direccion buscar, ciudad buscar, resultados patchpanel) Similar a la función anterior, esta busca coincidencias exactas en la tabla PatchPanelF. Compara la dirección y ciudad, y si encuentra una coincidencia exacta, agrega la fila a los resultados.

buscar en divisorsitio(direccion buscar, ciudad buscar, resultados divisorsitio) Esta función realiza la búsqueda en la tabla DivisorSitio. Filtra las coincidencias basadas en la ciudad y calcula la distancia entre la dirección solicitada y las CTOs encontradas utilizando la fórmula de Haversine. Si se encuentra una CTO viable, agrega el resultado a la lista.

buscar en divisorterminal(direccion buscar, ciudad buscar, resultados divisorterminal) Similar a la función anterior, pero busca en la tabla DivisorTerminal, utilizando el filtro por ciudad y la fórmula de Haversine para determinar la CTO más cercana. Solo se consideran CTOs con el prefijo CT-, descartando las que tienen PC-.

buscar en empalmes(direccion buscar, ciudad buscar, resultados empalmes) Esta función realiza la búsqueda de empalmes cercanos en la tabla Empalmes. Al igual que en las fases anteriores, se calcula la distancia utilizando la fórmula de Haversine y se registra la información del empalme más cercano, incluyendo detalles como la cantidad de hilos disponibles y su capacidad.

obtener_cto(cursor) Obtiene los datos de las CTOs (concentradores de terminales ópticos) desde la base de datos. Esta función es esencial para validar la existencia de un CTO y obtener su información relacionada, como el nombre de la OLT y el tipo de cable.

validar_id_cto(id_cto, cursor) Verifica si un ID de CTO existe en la base de datos, asegurando que solo se procesen CTOs válidos. Esto es importante para evitar errores de asignación de CTOs no existentes.

guardar_resultados(resultados, archivo, resultados_empalmes_finales) Guarda los resultados del programa en un archivo Excel, dividiendo la información entre dos hojas: una para los CTOs y otra para los empalmes. Además, organiza y agrega columnas necesarias como RESPUESTA, TIPO ZONA y ORDER para asegurar que los resultados sean claros y estructurados.

3.4. MAIN

El proceso automatizado de búsqueda y selección de CTOs y empalmes cercanos está diseñado para facilitar la instalación de fibra óptica, priorizando la exactitud en la coincidencia de direcciones y la disponibilidad de recursos. A continuación, se describen los pasos detallados de la búsqueda y los criterios de selección utilizados en el proceso:

1. Postes y Patch Pannel

La búsqueda comienza en las tablas que representan dos tipos de infraestructuras: los postes, que corresponden a zonas abiertas (postes en la calle), y los patch pannels, que corresponden a zonas cerradas (conjuntos residenciales o comerciales). Estas tablas almacenan información sobre las ubicaciones donde ya existen implementaciones de fibra óptica.

En esta primera fase, se realiza la búsqueda basándose en dos criterios:

- Coincidencia exacta de dirección: Se verifica si la dirección suministrada coincide exactamente con la dirección almacenada en las tablas, incluyendo la localidad correspondiente.
- Coincidencia de coordenadas: Además de la dirección, se comparan las coordenadas geográficas (latitud y longitud) para asegurar que la ubicación sea precisa. Este es un criterio clave cuando las direcciones pueden ser ambiguas o imprecisas.

El objetivo de esta fase es identificar ubicaciones exactas donde ya se dispone de una infraestructura de fibra óptica, ya sea en postes o en zonas cerradas.

2. Divisor Terminal y Divisor Sitio

Si no se encuentra una coincidencia en las tablas de postes o patch panel, el proceso continúa con la búsqueda en las tablas de divisor terminal y divisor sitio. Estas tablas contienen información sobre otros elementos de infraestructura que pueden ser utilizados para la instalación de fibra óptica.

