UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB PARA DISEÑO, MONITOREO Y GESTION DE LA ODN EN LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A."

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética)

AUTOR:

Jordy Steven Vélez Ipiales

DIRECTOR:

MSc. Hernán Mauricio Domínguez Limaico

Ibarra, Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	JORDY STEVEN VÉLEZ IPIALES

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB PARA DISEÑO, MONITOREO Y GESTION DE LA ODN EN LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A."
AUTOR (ES):	JORDY STEVEN VÉLEZ IPIALES
FECHA: DD/MM/AAAA	07/09/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR /ASESOR:	MSC. HERNÁN MAURICIO DOMÍNGUEZ LIMAICO MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de septiembre de 2026

EL AUTOR:

(Firma)…… Validar únicamente en FirmaEC. Firmado electrónicamente por: JORDY STEVEN VELEZ IPIALES ……

Nombre: Jordy Steven Vélez Ipiales

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 07 de septiembre de 2026.

MSC. HERNÁN MAURICIO DOMÍNGUEZ LIMAICO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
HERNAN MAURICIO DOMINGUEZ LIMAICO

(f) …….

MSc. Hernán Mauricio Domínguez Limaico

C.C.: 1002379301

DEDICATORIA

"Eres lo que tú decides ser"

Dedico este trabajo a mis seres queridos, por dejarme ser lo que he deseado, su rectitud y esfuerzo constante por no verme fallar, quien estuvo siempre a mi lado y nunca me dejó solo cuando solo veía negro. A todos ellos por ser mi apoyo en mis peores momentos. Gracias por creer en mí incluso cuando lo he perdido todo.

A la música, la cual fue un gran escape en mi vida cuando no tuve nada y me dio todo. Gracias por comprenderme, por tu compañía y estar ahí sin siquiera estarlo, por permanecer conmigo cuando más lo necesitaba. Tú siempre me comprendiste querida guitarra.

Jordy Steven Vélez Ipiales

AGRADECIMIENTO

A mis amigos, Ariel y Francisco, los cuales comenzamos desde el principio. Y a todos los demás los cuales fui conociendo con el tiempo a: Eduardo el "Licenciado", Jaramillo, Farid, Cristian el "Awelo", Heidy, Wendy, Ginger, Hans, Daniel, Bryan, Bryan el "Gemelo Bueno", Israel el "Gemelo Malo", David, Jordan, Becker, Justin, Zhara, Pablo, Alejo y Yepez por estar en varios momentos de mi vida y sin olvidar las risas.

A mis padres y hermanos, los cuales nos mantuvimos juntos incluso en los peores momentos, quienes me enseñaron a reír en los peores momentos. Quienes me enseñaron a valorar lo poco y ser agradecido de lo simple, como compartir unas risas y ver a la gente feliz; de las simplezas de la vida. Quienes me enseñaron que la humildad me hará llegar lejos, por todo lo que hicieron por mí y todo lo que les debo no alcanzaría en palabras. Quienes me enseñaron a ser de abajo con el alma blanca, aunque todavía falle en todo.

Quiero mencionar a MSc. Jaime Michilena y a MSc. Mauricio Dominguez, de los cuales supieron hacer divertidas las clases y no solo aprendí en las aulas, también me forjaron a ser como persona. Además, reconocer a MSc. Marco Gordillo, el cual siempre fue amable y dio todo de si porque sus estudiantes aprendan.

Jordy Steven Vélez Ipiales

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de titulación responde a la crisis presente de escalabilidad operativa dentro de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., provocada por la fragmentación de la información e ineficiencias operativas en la gestión de la Red de Distribución Óptica Pasiva (ODN).

Por consiguiente, el objetivo principal de este proyecto se basa en desarrollar una aplicación web usando Python y bases de datos espaciales empleando arquitecturas GIS con el motivo de centralizar el diseño y gestión de la Red de Distribución Óptica (ODN) y además de monitorizar la antes mencionada red conjuntamente con sus clientes.

Respecto al enfoque metodológico en el cual se basa este proyecto es bajo una adaptación del marco de trabajo ágil Scrum, abarcando el análisis de la estructura de datos ya existentes, el modelado de la base de datos geoespacial e implementación de PWA para multiplataforma; finalmente validada mediante la carga de datos reales de una sucursal de la empresa que servirá como piloto.

Los resultados proyectados contemplan una plataforma centralizada, con un sistema de inicio de sesión por usuarios con distintos privilegios, que permita la trazabilidad lógica de hilos de fibra desde la caja NAP del cliente hasta la OLT y estado de cada cliente, eliminando dependencia de verificaciones y pruebas manuales de ensayo y error. La propuesta reduce tiempos de reparación y riesgos laborales por alturas, ofreciendo una alternativa escalable y fácil de migrar evitando licencias costosas y mensuales.

Palabras clave: FTTH, ODN, Red de Distribución Óptica, Base de Datos Espacial, SIG, NAP, Fibra Óptica.

ABSTRACT

The current thesis project corresponds to the crisis of operating scalability in "AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A" provoked by the fragmentation of the information and operating inefficiencies in the management of the Passive Optical Distribution Network (ODN).

As such, the main objective of this project consists on developing an python web app and spatial database by the application of GIS architectures to centralize the design and management of the Optical Distribution Network (ODN). Also, to monitor the aforementioned network along with its clients.

Regarding the methodological approach in which the project is based, it is an adaptation of the agile framework "Scrum", which encompass the analysis of the ongoing data structure, the model of the geospatial database and the implementation of PWA for multiplatform purposes; finally validated through the real data loading of a company branch which will be used as a pilot.

The projected results contemplates a centralized platform, with a log in system for users with different sort of privileges that permits the logic traceability of fiber threads from the NAP client box to the OLT and status of each client, eliminating dependency on verifications and manual try-and-error tests. The proposal diminishes repairing times and occupational hazards of working at heights, as such, offering an scalable and straightforward alternative, that is also simple to migrate, thereby preventing monthly expensive licences.

Keywords: FTTH, ODN, Optical Distribution Network, Spatial Database, GIS, NAP, Optical Fiber.

LISTA DE SIGLAS

ODN. Optical Distribution Network**.**

GIS. Geographic Information System.

SIG. Sistema de Información Geográfica

FTTH. Fiber To The Home.

OLT. Optical Line Terminal.

NAP. Network Access Point

ONU. Optical Network Unit.

PWA. Progressive Web Apps.

HGU. Home Gateway Unit.

CRUD. Create Read Update Delete

POO. Programación Orientada a Objetos

SaaS. Software as a Service

HGU. Home Gateway Unit

IP. Ingress Protection

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES 18

1.1. Tema 18

1.2. Problema 18

1.3. Objetivos 21

1.3.1. Objetivo General 21

1.3.2. Objetivos Específicos 22

1.4. Alcance 22

1.5. Justificación 27

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 32

2.1. Redes de Fibra Óptica 32

2.1.1. Partes que componen la fibra óptica 32

2.1.2. Tipos de fibra óptica 34

2.1.3. Códigos de Colores (TIA/EIA 598) 35

2.1.4. dB y Dbm 36

2.1.5. Presupuesto de Potencia 37

2.1.6. Diseño de red para FTTH 39

2.2. Elementos que componen una red de fibra óptica 41

2.2.1. Elementos activos. 41

2.2.2. Elementos pasivos (ODN) 43

2.3. Midspan Access 49

2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG). 50

2.4.1. Bases de Datos Espaciales. 51

2.4.2. KML, KMZ y JSON 52

2.5. Desarrollo Web y Arquitecturas de Software. 53

2.6. Metodología de Desarrollo SCRUM adaptada 54

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESARROLLO 56
3.1. Análisis de requerimientos en base al funcionamiento actual en la Empresa 56
3.1.1. Flujo de trabajo basado en Google Earth/My Maps 56
3.1.2. Evaluación del Sistema Existente 57
3.1.3. Selección y justificación de herramientas a emplear 60
3.2. Modelado de la base de datos para el sistema planteado 64
3.3. Proceso de Desarrollo 67
3.4. Iconos 76
3.5. Base de datos 77
3.6. Flask 81
3.6.1. Websockets 83
3.7. Sistema de catálogo de cajas, cables y OLT 86
3.8. Botones en el mapa 90
3.9. Menú de Capas 1
3.10. Pop ups Interactivos 3
3.10.1. Sistema de hilos 5
3.11. Sistema de Importación 10
3.12. Sistema de proyectos, usuarios y roles 14
3.12.1. Sistema de peticiones 18
3.13. Interfaz Movil y PWA 20
3.14. Monitoreo de clientes 3
3.14.1. VFL 6
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS 8
4.1. Migración de datos de la sucursal de Riobamba 8
4.2. Pruebas del sistema de monitoreo de clientes 18
4.2.1. Abonado A (Conectado a NAP de Primer Nivel) 19
4.2.2. Abonado B (Conectado a NAP de Segundo Nivel) 21
4.3. Comparativa del sistema actual y el sistema propuesto 24

Conclusiones y Recomendaciones.....29

5.1. Conclusiones.....29

5.2. Recomendaciones.....30

Bibliografía.....31

Anexos.....35

7.3. Anexo 1: Certificado de auspicio otorgado por la J.A.A.P. para la aplicación del trabajo de grado en la Comuna San Luis de la Carbonería.....35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Árbol de problemas acerca del sistema ODN actual en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.* 21

F**igura 2**. *Diagrama de Arquitectura del Sistema Propuesto.* 25

F**igura 3**. *Partes que componen a un hilo de fibra óptica* 33

Figura 4. *Partes de la fibra monomodo y multimodo* 34

Figura 5. *Código de Colores TIA-598* 35

Figura 6. *Red FTTH* 40

Figura 7. *OLT Huawei* 42

Figura 8. *ONU Plus* 43

Figura 9. *Router HGU* 44

Figura 10. *Splitter 1x8* 45

Figura 11. *Caja NAP de manera interna* 46

Figura 12. *NAP IP 68* 47

Figura 13. *Partes de un conector mecánico* 48

Figura 14. *Tipos de pulidos de un conector mecánico* 48

Figura 15. *ODF de 24 Puertos* 49

Figura 16. *Mid Span Access* 50

F**igura 17**. *Frontend y Backend* 55

F**igura 18**. *Principal diagrama entidad-relación.* 65

Figura 19. *Diagrama de Flujo del Control de Acceso Basado en Roles.* 67

Figura 20. *Instalación de QGIS Desktop en Linux* 71

Figura 21. *Instalación de QGIS Desktop en Linux* 71

Figura 22. *Uso de qgis2web* 72

Figura 23. *Exportación de proyecto a la web con qgis2web* 73

Figura 24. *Directorio creado por qgis2web* 74

Figura 25. *Proyecto exportado de qgis2web* 74

Figura 26. *Reemplazo de SVG por Canvas*.....77

Figura 27. *Iconos para elementos del mapa*.....78

Figura 28. *Importación de KMZ a QGIS*.....79

Figura 29. *Función de Exportar de QGIS*.....79

Figura 30. *Creación de base de datos SpatiaLite con datos de una ODN* 80

Figura 31. Código para transformar datos de SpatiaLite a GeoJson 81

Figura 32. *Endpoints para cada elemento*.....81

Figura 33. *Visualización de elementos de la base de datos en el mapa* 82

Figura 34. *Código principal de Flask*.....84

Figura 35. *Código para actualizar el mapa con los cambios de los usuarios*.....85

Figura 36. *Notificación acerca de sincronización de elementos del mapa* 86

Figura 37. *Notificación cuando un nuevo usuario ingresa a un proyecto*.....86

Figura 38. *Notificación al acceder a una caja*.....86

Figura 39. *Notificación cuando un usuario edita una caja* 87

Figura 40. *Notificación desplegada al entrar a una caja ocupada* 87

Figura 41. *Código de colores para los cables bajo las normas de la empresa*.....90

Figura 42. *Código referente a la extracción del catálogo desde la base de datos*.....91

Figura 43. *Botones proporcionados por qgis2web*.....92

Figura 44. *Código vinculado a los botones del mapa*.....93

Figura 45. *Botones nuevos implementados y sus menús correspondientes* 94

Figura 46. *Pop up "on hover" del botón Caja* 1

Figura 47. *Botón de menú de capas*.....2

Figura 48. *Menú de capas desplegado*.....3

Figura 49. *Pop up "on hover" y "on click" de todos los elementos* 4

Figura 50. *Hilos segmentados por distribución y alimentación* 5

Figura 51. *Diccionario de colores bajo la norma TIA/EIA 598* 6

Figura 52. *Menú interior de una mufa* 7

Figura 53. *Conexión automática de hilos a splitters* 8

Figura 54. *Notificaciones al realizar conexión de hilos incorrecta* 8

Figura 55. *Menú interior de una caja NAP* 9

Figura 56. *Menú interior de una caja NAP y Derivar Hilos en funcionamiento*.....10

Figura 57. *Menú de importación KMZ* 12

Figura 58. *Uso del menú de cambio de acción en lote* 12

Figura 59. *Proceso de vinculación de elementos*.....13

Figura 60. *Botón para desvincular un cable de una caja*.....14

Figura 61. *Menú de proyectos*.....14

Figura 62. *Menú de administración de usuarios* 15

Figura 63. *Creación de usuarios*.....16

Figura 64. *Menú de inicio de sesión* 17

Figura 65. *Mini menú flotante para rol de administrador*.....17

Figura 66. *Comparación de menús personalizados para cada usuario* 18

Figura 67. *Diagrama entidad-relación para el sistema de peticiones* 19

Figura 68. *Proceso seguido por el sistema de peticiones*.....20

Figura 69. *Interfaz en dispositivos móviles*.....1

Figura 70. *Instalación de aplicación en dispositivo móvil* 2

Figura 71. *Instalación de aplicación en computador de escritorio*.....3

F**igura 72**. *Proceso para añadir abonados y monitorear clientes inactivos* 4

Figura 73. *Monitoreo de un abonado real inactivo* 5

Figura 74. *Menú de opciones para los puertos del Panel de Clientes*.....6

Figura 75. *Trazado de ruta de un abonado de ejemplo*.....7

Figura 76. *Ejecución de la aplicación*.....9

Figura 77. *Menú de inicio de sesión*.....9

Figura 78. *Menú de inicio de sesión*.....10

Figura 79. *Menú de importación funcional*.....11

Figura 80. *Menú de importación funcional*.....11

Figura 81. *Menú de capas*.....13

Figura 82. *Comparación entre ODN Tracer y Google Earth*.....14

Figura 83. *Uso de Fibra Iluminada*.....15

Figura 84. *Conexión del IN del splitter con hilo de alimentación*.....15

Figura 85. *Mapa completamente iluminado*.....16

Figura 86. *Uso de VFL en cliente*.....17

Figura 87. *KMZ exportado de ODN Tracer*.....17

Figura 88. *NAP de primer nivel conectada al abonado A*.....19

Figura 89. *Abonado A activo*.....20

Figura 90. *Abonado A con estado inactivo*.....20

Figura 91. *Abonado A con su estado restaurado*.....21

Figura 92. *NAP de segundo nivel conectada al abonado B*.....22

Figura 93. *Abonado B activo*.....22

Figura 94. *Abonado B con estado inactivo*.....23

Figura 95. *Abonado B su estado restaurado*.....24

Figura 96. *Descarga de Ubuntu Server*.....26

Figura 97. *Características de la máquina virtual*.....27

Figura 98. *Script completado*.....28

Figura 99. *ODN Tracer en funcionamiento.* 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Modelos y características de módulos SFP* 41

Tabla 2. *Limitaciones del sistema actual y su impacto* 62

Tabla 3. *Comparativa técnica entre aplicaciones* 63

Tabla 4. *Comparativa técnica entre frameworks para backend* 65

Tabla 5. *Comparativa técnica entre librerías de mapas para Frontend* 66

Tabla 6. *Comparativa técnica entre bases de datos* 67

Tabla 7. *Bitácora de Sprints para el desarrollo del software propuesto* 72

Tabla 8. *Catálogo de elementos de la ODN* 92

Tabla 9. *Abstacción de elementos de la ODN* 11

Tabla 10. *Análisis comparativo final entre herramientas de Google y ODN Tracer* .. 24

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. Tema

DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB PARA DISEÑO, MONITOREO Y GESTIÓN DE LA ODN EN LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A.

1.2. Problema

La empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A adoptó desde su fase inicial una metodología de administración de su Red de Distribución Óptica (ODN). El diseño y manejo de su infraestructura ODN se maneja utilizando archivos KMZ con My Maps, la cual se trata de la plataforma principal de la empresa, además de Google Earth. Sin embargo, el crecimiento actual de la empresa a un total de 19 sucursales hasta la fecha, conjuntamente con el aumento constante de las sucursales principales existentes desde su fundación, ha llegado a resaltar las limitaciones técnicas de la plataforma antes mencionada; cabe señalar que una de las principales desventajas de esta plataforma es la cantidad de capas limite, la cual en la documentación oficial se señala el límite, de capas permitido de 10 por proyecto [1].

De igual forma, los procesos de verificación de clientes activos, puertos libres u ocupados en NAPs se ejecutan de manera completamente manual por parte de planta externa, dependiendo casi en su totalidad de la memoria y conocimiento del personal técnico con más experiencia y tiempo en la empresa. El uso de varios archivos KMZ por parte de los técnicos no es de gran ayuda más que de servir de ubicación de las cajas NAP,

lo cual según [2] indica que métodos de este tipo aumenta el riesgo de los errores operativos.

En este sentido, los archivos KMZ han llegado a ser masivos, como consecuencia existen errores de desincronización y duplicidad, además que en el contenido de estos archivos, los puntos, líneas o polígonos no llegan a mostrar las conexiones y continuidad de cada cable o específicamente de cada hilo, por lo que no hay forma de llegar a realizar ninguna clase de seguimiento a los elementos de la ODN, dejando este trabajo al personal técnico, el cual debe realizar validaciones físicas de ensayo y error en varias cajas NAP cercanas al futuro cliente, y si se diera el caso en el que todas se encuentran copadas entonces se debe contactar a soporte técnico y trabajar conjuntamente para liberar puertos, siendo un proceso muy extenso, esto trae como consecuencia que al realizar una nueva instalación o reparación en la misma zona el siguiente técnico se verá en la obligación de repetir dicho proceso nuevamente creando un ciclo de retrabajo afectando negativamente al no dar una respuesta inmediata al cliente que desea contratar el servicio y por ello alargando el tiempo de la instalación del servicio optando por otros proveedores. Otra área afectada es planta externa y el personal de planificación, debido a que se generará una pérdida significativa de tiempo el cual podría emplearse de mejor manera en otras actividades.

Aunque este problema no es exclusivo de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., la industria habla de la creciente necesidad de avanzar mucho más allá de estos métodos tradicionales. Como lo expresa [3], proveedor líder de software de documentación y gestión de redes ópticas, este menciona que “la falta de documentación adecuada puede causar graves problemas de rendimiento en la red. Además, dificulta la resolución de problemas y aumenta el tiempo de inactividad. Esto afecta directamente la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa”. Al no tener una única fuente de

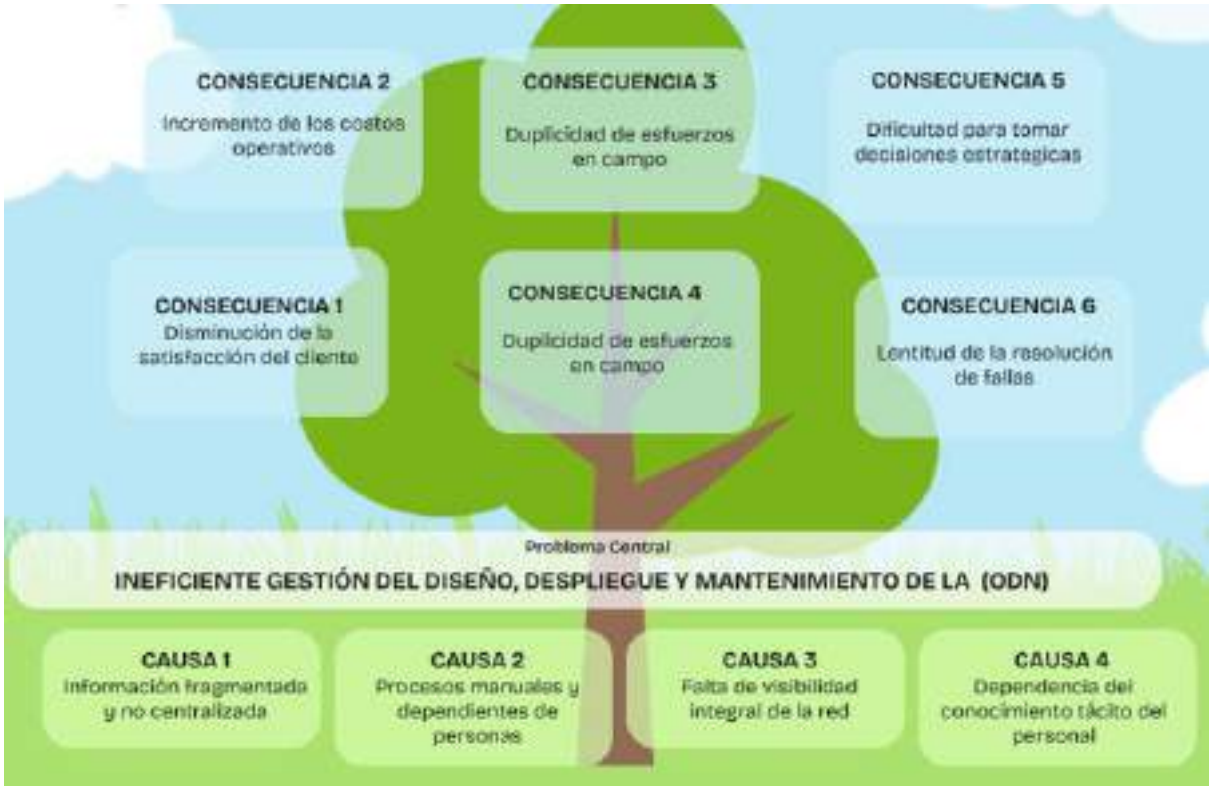
veracidad retrasa los procesos operativos generando conflictos cuando la red falla, llegando todo a un punto común, la falta de un sistema centralizado de la ODN. En cuanto al personal nuevo de planta externa lleva consigo una gran complejidad al tratar de comprender el funcionamiento de la red en su totalidad.

Todo lo mencionado anteriormente obliga a que la validación del diseño se realice de manera tardía, a menudo en campo, exponiendo a la empresa a retrasos. La perspectiva desde un punto de vista de los líderes de la industria es mucho más que clara en este punto. Como menciona [4], una lección clave es no subestimar la demanda y llegar a planificar la escalabilidad y el crecimiento para evitar costos extra a futuro. Esta afirmación resalta el problema actual de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A que afectan de manera directa a la empresa en este momento.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de causa y efecto que ilustra el problema central con sus respectivas causas y consecuencias de la ineficiente gestión del diseño, despliegue y mantenimiento de la ODN en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

Figura 1.

Árbol de problemas acerca del sistema ODN actual en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.



Nota: El gráfico presenta un diagrama causa-efecto realizado mediante un árbol de problemas, este esquema muestra los desafíos asociados con el proceso manual de medición y gestión del consumo del agua potable en la Comuna San Luis de la Carbonería.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Desarrollar una aplicación web basada en Sistemas de Información Geográfica (GIS) con una base de datos espacial para centralizar, optimizar el diseño actual y monitorizar la Red de Distribución Óptica (ODN) de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Investigar el estado del arte referente a las arquitecturas GIS, funcionamiento de una red ODN, bases de datos espaciales y normativas de la empresa para el diseño y construcción de redes FTTH, con el motivo de establecer un marco teórico y seleccionar las herramientas más adecuadas para el desarrollo de la aplicación web.
- Analizar el funcionamiento y la estructura técnica de los datos contenidos en los archivos KMZ de la red ODN de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. con el fin de extraer la lógica de los elementos de la red y además definir los requerimientos para la creación de la base datos.
- Diseñar y crear la base de datos geoespacial con la estructura propuesta conjuntamente con el backend y el frontend de la aplicación web.
- Validar la funcionalidad y efectividad del software desarrollado mediante la carga de datos reales de una sucursal de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A y la ejecución de casos de uso prácticos que demuestren la mejora y fiabilidad de la información en comparación con la metodología anterior.

1.4. Alcance

El presente trabajo se limita al diseño y desarrollo de una aplicación web del tipo Sistema de Información Geográfico (SIG) con el objetivo de centralizar y optimizar el diseño de la Red de Distribución Óptica (ODN) actual de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A, superando la limitación técnica de otras plataformas usadas en la empresa; además de agregar un sistema de monitorización de la red mencionada en la cual muestre el nombre del cliente, su caja NAP perteneciente,

el puerto conectado y el estado perteneciente a este cliente (UP/DOWN y tiempo sin servicio).

Para ello, con este sistema de monitoreo el técnico de planta externa deberá verificar la ubicación del o los clientes una única vez en la NAP y no tener que repetir este proceso varias veces. Adicionalmente, se obtendrán otros datos incluyendo el seguimiento completo de la fibra desde la OLT hasta la NAP del abonado o cliente final, el cual es útil para hallar fallas por cualquier motivo, especialmente cuando existen caídas del servicio por rotura en la fibra, con el fin de encontrar dicha falla mucho más fácilmente y restaurar el servicio del cliente lo más rápido posible, llegando a ser mucho más eficientes todo el personal técnico en campo.

Principalmente para el caso del personal técnico en campo o planta externa, debido a que en su totalidad maneja smartphones, se realizará la implementación de una Aplicación Web Progresiva (PWA) la cual es mucho mejor que una aplicación nativa; ya que, ocupa menos espacio y permite el fácil acceso mediante el menú de aplicaciones como si de una aplicación común se tratará; además de evitar problemas de compatibilidad, el cual es uno de los principales problemas que una aplicación nativa se enfrenta. De esta manera, teniendo la antes mencionada compatibilidad absoluta con todos los dispositivos ya sean laptops, smartphones o PCs con cualquier sistema operativo. Esto resulta útil no solo para esta parte, sino para cualquier otro departamento, siendo mucho más cómodo de usar y acceder.

Por otro lado, los datos pertenecientes al cliente se obtendrán de una base de datos existente de parte de planta interna y, en cuanto a los datos pertenecientes a los elementos de la ODN (ubicación de NAPs, fibras, OLT, etc.) se obtendrán de parte de los archivos KMZ ya existentes. Teniendo en cuenta que migrar a este nuevo sistema puede ser dificultoso o complicado por el gran número de sucursales existentes actualmente, por lo

que se agregará la función de importar y exportar archivos de formato KMZ/KML para que este trabajo complicado se vuelva sencillo en pocos pasos, dado que con la mencionada función únicamente se tendrá que unir lógicamente los hilos de fibra y no tener que trazar las rutas nuevamente o poner las posiciones de las NAPs desde cero, transformando un trabajo largo y tedioso en uno corto y simple.

El sistema de los hilos de fibra será parte esencial en este trabajo de grado puesto que será el que conecte de manera lógica el cliente hasta la OLT; por tanto, este sistema se realizará siempre teniendo en cuenta las reglas y normas implementadas por AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A, tales como el código de los colores, distributivo de hilos, código alfanumérico de las NAPs (primer y segundo nivel) conjuntamente con el número o tipo de splitter y demás reglas a seguir, para ser lo más fidedigno a la estructura de la ODN planteada dentro de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

Para el ingreso de todo el sistema antes mencionado se tendrán que autenticar en un sistema de usuarios (usuario y contraseña); este sistema de usuarios se encuentra clasificado en tres tipos: personal administrador, personal técnico y personal de ventas. Cabe resaltar que el personal técnico y los administradores usarán un sistema de peticiones, en el cual cuando un usuario parte del personal técnico modifique, cree o elimine algún elemento de la ODN, tendrá que ser aceptado o rechazado por parte del personal administrador. Por su parte, los administradores tendrán el acceso completo, y debido a que se trata de una aplicación CRUD, por lo tanto, se podrá: crear, leer, actualizar la red dando escalabilidad y eliminar cualquier elemento que conforma la ODN, además de poder reubicarlos por el mapa y modificar sus características dinámicamente; asimismo, aceptar o rechazar peticiones de parte del personal técnico.