En este caso, la búsqueda no se realiza mediante coincidencia exacta de dirección, sino que se aplican los siguientes criterios:

- Eliminación de registros PC: Los registros marcados como PC corresponden a conjuntos cerrados o áreas de difícil acceso donde no es viable realizar instalaciones nuevas, por lo que son eliminados del análisis.
- Selección de registros CT-: Solo se conservan los registros etiquetados como CT-, que corresponden a CTOs accesibles para la instalación de fibra óptica.
- Fórmula de Haversine: La búsqueda se realiza utilizando la fórmula de Haversine, que permite calcular la distancia entre dos puntos geográficos (en este caso, entre la ubicación proporcionada y las CTOs registradas) basándose en las coordenadas de latitud y longitud. La fórmula es ideal para este tipo de análisis, ya que tiene en cuenta la curvatura de la Tierra, proporcionando una distancia precisa entre puntos. Con esta fórmula, se seleccionan las dos CTOs más cercanas a la ubicación de interés.

3. Ocupación

Una vez identificadas las CTOs potenciales, el siguiente paso es cruzar la información obtenida con la tabla de ocupación, que indica la disponibilidad de puertos en cada CTO. Las CTOs están diseñadas para albergar conexiones de fibra óptica y, existen CTOs 8 y 16 puertos dependiendo de la necesidad.

El objetivo en esta fase es verificar cuántos puertos disponibles tiene cada CTO. Una CTO con todos los puertos ocupados no es viable para nuevas instalaciones, por lo que solo se consideran las CTOs que aún tienen puertos disponibles. Este cruce de información es esencial para garantizar que las CTOs seleccionadas puedan soportar la nueva conexión de fibra óptica sin necesidad de modificaciones adicionales.

Además de verificar la disponibilidad de puertos, en esta fase también se extrae información adicional de relevancia desde la tabla de ocupación y otras tablas relacionadas con la CTO. Esta información es crucial para completar el análisis de viabilidad y asegurar que la CTO seleccionada cumpla con los requisitos técnicos necesarios para la instalación de fibra óptica. Entre los datos más relevantes se incluyen:

- OLT (Optical Line Terminal): Se identifica la OLT a la que está conectada la CTO. Las OLTs son dispositivos clave en la red de fibra óptica, ya que permiten la distribución de conexiones hacia las CTOs. Conocer a qué OLT

pertenece una CTO ayuda a determinar la capacidad y el estado general de la infraestructura que soportará la conexión.

- Nombre de la OLT: Esta información permite distinguir de manera clara la ubicación y el tipo de OLT, lo cual es relevante para el equipo técnico que gestionará la conexión.
- Estado de la OLT: Se verifica si la OLT es parte de la red ONNET (conectada directamente a la red de fibra de la empresa) o ATP (Área Técnica Pendiente), lo que indica si la CTO está lista para ser utilizada o si requiere alguna intervención técnica previa.

4. Empalmes

De manera simultánea, el sistema realiza una búsqueda en las tablas de empalmes para identificar empalmes cercanos a la ubicación proporcionada. Un empalme es un punto donde se unen o se dividen los cables de fibra óptica, y la disponibilidad de hilos de fibra en estos puntos es crucial para la instalación.

- Disponibilidad de hilos: Se consulta la cantidad de hilos disponibles en cada empalme cercano. Este valor es determinante para definir si el empalme puede soportar nuevas conexiones de fibra.
- Selección de empalmes cercanos: Al igual que con las CTOs, se utilizan las coordenadas geográficas y la fórmula de Haversine para identificar los dos empalmes más cercanos a la ubicación de interés.

3.5. RESPUESTA DEL ALGORITMO

En el proceso de generación de resultados, el código consolida la información obtenida en las búsquedas de CTOs y empalmes, organizando todos los datos en un archivo Excel que facilita su análisis posterior. Al finalizar las búsquedas en las tablas `FPostes`, `PatchPannel`, `DivisorSitio` y `DivisorTerminal`, se estructura la información en dos categorías: CTOs y empalmes.

En la Figura 5 se ilustra el archivo Excel resultante que cuenta con dos hojas. La primera, llamada "CTO", incluye detalles como la dirección, ciudad, coordenadas, ID de CTO, nombre del CTO, nombre del terminal de línea óptica (OLT), descripción del cable de conexión, propietario, orden de trabajo, y disponibilidad de puertos en la CTO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	ID-PR	DS	NOMBRE CLIENTE	Ciudad	Dirección	Latitud	Longitud	ORDER	ID_CTO	PROPIETARIO	CENTRAL	LT_NOMBI	CABLE	CTO	Distancia	PTO_DISP	OT	Tabla	RESPUESTA	TIPO ZONA
2	154745	DS-012664	ETICOS SE VALLEDUPAR	CL 16 KR 1	10,47355	-73,2497	1	265511	ONNET			OH_CESHI CA03	CT3/4-47+	0	3	OT-00316	FPostes	DIR	EXACTA	ZA
3	154745	DS-012664	ETICOS SE VALLEDUPAR	CL 16 KR 1	10,47355	-73,2497	2	279171	ONNET			OH_CESHI CA03	CT5-109-0	94	3	OT-00321	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
4	156265	DS-028573	COLMEDIC BARRANQUILL	CL 76 KR 5	11,00354	-74,8034	1	45358	ONNET			OH_BOGH CA04	CT2-57-04	149	1	OT-00185	DivisorSiti	CTO	CERCA	ZC
5	156265	DS-028573	COLMEDIC BARRANQUILL	CL 76 KR 5	11,00354	-74,8034	2	599297	TELEFONICA			OH_ATLAI CA01	CT4-25-01	170	7	AM-00400	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
6	154754	DS-028563	DROGUER SANTA MARTA	CL 14 KR 2	11,24084	-74,1901	1	33526	ONNET			OH_MAGH CA01	CT2-55-01	90	2	OT-00172	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
7	154754	DS-028563	DROGUER SANTA MARTA	CL 14 KR 2	11,24084	-74,1901	2	241907	ONNET			OH_MAGH CA01	CT7-37-01	93	1	OT-00299	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
8	154756	DS-028571	DROGUER NEIVA	CL 17 A KR	2,935361	-75,2899	1	57175	ONNET			OH_HUIAI CA01	CT5-25-01	0	4	OT-00197	FPostes	DIR	EXACTA	ZA
9	154756	DS-028571	DROGUER NEIVA	CL 17 A KR	2,935361	-75,2899	2	57145	ONNET			OH_HUIAI CA01	CT4-25-01	24	2	OT-00197	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
10	156257	DS-028573	COLMEDIC NEIVA	CL 19 KR 5	2,936544	-75,2904	1	57115	ONNET			OH_HUIAI CA01	CT3-24-01	0	3	OT-00197	FPostes	DIR	EXACTA	ZA
11	156257	DS-028573	COLMEDIC NEIVA	CL 19 KR 5	2,936544	-75,2904	2	57134	ONNET			OH_HUIAI CA01	CT1-24-01	75	4	OT-00197	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
12	156253	DS-028574	SUMIQUIN SANTIAGO DE	CL 15 KR 3	3,420803	-76,5257	1	93536	ONNET			OH_VALAI CA03	CT5/6-53+	2	2	OT-00199	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
13	156253	DS-028574	SUMIQUIN SANTIAGO DE	CL 15 KR 3	3,420803	-76,5257	2	95257	ONNET			OH_VALAI CA03	CT6-49-03	38	5	OT-00199	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
14	154752	DS-028563	DROGUER SANTIAGO DE	KR 2 CL 7 C	3,4516	-76,5491	1	34703	ONNET			OH_VALAI CA01	CT4-48-01	0	5	OT-00173	FPostes	DIR	EXACTA	ZA
15	154752	DS-028563	DROGUER SANTIAGO DE	KR 2 CL 7 C	3,4516	-76,5491	2	34683	ONNET			OH_VALAI CA01	CT6-32-01	79	6	OT-00173	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
16	156258	DS-028575	MUNICIPIO PALMIRA	CL 30 KR 9	3,524023	-76,2842	1	238753	ATP			OH_VALHI CA06	CT2-45-06	0	7	OT-00289	FPostes	DIR	EXACTA	ZA
17	156258	DS-028575	MUNICIPIO PALMIRA	CL 30 KR 9	3,524023	-76,2842	2	238732	ATP			OH_VALHI CA06	CT8-44/1+	82	10	OT-00289	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
18	156259	DS-028573	COLMEDIC VILLAVICENCIO	CL 32 KR 4	4,141796	-73,6405	1	30573	ONNET			OH_METZ CA01	CT4-18-01	104	4	OT-00162	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
19	156259	DS-028573	COLMEDIC VILLAVICENCIO	CL 32 KR 4	4,141796	-73,6405	2	30611	ONNET			OH_METZ CA01	CT3-18-01	131	3	OT-00162	DivisorTer	CTO	CERCA	ZA
20	156263	DS-028577	CONSTRUIBAGUE	CL 60 KR 1	4,442719	-75,2046	1	14373	ONNET			OH_TOLAI CA-1	CT1-94-1	274	1	OT-00456	DivisorSiti	CTO	CERCA	ZC