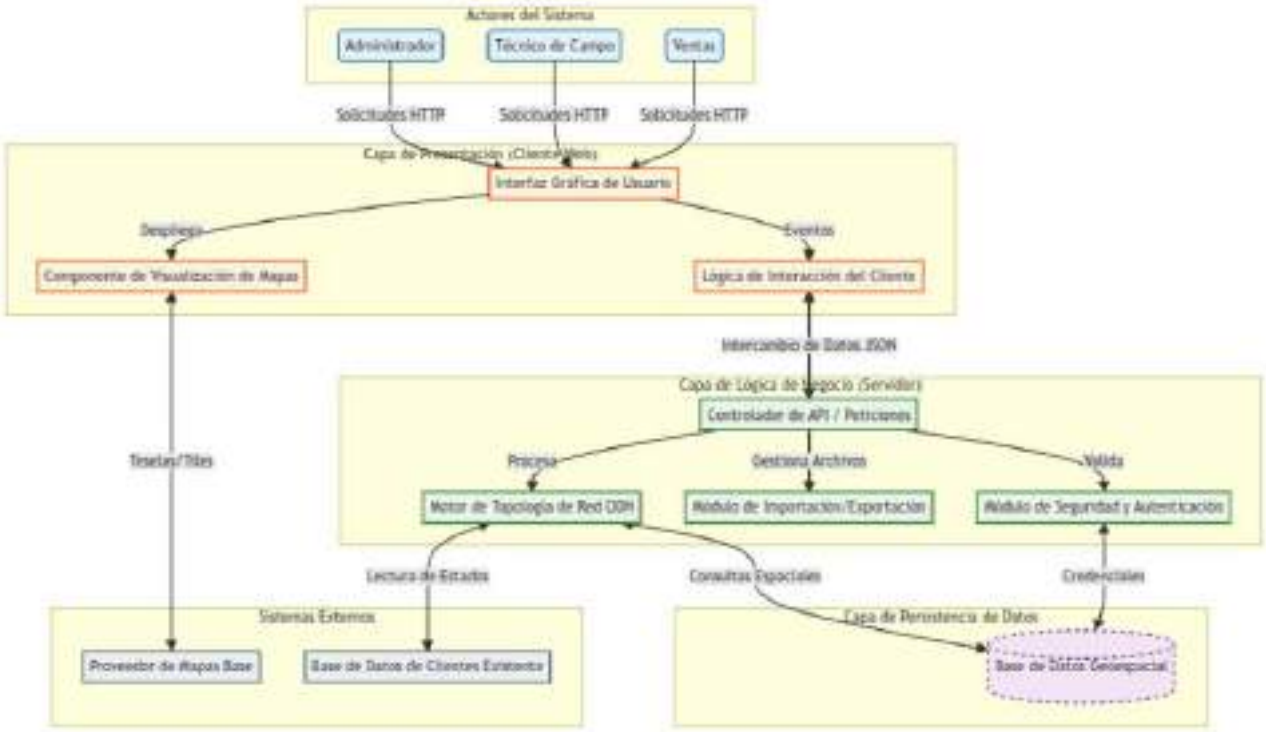
El personal técnico, por su parte, podrá realizar exactamente las mismas acciones que el personal administrativo, pero dichos cambios o adiciones en la ODN deben ser aceptadas o rechazadas por parte de los administradores.

En cuanto a los usuarios pertenecientes al personal de ventas, únicamente podrán visualizar la ODN, ya que a este departamento únicamente necesita la información de las cajas NAP y puertos libres para saber si existen puertos activos para un posible cliente o empresa.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de arquitectura del sistema de la página web a desarrollar, comenzando con la interfaz de autenticación de usuarios y concluyendo con la visualización georreferenciada de los elementos de la ODN vistos sobre un mapa interactivo basado en teselas para la graficación del mapa, obteniendo datos desde una base de datos espacial.

Figura 2.

Diagrama de Arquitectura del Sistema Propuesto.



Para verificar la funcionalidad completa de la aplicación, se hará uso de una sucursal de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A usando datos reales de dicha sucursal, comprobando el correcto funcionamiento de cada una de las partes de la aplicación. Esta fase permitirá demostrar la eficacia del proceso de migración y centralización de los datos a este nuevo sistema frente a las limitaciones del método tradicional de Google My Maps y los archivos KMZ. En cuanto al apartado de los clientes y su estado, se llevará a cabo en un ambiente controlado realizando pruebas reales de desconexión y conexión de clientes desde la base de datos de planta interna para verificar que la aplicación refleje los cambios correctamente. Una vez finalizada la validación funcional de la aplicación, se generará una máquina virtual lista para que el equipo de planta interna proceda con su implementación en el datacenter (IP Pública) y sea de acceso global.

Finalmente, la metodología planteada para este proyecto de grado se basará en un enfoque de investigación tecnológica aplicada, adaptando el marco de trabajo ágil Scrum con el motivo de tener una gestión integral del ciclo de vida del desarrollo de software. Implicando el proceso de construcción incremental e iterativo, con entregas parciales o también llamados “sprints”. Esto logrará tener una adaptación flexible en cuanto a los requerimientos funcionales a medida que se profundiza en el análisis de los archivos KMZ, además de la integración con la base de datos existente dentro de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. Cubriendo metodológicamente absolutamente todas las fases a cumplir en cuanto al desarrollo, desde el diseño de la arquitectura hasta llegar a la validación funcional dentro de una sucursal de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

1.5. Justificación

El gran crecimiento de empresas proveedoras de servicios de Internet en el Ecuador en los últimos años ha conllevado un aumento exponencial en cuanto a densidad se refiere y en cuanto a complejidad de las infraestructuras de fibra óptica desplegadas a nivel nacional [5]. Por este dinamismo de la industria llega a imponer un desafío bastante crítico: la necesidad de la gestión de redes de manera masiva de una manera eficiente y escalable. Además, en los últimos 5 a 10 años se ha elevado los estándares de calidad y eficiencia operativa en el mercado de las Telecomunicaciones, convirtiéndose en un entorno competitivo, la agilidad en la gestión de la infraestructura física llega a ser un activo estratégico diferencial [6].

Cuando se habla de empresas proveedoras de servicios de internet, dentro de la provincia de Imbabura y otras tantas; una de las principales empresas a destacar es AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. La cual es un claro reflejo de esta tendencia, con su acelerado crecimiento a 24 sucursales por todo el Ecuador, ha llegado a la saturación de la capacidad de las metodologías actuales con métodos simples manejando archivos planos y estáticos, dejando en evidencia que dichas herramientas funcionaron en las etapas iniciales de la red se han vuelto en un freno en cuanto a el crecimiento y operatividad de la empresa.

La transición hacia un sistema digital centralizado se fundamente en la urgente necesidad de la resolución de problemas prácticos, establecer nuevas metodologías de trabajo, aportar al conocimiento académico y apoyar al desarrollo sostenible nacional. Se procederá a mostrar razones por las cuales se valida el proyecto desde varias perspectivas.

Su desarrollo se encuentra orientado a la resolución de un problema real y crítico dentro de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. refiriéndose a su forma de operación: la ineficiencia y la descentralización de la información por la

actual gestión de la ODN; con la dependencia de los archivos KMZ los cuales son planos y estáticos, por otra parte, la validación física de los puertos en las NAPs con la actual metodología de ensayo y error conlleva a generar altas cuotas de tiempo elevando los tiempos de respuesta; además de inconsistencia de datos y una larga exposición innecesaria del personal de planta externa o personal técnico de campo a trabajos en altura [7].

El desarrollo de una aplicación web basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) propone la una estrategia tecnológica concreta con el motivo de mitigar dichos problemas. El centralizar los datos de la ODN en una base de datos estructurada genera una única fuente de veracidad. El impacto económico se manifestará dentro de la reducción del tiempo medio de reparación (MTTR) y el manejo de la optimización de recursos logísticos al momento de evitar desplazamientos en campo que resultan improductivos [8].

Viendo desde la perspectiva social y/o laboral, la implementación del sistema de monitoreo de clientes reducirá en gran forma los riesgos de seguridad ocupacional para los técnicos de planta externa. De esta forma, el proyecto no solo se enfoca en resolver un problema de ingeniería; sino que además, mejora la seguridad y eficiencia de la operación.

Si bien existen dentro del mercado soluciones especializadas a nivel de producción como lo son Vetro FiberMap, SmartISP y SmartOLT o OZMap que manejan este tipo de problemáticas, los modelos de licenciamiento basados en suscripciones implican costos elevados ligando a la empresa a gastos eternos por dichos servicios, representando una barrera financiera significativa y una dependencia tecnológica que dentro de este ámbito se denomina vendor lock-in provocando que un cliente presente grandes dificultades para cambiar de proveedor [9]. También, estas soluciones poseen

desventajas significativas como la antes mencionada; y otro punto a destacar es la no personalización de su producto para cada cliente, en este caso este punto se mitiga con la aplicación propuesta adaptada a los procesos específicos y normas que se rigen en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. y se evita el vendor lock-in ya que esta solución posee bidireccionalidad con la importación y exportación de la red ODN, además de su precio gratuito y sin ningún tipo de suscripción o ningún tipo de licenciamiento.

Desde una perspectiva de negocio, la ineficiencia actual que existe dentro de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. Genera costos operativos ocultos o también llamados OPEX por los tiempos muertos y de retrabajo. Con la solución presentada se optimizará flujos de trabajo; con ello, beneficiando de manera directa a áreas clave de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. tales como:

- **Jefe de Planta Interna:** Principal beneficiario, el cual gestionará las sucursales, manejará el diseño y creación de nuevas sucursales o ampliaciones de las ya existentes con el adicional de verificar los clientes por toda la red, de manera más eficiente y con lógica funcional de una red óptica pasiva en un solo lugar.
- **Personal Técnico en Campo:** El sistema eliminará la necesidad de validaciones de ensayo y error para verificar disponibilidad de puertos reduciendo drásticamente los tiempos en la instalación y la reparación reduciendo gastos de movilización y riesgos laborales.
- **Personal de Ventas:** Obtendrán una visualización completa de la ODN para la verificación de puertos disponibles para un tentativo cliente o empresa nueva que desee contratar el servicio.
- **Soporte Técnico y cierta parte de Planta Interna:** Se eliminará la carga de comunicación síncrona entre soporte técnico y técnicos en campo para la

liberación de puertos, reduciendo la carga para este departamento. Y en cuanto a planta interna: el resto de departamentos no deberán de comunicarse con planta interna para ver el estado de los clientes, si estos clientes sufrieron caídas o ya recuperaron el servicio; liberando recursos de estos departamentos para ahorrar estos recursos para incidencias más complejas.

La metodología actual expone a los técnicos a riesgos laborales innecesarios asociados al trabajo en alturas provocando además fatiga física solo para consultar información. Con la implementación de la lógica de los clientes en las NAPs dentro de la aplicación, transformará por completo este paradigma, mejorando de manera sustancial la seguridad ocupacional y la calidad de vida laboral del personal de planta externa.

Desde el punto de vista teórico, se busca generar reflexión académica y confrontar el conocimiento actual de la gestión de redes ópticas. Se alinea con la postura de [10], quien establece que la eficiencia operativa y escalabilidad de FTTx contemporáneas dependen de una gestión rigurosa de planta externa (ODN). Este trabajo de grado contrasta la eficacia de metodologías tradicionales, es decir, archivos planos y estáticos frente a soluciones dinámicas basadas en bases de datos con estructuras geoespaciales; sustentándose en la teoría SIG que como menciona [11], proporcionan un marco conceptual para gestionar la relación información lógica y física, permitiendo una toma de decisiones la cual se basa en datos.

El proyecto propone estrategias estructuradas para generaciones de conocimiento tecnológico. A comparación de enfoques empíricos, se adapta el marco de trabajo formal basado en la gestión rigurosa de datos espaciales y principios de ingeniería de software (metodología ágil Scrum). Proponiendo un flujo replicable que abarca desde el análisis de datos y estructura lógica de la ODN y el modelado de bases de datos geoespaciales, hasta la parte de la verificación de la funcionalidad completa mediante la implementación

de una sucursal de AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. y pruebas controladas.

Los ODS a los que se contribuye en este trabajo de grado son respecto al ODS 9 perteneciente a la industria, innovación e infraestructura ya que se fomenta la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones con tecnologías las cuales son digitales y eficientes. Además, llega a alinearse con el ODS 11 perteneciente a ciudades y comunidades sostenibles porque mejora la eficiencia de servicios de telecomunicaciones garantizando un acceso confiable a la conectividad y reduciendo la brecha digital en distintas zonas de operación en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Redes de Fibra Óptica

Las redes de fibra óptica transportan datos a velocidades sumamente altas mediante la refracción de la luz en el núcleo, con ello dando inmunidad a cualquier tipo de interferencias electromagnéticas a comparación de métodos tradicionales como el cobre [12].

Además, existen 3 tipos de materiales para la fabricación de fibras ópticas que se usan en la actualidad:

- ✓ Plástico
- ✓ Vidrio
- ✓ Forro plástico y núcleo de vidrio

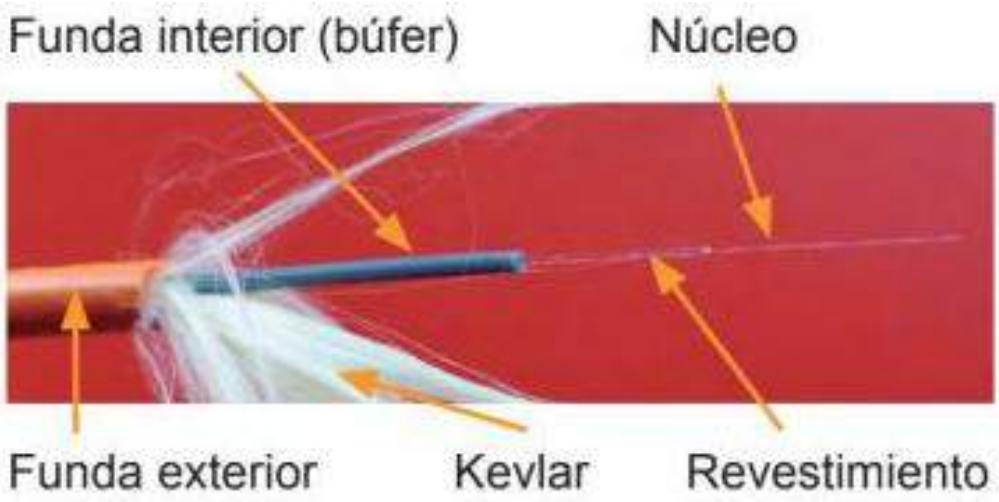
Las diferencias clave que existen entre estos tipos de fibra se basa en su flexibilidad, coste y la atenuación. Si bien las fibras de vidrio son las que poseen mayor número de ventajas a comparación de la fibra plástica, pero el precio difiere enormemente [13].

2.1.1. *Partes que componen la fibra óptica*

Debido a su sensibilidad y fragilidad, Un hilo de fibra cuenta con múltiples protecciones con el fin de aislarlo del polvo y la suciedad, los cuales provocarían perdidas de potencia. En la Figura 3 se muestra cada parte que compone un hilo de fibra óptica.

Figura 3.

Partes que componen a un hilo de fibra óptica



Nota: Imagen tomada de *[14]*.

Las partes que componen un hilo de fibra son las siguientes:

- ✓ **Búfer:** capa de protección no óptica con absorción de la humedad y daños.
- ✓ **Funda Exterior:** capa plástica que actúa como primera defensa contra el ambiente.
- ✓ **Kevlar:** Hilos de aramida para dar resistencia a la tracción.
- ✓ **Revestimiento:** Funciona como un espejo para atrapar la luz dentro del núcleo.
- ✓ **Núcleo:** elemento principal por el cual viaja los datos en forma de luz [15].

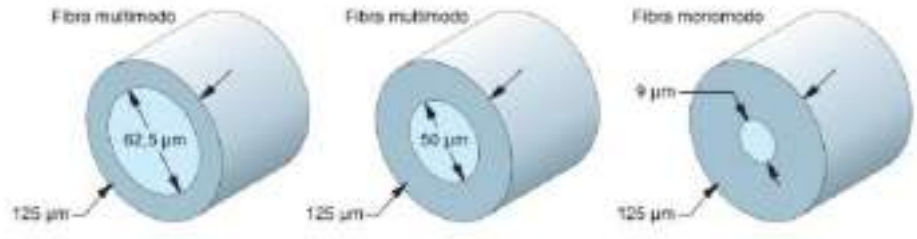
Existen otros tipos de cables de fibra óptica con distintas partes, los cuales son usados para diferentes propósitos, otros tipos de cables poseen más o menos componentes dependiendo del caso, tal como lo es el cable de acometida el cual es más simple y únicamente posee recubrimiento y cubierta [16].

2.1.2. *Tipos de fibra óptica*

Existen dos tipos de formas de transmisión en señales ópticas con diferentes usos, teniendo como principal diferencia en el diámetro de su núcleo [17], como se aprecia en la Figura 4, la cual muestra los micrómetros del núcleo de cada una y las diferencias de propagación entre la fibra multimodo y monomodo.

Figura 4.

Partes de la fibra monomodo y multimodo



Nota: Imagen tomada de *[18]*.

A continuación, se detallan las diferencias clave entre la fibra multimodo y la fibra monomodo en mayor profundidad.

- ✓ **Multimodo**

La fibra multimodo permite que la luz se propague la luz en múltiples trayectorias y posee un núcleo con un diámetro superior a los 50 micrómetros [19], tal y como se observa en la Figura 4. Se clasifica en dos clases: la primera se trata del índice escalonado, en la cual el índice de refracción sufre un cambio de forma cuando atraviesa el núcleo al revestimiento de la fibra; en cuanto al índice gradual su diferencia radica en que varía progresivamente el índice de refracción comenzando desde la parte central hasta el revestimiento [18].

- ✓ **Monomodo**

En cuanto a la fibra monomodo se forma por un solo hilo de un diámetro pequeño menor a 10 micrómetros, teniendo una atenuación inferior y un ancho de banda superior al de la fibra multimodo, aquí el haz de luz maneja únicamente una sola trayectoria [19]. En cuanto a las ventajas que ofrece, una de ellas es su velocidad que a comparación de una fibra multimodo esta posee mayor velocidad debido a su reducida dispersión temporal, además de que se usa a grandes distancias por el motivo antes mencionado, con ello también trae desventajas provocadas por el reducido diámetro del núcleo como las operaciones de corte y alineamiento principalmente [18].

2.1.3. *Códigos de Colores (TIA/EIA 598)*

El código de colores facilita la distinción de cada hilo de fibra y acorde a como se detalla dentro de la norma TIA/EIA 598-B, el cual describe un estándar para identificar el número de cada cable correspondiente mediante un color especifico [20], en la Figura 5 se muestra el código de colores mencionado:

Figura 5.

Código de Colores TIA-598



Nota: Imagen tomada de *[21]*.

La norma define 12 colores en total, y desde el número 13 en adelante se repite el mismo color desde el principio con una línea negra añadida como se muestra en Figura 5, para su correcta distinción de los otros hilos de fibras [20]. Adicionalmente, se debe mencionar que los buffers manejan la misma norma de colores que los hilos de fibra.

Además, para reforzar los cables se hace uso de hilos de aramida en el interior, en un cable multifibra se maneja en el centro un grueso cable, el cual no es metálico, con la finalidad de servir como refuerzo y soporte para posicionar las fibras en un determinado orden [16], dependiendo de la norma que se use como base. Finalmente se encuentran sujetos con una cinta absorbente para la humedad y con un gel protector para evitar rigidez y dar mayor flexibilidad.

2.1.4. *dB y Dbm*

Dentro de las telecomunicaciones es común el uso de unidades de medida referencial debido a la gran cantidad numérica que se maneja este tipo de unidades de medida con el propósito de simplificar un número a un valor mucho más corto y fácil de comprender [22], por lo que al momento de usar un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR), usado para encontrar fallas en instalaciones ópticas, es de gran ayuda ya que este es un caso práctico donde se usa el dBm (decibelio-milivatio) siendo más fácil de entender la potencia que se maneja en esa parte del tramo y escribirlo si se diera el caso. Como se menciona en [23], la referencia que se toma en dBm es equivalente a :

$$0\ dBm\ =\ 1mW \tag{1}$$

En cuanto a la fórmula que se nos menciona en [23] , la cual es usada para transformar a dBm se maneja de la siguiente manera:

$$dBm\ =\ 10 * \log\left(\frac{Pmw}{1mW}\right) \tag{2}$$

Si al contrario, se desea cambiar de dBm a milivatios se maneja la misma fórmula despejando P(mW). Además, al hablar de potencia se destaca los dB (decibelio) los cuales sirven para demostrar ya sea ganancia o sea perdida [24]. Se debe mencionar que únicamente sirve con unidades referenciales, por lo que no se puede realizar operaciones matemáticas con milivatios, para ello se usa la fórmula antes mencionada. Entonces, como se hace mención en [23], la operación que se efectúa cuando se desee demostrar pérdida o ganancia a una potencia en dBm es la siguiente:

$$dBm - dB(Perdidas) + dB(Ganancias) = dBm \quad (3)$$

Se efectúa una simple suma ya sea para una ganancia o pérdida de potencia. Todo lo explicado anteriormente se alinea con lo mencionado por Fernández García y Barbado Santana "la potencia de salida del sistema es la de entrada, más las ganancias de los elementos del sistema que amplifican, menos las atenuaciones de los elementos del sistema que atenúan" [25].

2.1.5. *Presupuesto de Potencia*

El presupuesto de potencia óptica analiza la perdida de potencia medida en dB; desde la potencia dada por el Small Form-Factor Pluggable (SFP), con potencia positiva, hasta antes de la última milla [26]. Las pérdidas se presentan a lo largo del tramo por distintos motivos como lo son las micro curvaturas y macro curvaturas, pérdidas por distancia, acopladores o fusiones, fusiones de fibra y splitters (divisores ópticos).

El cálculo se realiza extrayendo la información relevante de los enlaces ópticos y las características de los cables, los transmisores y los receptores. Con dicha información recaudada se procede a realizar los cálculos del presupuesto de potencia total para el enlace restando la pérdida acumulada con la potencia de salida [27]. En el mismo texto se hace mención que mediante la línea de comandos del dispositivo administrador de la

red se puede llegar a obtener la antes mencionada información desde la línea de comandos (CLI).

La potencia del SFP depende del tipo de modelo y sus características, recalcando que no existe un estándar específico para ello. A continuación, en la Tabla 1 se muestran los distintos tipos de modelos de SFP existentes, en la columna tipo se nos muestra que, a excepción del primer modelo basado en cobre, todos emplean pares de hilos de fibra para la transmisión y recepción. Asimismo, para módulos que incluyen el símbolo λ, indica la cantidad de láseres que emiten simultáneamente (por ejemplo, 4 λ significa 4 láseres emitiéndose al mismo tiempo). Finalmente se detalla el alcance máximo de cada uno:

Tabla 1.

Modelos y características de módulos SFP

Nombre	Tipo	Alcance
1000BASE-T	COBRE CAT 5e	100 m
1000BASE-SX	2x MULTI-MODO 850 nm	220 m
1000BASE-LX	2x MULTI-MODO 1310 nm	550 m
1000BASE-LX	2x MONO-MODO 1310 nm	5 km
1000BASE-LX10	2x MONO-MODO 1310 nm	10 km
1000BASE-EX	2x MONO-MODO 1310 nm	40 km
1000BASE-ZX	2x MONO-MODO 1550 nm	80 km
1000BASE-BX10	2λ CWDM MONO-MODO 1310/1490 U/D	10 km
10GBASE-SR	2x MULTI-MODO 850 nm	400 m
10GBASE-LR	2x MONO-MODO 1310 nm	10 km
10GBASE-ER	2x MONO-MODO 1550 nm	40 km
10GBASE-ZR	2x MONO-MODO 1550 nm	80 km
10GBASE-PR (PON)	2λ CWDM MONO-MODO 1270/1577 U/D	10/20/30 km

40GBASE-SR4	2x MULTI-MODO 850 nm con 4λ	100 m
40GBASE-FR	2x MONO-MODO 1310 nm con 1λ	2 km
40GBASE-LR4	2x MONO-MODO 1310 nm con 4λ	10 km
100GBASE-SR10	2x MULTI-MODO 850 nm con 10λ	100 m
100GBASE-LR4	2x MONO-MODO 1310 nm con 4λ	10 km
100GBASE-ER4	2x MONO-MODO 1550 nm con 4λ	40 km

Nota: En la tabla se compara los distintos modelos de SFP existentes en el mercado, su tipo y su alcance [28].

Al existir una excesiva atenuación, la señal que llegará al receptor (ONU/ONT) provocará que no exista distinción entre bits de unos y ceros, por lo que, los datos no llegarán a entenderse por parte del receptor [29], existiendo nula comunicación con el proveedor y el cliente.

Por ello, realizar cálculos para el presupuesto de potencia resulta ser sumamente crucial para asegurar la eficiencia y transferencia de los datos; principalmente para la proyección de una nueva red de fibra óptica o incluso en una red ya diseñada la cual se desea realizar una repotenciación, evitando riesgos operativos de por medio debido a potencias bajas.

2.1.6. *Diseño de red para FTTH*

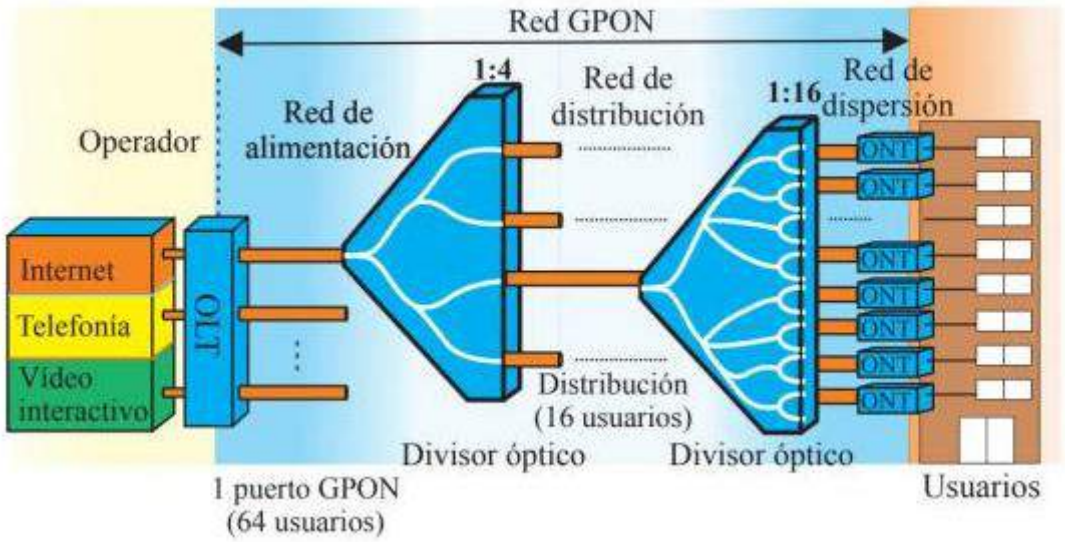
Una red FTTH conecta al ISP con la casa del cliente, específicamente la OLT con la ONU/ONT del domicilio del cliente. Para realizar dicha conexión, la mayoría de ISPs manejan una arquitectura en cascada, la cual se distribuye desde la OLT a las NAPs de primer nivel, donde comúnmente se usan splitters de 1x4 y 1x8; este tramo se denomina

red de alimentación, ya que tiene conexión directa con la OLT. Seguidamente, se continúa con NAPs de segundo nivel, donde comúnmente se usan splitters de 1x8 y 1x16, este tramo se denomina red de distribución. Finalmente se termina en la red de dispersión [16], también denominada última milla, la cual conecta la red con la ONT/ONU del cliente.