Figura 5. Salida Excel CTO

En la Figura 6 se ilustra la segunda hoja resultante, titulada “Empalmes”, se registran los empalmes más cercanos, incluyendo campos como dirección, ciudad, coordenadas, ID y nombre del empalme, distancia entre la ubicación de referencia y el empalme, orden de cercanía (con valores 1 o 2), y la cantidad de hilos de fibra óptica disponibles (obtenidos mediante una consulta SQL).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	ID-PR	DS	NOMBRE CLIENTE	Ciudad	Dirección	Latitud	Longitud	ORDER	PROPIETARIO	UNTO_DE	EMPALME	EMPALME	Bordenada	ordenada	Distancia	Función d	Hilos
2	154745	DS-012664	ETICOS SERRANO G	VALLEDUPAR	CL 16 KR 12 - 0	10,47355	-73,2497	1	TELEFONIK	1 - Poste	127626	EMPALME	-73,2497	10,47356	5,296998	19 - Anillo	-4
3	154745	DS-012664	ETICOS SERRANO G	VALLEDUPAR	CL 16 KR 12 - 0	10,47355	-73,2497	2	TELEFONIK	6 - Cámara	122439	EMPALME	-73,2497	10,47351	5,347998	19 - Anillo	-2
4	156265	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	BARRANQUILLA	CL 76 KR 55 - 52	11,00354	-74,8034	1	6 - Cámara	29808	EMP38-01	-74,8041	11,0036	79,09072	18 - Cable	-4	
5	156265	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	BARRANQUILLA	CL 76 KR 55 - 52	11,00354	-74,8034	2	6 - Cámara	28623	EMP37-01	-74,8023	11,0031	123,4904	18 - Cable	-20	
6	154754	DS-028563	DROGUERIAS Y FAR	SANTA MARTA	CL 14 KR 21 - 12	11,24084	-74,1901	1	6 - Cámara	33672	EMP21-01	-74,1903	11,24105	33,18409	18 - Cable	-33	
7	154754	DS-028563	DROGUERIAS Y FAR	SANTA MARTA	CL 14 KR 21 - 12	11,24084	-74,1901	2	6 - Cámara	130159	EMP	-74,1903	11,24105	33,18409	19 - Anillo	-4	
8	154756	DS-028571	DROGUERIAS Y FAR	NEIVA	CL 17 A KR 5 A	2,935361	-75,2899	1	PRE-ONNE	6 - Cámara	58425	EMP33-01	-75,2899	2,935397	4,578143	11 - Alime	-19
9	154756	DS-028571	DROGUERIAS Y FAR	NEIVA	CL 17 A KR 5 A	2,935361	-75,2899	2	PRE-ONNE	6 - Cámara	58399	EMP32-01	-75,2901	2,93662	141,5731	11 - Alime	-13
10	156257	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	NEIVA	CL 19 KR 5 A - 5	2,936544	-75,2904	1	PRE-ONNE	6 - Cámara	58399	EMP32-01	-75,2901	2,93662	38,83598	11 - Alime	-13
11	156257	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	NEIVA	CL 19 KR 5 A - 5	2,936544	-75,2904	2	ONNET	6 - Cámara	378239	UK-EMP7-1	-75,2907	2,937185	76,67992	11 - Alime	32
12	156253	DS-028574	SUMIQUIM-SUMINI	SANTIAGO DE	CL 15 KR 35 - 75	3,420803	-76,5257	1	6 - Cámara	95666	EMP58-03	-76,5259	3,419964	96,73946	18 - Cable	-13	
13	156253	DS-028574	SUMIQUIM-SUMINI	SANTIAGO DE	CL 15 KR 35 - 75	3,420803	-76,5257	2	TELEFONIK	6 - Cámara	95675	EMP56-03	-76,5267	3,419924	149,9893	18 - Cable	-27
14	154752	DS-028563	DROGUERIAS Y FAR	SANTIAGO DE	KR 2 CL 7 O - 97	3,4516	-76,5491	1	6 - Cámara	34728	EMP52-01	-76,5497	3,451897	72,18319	18 - Cable	-5	
15	154752	DS-028563	DROGUERIAS Y FAR	SANTIAGO DE	KR 2 CL 7 O - 97	3,4516	-76,5491	2	PRE-ONNE	6 - Cámara	31500	EMP19-01	-76,5485	3,452393	107,961	11 - Alime	-20
16	156258	DS-028575	MUNICIPIO DE PALI	PALMIRA	CL 30 KR 9 - 59	3,524023	-76,2842	1	ATP	6 - Cámara	232442	EMP46-06	-76,2839	3,522929	125,3854	11 - Alime	114
17	156258	DS-028575	MUNICIPIO DE PALI	PALMIRA	CL 30 KR 9 - 59	3,524023	-76,2842	2	ATP	6 - Cámara	232455	EMP45-06	-76,2839	3,522929	125,3854	11 - Alime	120
18	156259	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	VILLAVICENCIO	CL 32 KR 40 A -	4,141796	-73,6405	1	6 - Cámara	31465	EMP27-01	-73,6406	4,141974	22,67603	18 - Cable	-7	
19	156259	DS-028573	COLMEDICA MEDIC	VILLAVICENCIO	CL 32 KR 40 A -	4,141796	-73,6405	2	1 - Poste	63739	19789050	-73,6401	4,142921	132,944	19 - Anillo	-2	
20	156263	DS-028577	CONSTRUCTORA H	I/BAGUE	CL 60 KR 10 - 42	4,442719	-75,2046	1	ONNET	4 - Punto c	289911	EMP120-0	-75,2044	4,442761	20,40281	18 - Cable	33