En la Figura 6 se observa una arquitectura de red FTTH que parte desde la OLT hacia la red de alimentación con un splitter de 1x4 para dar continuidad a la señal proporcionada de la OLT a las NAPs de segundo nivel, el cual usa un splitter de 1x16 para conectar con los clientes.

Figura 6.

Red FTTH



Nota: Imagen tomada de *[16]*.

En el caso de la red de alimentación y la red de distribución se maneja fibra denominada ADSS o en español llamada cable autosoportado totalmente dieléctrico, de hasta 144 hilos, dependiendo del diseño de la red. En cuanto a la última milla se usa fibra drop de 1 o 2 hilos.

2.2. Elementos que componen una red de fibra óptica

Una red de fibra óptica está compuesta por dos partes, elementos activos y elementos pasivos, los elementos pasivos abarcan toda la ODN y no necesitan ningún tipo de alimentación; para el caso de los elementos activos, que necesitan de una fuente eléctrica para su funcionamiento, se manejan principalmente elementos como la OLT y la ONU/ONT del domicilio del cliente [30].

2.2.1. *Elementos activos.*

- ✓ **OLT**

La OLT o línea de terminal óptica es un dispositivo principal en redes de fibra óptica, el cual necesita de medios eléctricos para su funcionamiento, ubicado principalmente en el datacenter del ISP. Su función es clave en una red óptica ya que administra abonados que contrataron al ISP y cumple la función de gestión de tráfico de igual forma que lo hace un router, además de conectar con redes externas [31]. En Figura 7 se observa una OLT de la marca Huawei vacía con varios puertos disponibles.

Figura 7.

OLT Huawei



Nota: Imagen tomada de *[32]*.

De igual manera, controla el flujo de información que transita en la ODN en distancias de hasta los 20 kilómetros, en dirección de bajada la función que cumple es tomar todo el tráfico y enviarlo en forma de broadcast a las ONT, en dirección inversa la OLT acepta el tráfico y lo distribuye desde los usuarios de la red [33].

- ✓ **ONU**

La Unidad de Red Óptica o también llamada ONU es el dispositivo el cual se encarga de convertir las señales de luz enviadas por la OLT a señales eléctricas actuando como un transductor, además como lo es el encargado del "multiplexado de las señales procedentes de un grupo de abonados o demultiplexado de las señales dirigidas a ellos" [34]. Cabe mencionar que una ONU se maneja específicamente en ciertos rangos de potencia para su correcto funcionamiento medidos en dBm, el cual se denomina rango de sensibilidad; generalmente se encuentra por los 21 dBm aproximadamente.

En la Figura 8 se observa una ONU de 1 Gigabit de la marca con el logotipo de PLUS en funcionamiento.

Figura 8.

ONU Plus



Hay que mencionar que en la actualidad existen routers los cuales realizan el proceso de transducción en un mismo equipo los cuales se denominan routers Home Gateway Unit (HGU) que ahorran mucho espacio y evitan errores dentro de una instalación FTTH al eliminar problemas de compatibilidad e intercomunicación entre dispositivos router y ONU por diferencias entre fabricantes, ya que al ser dispositivos todo en uno; llega a ser mucho más fácil de instalar, configurar y usar.

En la Figura 9 se muestra un router HGU, demostrando el poco espacio requerido y la facilidad de la instalación.

Figura 9.

Router HGU



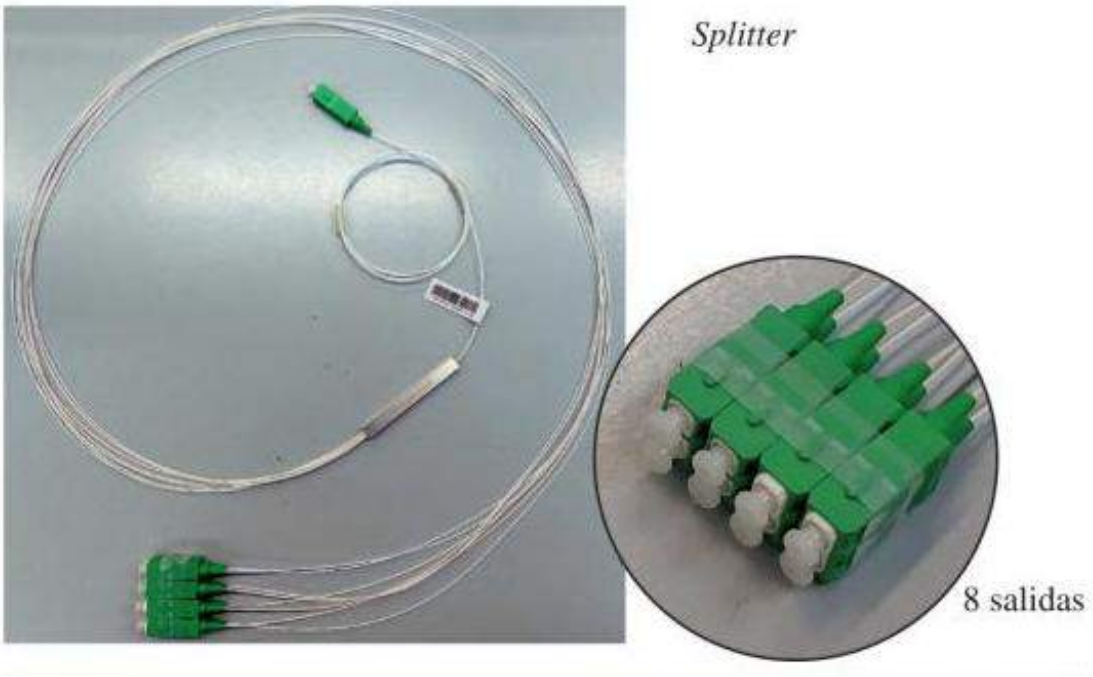
2.2.2. *Elementos pasivos (ODN)*

- ✓ **Splitters**

Un splitter o divisor óptico cumple la función de multiplexar la señal proporcionada por el OLT y dividir la potencia de entrada para cada uno de los puertos del splitter [35]. Dependiendo del caso, la potencia se divide de manera equitativa por cada una de las salidas o si se usa un splitter desbalanceado se divide la señal de manera asimétrica manejando una mayor potencia en un conector que en los otros puertos, en la Figura 10 se muestra un splitter de 1 a 8 conectores.

Figura 10.

Splitter 1x8



Nota: Imagen tomada de *[16]*.

Existen splitters de diferentes tipos, dependiendo de la potencia que desee obtener se usa uno u otro, manejando distinta cantidad de puertos de salida, pero todos mantienen una sola entrada; los modelos existentes son: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32 y 1x64 [35].

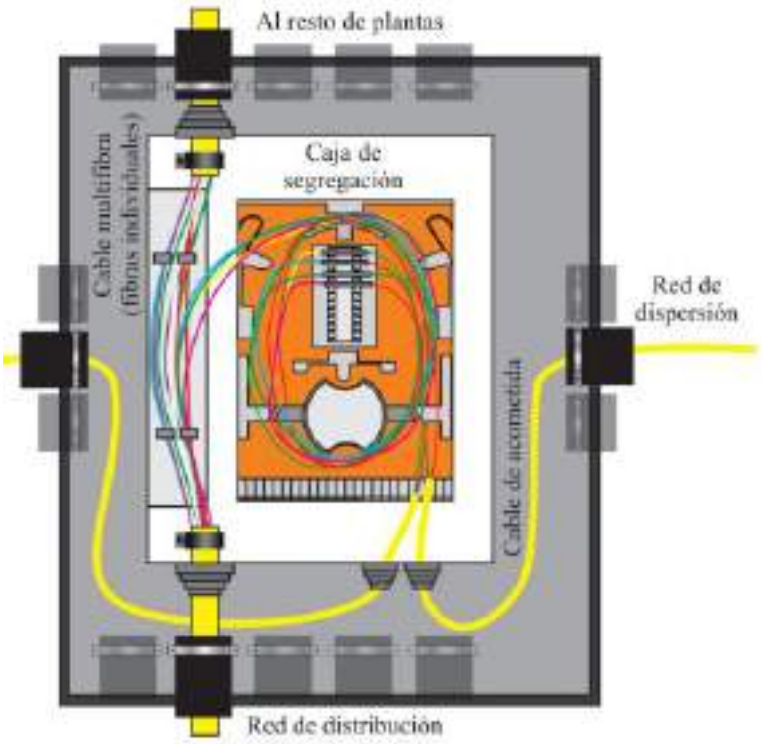
- ✓ **NAP**

Una NAP o caja de distribución óptica cumple la principal función de realizar el sangrado de la fibra óptica en el interior de esta, además de otras funciones como la de mantener la reserva de los hilos de fibra que no se usarán por el momento y realizar derivaciones o uniones de diferentes cables de fibra [16].

En la Figura 11 se observa una NAP de forma esquemática demostrando el sangrado de la fibra y la función de cada una de las entradas.

Figura 11.

Caja NAP de manera interna



Nota: Imagen tomada de *[16]*.

Existen diferentes modelos como lo son las IP 65 o IP 68 las cuales varían en sus puertos y/o protecciones, en cuanto a las protecciones sirven para evitar polvo, agua, suciedad en el ambiente y evitar el ingreso de animales como insectos o arañas, algunos incluyen splitters, tubillos termorrsetráctiles y ciertas herramientas en su kit. En la Figura 12 se observa una caja NAP con protección IP 68 de la marca Hentel con splitters y conectores mecánicos, además de caseteras de color blanco, para realizar fusiones de hilos de fibra.

Figura 12.

NAP IP 68



Nota: Imagen tomada de *[36]*.

- ✓ **Conector Mecánico**

Existen componentes externos que ayudan a dar continuidad a un cable de fibra óptica, el caso más común es usar una fusión de fibra para unir dos puntos de un hilo de fibra óptica el cual tiene menor perdida por atenuación de menor de 0.1 dB; en otros casos en los cuales se debe remplazar ya sea por una u otra razón de manera inmediata, se hace uso de un conector óptico o también llamado conector mecánico [16].

En Figura 13 se observa las partes que componen a un conector mecánico.

Figura 13.

Partes de un conector mecánico



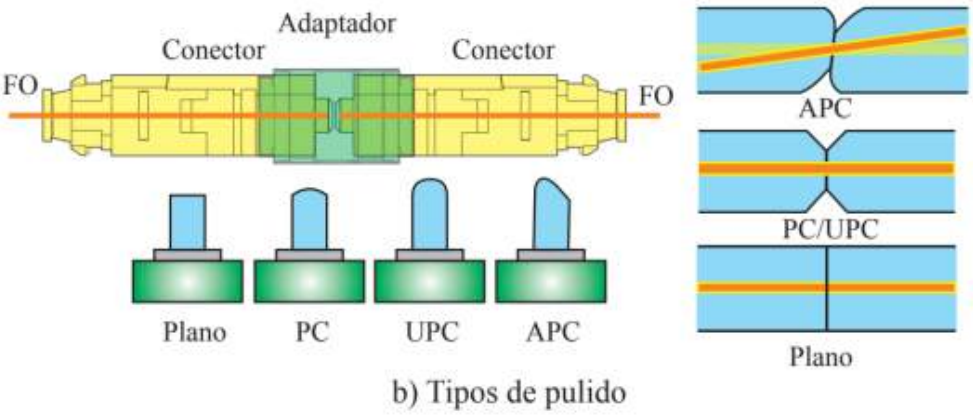
Nota: Imagen tomada de *[37]*.

El primer componente de la izquierda es un tapón protector el cual se usar para evitar la suciedad y polvo en la fibra, el segundo se trata del cuerpo del conector maneja el cambio de un medio a otro, el tercero se trata de un tubo de crimpar es la parte donde cruza el hilo de fibra óptica y se encuentra la férula, finalmente a la derecha se encuentra el boot el cual cubre el cable evitando torceduras [37].

En la Figura 14 se muestra los diferentes pulidos que existen y los ángulos que se generan al hacer contacto de un material a otro.

Figura 14.

Tipos de pulidos de un conector mecánico



Nota: Imagen tomada de *[16]*.

- ✓ **ODF**

El ODF cumple la función de gestionar y ordenar los hilos de un cable de fibra óptica y servir como protección para las conexiones, existen dos tipos: el ODF de pared para espacios limitados como oficinas o casas y el ODF de rack siendo un estándar para telecomunicaciones enfocado en los datacenters pensado en la escalabilidad [38], las partes que componen a un ODF son las siguientes:

- Conectores
- Bandeja de Empalme
- Splitter

La Figura 15 muestra un ODF de 24 puertos, el cual incluye splitters y muestra la entrada de la fibra ADSS.

Figura 15.

ODF de 24 Puertos



Nota: Imagen tomada de *[38]*.

2.3. Midspan Access

El acceso intermedio o Midspan Access es un término usado dentro de las telecomunicaciones para denominar al proceso de sangrado de fibra óptica (comúnmente fibra ADSS) [39]. Este procedimiento se emplea principalmente para 3 propósitos:

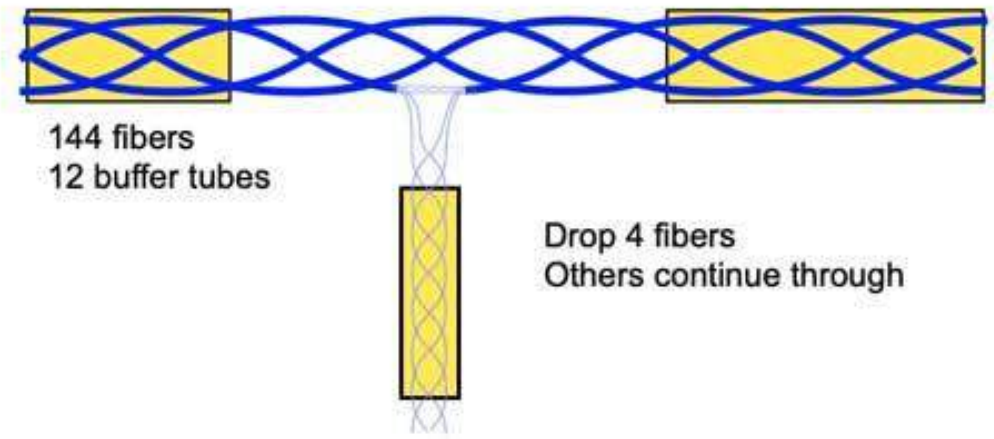
- ✓ Empalmar: Unir fibras para extender la red.
- ✓ Conectar: Derivar hacia nuevos puntos.
- ✓ Reparar: Arreglar partes afectadas sin afectar a todo el cable

El proceso se comienza abriendo la fibra dentro de un punto intermedio de un tramo, sin cortarlo completamente, con el fin de extraer uno o más hilos de fibra [39].

En la Figura 16 se muestra una fibra ADSS de 144 hilos, en la cual se realiza un sangrado en cierto tramo para separar 4 hilos de fibra, mientras que el resto de hilos continúan su ruta.

Figura 16.

Mid Span Access



Nota: Imagen tomada de *[39]*.

Su uso primario se basa en derivaciones dentro de la red de distribución o de dispersión, hacia una caja NAP o cliente final. Asimismo, existe el caso de derivación destinado a ampliación u otros propósitos como una repotenciación de una red existente.

2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un sistema de información geográfico posee varias definiciones, pero entre la más común se menciona que es un mapa geográfico que otorga la posibilidad de obtener información de manera espacial y visualizarla de manera gráfica mediante mapas [40].

Para incluir la información existente dentro un sistema SIG, se hace uso de un proceso centralizado definiendo características y se procede al ingreso de dicha información dentro del mapa en el sistema SIG planteado en forma de un punto, polígono o líneas, dependiendo del tipo de información que se desee plantear dentro del mapa [41].

La principal librería usada globalmente por varias empresas populares como Facebook, GitHub o la Comisión Europea, y que lleva más de 14 años en continuo avance, es Leaflet. Se trata de una librería interactiva de Javascript de código abierto muy ligera de apenas 42 kilobytes [42]. Permite el uso de varios tipos de mapas, la modificación completa de su interfaz, además de plugins adicionales que aumentan sus funciones. Cuenta con una documentación completamente detallada para un fácil uso con unas pocas líneas de código.

En comparación con otras herramientas similares como Mapbox, las ventajas que posee Leaflet llegan a ser superiores, las principales a destacar son las siguientes:

- ✓ Controles para manejo del mapa
- ✓ Soporte para gran variedad de navegadores y navegadores móviles
- ✓ Sin dependencias externas

- ✓ Rendimiento optimizado para dispositivos móviles
- ✓ Altamente personalizable
- ✓ Manejo de eventos
- ✓ Ventanas Emergentes
- ✓ Código en pocas líneas

2.4.1. *Bases de Datos Espaciales.*

Para que los datos que se integren en el sistema SIG se necesitan de una base de datos de por medio para el almacenamiento de los datos, y para que esta base de datos llegue a complementarse con un sistema SIG necesita de una extensión para el guardado de datos geográficos y obtención mejorada de datos geoespaciales como las coordenadas de cada uno de los puntos, cercanía con otros polígonos o puntos dentro de un espacio [43].

Existen varias alternativas a las bases de datos tradicionales como PostGis o Spatialite dependiendo de la densidad de datos se debe manejar una u otra, de preferencia se hace uso de PostGis o Spatialite por su continuo mantenimiento y su manejo de una gran densidad de datos sin bajas en el rendimiento. En este caso todas las extensiones espaciales siguen una misma estructura, para comprender mejor su funcionamiento se explicará con PostGis, el cual se basa en tres componentes clave [43]:

- ✓ Librerías

La librería principal que es el núcleo para el funcionamiento de esta extensión se llama libpostgis.so el cual es la interfaz intermediaria entre PostgreSQL y PostGis.

- ✓ Scripts

Postgis.sql o lwpostgis.sql en versiones más nuevas, es el script que maneja las funcionalidades de PostGis

- ✓ Scripts para soporte

Spatial_ref_sys.sql sirve para la proyección de datos o para manejar sistemas de referencia espacial, cabe resaltar que es un script opcional.

Para concluir, los scripts dependen del sistema operativo que se esté manejando e incluso se puede llegar a compilar extensiones propias para agregar funciones personalizadas dentro de PostGis [43].

2.4.2. *KML, KMZ y JSON*

Un archivo KML se trata de una variante de un archivo XML, adaptado para usarse en Google Earth con la diferencia que proporciona información geográfica y es mucho más flexible para intercambiar datos en internet [44].

Un archivo KMZ no es más que un archivo KML que se comprime para obtener un archivo de tamaño reducido para ahorro de espacio, lo que proporciona una descarga mucho más rápida [44].

El proceso que se realiza para la conversión de KML a KMZ es el siguiente: Para el archivo KML se usa un compresor de archivos en formato .ZIP y posteriormente se cambia la extensión de dicho archivo a KMZ.

En cuanto a los archivos en formato JSON, estos se basan en el lenguaje de programación JavaScript en cuanto a su estructura, la cual encaja de manera perfecta con las APIs de Google, siendo una forma alternativa de producción de datos espaciales. Esto se complementa con la programación web, a comparación de otros formatos como GeoXML que generan problemas de compatibilidad con JavaScript, este evita los problemas de parsing de XML [44].

2.5. Desarrollo Web y Arquitecturas de Software.

Para el desarrollo de una aplicación web se parte de un esquemático con las características y propiedades de cada elemento, y se prosigue con el diseño que se quiere llegar.

Las herramientas para la programación web son HTML, el cual sirve para definir la estructura que manejará la página web; CSS que sirve para el diseño de la estructura antes planteada en la página web, y finalmente JavaScript para agregar funcionalidades de programación y permitir páginas interactivas y dinámicas [45].

Para el almacenamiento de los datos se hace uso de una base de datos para almacenar la información, ya sea en la nube o de manera local. Otro termino a tener en cuenta es la página web donde se servirá, por lo que se necesita adquirir un dominio o usar uno local. En este caso se puede levantar una página web en poco tiempo con Python usando la librería de Flask en pocas líneas de código o Django si se desea un entorno mucho más complejo, pero más funcional entre backend y frontend.

Una página web puede servirse por HTTP o HTTPS, lo cual tiene como diferencia el protocolo de seguridad que se maneja en HTTPS, ya que cifra la información por TLS a comparación de HTTP que no posee seguridad para la información [46].

En cuanto a la arquitectura que se maneja en un sitio web, es la de cliente-servidor, en la cual el cliente realiza la solicitud o petición al servidor que quiere contactar, es decir, la página web a la que ingresó; el servidor procede a responder con la página web y/o servicios que proporcione [45].

Dos términos clave a tener en cuenta son el front-end y el back-end, el front-end se encarga de la interfaz con la que el usuario observa e interactúa, en cuanto al back-end es la parte que el usuario no observa y se encarga de que el sitio web trabaje correctamente

y cumpla sus funciones manejando los datos, realizando operaciones y funciones lógicas [45]. En la Figura 17 se observa una comparación del front-end y el back-end usando como analogía un restaurante explicando las principales funciones de cada uno.

Figura 17.

Frontend y Backend



Nota: Imagen tomada de *[47]*.

2.6. Metodología de Desarrollo SCRUM adaptada

La metodología de desarrollo SCRUM se trata de un marco ligero con el objetivo de dar solución a problemas complejos mediante soluciones que se adapten a cada situación de cada proyecto [48].

El proceso que se sigue es un proceso iterativo e incremental mediante entregas continuas y fácil adaptación a cambios en requisitos; adaptándose de manera perfecta con la forma de operar de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., la cual maneja exigencias sujetas a cambios por su continuo avance operativo, adecuándose esta metodología adaptada a los lineamientos y proyectos de la empresa con proyectos de otros departamentos sin afectarlos de ningún modo.

La adaptación técnica de esta metodología se enfoca en un único desarrollador, manteniendo disciplina y organización en el flujo de trabajo, llegando a consolidar los roles sin perder el seguimiento y la calidad de cada avance. En comparación con otros modelos metodológicos, se obtiene mayor cantidad de ventajas que un modelo en cascada, ya que se maneja una gran variedad de herramientas y conocimientos, desde SIG y bases de datos espaciales, hasta fibra óptica y programación web.

Los roles del equipo son tres: el primero es el Product Owner el cual es el dueño del proyecto o producto; el Scrum Master o también llamado facilitador, que se encarga del cumplimiento de cada iteración (sprint); finalmente, el Development Team el cual es el equipo que desarrollará el proyecto y verificará la funcionalidad [49]. Debido a que se está manejando una adaptación de la metodología original con adaptación unipersonal, los roles se manejan de la siguiente manera:

- ✓ Product Owner: Jefe de Planta Externa

Responsable de dictar parámetro para la aplicación y validar que el producto se ajuste a las necesidades de la empresa.

- ✓ Scrum Master: Trabajadores de la Empresa y Asesor/Tutor (Guías)

Mentores del proyecto, los cuales aportan ideas y proporcionan guías para encaminar el proceso de desarrollo de la aplicación, resolviendo dudas y con ello logrando evitar estancamientos con su conocimiento técnico/operativo.

- ✓ Development Team: Investigador (Yo)

A cargo del desarrollo del software con previa orientación técnica/operativa del Product Owner y el Scrum Master

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESARROLLO

En el presente capítulo se analizan los requerimientos necesarios conforme al funcionamiento del sistema actual en la empresa, con el diagnóstico se incluye una evaluación comparativa de las herramientas para la selección de la más adecuada para el desarrollo del sistema con la justificación y motivos de su selección. Además, se detalla el proceso de modelado de la base de datos y el proceso de desarrollo de la aplicación web. Por último, se describe la conexión con la base de datos de la empresa para la implementación del monitoreo de clientes, respetando la confidencialidad de la información. Además, se explica el plan para el ciclo de desarrollo (Sprints) de la aplicación mediante el manejo de la metodología scrum adaptada.

3.1. Análisis de requerimientos en base al funcionamiento actual en la Empresa

El análisis de la situación operativa actual dentro de la empresa es esencial para justificar de manera técnica el desarrollo de la presente solución GIS, debido a los métodos heterogéneos y la falta de un sistema centralizado para infraestructura de la ODN como principales puntos a tener en cuenta.

3.1.1. *Flujo de trabajo basado en Google Earth/My Maps*

Actualmente, el manejo de la ODN de la empresa se maneja enteramente en el uso de archivos KMZ y KML los cuales son gestionados mediante el software Google Earth Pro. En cuanto a ventajas que ofrece Google Earth, se tiene que es globalmente usado en varias empresas pequeñas por su sencillez y facilidad de uso, además, no necesita ningún pago por su uso. Por otro lado, complementariamente se maneja una plataforma secundaria compatible en la nube, llamada Google My Maps. Esta plataforma posee las mismas funciones, con el adicional de crear proyectos. En cuanto a desventajas de estas dos plataformas, se tiene que no están diseñadas para ser usadas como sistema de fibra óptica, sino para propósitos generales, por lo que carecen de lógica de hilos. Llegan a

generar muchos problemas en empresas demasiado grandes, aunque en un principio cumpla su función en ISPs pequeños.

En cuanto a la forma de trabajo de estos sistemas para la ODN, se maneja mediante la abstracción visual, manejándose de la siguiente manera:

- ✓ **Marcadores para cajas NAP, OLT o Mufa**

  Identificadas con iconos de chinchetas de colores. Sin ninguna forma de saber cuántos clientes están ocupando dicha caja.

- ✓ **Polilíneas para cables de fibra o multiusos**

  Definiéndose los hilos que posee el cable por los colores de la línea y el número de puertos explicito en su nombre, a veces usada para propósitos distintos agregando un nombre y color fuera del estándar para diferenciarlos.

- ✓ **Polígonos como áreas de cobertura o multiusos**

  Las cuales cubren las cajas de primer y segundo nivel, también usadas para propósitos múltiples con colores vistosos para ser distinguible.

3.1.2. *Evaluación del Sistema Existente*

Desglosando las características existentes y faltantes de las herramientas antes mencionadas para que cumplan con las características de un sistema robusto de fibra óptica como los ya existentes en el mercado, se obtienen los siguientes puntos clave:

Características Existentes en Google Earth y Google My Maps:

- ✓ Sistema de Proyectos (en Google My Maps).
- ✓ SIG.
- ✓ Sistema básico de trazo de rutas de cables y puesta de marcadores como NAPs, OLT o mufas mediante abstracción.
- ✓ Exportación e Importación.
- ✓ Compatibilidad Global.

- ✓ Seguridad de la información (en Google My Maps)

Requerimientos Faltantes en Google Earth y Google My Maps:

- ✓ Sistema de inicio de sesión y roles de usuario.
- ✓ Permisos de edición y visualización por proyecto.
- ✓ Edición multitudinaria.
- ✓ Sistema de petición de cambios en la red.
- ✓ Monitoreo de Abonados.
- ✓ Sistema centralizado.
- ✓ Sistema lógico de conexión de hilos.
- ✓ Catálogo de elementos de la ODN.
- ✓ Sistema dinámico y en tiempo real.
- ✓ Edición y visualización de hilos.

Con la evaluación anterior, se llega a obtener una visión general del funcionamiento del sistema actual y las características necesarias que se necesitan implementar en el sistema propuesto, llegando a la siguiente Tabla 2, donde se resalta los puntos limitantes más importantes a tener en cuenta y su impacto operativo.

Tabla 2.

Limitaciones del sistema actual y su impacto

Limitación	Característica Actual	Impacto Operativo
Accesibilidad	Asíncrono	Información diferida entre archivos
Lógica de Hilos	Textual	Dependencia del conocimiento de técnicos experimentados
Manejo de datos	Estático (Archivos offline)	Duplicidad y poca integridad en la información

Para sustentar el desarrollo de la nueva aplicación se muestra a continuación en la Tabla 3 una comparativa técnica de manera detallada de las herramientas actuales con la aplicación propuesta, para comprender de mejor manera cuales características se desarrollarían desde cero y cuales se implementarían basándose en el funcionamiento de las herramientas usadas por la empresa.

Tabla 3.

Comparativa técnica entre aplicaciones

Características	Google My Maps	Google Earth	Aplicación Propuesta
Gestión de Hilos	No soportado	No soportado	Gestión detallada hilo a hilo
Sistema de Roles	No soportado	No soportado	Tres tipos de roles personalizados
Descarga de software para su funcionamiento	No	Si	No
Personalización	Normal	Baja	Si (Enfoque total en la forma de trabajo de la empresa)
Seguridad de información	Alta (Infraestructura de Google)	No soportada (Local)	Media
Limitación en creación de elementos	Si (Limite de capas y elementos)	No	No (sin límite de creación de elementos o proyectos)
Tiempo Real	Asíncrono	No soportado	Si
Vendor Lock-in	No	No aplica	No
Edición múltiple	Asíncrono	No	Si (Proyectos colaborativos)

Vinculación con otras herramientas de la empresa	No	No	Si (Base de datos de clientes)
Manejo de usuarios	Si (Usuario único)	No	Si (Completo)
Enfocado a fibra óptica	No (General)	No (General)	Si (Específico)
Petición de cambios	No	No	Si (Dependiendo del rol asignado)

3.1.3. *Selección y justificación de herramientas a emplear*

Con la evaluación anterior, se obtiene una visión más clara en cuanto a las herramientas más adecuadas para el desarrollo de la aplicación propuesta. En este caso las herramientas de código abierto, las cuales incluso, empresas como se mencionó en el capítulo anterior, muestran igual fiabilidad y robustez que un software privativo, ya que se encuentran respaldado por empresas que dan apoyo a estas mismas.

Antes de continuar, se debe hacer mención y comparar los frameworks existentes para encontrar la mejor opción para el desarrollo del software propuesto dividiendose en tres partes: backend, frontend y base de datos, teniendo en cuenta el objetivo de desarrollar el software enfocado en fibra óptica para una empresa grande y la cual continua en expansión, con múltiples consumidores de la aplicación al mismo tiempo y sencilla de manejar y comprender, que además sea rápida y eficiente entre sí.

En la Tabla 4, se observa una comparativa entre frameworks para el backend de la aplicación.

Tabla 4.

Comparativa técnica entre frameworks para backend

Requisito	Flask	FastAPI	Node.js	Django
Integración con herramientas GIS	x	x		x
Arquitectura Ligera	x	x	x	
Compatibilidad con otras herramientas	x			x
Aprendizaje	x	x		

En la anterior tabla se llega a observar que FastAPI es igual de destacable que Flask, pero cabe mencionar que trabaja de manera asíncrona y en cuanto a Node.js el cual se maneja enteramente con JavaScript presenta una gran desventaja al interactuar con otras tecnologías en el mismo frontend o en el backend, al igual que Django [50]. Entonces Flask llega a ser una tecnología a destacar en los anteriores ámbitos y en este caso por su curva de aprendizaje que incluso Django carece; lográndose desplegar en menos de 10 línea de código.

Ahora en cuanto al frontend, en la Tabla 5 se muestra una comparativa entre librerías GIS para la visualización del mapa principalmente.

Tabla 5.

Comparativa técnica entre librerías de mapas para Frontend

Requisito	Leaflet	OpenLayers	Mapbox
Optimización para smartphones	x		x
Soporte para Canvas por defecto	x		x
Open Source	x	x	

Como se observa en la tabla anterior y teniendo en cuenta que se requiere un motor que soporte una densidad de datos grande, especialmente en smartphones. Leaflet es la mejor opción ya que el rol de técnico es el rol el cual va a usarse mayormente mediante smartphones, corroborando lo que se mencionó en capítulos anteriores.

Finalmente, la base de datos a usar es crucial que funcione correctamente con el Backend y el frontend, evitando retrasar a los servicios proporcionados pero que a su vez maneje una gran cantidad de datos y posea extensiones espaciales para realizar consultas en el mapa para localización y proximidad con otros elementos como NAPs y cables.

En la Tabla 6, se observa una comparativa entre dos bases de datos que poseen extensiones espaciales y son compatibles con las tecnologías antes seleccionadas.

Tabla 6.

Comparativa técnica entre bases de datos

Requisito	Postgre	SQLite
Cero configuraciones		x
Estándar OGC		x
Manejo de gran cantidad de datos	x	
Mejor integración con extensiones espaciales	x	x
Indexación R-Tree (Búsquedas espaciales rápidas)		x

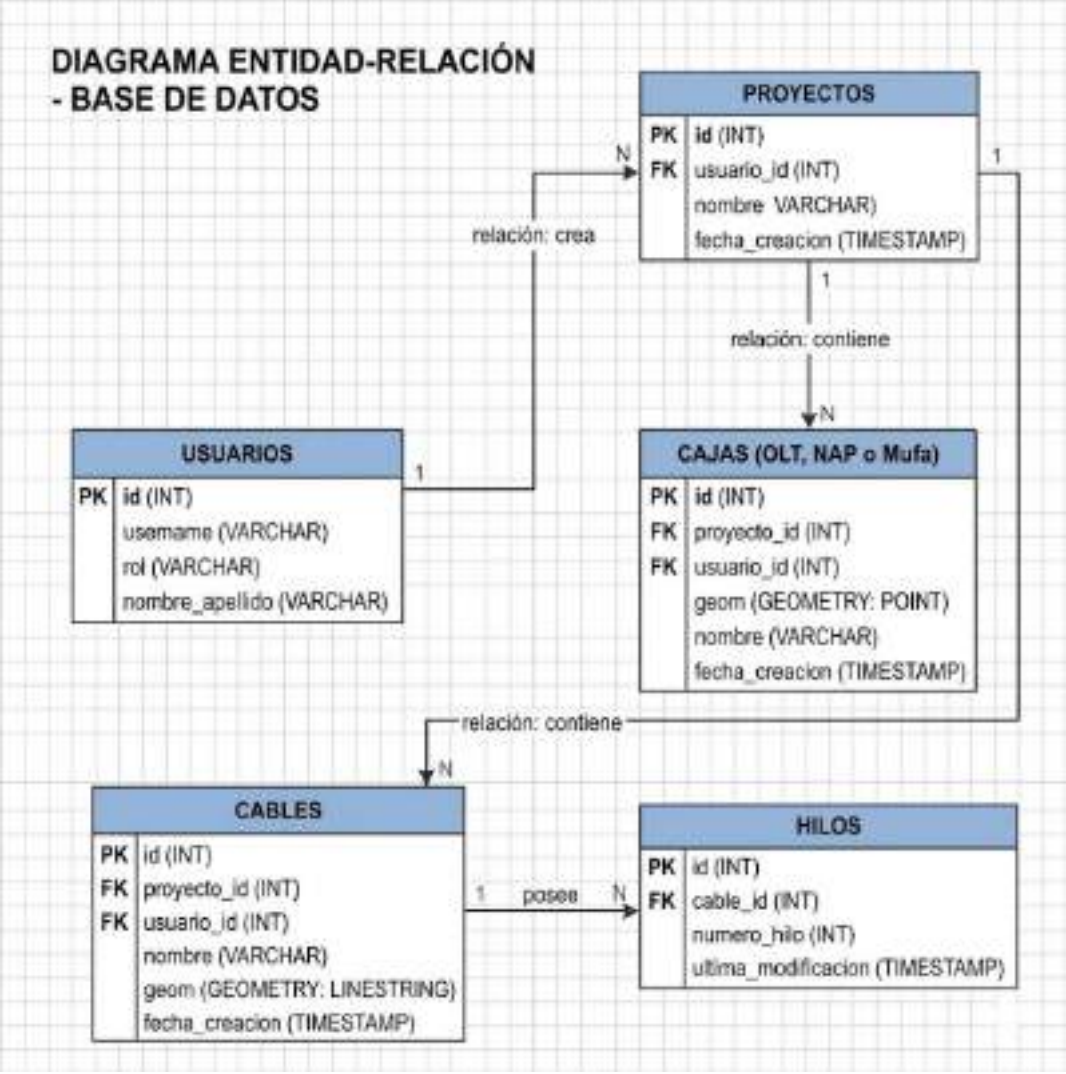
Aunque como se observa en la tabla anterior, Postgres posee un mejor manejo de volúmenes de datos y al configurar la base de datos adecuadamente llega a ser superior a SQLite, este posee la principal desventaja de tener búsquedas espaciales mucho más lentas [51], las cuales son consultas que se realizarán en cada momento y existirá pocas veces en las que se realizarán consultas normales, ya que este es un sistema completamente enfocado en SIG por lo que se necesitará conocer datos georreferenciales en cada momento. Con todo lo anterior mencionado se puede concluir que SQLite y su extensión SpatiaLite es ideal para este caso, aunque PostGis sea mucho mejor en ciertos aspectos.

3.2. Modelado de la base de datos para el sistema planteado

La base de datos se manejará con SQLite y la extensión SpatiaLite, teniendo esto en cuenta se puede crear un diagrama entidad-relación basado en los aspectos antes mencionados con 5 principales bloques. Como se muestra en la Figura 18, el cual es un diagrama entidad-relación, útil para la comprensión del funcionamiento de la base de datos en la aplicación, partiendo desde el usuario hasta los elementos del sistema.

Figura 18.

Principal diagrama entidad-relación.



Como se muestra en la Figura 18. Se parte por la tabla usuarios, el cual para operar en un proyecto o simplemente visualizarlo, debe completar una encuesta indicando su nombre de usuario, la contraseña a usar (la cual debe cumplir los estándares comunes para evitar vulnerabilidades), el nombre y apellido; y finalmente el rol al que es asignado.

Dependiendo del rol al que sea asignado, el sistema proporcionara ciertas herramientas de una manera u otra. Los roles funcionan de la siguiente manera:

- ✓ Administración (Lectura/Escritura)

  Disponibilidad de todas las herramientas posibles sin limitación. Administra las peticiones de usuarios Técnicos y proporciona acceso a proyectos tanto a Técnicos (Escritura bajo peticiones o Visualización) o Ventas (Estrictamente visualización). Además de la habilidad de crear, eliminar, o modificar usuarios.

- ✓ Técnicos (Lectura o Escritura)

  Limitación en el uso de las herramientas. Dependiendo de los permisos que proporcionó el administrador podrá simplemente visualizar o editar, si es el último caso entonces se maneja bajo el sistema de petición de cambios bajo los usuarios Administradores. Además, no puede crear proyectos.

- ✓ Ventas (Visualización)

  Visualización del mapa con herramientas limitadas, únicamente para desplazarse por el mapa y buscar elementos o direcciones de calles.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema de roles se muestra en la Figura 19, un diagrama que muestra las jerarquías/permisos de cada rol.

Figura 19.

Diagrama de Flujo del Control de Acceso Basado en Roles.



Continuando con el diagrama previamente presentado en la Figura 18, una vez que los usuarios existen, tienen acceso a sus proyectos o incluso a crear nuevos proyectos y compartir con el resto de los usuarios (con accesos de lectura o escritura).

Se prosigue con el bloque de Proyectos el cual tiene un campo de ingreso de nombre de proyecto (adicionalmente el campo para agregar una descripción), el usuario que lo creo (para que dicho proyecto pertenezca a dicho usuario exclusivamente) y la fecha en que se creó dicho proyecto.

En el siguiente bloque de Cajas y Cables destacan campos como “geom”, los cuales son campos que maneja la extensión SpatiaLite para el manejo georreferencial de

la ubicación y que tipo de elemento representa (punto, línea o polígono) en el mapa, además de permitir realizar consultas como longitud, intersecciones o distancias [52]. Otro campo a resaltar es el de fecha, el cual cumple la función de mostrar en el sistema de peticiones la fecha en la que se realizó el cambio, terminando con el campo nombres.

Para finalizar, el bloque hilos maneja el número de hilos que posee el cable e igualmente el campo "ultima_modificacion" servirá para el sistema de peticiones.

Cabe mencionar que se hace uso de nombres en español, pero estos no se llegarán a usar en la base de datos final ya que son únicamente como referencia y además puede variar ligeramente ciertos campos; y se debe tener en cuenta que las extensiones espaciales manejan una gran cantidad de tablas, que no se explicaron debido a que son demasiadas, y además no es necesario comprender cada una ya que todas cumplen el mismo propósito de georreferenciación.

3.3. Proceso de Desarrollo

Para el desarrollo de la aplicación web se empleó la metodología ágil "Scrum adaptada", acoplando los tres roles de esta metodología al presente trabajo. Recalcando que el desarrollo de la aplicación se desarrolló enteramente por el Investigador (Yo). Los roles adaptados se mencionaron previamente en la sección 2.4 de este trabajo.

La planificación se plantea de la siguiente manera, dividiéndose en 10 Sprints de dos semanas de duración no continua entre sí para cada uno. En la Tabla 7 se observa la bitácora de Sprints a usar para el desarrollo del software propuesto.

Tabla 7.

Bitácora de Sprints para el desarrollo del software propuesto

Sprint	Objetivo	Entregable Específico
Sprint 1	Arquitectura Base y Entorno GIS	Importación de los datos piloto en QGIS, y creación de proyecto base con la extensión qgis2web (incluye integración de Leaflet)
		Reemplazo del motor de renderizado SVG por HTML5 Canvas para optimización
		Configuración del entorno Backend con Python con Flask
Sprint 2	Base de Datos Espacial e Integración	Modelado y creación de la BD en SQLite con la extensión SpatiaLite
		Creación del motor de transformación de datos espaciales a formato GeoJSON
		Conexión/Traducción entre la BD y los Endpoints del Frontend
Sprint 3	Sistema de Usuarios, Roles y Proyectos	Desarrollo del inicio de sesión seguro (Cookies, límite de intentos por IP)
		Implementación del Control de Acceso Basado en Roles (Administrador, Técnico, Ventas)
		Interfaz tipo CRUD para la gestión de proyectos y usuarios
Sprint 4	Catálogo de Elementos y Botones UI	Definición del catálogo de cajas, OLT y cables bajo el código de colores de la norma TIA/EIA-598
		Creación de la iconografía personalizada en SVG (NAPs, Mufas, Abonados)
		Implementación orientada a objetos de los botones interactivos en el mapa (createBtn)
Sprint 5	Interacciones en el Mapa y Menú de Capas	Programación de los Pop-ups interactivos ("on hover" y "on click") para ver propiedades
		Menú lateral desplegable de control de capas, modo oscuro y selector de mapas de teselas
		Opciones de operaciones CRUD en el mapa para elementos georreferenciados
Sprint 6	Sistema Lógico de Hilos y Conexiones	Desarrollo de la interfaz interactiva "Interior de Caja" para NAPs/Mufas
		Programación de la lógica de conexión automática de hilos a splitters y bloqueos por normas empresariales
		Implementación de la función visual "Derivar Fibras"
Sprint 7	Importación de Datos y Vinculación Lógica	Desarrollo del módulo de exportación e importación de archivos KMZ/KML
		Sistema de clasificación por palabras clave y menú de cambio de categorías por lotes
		Función de detección y vinculación de elementos por proximidad de radio en el mapa

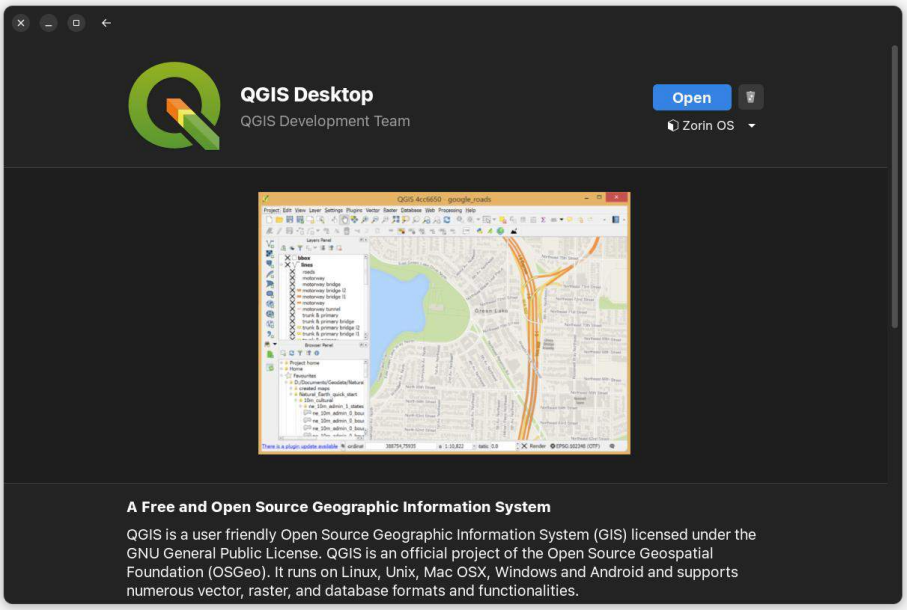
Sprint 8	Tiempo Real y Sistema de Peticiones	Integración de Flask-SocketIO para la edición colaborativa en tiempo real mediante WebSockets
		Sistema de bloqueo de cajas ocupadas y notificaciones laterales dinámicas en pantalla
		Flujo de peticiones de cambios de red para técnicos y tablero de aprobación/rechazo exclusivo para administradores
Sprint 9	Monitoreo de Clientes y Rastreo VFL	Conexión con la base de datos de planta interna para obtener estados de conexiones reales de abonados
		Integración del Panel de Clientes (verificación de estado UP/DOWN y tiempo sin servicio, incluyendo fecha)
		Desarrollo de la herramienta de trazado de ruta lógica (Modo VFL) hasta la OLT
Sprint 10	PWA, Interfaz Móvil y Validación Piloto	Adaptación del diseño de menús y herramientas para lectura y edición en smartphones y dispositivos similares
		Configuración de la aplicación web como Progressive Web App (PWA)
		Carga de datos de la sucursal piloto de Riobamba en la aplicación y generación de la máquina virtual para el datacenter

Para comenzar con una estructura funcional y acelerar el proceso de desarrollo, se maneja qgis2web, el cual es un plugin dentro de QGIS (herramienta GIS de software libre) [53]. Con esto se evita partir desde cero y comenzar con una base de herramientas que ya funcionan entre sí y además incluye ciertas herramientas previamente seleccionadas.

En este caso se descarga QGIS desde la tienda oficial de Gnome como se observa en la Figura 20. Aunque se puede descargar mediante los repositorios oficiales desde la página web de QGIS siguiendo los pasos para cada distribución si se usa Linux o incluso existe su versión para Windows si es el caso.

Figura 20.

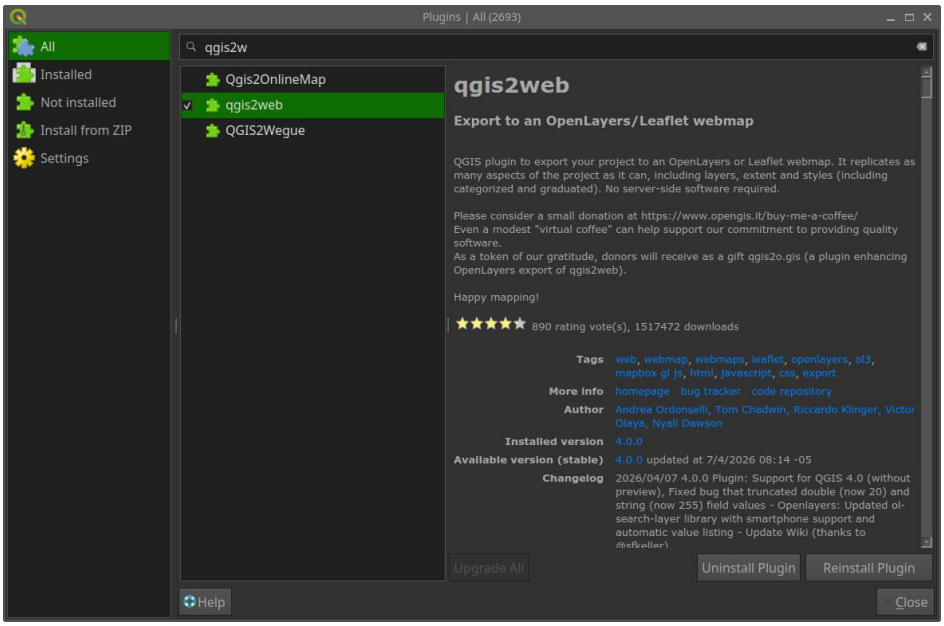
Instalación de QGIS Desktop en Linux



Para descargar la extensión de qgis2web, se crea un proyecto nuevo; en la barra de herramientas existe la sección de plugins y usando la barra de búsqueda simplemente se escribe “qgis2web” y se instala dicha extensión, tal y como se observa en la Figura 21.

Figura 21.

Instalación de QGIS Desktop en Linux

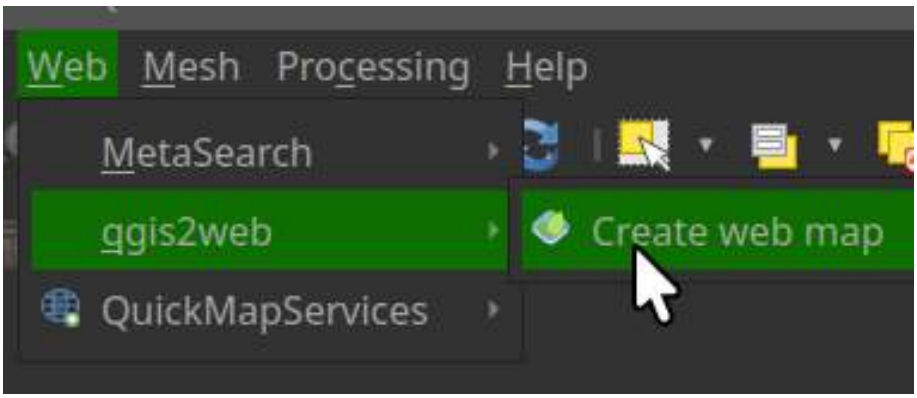


Con ello se accede a dicha extensión y ahora se necesita añadir elementos a nuestro proyecto que contenga puntos, líneas o polígonos. Para que al momento en el cual se cree el proyecto con la página web, se incluya todas las características y funcionalidades; incluyendo todas las librerías de manejo de estos elementos. De lo contrario se incluirían solamente ciertas librerías y se tendría que implementar por separado el resto.

Una vez que el proyecto ya se encuentra con la información antes mencionada ahora se procede a ir nuevamente a la barra de herramientas y en el apartado "Web" se despliega el menú y se selecciona qgis2web > "create a web map" como se muestra en la Figura 22.

Figura 22.

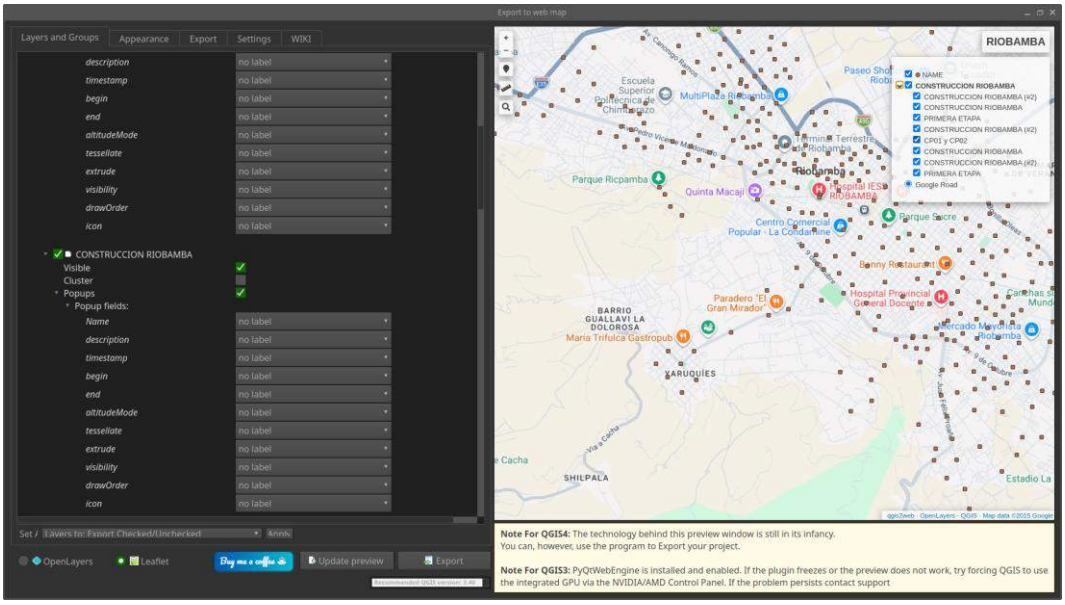
Uso de qgis2web



qgis2web es una herramienta fácil de usar, simplemente se selecciona las capas necesarias y para el manejo del mapa da a escoger dos opciones, que como se mencionó previamente se manejará Leaflet. Entonces ahora simplemente se exporta, tal y como se observa en la Figura 23, donde se muestra la interfaz de qgis2web para exportar.

Figura 23.

Exportación de proyecto a la web con qgis2web



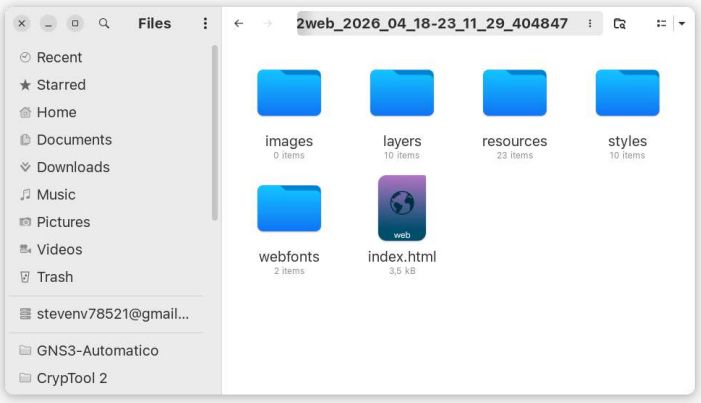
Cuando se concreta el proyecto se generan los archivos necesarios para su funcionamiento y se abre automáticamente la ruta del proyecto. Tal como se observa en la Figura 24, ahora se tiene un proyecto base que cuenta con:

- ✓ Leaflet implementado (incluyendo librerías).
- ✓ Lógica de botones en el mapa para: control de zoom, medidor de distancia, búsqueda de direcciones y GPS.
- ✓ Menú de control de capas
- ✓ Lógica de polígonos, puntos y líneas.
- ✓ Pop ups de información al pasar por los elementos del mapa
- ✓ Directorio organizado
- ✓ Mapa de teselas de Google
- ✓ Diseño de Interfaz implementado
- ✓ Compatibilidad con dispositivos móviles
- ✓ Orientado a la web
- ✓ Nombre del proyecto

Cabe mencionar que las características antes mencionadas son en gran medida básicas, pero son útiles como un punto de partida, por su sistema completamente funcional entre sí.