Figura 6. Salida Excel CTO

Ambas hojas están organizadas para permitir una interpretación clara y fácil de CTOs y empalmes, lo que contribuye a evaluar la viabilidad de cada instalación. El archivo Excel se genera utilizando el método `to_excel` de `pandas`, permitiendo así compartir y revisar la información de manera ágil y en un formato compatible con el análisis de datos, facilitando decisiones informadas sobre la viabilidad de la instalación de fibra óptica en cada ubicación evaluada.

4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO

En este capítulo se describe el proceso de validación llevado a cabo para asegurar la efectividad y exactitud del algoritmo desarrollado. La validación es un paso fundamental antes de implementar cualquier sistema en producción, especialmente cuando se trata de procesos automatizados que afectan decisiones críticas, como la selección de CTOs y empalmes en proyectos de despliegue de fibra óptica.

Para garantizar que los resultados generados por el algoritmo fueran correctos y confiables, se llevó a cabo una exhaustiva comparación con un conjunto de datos previamente establecido, el cual había sido generado y documentado en una etapa anterior del proyecto. Este documento de validación, que contiene un conjunto de resultados reportados por los técnicos de campo, sirvió como referencia para contrastar la efectividad del sistema automatizado.

El proceso de validación consistió en una revisión minuciosa de los puntos de conexión seleccionados por el algoritmo, comparándolos con los puntos evaluados manualmente y los datos históricos disponibles en los registros previos. Se verificaron varios aspectos clave, entre ellos:

1. Precisión de la ubicación de los puntos seleccionados: El algoritmo debía identificar las CTOs y empalmes más cercanos a las ubicaciones solicitadas, comparando la proximidad con las coordenadas reportadas previamente.
2. Coincidencia de las distancias: En los casos donde el algoritmo había identificado puntos coincidentes con los reportados por los técnicos, se validó que las distancias calculadas por el sistema coincidieran con las distancias previamente reportadas, asegurando que el proceso de selección del algoritmo no generaba discrepancias.
3. Desempeño en términos de eficiencia: Se verificó que la reducción en los tiempos de respuesta era consistente con las expectativas del equipo de desarrollo, es decir, que el algoritmo era capaz de procesar las ubicaciones solicitadas en tiempos mucho más rápidos en comparación con el proceso manual anterior.