Figura 24.

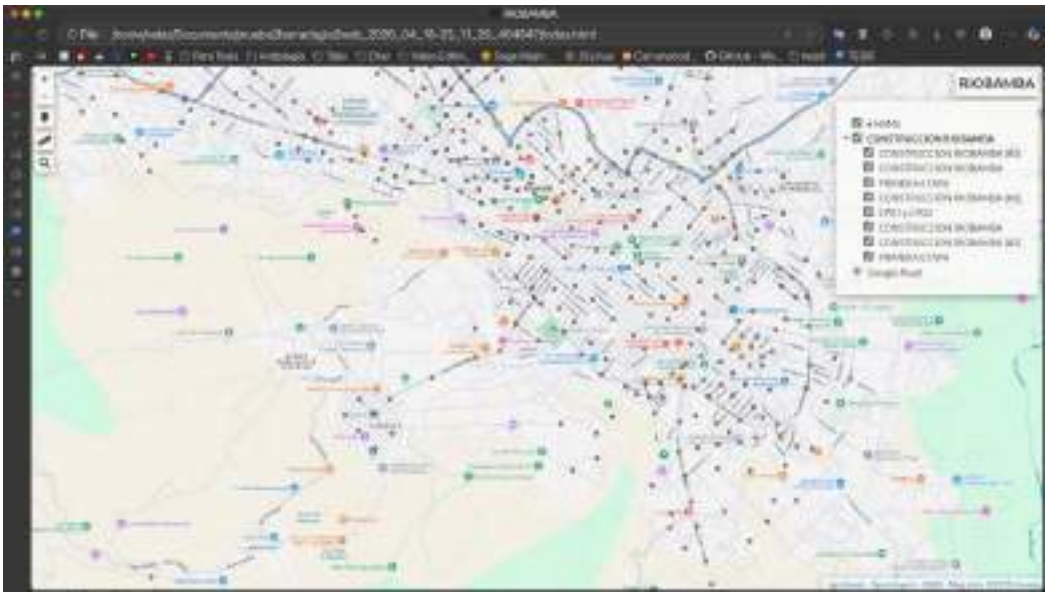
Directorio creado por qgis2web



Como se muestra en la Figura 25, al abrir el proyecto generado se muestra las características que se mencionaron anteriormente.

Figura 25.

Proyecto exportado de qgis2web



Para acoplar el sistema de qgis2web con el sistema propuesto se debe tener en cuenta las características faltantes, las cuales son las siguientes:

- ✓ Implementación de base de datos (Actualmente, usa archivos de Javascript con coordenadas en Json estáticos)
- ✓ Operaciones de lectura/escritura (CRUD)
- ✓ Botones enfocados a un sistema de fibra óptica:
    - o Cables
    - o Cajas
    - o OLT
    - o Abonados
    - o Líneas multipropósito
    - o Polígonos
    - o Edición de capas
    - o Borrar elementos por área
    - o Borrado masivo
    - o Importación/Exportación de KMZ/KML.
- ✓ Flask (Aplicación web)
- ✓ Búsqueda de elementos de la ODN.
- ✓ Sistema de usuarios y roles
- ✓ Elección de mapas de Teselas
- ✓ Sistema de Hilos
- ✓ Sistema y CRUD de proyectos
- ✓ Sistema de peticiones
- ✓ Botones referentes a la ODN
- ✓ VFL (Rastreo de Hilos)

- ✓ Sistema en tiempo real
- ✓ Monitoreo de clientes
- ✓ Edición colaborativa
- ✓ Atajos de teclado
- ✓ Interfaz Movil y PWA

Al manejar una gran cantidad de elementos dentro del mapa, el cual será el caso, existirá una latencia crítica. De hecho, Leaflet posee una función para contrarrestar esto, denominada "markercluster" (incluida en qgis2web), el cual agrupa elementos dependiendo de la cantidad de zoom aplicado [54]. En el sistema propuesto, esta función presenta una desventaja, ya que no se acopla a la forma planteada a un sistema de fibra óptica ocultando elementos hasta que se realice un cierto zoom en concreto.

Entonces, para optimizar el sistema se debe tener en cuenta otras alternativas, por ello se opta por un cambio en el motor de dibujo usando la API de Canvas proporcionada por HTML5, que por su alta optimización incluso se utiliza para crear juegos en 3D [55]. El cual no solo optimizará los "markers" o puntos como lo hace la función de "markercluster", sino que optimizará todos los elementos en el mapa.

En cuanto al mapa, este no necesita ningún tipo de optimización debido a que trabajan mediante teselas, los cuales son bloques de imágenes que cargan dependiendo del enfoque actual en el mapa, evitando la carga del mapa completo [56]; ahorrando mucho tiempo gracias a qgis2web, evitando programar desde cero esta parte. En la Figura 26, se muestra la línea de código principal donde se reemplaza el motor anterior SVG por Canvas de HTML5.

Figura 26.

Reemplazo de SVG por Canvas

```
1494  //Reemplazo por defecto de SVG por Canvas
1495  var map = L.map("map", { zoomControl: false, maxZoom: 20, minZoom: 1,
      preferCanvas: true });
```

Se manejará el nuevo motor para elementos estáticos y el motor anterior, el cual se maneja mediante SVG, para elementos que necesiten ser necesariamente dinámicos. Con esta decisión se logra aligerar la carga y optimizar el sistema completamente, proporcionando una mejora sustancial para dispositivos móviles o dispositivos con recursos más limitados. Además, no presenta ningún cambio visualmente y lucen exactamente igual, aunque trabajen de manera distinta.

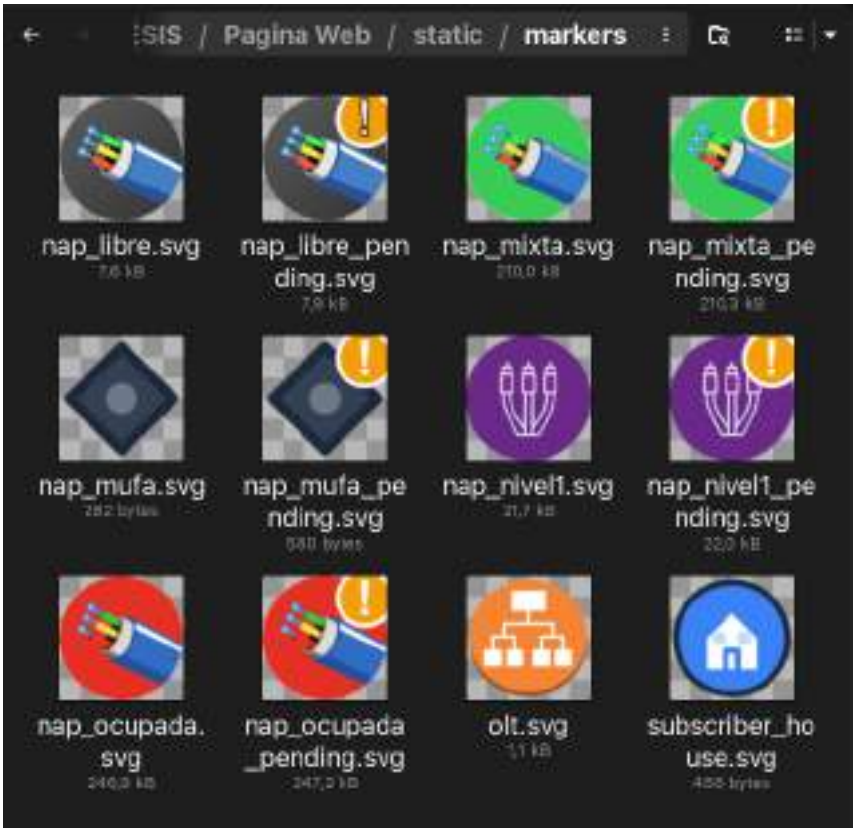
3.4. Iconos

La carpeta “marker” posee la iconografía que se muestra en el mapa para los puntos. Para tener una comprensión de cada elemento que se va a mostrar en el mapa se debe crear iconos personalizados para cada tipo de elemento, además de su nivel y estado para el caso de las cajas. Adicionalmente, se debe incluir iconos de pendiente para el sistema de petición.

Cabe mencionar que existe compatibilidad para iconos en formato svg o png y existen librerías de iconos gratuitas que incluyen descarga directa en dichos formatos. Se deben incluir cuatro tipos de iconos para cajas, abonado, OLT y mufas. En la Figura 27, se observa la iconografía para cada tipo de elemento incluido para el sistema de peticiones.

Figura 27.

Iconos para elementos del mapa



3.5. Base de datos

La implementación de una base de datos es crucial en un sistema de diseño, monitoreo y gestión; ya que es esencial guardar los elementos y cambios que ocurren dentro del mapa en alguna parte (actualmente estáticos), para tener la opción de realizar operaciones CRUD y tener una plataforma de fibra óptica robusta.

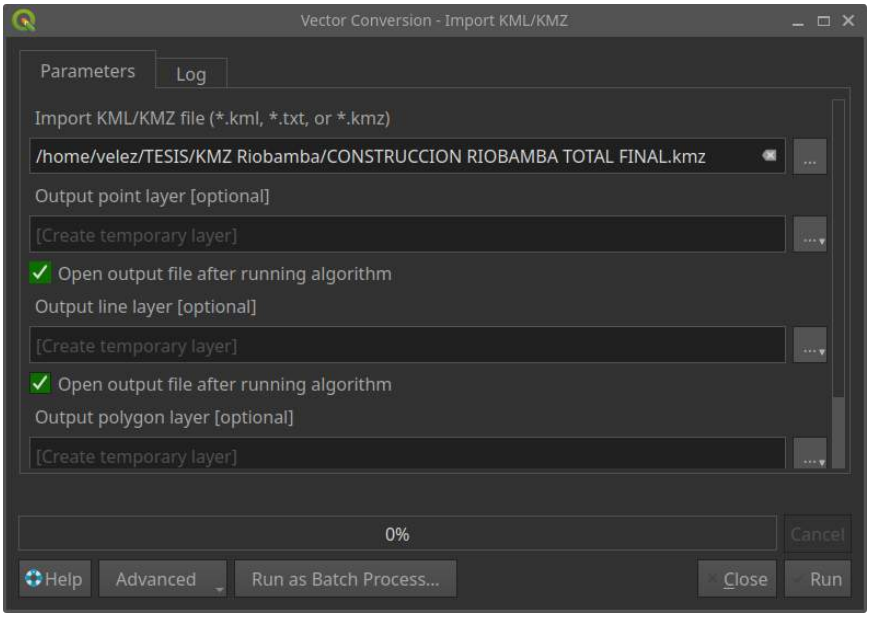
Para la implementación de dicha base de datos, puede usarse la base de datos que nos otorga QGIS la cual tiene implementación directa con la extensión de Spatialite. Cabe resaltar que dicha base de datos sigue cumpliendo con la estructura del diagrama entidad-relación planteado anteriormente en la Figura 18, por lo que es una excelente manera de acelerar el proceso de desarrollo de la base de datos. En este caso se manejará dicha base

de datos con datos de una ODN de prueba. Con esto se logra probar el funcionamiento con información real.

En la Figura 28, se observa el uso del plugin KML Tools, útil para pasar archivos KML/KMZ a QGIS e ingresar datos de prueba a la base de datos de SQLite con Spatialite que nos proporciona QGIS.

Figura 28.

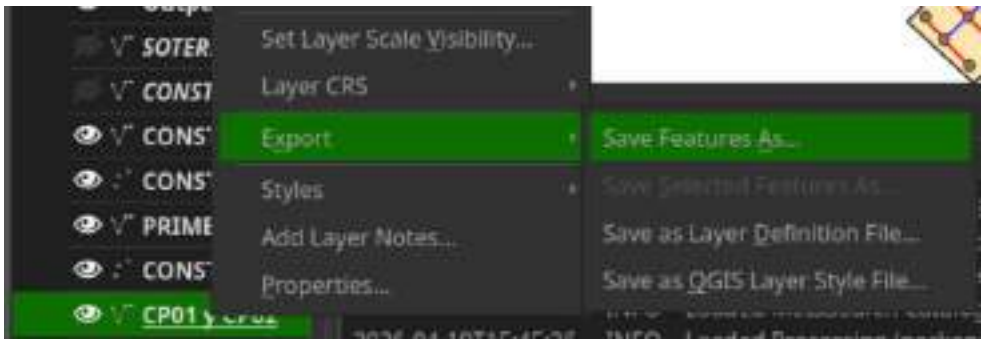
Importación de KMZ a QGIS



Con los datos importados a las capas de QGIS se puede ingresar dichos datos de manera sencilla a SpatiaLite usando la función de exportar, tal y como se muestra en la Figura 29.

Figura 29.

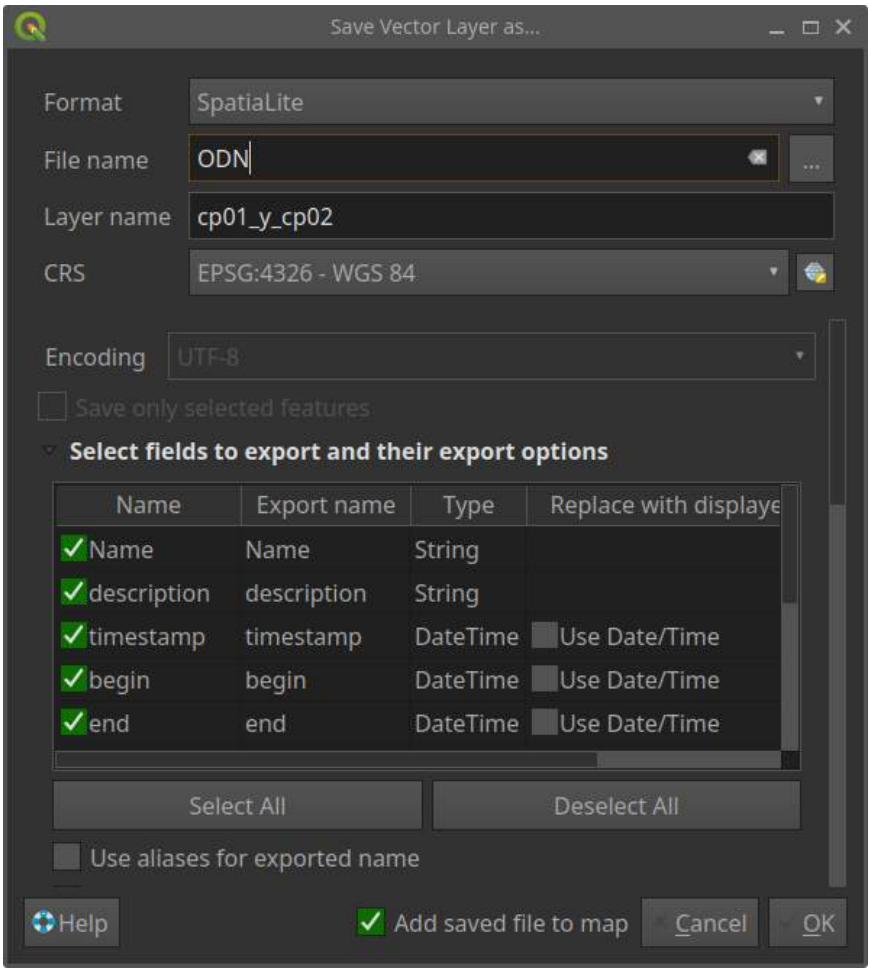
Función de Exportar de QGIS



En cuanto a la Figura 30, se muestra la exportación de todos los datos de la capa cp01 y cp02 hacia SpatiaLite incluyendo las respectivas etiquetas.

Figura 30.

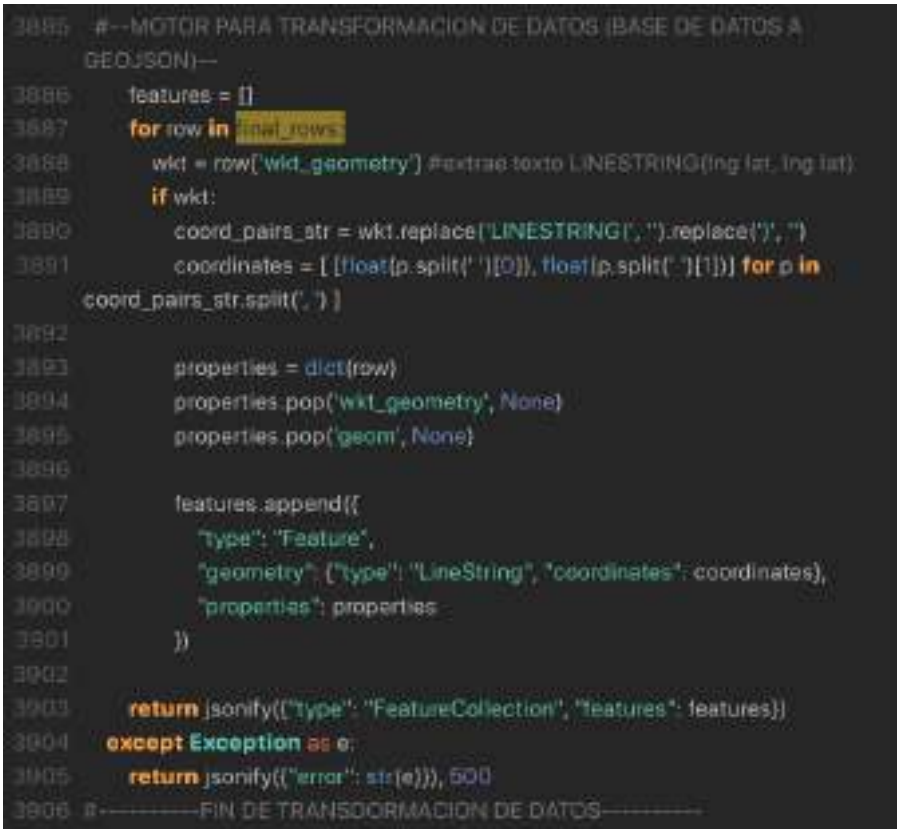
Creación de base de datos SpatiaLite con datos de una ODN



Con la base de datos lista, ahora se necesita integrar con la aplicación; por lo que se necesita cambiar la lectura de la información de los archivos Javascript hacia la base de datos. Para ello se debe implementar un motor para transformar los datos de la base de datos del formato Json/GeoJson a la misma forma que lo hacen los archivos Javascript estáticos como se muestra en la Figura 31, y terminar en una consulta a las rutas de información (endpoints) para mostrar cada elemento en el mapa, como se observa en la Figura 31.

Figura 31.

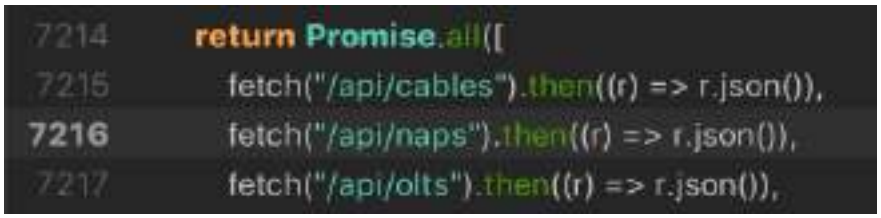
Código para transformar datos de SpatiaLite a GeoJson



En este caso los endpoints tendrán el nombre de los elementos (cables, naps, olt, entre otros) que se planean implementar para mayor orden y comprensión cuando llegue el momento en el que el código escale, con la finalidad de que su estructura sea mucho más entendible. Aunque se puede incluir todos los endpoints en uno solo, es mucho mejor mantenerlos por separado por los motivos antes mencionados, esto se puede observar de mejor manera en la Figura 32.

Figura 32.

Endpoints para cada elemento



Al tener endpoints que entregan información desde la base datos en formato GeoJson; entonces los puntos, polígonos y polilíneas pueden comunicarse y mantener una conexión directa con el mapa, como se muestra en la Figura 33. Por lo que, al realizar cambios en la base de datos, estos se visualizaran de manera directa en el mapa al refrescar la página web.

Figura 33.

Visualización de elementos de la base de datos en el mapa



3.6. Flask

Para que la aplicación de fibra óptica se lance a la web, Flask cumple una función crucial dentro de una aplicación web y otras funciones más allá de permitir el despliegue a Internet. Su implementación abarca la integración con el resto de las funciones de la aplicación. Por otra parte, para cumplir con el criterio de un sistema de fibra óptica se necesita implementar procesos adicionales de protección y traspaso de información, centralizando el desarrollo del Backend en los siguientes puntos:

- ✓ Conexión y traducción entre la base de datos y el Frontend.
- ✓ Rutas (endpoints) para permitir a Javascript comunicarse y realizar peticiones, como se observa en la Figura 32.
- ✓ Seguridad de la información:
    - o Cookies de inicio de sesión.
    - o Limitación de intentos por IP con tiempos de refresco.
- ✓ Websockets para información en tiempo real.

Todos los puntos antes mencionados se muestran en la Figura 34, en donde se evidencia la inicialización de Flask y se configura una "secret key" almacenada en el archivo .env (se usa en sistemas de producción para evitar usar directamente el api en el documento principal); se usa "httponly" y "samesite=lax" para mejorar la seguridad del sitio y un límite de inicio de sesión de 30 minutos evitando hackeos por diccionario.

En cuanto a la segunda parte del código, se inicializa la comunicación asíncrona con Websockets, para que el sitio funcione en tiempo real y los cambios se reflejen para los usuarios que poseen abierto los mapas (detallado a profundidad en la siguiente sección).

La función "response.headers" evita que recursos externos lleguen a interceptarse en el código, por lo que únicamente tienen acceso ciertos recursos como la consulta de los mapas hacia los servidores de Google, Carto o OSM; o consulta hacia direcciones de calles y otras librerías que se conectan con otros sitios externos para obtener información.

Finalmente, desde la línea de código 62 de la Fig 34, se concluye con la integración de límites de inicio de sesión fallidos.

Figura 34.

Código principal de Flask



3.6.1. *Websockets*

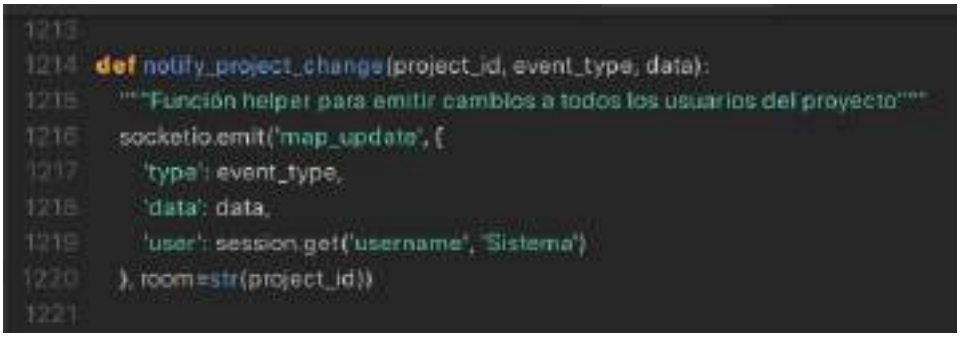
Para mantener una edición colaborativa, se debe manejar un sistema en tiempo real, por lo que la solución es el uso de websockets mediante la librería “Flask-SocketIO", que proporciona un túnel asíncrono entre servidor y clientes. Con esto, no es necesario recargar la página para visualizar cambios que se realizan en el mapa. Además, al

momento en el que un usuario agregue o modifique un elemento en el mapa, se replique estos cambios para el resto de los usuarios.

En la siguiente Figura 35, se observa la función principal encargada de actualizar el mapa con los cambios que realicen los usuarios en el mapa.

Figura 35.

Código para actualizar el mapa con los cambios de los usuarios

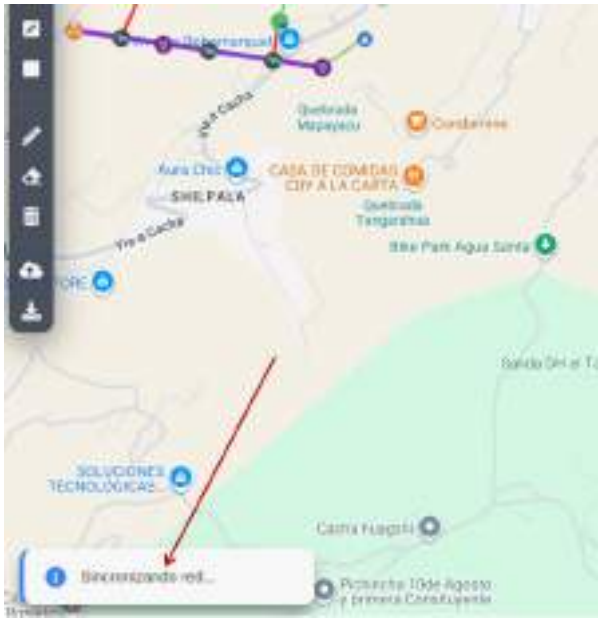


Al manejar varios usuarios se debe agregar reglas para evitar problemas en la base de datos, como el caso de que varias personas modifiquen el estado de una caja al mismo tiempo. Para ello, se agrega reglas y retroalimentación en forma de notificaciones para que el usuario conozca que está sucediendo en el proyecto en cada momento.

Se agrega 5 tipos de notificaciones laterales no invasivas, para evitar frenar el flujo de trabajo del usuario; tal como se observa en la Figura 36, donde se muestra la clara implementación de websockets con la sincronización previa de cambios en el mapa al ingresar.

Figura 36.

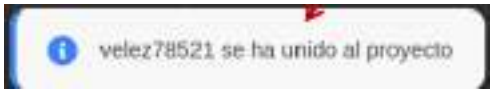
Notificación acerca de sincronización de elementos del mapa



En la Figura 37, se muestra el momento en el cual un usuario entra al mapa.

Figura 37.

Notificación cuando un nuevo usuario ingresa a un proyecto



En la Figura 38, se muestra la notificación en el momento en el que un usuario ingresa a una caja usando el botón Interior de Caja, aquí el sistema verifica si la caja se encuentra libre de usuarios usándola.

Figura 38.

Notificación al acceder a una caja



En la Figura 39, se muestra la notificación en el momento en el que un usuario logra ingresar exitosamente a una caja.

Figura 39.

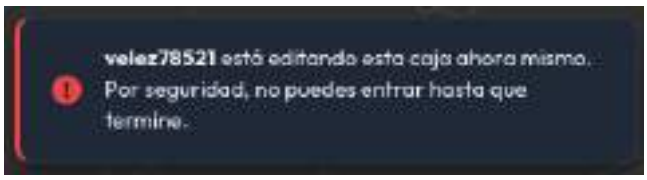
Notificación cuando un usuario edita una caja



En la Figura 40, se muestra la notificación en el momento en el que un usuario intenta ingresar a una caja previamente ocupada por otro usuario.

Figura 40.

Notificación desplegada al entrar a una caja ocupada



Ahora se tiene un sistema que proporciona la edición colaborativa y visualización entre varios usuarios en un mismo mapa en tiempo real.

Cabe mencionar que, en este punto aún no se implementa la lógica de ciertas funciones como el manejo de usuarios o sistema de cajas, únicamente se implementa el sistema de notificaciones en el Frontend para ser implementado más adelante en el Backend en dichas secciones correspondientes.

3.7. Sistema de catálogo de cajas, cables y OLT

El plugin qgis2web y Leaflet ya integran el manejo de elementos básicos como polilíneas, polígonos o puntos en el mapa; pero para que este sistema trabaje de acuerdo a un sistema de fibra óptica se necesita adicionar elementos a los ya existentes partiendo de la misma forma en la que estos trabajan.

Para el caso de las cajas, abonados y OLT se usarán puntos o “markers”, para los cables se manejarán las polilíneas y para los polígonos se maneja de la misma forma en la que ya trabaja. De la misma manera para las polilíneas, las cuales pasaran a llamarse líneas multipropósito para diferenciarse de las polilíneas de los cables.

En Software como Servicios (SaaS) del mercado, como OZMAP, se manejan mediante un catálogo de elementos prediseñados; lo cual es una excelente idea, que incluso softwares como Vetro Fiber Map utilizan de la misma manera. En el caso específico de la empresa, al trabajar en una arquitectura en cascada se manejan cajas de primer y segundo nivel. Además de OLTs y cables con cierta nomenclatura y características, por lo que se debe construir el catálogo en base a ello, lo cual es mucho más sencillo ya que se sabe a la perfección los elementos y sus características a implementarse. Todo lo antes mencionado puede llegarse a observar en la Tabla 8, donde se especifica los atributos necesarios para cada componente del catálogo y el arquetipo perteneciente.

Tabla 8.

Catálogo de elementos de la ODN

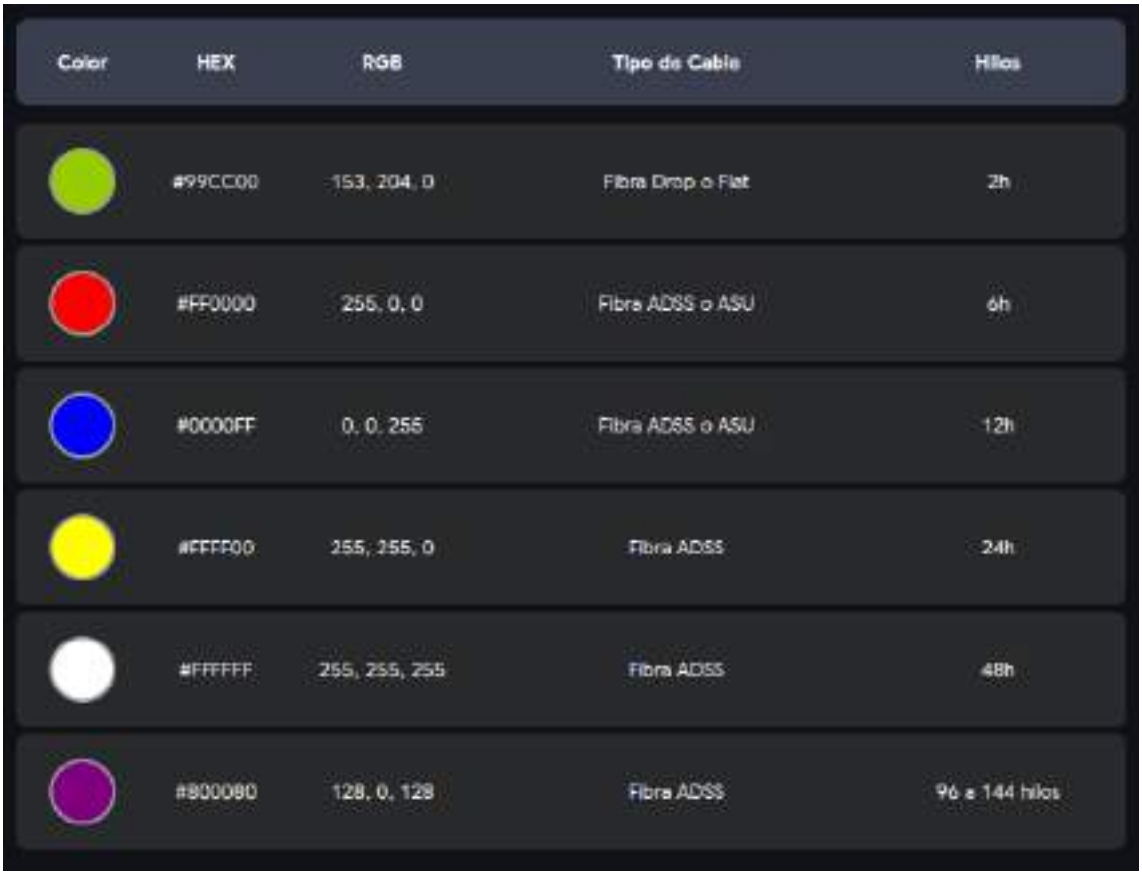
Componente	**Arquetipo**	**Atributos Asignados**
	OLT	
OLT Principal	Punto	Modelo, Puertos PON, Estado Operativo.
	Polígono	
Polígono	Polígono	Área de Cobertura
	Cajas	
Caja de Empalme (Mufa)	Punto	Bandejas.
Caja NAP (1er Nivel)	Punto	Splitter 1x4 (Fusión), Splitter 1x4/1x8 (Conectorizado), Clientes, Bandejas.

Caja NAP (2do Nivel)	Punto	Splitter 1x16/1x8 (Conectorizado), Clientes, Bandejas.
	Cables	
Cable Acometida (Abonado)	Polilínea	1 hilo, Asociado a Abonado, Color.
Fibra Drop o Flat 2h	Polilínea	2 hilos, Tipo G.657, Color.
Fibra ADSS o ASU 6h	Polilínea	6 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.
Fibra ADSS o ASU 12h	Polilínea	12 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.
Fibra ADSS 24h	Polilínea	24 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.
Fibra ADSS 48h	Polilínea	48 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.
Fibra ADSS 96h	Polilínea	96 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.
Fibra ADSS 144h	Polilínea	144 hilos, Tipo G.652D/G.657, Color.

Para el caso de los cables, también se manejan ciertos colores dependiendo de la cantidad de hilos bajo normas de la empresa: Por lo que, al seleccionar uno u otro cable, en el mapa debe visualizarse el color correspondiente a dicho cable. En cuanto a los modelos a implementar en cables: van desde el drop de un hilo, exclusivo para abonados, hasta ADSS de 144 hilos. Esto se puede ver a continuación en la Figura 41.

Figura 41.

Código de colores para los cables bajo las normas de la empresa



Para el caso de las cajas, si te trata de una de primer nivel, se maneja splitters de fusión específicamente de 1x8. Para el splitter conectorizado del mismo primer nivel, se maneja un splitter de 1x8 o 1x4, dependiendo del splitter que se use en el segundo nivel y la potencia.

Para el splitter de la caja de segundo nivel, únicamente contiene un splitter conectorizado ya sea de 1x8 o 1x16 respectivamente. Adicionalmente, se agrega al catálogo splitters de distintas salidas, si en algún momento se decide usar otra arquitectura de red diferente a la de cascada.

En la Figura 42, se observa los endpoints donde se extrae de manera dinámica las configuraciones del catálogo en la base de datos.

Figura 42.

Código referente a la extracción del catálogo desde la base de datos

```
@app.route('/api/catalog/cables', methods=['GET'])
def get_catalog_cables():
    try:
        conn = get_db_connection()
        rows = conn.execute("SELECT * FROM catalog_cables ORDER BY capacidad_hilos ASC").fetchall()
        conn.close()
        return jsonify([dict(row) for row in rows])
    except Exception as e:
        return jsonify({"error": str(e)}), 500

@app.route('/api/catalog/naps', methods=['GET'])
def get_catalog_naps():
    try:
        conn = get_db_connection()
        rows = conn.execute("SELECT * FROM catalog_naps ORDER BY max_splitters ASC").fetchall()
        conn.close()
        return jsonify([dict(row) for row in rows])
    except Exception as e:
        return jsonify({"error": str(e)}), 500
```

Con esto el catálogo se encuentra completo, ahora simplemente se necesita agregar botones que invoquen dichas funciones y menús que permitan elegir de una lista las características deseadas.

3.8. Botones en el mapa

Con el sistema base proporcionado por qgis2web, el sistema es capaz de entender los elementos en el mapa directamente desde la base de datos, pero no de crearlos, modificarlos, etc. Para ello se reutilizará las mismas funciones ya existentes. En este caso, para que cumpla con un sistema de fibra óptica, se agregará nuevos botones y se modificará la función de cada botón ya existente; tal y como se observa en la Figura 43.

Figura 43.

Botones proporcionados por qgis2web



El diseño modular y el uso de la orientación programada a objetos (POO) permite facilitar la escalabilidad en cuanto a la interfaz de mapa. Al reutilizar las funciones de qgis2web ya existentes como es el caso de “L.Control.extend”, se puede llegar a aplicar herencia en los controladores base de posicionamiento.

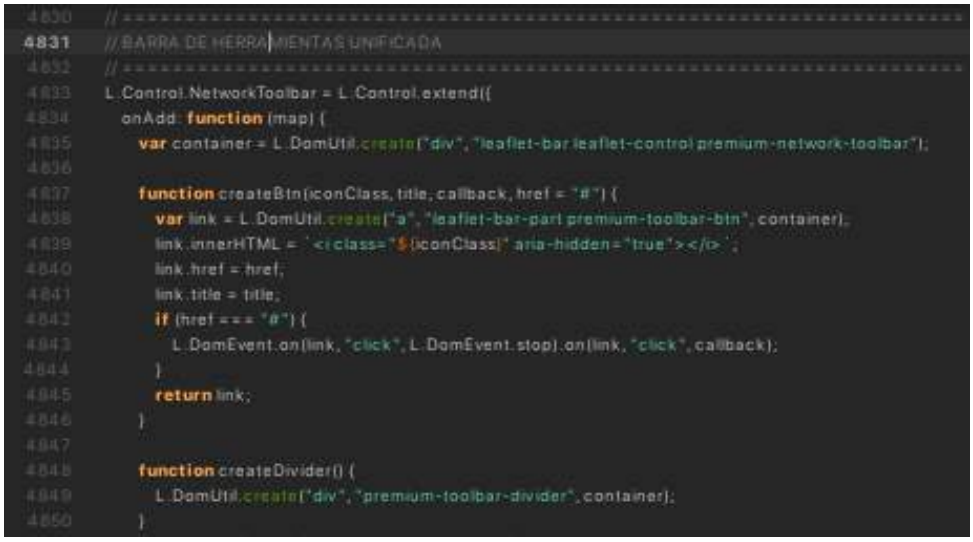
Tareas de adición/modificación de nuevos botones es una tarea bastante ágil y fácil de realizar debido a que no se necesita crearse desde cero. Para integrar un nuevo botón con nuevas características, simplemente se programa la nueva función e instancia las clases correspondientes; en este caso, basta con instanciar “L.DomUtil.create” (encargado de asignar un contenedor) y “L.DomEvent.on” (encargado de asignar una acción al botón y además evita que al momento de realizar click atraviese el mapa.)

Para el llamado de todas las funciones/métodos antes descritos, se implementa la encapsulación de estos dentro de una nueva función llamada “createBtn”, con el propósito de disminuir las líneas de código mucho más.

Finalmente, se debe mencionar a “addTo(map)” el cual es el encargado de implementar de manera visual a la interfaz gráfica, útil para después de programar la función de un botón nuevo. Todo lo descrito anteriormente se puede observar en la Figura 44.

Figura 44.

Código vinculado a los botones del mapa



Para mejorar el diseño anterior de la barra de botones del mapa, se agrega un transparentado y se modifica el color por defecto por uno oscuro modificando las etiquetas css, con el motivo de mejorar la apariencia. Además, se agregan nuevos iconos a todos los botones y orden por similitud de funciones, para mayor comprensión de las herramientas.

En la Figura 45, se observa los principales menús que se despliegan respectivamente para cada botón del mapa, demostrando el nuevo diseño de los botones y menús integrados con todas las nuevas funcionalidades implementadas. Así mismo, cabe mencionar que el propósito de cada botón del mapa se mencionó previamente en la sección 3.7.

Figura 45.

Botones nuevos implementados y sus menús correspondientes



Para tener una mayor facilidad de acceso a cada botón del menú del mapa, se implementa atajos de teclado en cada uno de los botones (además de los botones de aceptar y cancelar); para evitar memorizar cada uno de los atajos se añade pop ups “on hover” con el nombre de la función del botón y el atajo del teclado perteneciente a dicho botón, tal y como se observa en la Figura 46.

Figura 46.

Pop up “on hover” del botón Caja



3.9. Menú de Capas

Para que el Sistema actual se maneje de la misma forma que Google My Maps pero enfocado en un sistema de fibra óptica, se necesita agregar un panel lateral que agrupe los elementos de la ODN y demás opciones extra para la comodidad del usuario.

El panel ocuparía mucho espacio si siempre se mostrará, por lo que se necesita desplegarse/ocultarse al realizar un click y además necesita ser un panel lateral para evitar obstruir la información visual del mapa. En la Figura 47, se muestra la implementación del botón antes mencionado, ubicado en la parte superior derecha.

Figura 47.

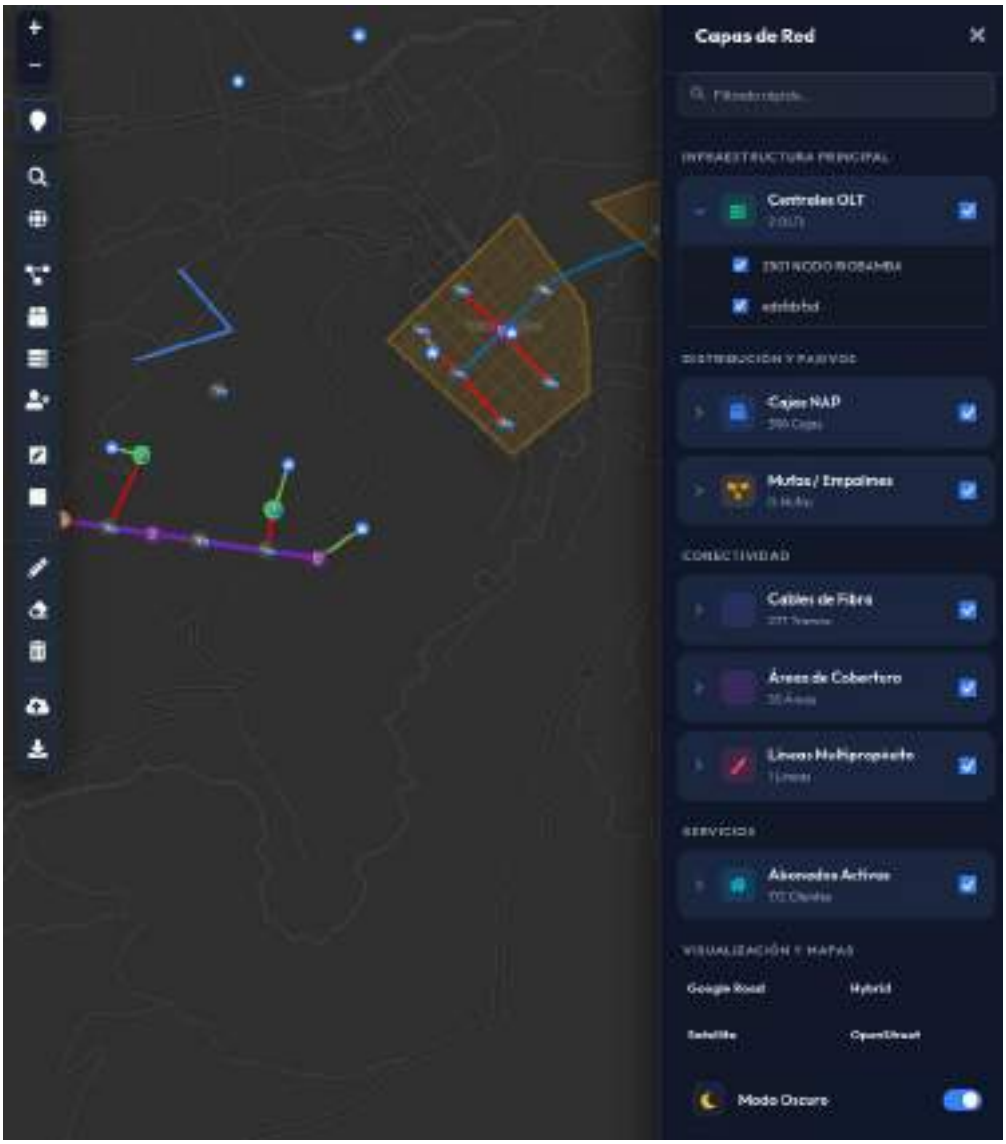
Botón de menú de capas



Al usar dicho botón, se despliega el menú lateral agrupando cada elemento en submenús desplegables. Además, al realizar doble click en algún subelemento, la cámara se mueve al lugar en donde se encuentra dicho elemento. En la parte baja del menú, se encuentra el selector de mapas de teselas que incluye varios mapas de distintos proveedores y la adición del modo oscuro. Todo lo antes mencionado se muestra en la Figura 48.

Figura 48.

Menú de capas desplegado



3.10. Pop ups Interactivos

Cada cable, polígono, línea o caja en el mapa necesita poderse eliminar o modificar sus propiedades y funciones de cada elemento, una vez que se haya integrado en el mapa. Para ello, la implementación de pop ups “on hover” y pop up “on click” es una forma interactiva y cómoda de visualizar/acceder a sus propiedades. Si se desea una vista simple de las características el pop up “on hover” es mucho mejor y si se desea acceder/modificar las

propiedades de una manera mucho más completa, entonces se maneja el pop up “on click”. Tal y como se observa en la Figura 49.

Figura 49.

Pop up “on hover” y “on click” de todos los elementos



Para el caso de los pop ups “on click”, se muestra a continuación los botones integrados para cada elemento:

Líneas y Polígonos Multipropósito:

- ✓ Editar Nombre
- ✓ Editar Propiedades
- ✓ Eliminar

Cables:

- ✓ Información de Hilos
- ✓ Sangrar Aquí
- ✓ Actualizar Nombre/Modelo
- ✓ Eliminar

Cajas:

- ✓ Interior de caja (Sistema de Hilos)

- ✓ Árbol de Derivaciones (Estado de los Hilos)
- ✓ Actualizar Nombre/Modelo
- ✓ Eliminar

Abonados:

- ✓ Desvincular Cliente (Quitar ubicación del abonado en el mapa)
- ✓ Modo VFL (Rastreo de hilo hasta OLT)

3.10.1. *Sistema de hilos*

Para el caso del sistema de hilos, en la empresa se rige bajo la norma TIA/EIA - 598 manejando los primeros 4 hilos para distribución y desde el hilo 5 hasta el 144 se usan para alimentar las cajas de primer nivel, tal y como se muestra en la Figura 50. Entonces, se necesitan agregar reglas para verificar que no se incumplan estas normas, además de la unión automática entre hilos y splitters para evitar trabajo engorroso y repetitivo en cada momento.

Figura 50.

Hilos segmentados por distribución y alimentación



En el caso de la Figura 51, se observa el código hexadecimal pertenecientes a cada color de la anterior Figura 50.

Figura 51.

Diccionario de colores bajo la norma TIA/EIA 598

```
# ============================================================================
# CÓDIGO DE COLORES Y LÓGICA DE GENERACIÓN DE HILOS
# ============================================================================
COLOR_CODE = {
    1: ("Azul", "#0070c0"), 2: ("Naranja", "#ff7c0a"), 3: ("Verde", "#008000"),
    4: ("Marrón", "#a52a2a"), 5: ("Gris", "#808080"), 6: ("Blanco", "#ffffff"),
    7: ("Rojo", "#ff0000"), 8: ("Negro", "#000000"), 9: ("Amarillo", "#ffff00"),
    10: ("Violeta", "#8a2be2"), 11: ("Rosa", "#ffc0cb"), 12: ("Aqua", "#00ffff")
}
```

Replicar la distribución física de una caja ya sea de empalmes (mufa) o NAP, es indispensable para la gestión de una red de fibra óptica, ya que dentro de estas se realiza el sangrado de los hilos. Replicar esta función en el sistema es esencial, pero exige estructurar una matriz de hilos entrantes y salientes. Debido a que anteriormente se había implementado en el menú “on click”, el botón de Interior de la Caja, entonces, se procede con el desarrollo del menú interno de este botón.

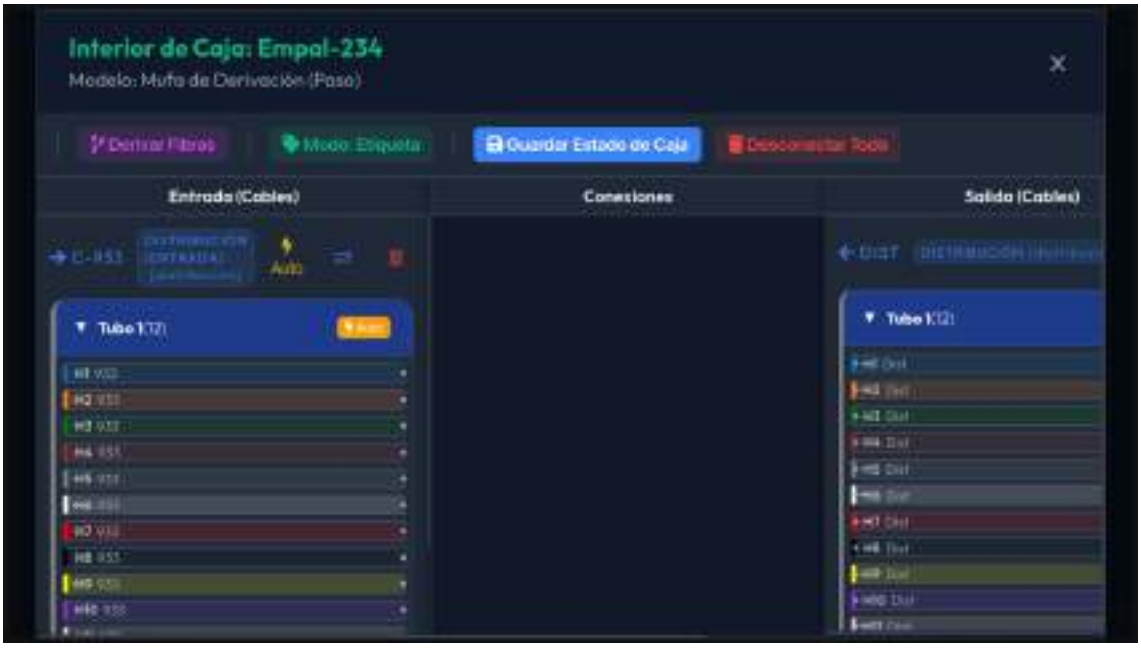
Ya que los cables ya indican la cantidad de hilos que poseen, entonces únicamente se debe vincular dicha función referente al número de cables e implementarse en esta nueva interfaz. Se implementa en este menú el sistema de hilos de entrada y salida. Así mismo, como existen cables de hasta 144 hilos y sería muy complicado manejar dicha cantidad de hilos, se agrupa por tubos los cuales al realizar click se despliegan u ocultan; el estado por defecto es mantenerse ocultos.

Además, para que la unión de hilos en sangrados sea sencilla, se implementa la unión automática de hilos de entrada con hilos de salida del mismo cable. Todo lo anterior mencionado se observa de mejor maneja en la Figura 52, donde se muestra el Interior de Caja

perteneciente a una mufa con un cable de 24 hilos, unidos de manera automática al detectar una sangría.

Figura 52.

Menú interior de una mufa



Para el caso de las cajas NAP, si se deseará alimentar un splitter con un hilo, se lo puede realizar de manera fácil haciendo click en el hilo deseado y el splitter. Pero debido a que es una tarea repetitiva y muy exhaustiva en redes nuevas; bajo las reglas de la empresa, se implementa la unión automática de hilo-splitter que siempre van en las mismas posiciones y se agregan bloqueos de ciertas conexiones, con esto evitando tareas repetitivas e innecesarias y conexiones mal implementadas. En la Figura 53, se observa la conexión automática de los hilos al splitter de fusión y al splitter conectorizado.

Figura 53.

Conexión automática de hilos a splitters



Para cada regla se mostrará una notificación explicando el motivo por el cual no se puede realizar dicha conexión (ciertas notificaciones también se implementan para las mufas), tal y como se observa en la Figura 54.

Figura 54.

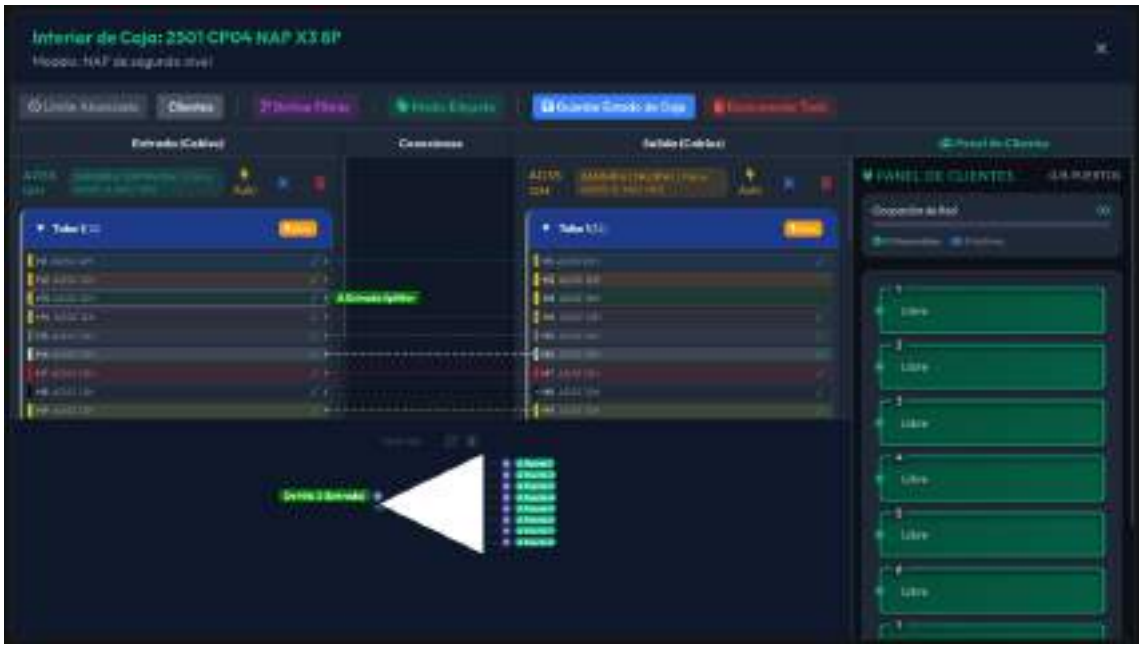
Notificaciones al realizar conexión de hilos incorrecta



Se desarrolla el panel de clientes, exclusivo para cajas NAP de primer y segundo nivel, con el propósito de mostrar el nombre del abonado y estado de ocupación de la caja. Así mismo, se añade el botón Auto, para la unión automática de tubos o el cable completo, con su contraparte. Todo lo antes mencionado se puede ver en la Figura 55.

Figura 55.