La validación se realizó con un total de 80 puntos de conexión, de los cuales se obtuvo una coincidencia exacta o mejora en los resultados de las CTOs y de los empalmes. Estos resultados confirmaron que el algoritmo funcionaba correctamente y cumplía con los requisitos establecidos. Los puntos de validación utilizados para esta prueba se encuentran detallados en el [Anexo3.xlsx](#), donde se pueden observar todas las coincidencias y mejoras en las distancias obtenidas.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos antes y después de aplicar el algoritmo desarrollado, evaluando su efectividad en la selección de CTOs y empalmes óptimos para la instalación de fibra óptica en proyectos B2B.

En los Anexos, [Anexo3.1.xlsx](#), [Anexo3.2.xlsx](#), [Anexo3.3.xlsx](#)

Se presentan los detalles de los resultados para cada conjunto de datos evaluados. Estos anexos incluyen un total de 60, 66 y 62 puntos, respectivamente, donde se comparan los resultados previos al uso del algoritmo con los generados después de su implementación.

A continuación, en la Tabla 1, y en la Tabla 2 se muestran los resultados que comparan la precisión en la selección de empalmes y CTOs antes y después de implementar el algoritmo propuesto. Los datos de cada anexo (3.1, 3.2 y 3.3) representan distintas muestras de puntos evaluados en términos de su proximidad y coincidencia con empalmes y CTOs específicos. En cada tabla se evalúa si el resultado con el algoritmo es "IGUAL" al resultado inicial, si la distancia encontrada es "MEJOR DISTANCIA" (es decir, más cercana al punto deseado), o si representa una "PEOR DISTANCIA".

Cuenta de ID CTO ALGORITMO	Etiquetas de columna			
	3.1	3.2	3.3	Total general
IGUAL	26	42	56	124
MEJOR DISTANCIA	34	22	5	61
PEOR DISTANCIA		2	1	3
Total general	60	66	62	188

Tabla 1. Resumen Resultados CTO

Cuenta de ID EMPALME ALGORITMO	Etiquetas de columna			
	3.1	3.2	3.3	Total general
IGUAL		34	1	35
MEJOR DISTANCIA	60	32	60	152
PEOR DISTANCIA			1	1
Total general	60	66	62	188

Tabla 2. Resumen Resultados EMPALMES

La comparación permite observar mejoras significativas en la precisión de la selección de CTOs y empalmes cercanos, con una reducción en la distancia promedio a los puntos óptimos y un incremento en la tasa de coincidencias efectivas. Estos resultados demuestran la efectividad del algoritmo para agilizar el proceso de evaluación de viabilidad y mejorar la asignación de recursos en las instalaciones de redes FTTH. La mejora en la exactitud y eficiencia de los resultados

respalda la implementación de esta solución automatizada en proyectos de despliegue masivo de fibra óptica.

Para complementar el análisis de los resultados, la Figura 7 y Figura 8 ilustra la distribución porcentual de los casos obtenidos en la evaluación de CTOs y empalmes respectivamente. Cada gráfica refleja el porcentaje de puntos clasificados como "IGUAL", "MEJOR DISTANCIA" y "PEOR DISTANCIA", en comparación con los métodos previos. Estas visualizaciones permiten apreciar de forma clara la efectividad del algoritmo en la mejora de la precisión en la selección de puntos de conexión, destacando la proporción de casos en los que el algoritmo ha encontrado una mejor ubicación en términos de cercanía. Este enfoque visual facilita una interpretación rápida de los resultados y refuerza el impacto positivo de la herramienta en el despliegue de la red de fibra óptica.

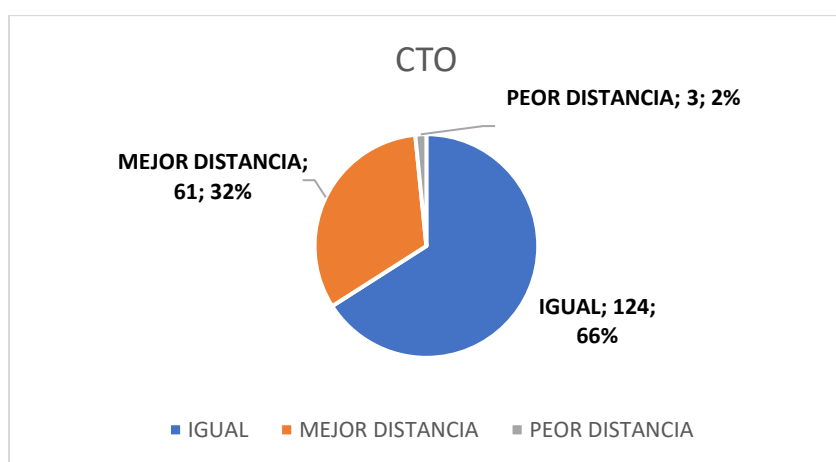


Figura 7. Resultados CTO

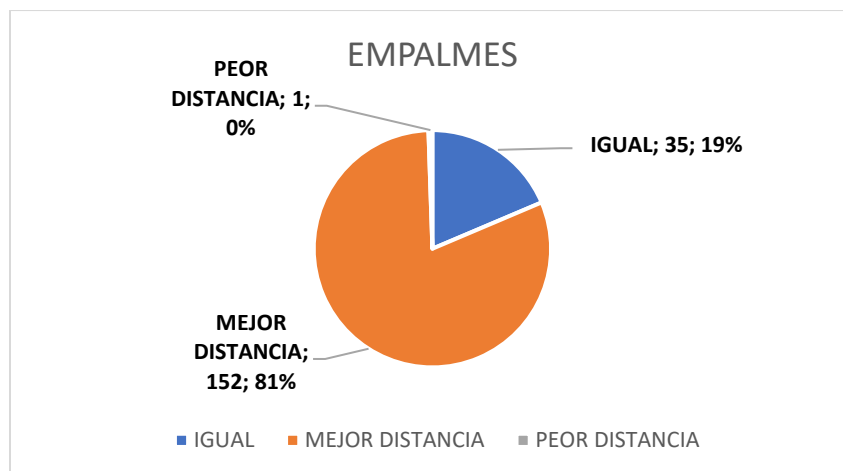


Figura 8. Resultados EMPALMES

El resumen completo de los resultados obtenidos en la evaluación de empalmes y CTOs se encuentra en el [Anexo3.4.xlsx](#)

Este anexo recopila de manera detallada la comparación entre los métodos previos y los resultados generados por el algoritmo, incluyendo todas las categorías de evaluación de los datos analizado.

En los resultados obtenidos por el programa, se evidenció que en algunos casos se encontraron CTOs que coincidían en los mismos puntos que los reportados por los técnicos, confirmando la precisión del sistema automatizado en la identificación de estas instalaciones. En otros casos, el sistema permitió hallar CTOs con distancias más cercanas, mejorando la eficiencia del proceso de selección. Además, se verificó que, en los casos donde la CTO coincidía, las distancias calculadas por el sistema concordaban con las reportadas, asegurando que el algoritmo está alineado con la información práctica en campo.

Las gráficas generadas con los resultados reflejan claramente estas mejoras tanto en la selección de CTOs como de empalmes, mostrando una reducción en las distancias y un mejor manejo de los recursos disponibles.

Dentro de las mejoras más notables logradas con la implementación de este sistema es la significativa reducción en los tiempos de respuesta. Anteriormente, el proceso de evaluación de viabilidad para las ubicaciones propuestas podía tardar entre 3 a 5 días. Este retraso a menudo afectaba la planificación de proyectos y generaba inconvenientes en la coordinación con otros departamentos. Sin embargo, tras la integración del nuevo mecanismo automatizado, el tiempo de análisis se ha reducido drásticamente a aproximadamente 40 segundos por ubicación.

Esta reducción en el tiempo de respuesta no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite que las viabilidades se puedan entregar el mismo día, lo que es crucial para mantener la competitividad en un mercado tan dinámico como el de las telecomunicaciones.

Al día de hoy el programa se ha usado en alrededor de 60 proyectos masivos, viabilizando aproximadamente 5.800 direcciones y sus respectivas coordenadas, siendo una de las herramientas que se usa a diario dentro del área de despliegue de proyectos FTTH en Telefónica.