Menú interior de una caja NAP



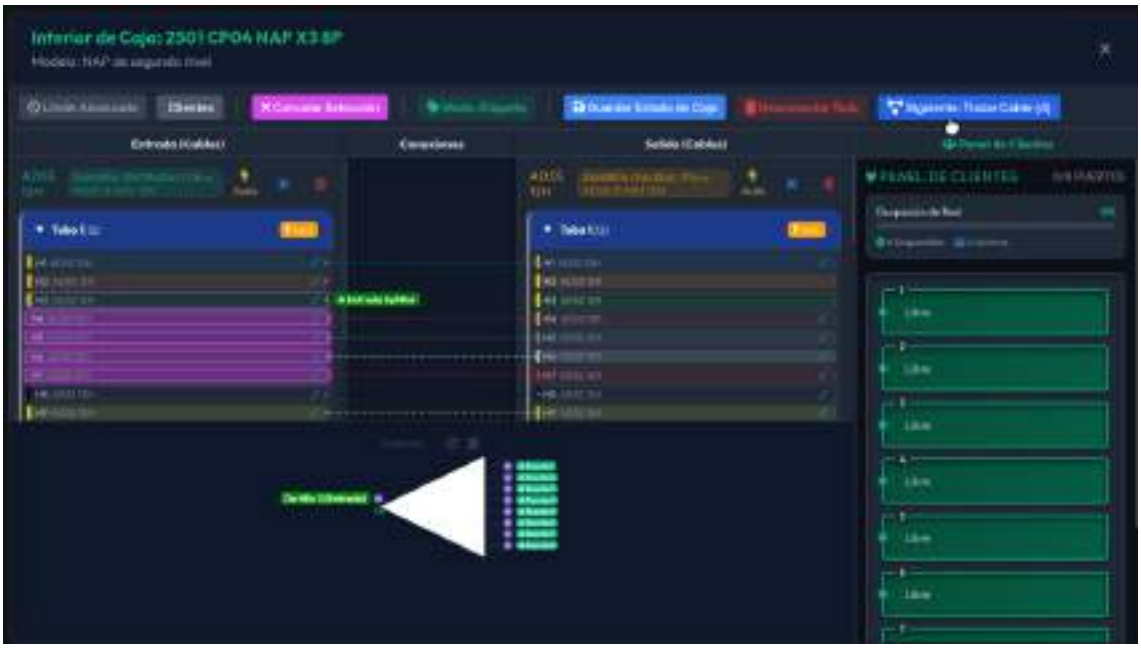
Además, para seguir con la disminución de procesos completamente manuales y satisfacer la comodidad del usuario, se implementa el botón de Derivar Fibras, el cual cumple la función de evitar el arduo proceso que se sigue para derivar hilos manualmente, el cual es el siguiente:

Salir de la interfaz de la caja → Agregar el cable manualmente → Unir cada parte → Ingresar nuevamente a la interfaz de la caja → Unir dicho hilo al hilo del nuevo cable.

Con el botón implementado, simplemente se selecciona los hilos a derivar y luego se prosigue con el trazado del cable a la caja en el mapa y termina con la selección del cable a usar. En la Figura 56, se observa el funcionamiento del botón Derivar Hilos en una caja NAP de segundo nivel, derivando los hilos H14 al H18 del Tubo 2.

Figura 56.

Menú interior de una caja NAP y Derivar Hilos en funcionamiento



Además, al realizar un click en un puerto vacío del Panel de Clientes se despliega el menú el cual permite agregar un abonado; además de su ruta si se desea. En el caso de hacer click en no, se puede volver a agregarlo después mediante el botón del mapa o en este mismo menú, pero esto se mostrará a detalle y de mejor forma en la parte final de esta sección (sección 3.18).

3.11. Sistema de Importación

Para facilitar la tarea de migrar del sistema anterior a este nuevo sistema de manera sencilla, se agrega la función de lectura de KMZ/KML a este sistema, permitiendo así la importación de las sucursales. Pero si se importarán en crudo los datos de Google Earth directamente, únicamente se importaría la posición de los elementos en forma de polígonos, líneas y puntos; sin la lógica de la ODN. Para ello además se implementa un menú de selección de categoría, teniendo en cuenta que son una gran cantidad de elementos a manejar sería engorroso poner la sección correspondiente a cada elemento, por lo que se incluye un sistema de detección de palabras clave para clasificar elementos en cada sección, además se agrega una

detección de gama de colores para obtener una doble verificación de que se encuentra dicho elemento en la sección correcta. Adicionalmente, se agrega la opción de excluir elementos.

Si no se llega a encontrar una sección especifica se manejará los elementos de la siguiente manera:

- ✓ Polilíneas

Todas serán tratadas como cables de 6 hilos (ya que es el más común) si no se llega a clasificar en ninguna otra sección.

- ✓ Puntos

En este caso no habrá falla debido a que las NAPs de primer nivel manejan un código muy específico en su nombre, por lo que las que no sean detectadas en dicha sección serán tratadas como NAPs de segundo nivel (ya que es el más común) si no se llega a clasificar en ninguna otra sección. En cuanto a las mufas o OLT tampoco genera inconvenientes ya que debido al sistema de palabras clave ya cubre esta sección.

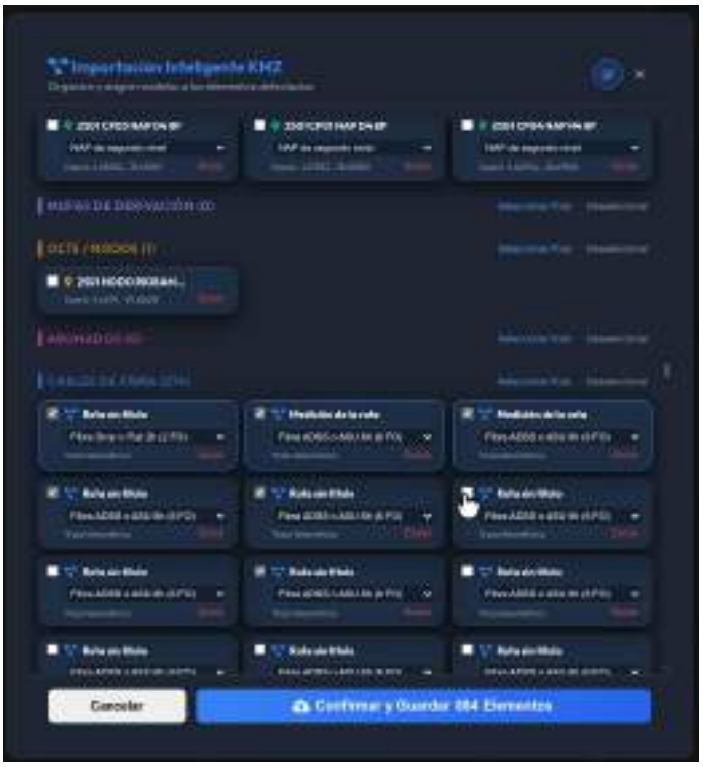
- ✓ Polígonos

Se manejarán de la misma forma sin cambios.

En cuanto a los elementos que no se logren clasificar, tienen su propia sección específica para su clasificación manual. Y si se diera el caso en el cual uno o varios elementos se encuentra en una sección incorrecta por fallas en la nomenclatura usada en las sucursales, se añade un sistema de cambio por lotes; esto se observa de mejor manera en la Figura 57.

Figura 57.

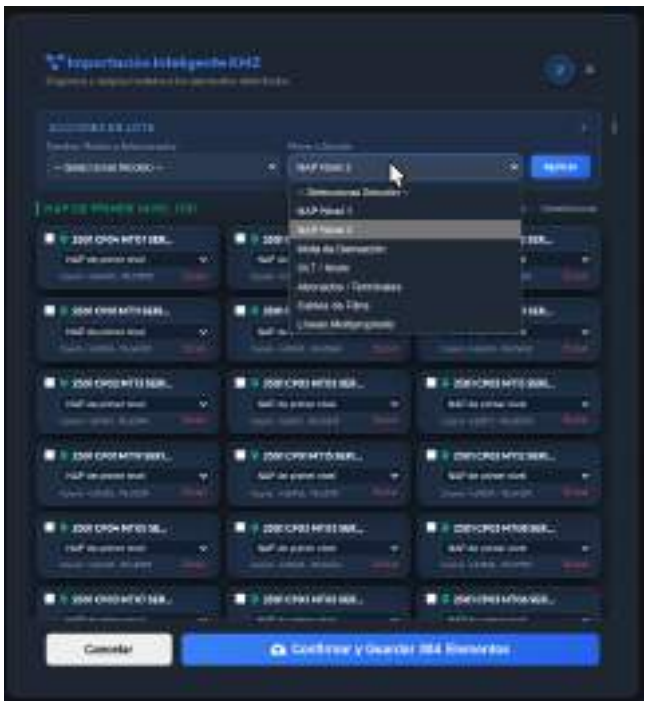
Menú de importación KMZ



En la Figura 58, se muestra el uso del cambio de categoría por lotes.

Figura 58.

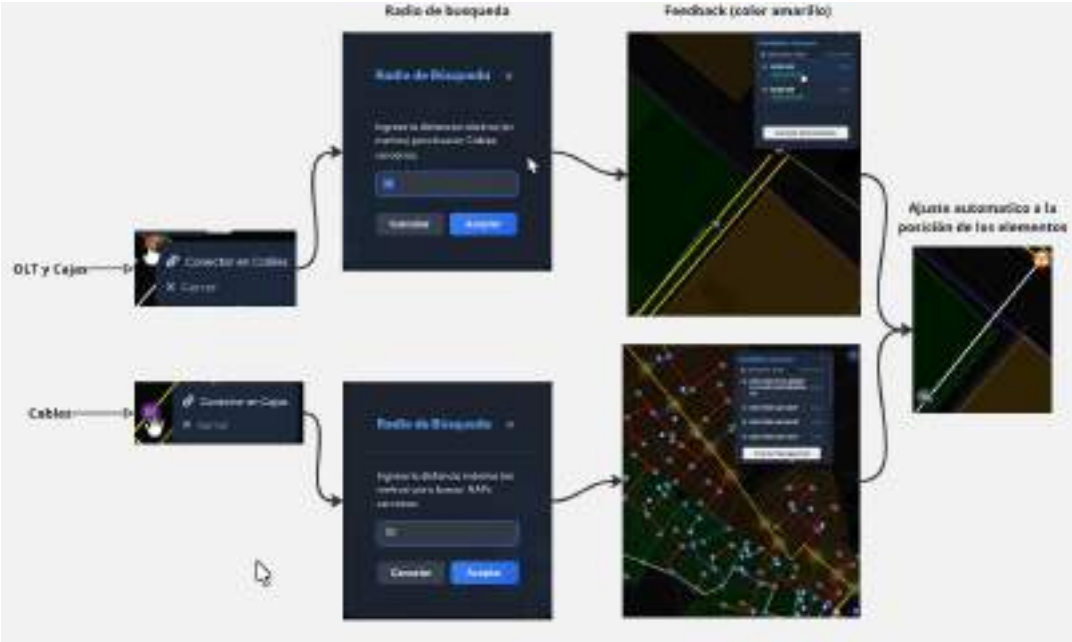
Uso del menú de cambio de acción en lote



Los elementos ahora pueden importarse, pero no poseen lógica relacional aún; solo se muestran sobre el mapa. Para que los elementos se vinculen entre sí, se implementa la función de detección de cajas/cables por proximidad mediante click derecho en el elemento a vincular, como se muestra en la Figura 59.

Figura 59.

Proceso de vinculación de elementos



Los elementos a vincularse obtienen una retroalimentación de color amarillo al seleccionarse, para comprender de mejor manera que elementos se van a vincular y cuáles no.

Al darle en aceptar, los cables se ajustan a la posición del elemento y se unen visualmente al cable o caja respectivo.

Si por error del usuario se vinculó un elemento equivocado, simplemente se ingresa al interior de la caja y se desvincula mediante el icono rojo (Desvincular Cable), como se observa en la Figura 60.

Figura 60.

Botón para desvincular un cable de una caja



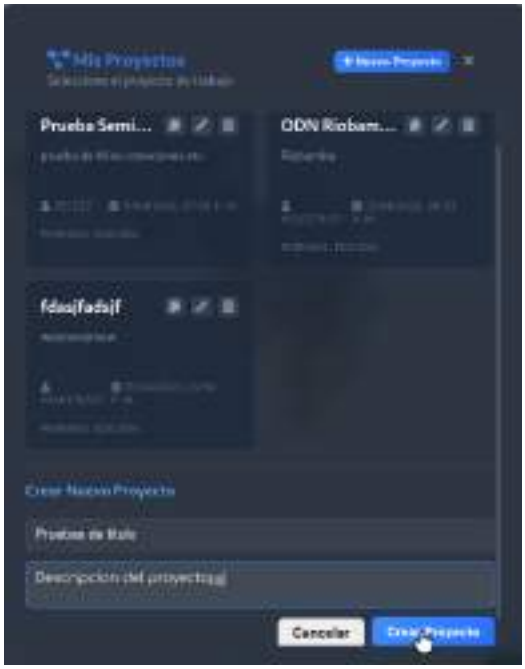
Con esto se logra la implementación de una nueva sucursal de una manera mucho más sencilla que la replicación manual de cada elemento, ahorrando valioso tiempo a la empresa en la migración de las sucursales.

3.12. Sistema de proyectos, usuarios y roles

Debido a que tener todos los elementos de todas las sucursales en un solo proyecto causaría un desorden y una carga innecesaria en el sistema, se implementa el manejo por proyectos, el cual permite ingresar un nombre y una descripción a cada proyecto; además de todas las cualidades de un sistema CRUD para tener un mejor manejo de los proyectos, se muestra la interfaz implementada en la Figura 61.

Figura 61.

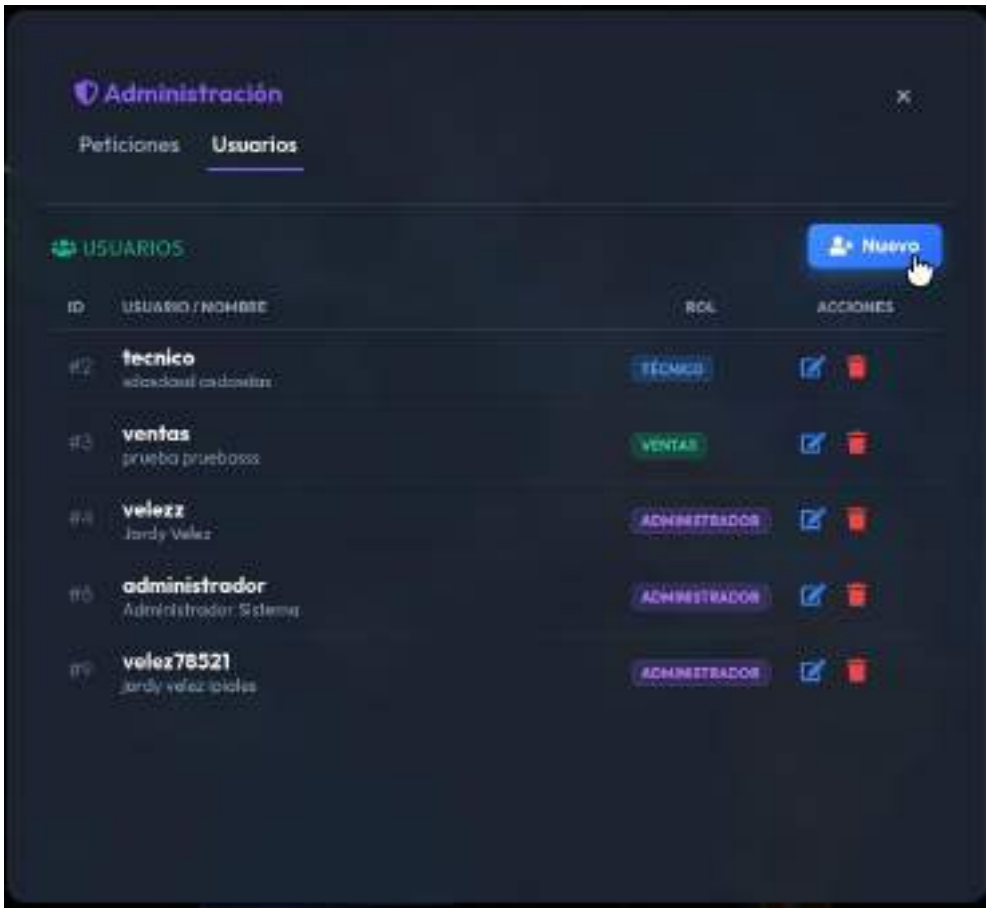
Menú de proyectos



Para comenzar con el sistema de roles, se agrega la creación de usuarios mediante un menú exclusivo para el rol de administrador, el cual también tiene las características de un sistema CRUD; con el objetivo de agregar o eliminar a usuarios, además de permitir acceso a proyectos seleccionados; ya sea únicamente para visualización o para edición. Tal como se muestra en la Figura 62.

Figura 62.

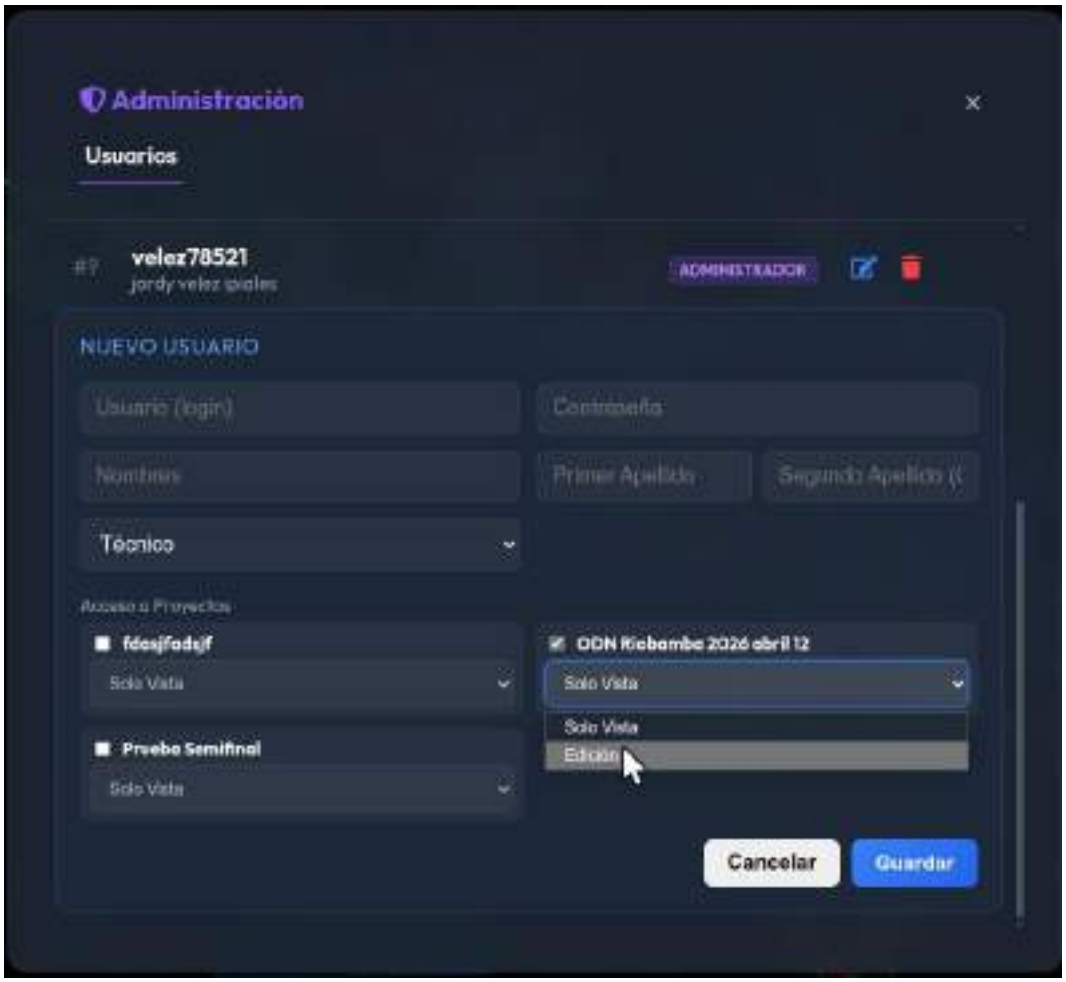
Menú de administración de usuarios



En la siguiente Figura 63, se muestra el menú de creación de un nuevo usuario y la selección de permisos para acceder a proyectos.

Figura 63.

Creación de usuarios



Ahora para el caso del sistema de usuarios, mostrado en la Figura 19; se crea una página totalmente nueva enfocada en el inicio de sesión, aislada del html que renderiza y se conecta con los elementos del mapa; para evitar que usuarios que no han iniciado sesión obtengan acceso a los datos de los mapas. En la Figura 64, se muestra la página de inicio de sesión donde se ingresará mediante un nombre de usuario y la contraseña creada mediante un usuario administrador.

Figura 64.

Menú de inicio de sesión



Además, se elimina el titulo estático del proyecto del mapa proporcionado por qgis2web para implementar un mini menú con mayor información útil en pantalla como: usuario y su rol (si se es administrador, se agrega un botón extra para crear usuarios y aceptar/rechazar peticiones llamado Admin), nombre del proyecto actual, cantidad de personas en el mismo proyecto (se mostrará el símbolo "?" si se pierde la conexión) y finalmente un botón para cerrar sesión, tal y como se muestra en la Figura 65.

Figura 65.

Mini menú flotante para rol de administrador

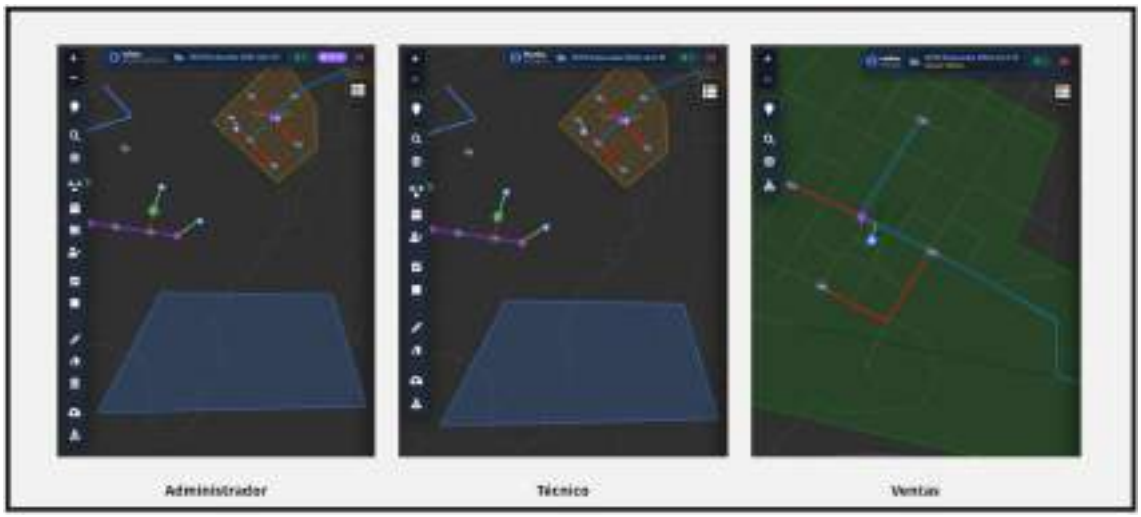


Además, para cada tipo de rol, el menú interactúa de una manera distinta con mayor o menor cantidad de acceso a elementos y características (el sistema de roles y sus funciones

fueron mencionados previamente en la sección 3.6), como se puede observar a continuación en la Figura 66.

Figura 66.

Comparación de menús personalizados para cada usuario



3.12.1. *Sistema de peticiones*

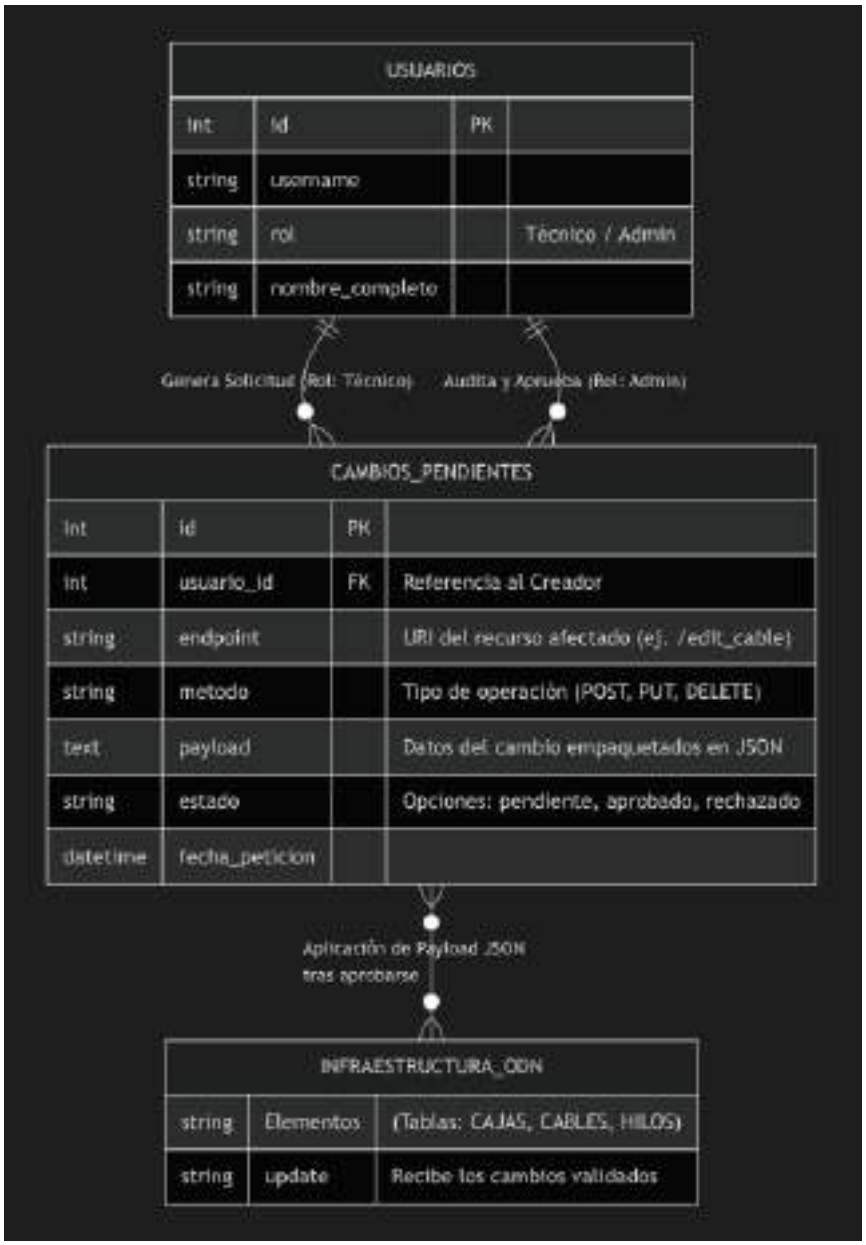
En el caso del sistema de peticiones, el motivo de su implementación es evitar que por falla técnica se elimine/modifique accidentalmente información crucial en el mapa. Esto no solo asegura la integridad de la información, sino que además sirve como herramienta de validación y retroalimentación de los datos, antes de implementarlos al proyecto final.

Para ello, se necesita agregar un sistema que registre completamente cada acción del usuario técnico y lo guarde con estado de pendiente, entonces el administrador procede a acceder al menú de peticiones y este decidirá si aceptar o rechazar dicha solicitud.

En la Figura 67, se muestra el diagrama entidad-relación que se manejara para el rol de técnico, que registrará mediante la tabla los cambios que realice en el mapa (y el usuario y fecha), mostrándose finalmente en el menú de peticiones en el menú de los usuarios administradores para su aprobación o rechazo.

Figura 67.