6. CONCLUSIONES

La implementación del algoritmo ha demostrado mejorar los tiempos de respuesta en la selección de CTOs y empalmes cercanos, especialmente en casos donde la coincidencia de coordenadas no es exacta. Esto permite una evaluación más rápida mejorando la capacidad de respuesta ante solicitudes de instalación masiva de fibra óptica.

La solución propuesta es escalable y adaptable al crecimiento de la demanda en proyectos B2B, permitiendo gestionar un mayor volumen de solicitudes. Esto no solo mejora significativamente los tiempos de respuesta, sino que también prepara a la empresa para una expansión sostenida en el mercado de fibra óptica.

La comparación de los resultados obtenidos con el algoritmo frente a los métodos previos evidencia una mejora en la elección de distancias y puntos de conexión. El análisis muestra un aumento en la proporción de resultados con mejores distancias y una reducción en los casos de peor distancia, lo cual valida la efectividad del algoritmo en la mejora de la precisión en la selección de CTOs y empalmes.

7. REFERENCIAS

- [1]M. Hernández, "Fibra óptica: qué es y cuál es su origen", Telefónica
- [2]F. Jaffer, "FTTH - Transforming the regional telecommunications scene," 2011 13th International Conference on Transparent Optical Networks, Stockholm, Sweden, 2011, pp. 1-1, doi: 10.1109/ICTON.2011.5970969.
- [3]R. Llorente, M. Morant, M. Beltrán and E. Pellicer, "Fully converged optical, millimetre-wave wireless and cable provision in OFDM-PON FTTH networks," 2013 15th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Cartagena, Spain, 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON.2013.6602772.
- [4]S. Cuenca, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA", Edu.ec. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1076/12/UPS-CT002134.pdf>.
- [5]G. R. Rocío, "¿Toda la fibra óptica es igual? Comparativa entre FTTH y HFC", ADSLZone, 21-nov-2019.
- [6]R. F. Syahrizal, Y. Natali and C. Apriono, "Design and Analysis of an XGS-PON Technology for an Urban Area FTTH Network with Unidirectional and Bidirectional Transmission," 2023 9th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Solo, Indonesia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICWT58823.2023.10335491.
- [7]A. P. McDonna and B. M. MacDonald, "Optical component technologies for FTTH applications," 1995 Proceedings. 45th Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, USA, 1995, pp. 1087-1091, doi: 10.1109/ECTC.1995.517826.
- [8]I. B. Heard, "Availability and cost estimation of secured FTTH architectures," 2008 International Conference on Optical Network Design and Modeling, Vilanova i la Geltru, Spain, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/ONDM.2008.4578390.
- [9]2002- Chris Veness, "GIS FAQ Q5.1: Great circle distance between 2 points", Movable-type.co.uk. [En línea]. Disponible en: <https://www.movable-type.co.uk/scripts/gis-faq-5.1.html>.
- [10]J. de MENDOZA Y RIOS, Memoria sobre algunos Métodos nuevos de calcular la Longitud por las distancias lunares: y aplicacion de su teórica á la solucion de otras problemas de navegacion. (Tabla, etc.). Imp. Real, 1795.
- [11]H. Alkan and H. Celebi, "The Implementation of Positioning System with Trilateration of Haversine Distance," 2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/PIMRC.2019.8904289.

[12]A. Rai, M. M. I. Miraz, D. Das, H. Kaur and Swati, "SQL Injection: Classification and Prevention," 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM), London, United Kingdom, 2021, pp. 367-372, doi: 10.1109/ICIEM51511.2021.9445347.

[13]"Microsoft® SQL Server® 2022 Express", Microsoft Store - Download Center. [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=104781>.

[14]"Aprende python", Python.org. [En línea]. Disponible en: <https://es.python.org/aprende-python/>.

[15]"Welcome to", Python.org. [En línea]. Disponible en: <https://www.python.org/>.

[16]"re — Regular expression operations", Python documentation. [En línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/es/3/library/re.html>.

[17]"Pyodbc", PyPI. [En línea]. Disponible en: <https://pypi.org/project/pyodbc/>.

[18]"pandas", Pydata.org. [En línea]. Disponible en: <https://pandas.pydata.org/>.

[19]"math — Mathematical functions", Python documentation. [En línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/3/library/math.html>.