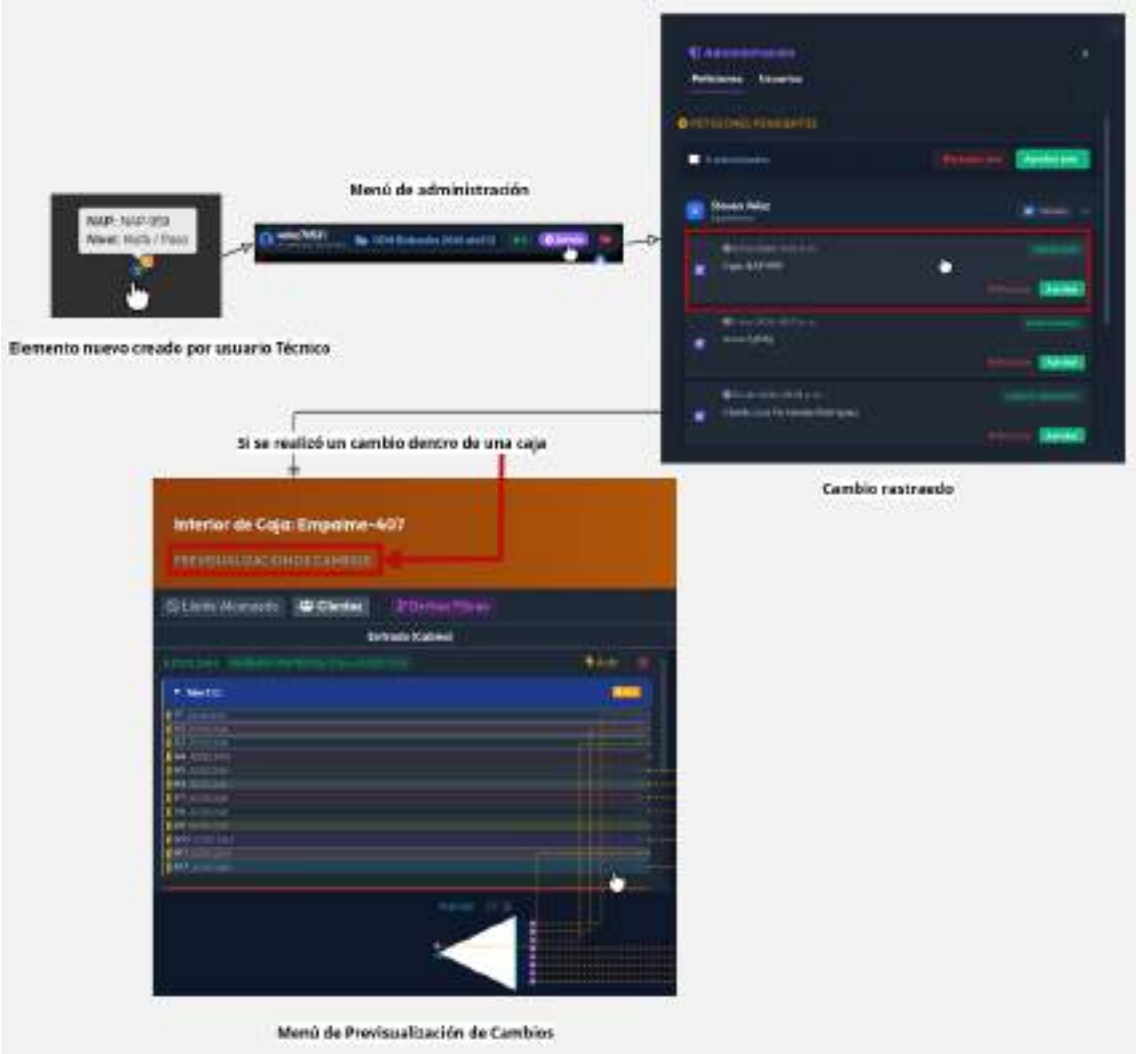
Diagrama entidad-relación para el sistema de peticiones



Entonces, ahora en el menú de peticiones del administrador se debe conocer el cambio o nuevo elemento que se agregó con una descripción, por lo que para ello se implementa un sistema de seguimiento para verificar el cambio que se realizó dentro de una caja, el cual funciona simplemente al hacer click sobre el elemento deseado, el funcionamiento de este mecanismo se puede observar en la Figura 68.

Figura 68.

Proceso seguido por el sistema de peticiones



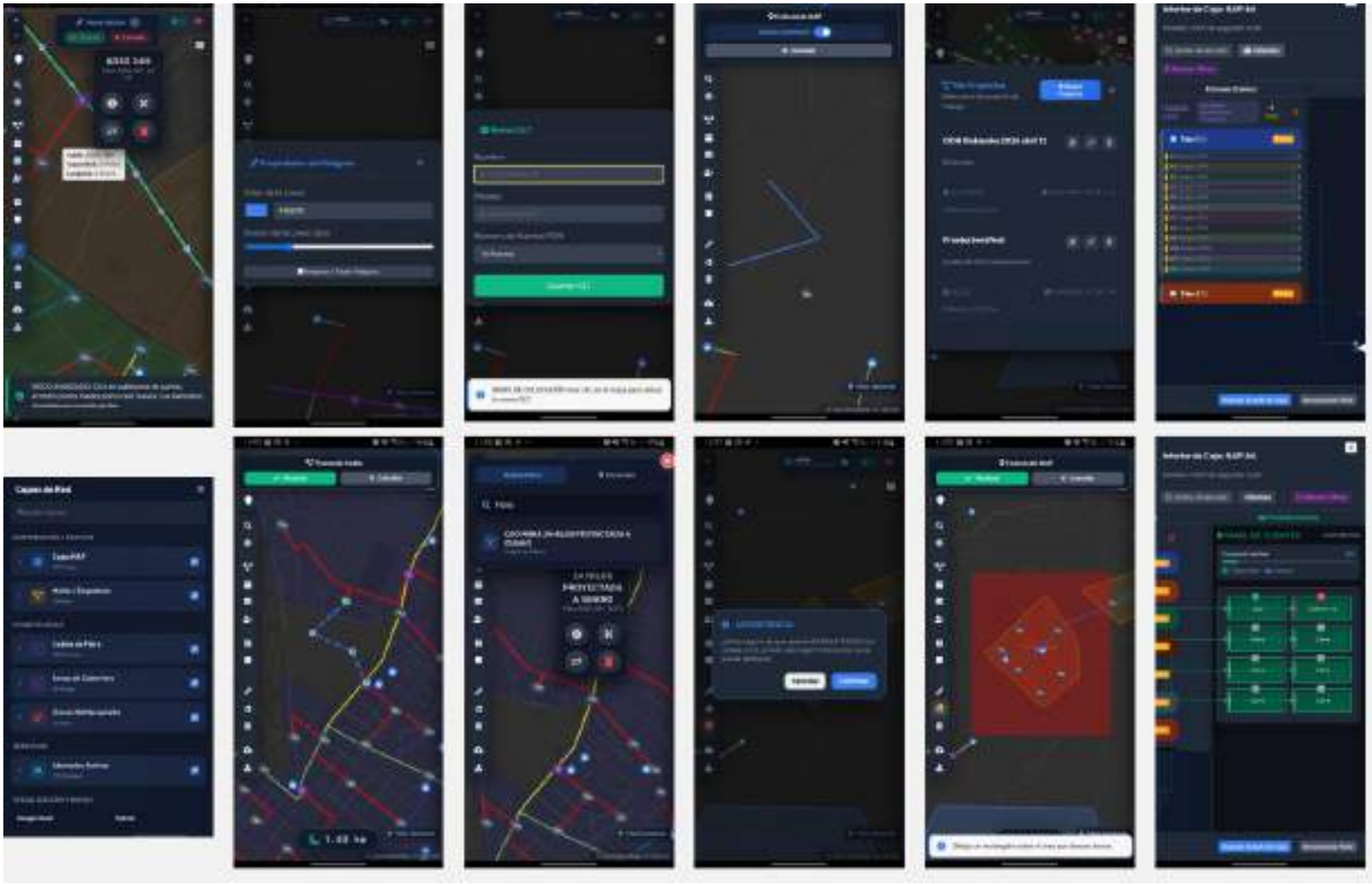
3.13. Interfaz Movil y PWA

Con la implementación principal del sistema completada, la aplicación ahora ya funciona completamente y puede ser desplegada. Pero al tratar de la aplicación en dispositivos móviles existe un gran problema, la interfaz no se muestra correctamente y genera una gran cantidad de problemas de visualización, qgis2web posee una implementación nativa hacia dispositivos móviles, pero las nuevas implementaciones/modificaciones que se han realizado, no.

Para solucionar esto se necesita implementar compatibilidad de las nuevas herramientas y menús para dispositivos móviles, tablets u otros dispositivos. Por lo que se procede a realizar implementaciones en toda la interfaz, tal y como se muestra en la Figura 69.

Figura 69.

Interfaz en dispositivos móviles



La aplicación sigue siendo una gran carga para los dispositivos móviles, para ello se complementa la aplicación con las PWA; con esta integración ciertas partes como la interfaz, fuentes, iconos y demás partes de la aplicación; se almacenarán en forma de caché dentro del almacenamiento del dispositivo móvil otorgando precarga de archivos de la página web y además la opción de instalar la aplicación al menú de inicio como una aplicación nativa con un tamaño mucho menor a una aplicación común. Esto se puede observar en la Figura 70.

Figura 70.

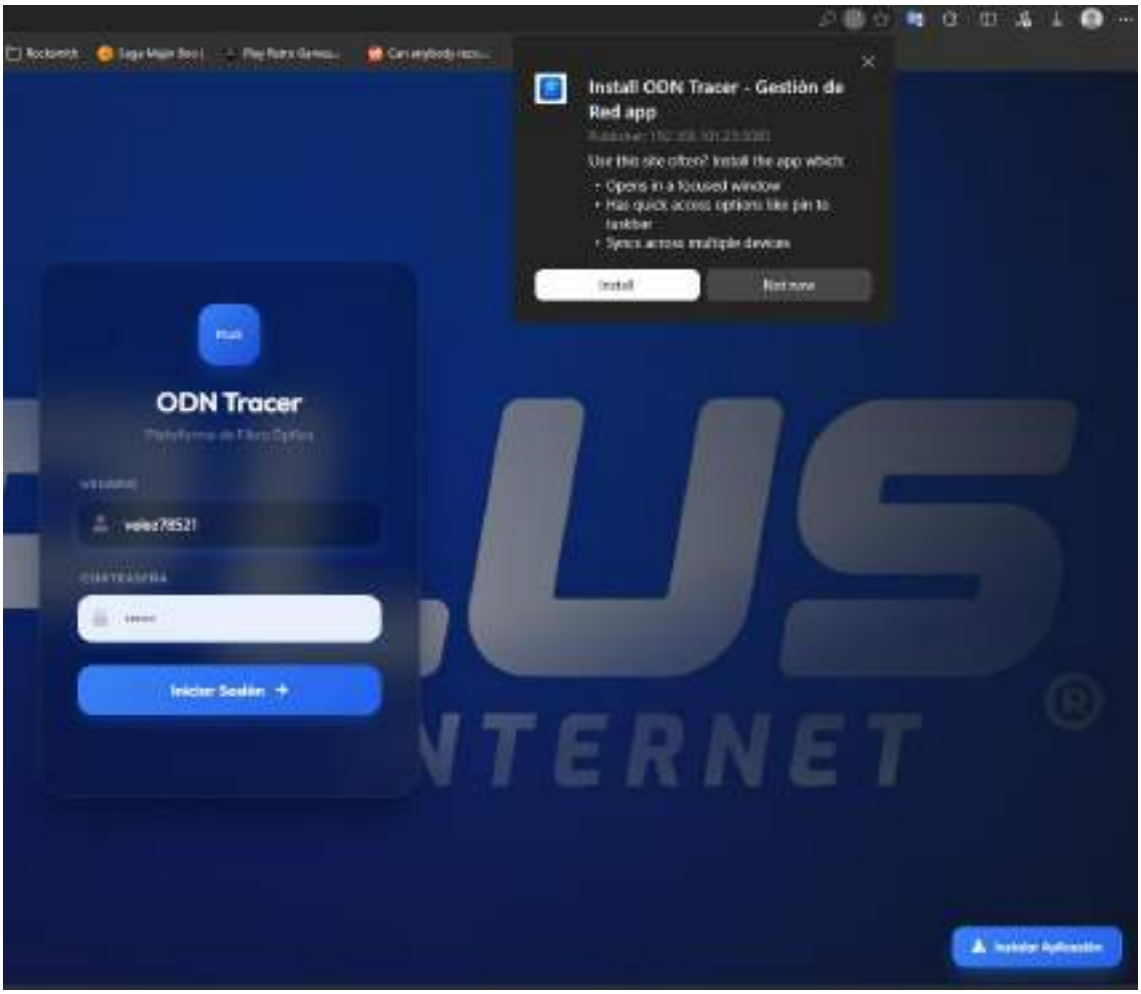
Instalación de aplicación en dispositivo móvil



En la Figura 71, se muestra la instalación de la aplicación en un computador de escritorio mediante el botón implementado en la parte baja.

Figura 71.

Instalación de aplicación en computador de escritorio



3.14. Monitoreo de clientes

Para terminar con la implementación completa de la aplicación, se necesita agregar el monitoreo de clientes vinculando la base de datos de la empresa a la aplicación. Para ello, se hace uso de la interfaz antes implementada del Panel de Clientes. Al realizar un click en un puerto libre se despliega el menú de abonados para su vinculación en dicho puerto. En la Figura 72, se muestra abonados el proceso para vincular abonados al Panel de Clientes y añadirlos en el mapa; cabe mencionar que los abonados se muestran censurados o de ejemplo, ya que vulneraria las normas de privacidad de la empresa si se mostrará los clientes reales.

Figura 72.
Proceso para añadir abonados y monitorear clientes inactivos



Al añadir un cliente en el puerto ahora se puede monitorear cada cierto tiempo (según se actualice la base de datos con la información proporcionada por la OLT), se puede observar de mejor manera en la Figura 73, donde se muestra la fecha y la hora de la desconexión con la posible causa de desconexión, la cual también nos proporciona la OLT.

Figura 73.

Monitoreo de un abonado real inactivo

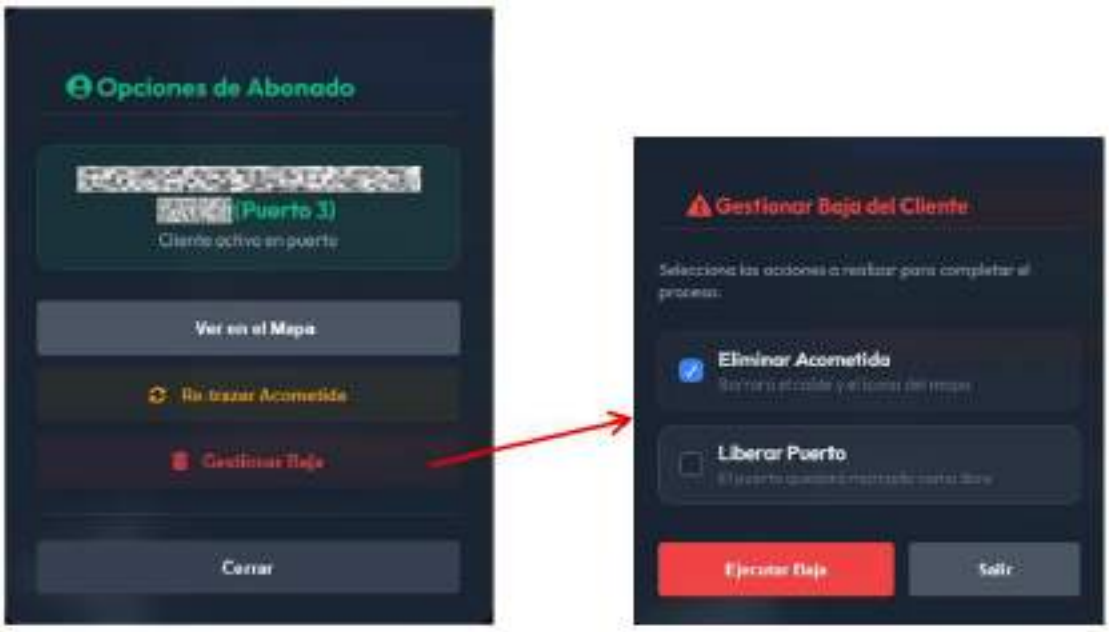


Se agrega un menú adicional al realizar click en un abonado vinculado, el cual muestra opciones para ver el abonado en el mapa, volver a trazar la ruta hacia la casa del abonado o eliminar dicho abonado. Si selecciona la última opción, entonces se puede seleccionar si únicamente se desea eliminar el icono y el cable en el mapa o si adicionalmente se desea liberar el cliente de dicho puerto, tal y como se observa en la Figura 74.

Cabe recalcar que los clientes no se eliminan de la base de datos jamás, sino que, al momento de liberar un cliente de un puerto, este regresa a la lista de selección de abonados (implementada en la base de datos SQLite) evitando afectar a la base de datos de la empresa.

Figura 74.

Menú de opciones para los puertos del Panel de Clientes



3.14.1. *VFL*

Para culminar con esta sección, se añade la función de rastreo de hilos por toda la ODN, esta función es útil en el caso que el personal técnico en campo desee investigar una falla de desconexión de un de manera visual, la ruta se traza desde el abonado hasta la OLT.

Para seguir el trazado de la ruta, simplemente se realiza click en un abonado en el mapa y se selecciona la opción de Rastrear Hacia OLT, entonces se oscurecerán las demás cajas y cables que no pertenezcan a la ruta y se iluminarán los que sí. Al entrar en las cajas por las que pasa el hilo se iluminarán de color verde claro para su distinción, esto se puede ver de mejor manera en la siguiente Figura 75.

Figura 75.

Trazado de ruta de un abonado de ejemplo



Se debe mencionar que el abonado también puede ser creado de manera inversa colocándolo primero en el mapa y luego vinculándolo a la caja pertinente, mediante el botón del mapa.

En resumen, la función de modo VFL facilitará la tarea de comprender la ruta del hilo que alimenta dicho abonado, por lo que, esta función se usará mayormente cuando existan fallas en los clientes y para verificar que se realizó la conexión de manera correcta en diseño de redes nuevas.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

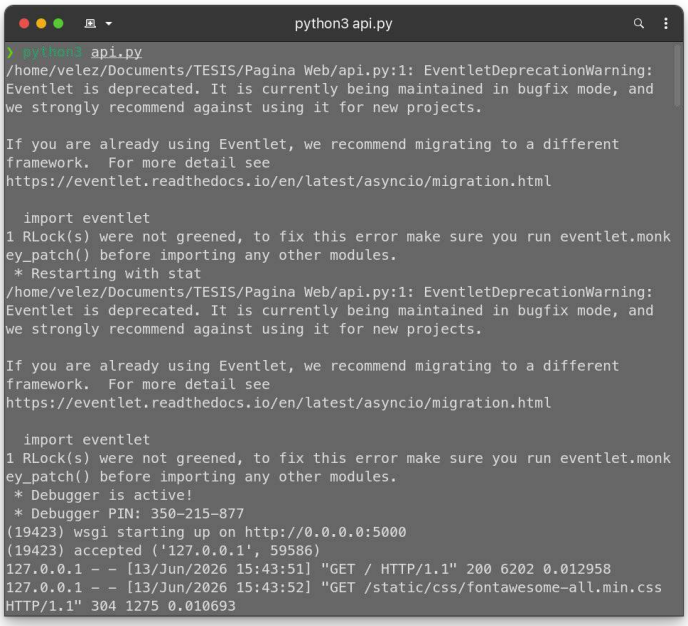
En este capítulo se demuestra la fiabilidad de la aplicación, con la implementación de datos reales de la sucursal de Riobamba proporcionada por parte de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. La verificación abarca a migración de los datos desde los archivos KMZ a este nuevo sistema, verificando las funciones de la aplicación en el proceso. Además, se prueba el sistema de monitoreo de clientes mediante pruebas de desconexión y conexión directamente desde la base de datos para mostrar la funcionalidad de dicha herramienta. Concluyendo este capítulo con un análisis comparativo entre el sistema actual con el sistema propuesto, y la entrega de la máquina virtual.

4.1. Migración de datos de la sucursal de Riobamba

En este apartado se demuestra la validación del módulo de importación de archivos KMZ/KML, ingresando los datos proporcionados por parte de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., mediante el archivo KMZ de la sucursal de Riobamba. Antes de la importación de los datos, se comienza con el levantamiento de la aplicación principal usando el comando python3 api.py, el cual ejecuta el backend y el frontend de la aplicación, conjuntamente con las bases de datos, tal y como se muestra en la Figura 76.

Figura 76.

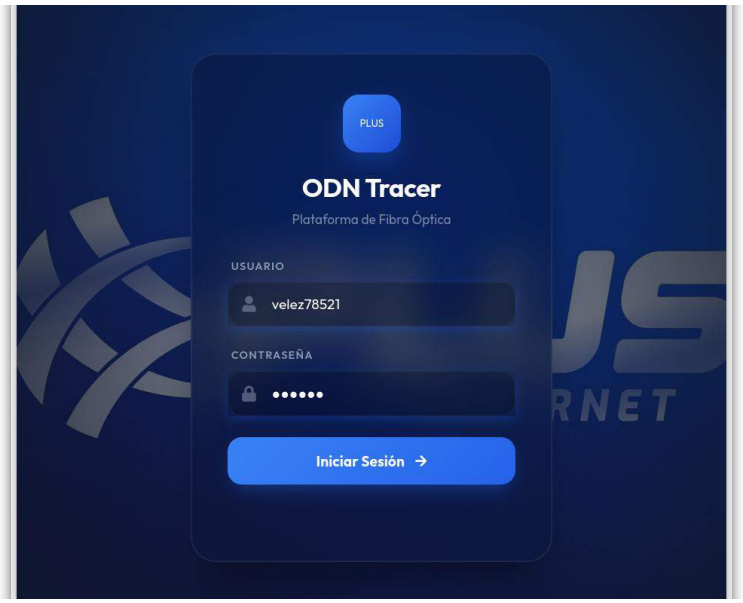
Ejecución de la aplicación



Ahora se procede a ingresar a la url en el navegador, el cual nos mostrara el menú de inicio de sesión. Se ingresa mediante el usuario administrador antes creado, como se muestra en la Figura 77.

Figura 77.

Menú de inicio de sesión



Se verifica que el menú de inicio de sesión funciona correctamente, se ingresa y se crea un nuevo proyecto llamado Riobamba Final para importar los datos de la sucursal, como se llega a observar en la Figura 78.

Figura 78.

Menú de inicio de sesión



Ahora que el proyecto esta creado exitosamente, se hace uso de el botón de importación de KMZ/KML. El motor de extracción desempaqueta el archivo KMZ (el cual es un KML comprimido, véase la sección 2.2.2) y clasifica cada elemento por su tipo. Al importar el KMZ de la sucursal se obtiene todos los elementos añadidos (895 elementos) al menú de importación correctamente acoplados a su sección de la ODN. Cabe mencionar que la integración de un diccionario de palabras para la identificación resulta funcional, ya que cada elemento se encuentra en su sección correspondiente (incluyendo la cantidad de hilos o modelo). También se debe mencionar la auto vinculación de los elementos mediante el botón de Configuración Final, el cual ayuda a vincular los cables y cajas de todo el mapa entre sí de manera inteligente ahorrando varias horas, tal y como se observa en la Figura 79 y la Figura 80.

Figura 79.

Menú de importación funcional

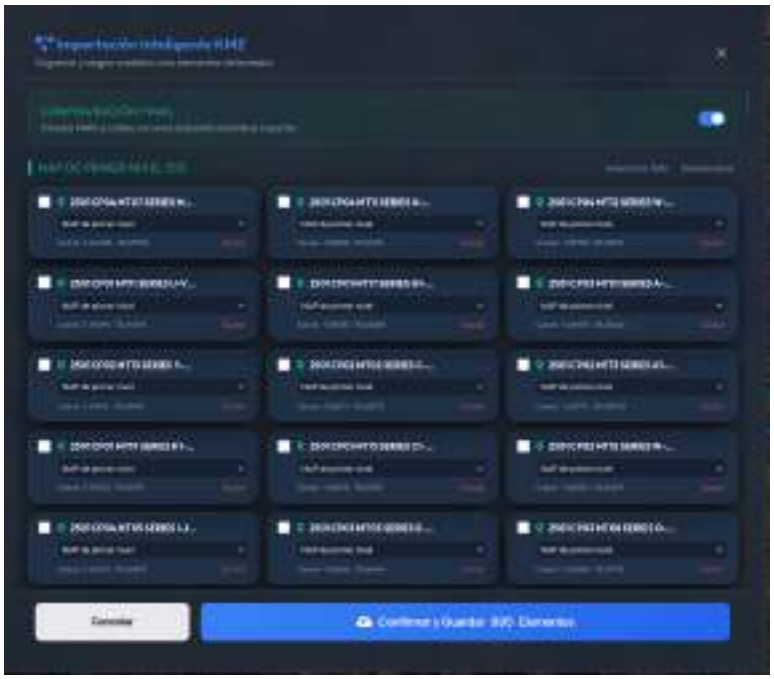
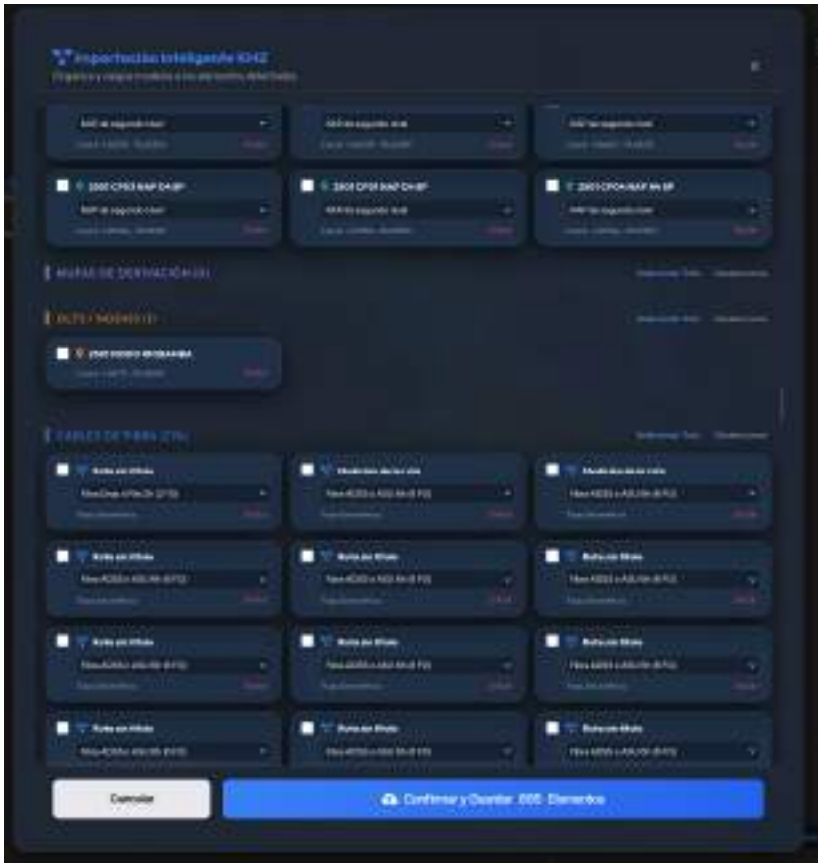


Figura 80.

Menú de importación funcional



En este caso la cantidad de elementos que posee el KMZ de Riobamba son un total de 895 distribuidos de la siguiente manera como se observa en la Tabla 9, donde se muestra cada elemento de la ODN por su categoría, tipo y cantidad.

Tabla 9.

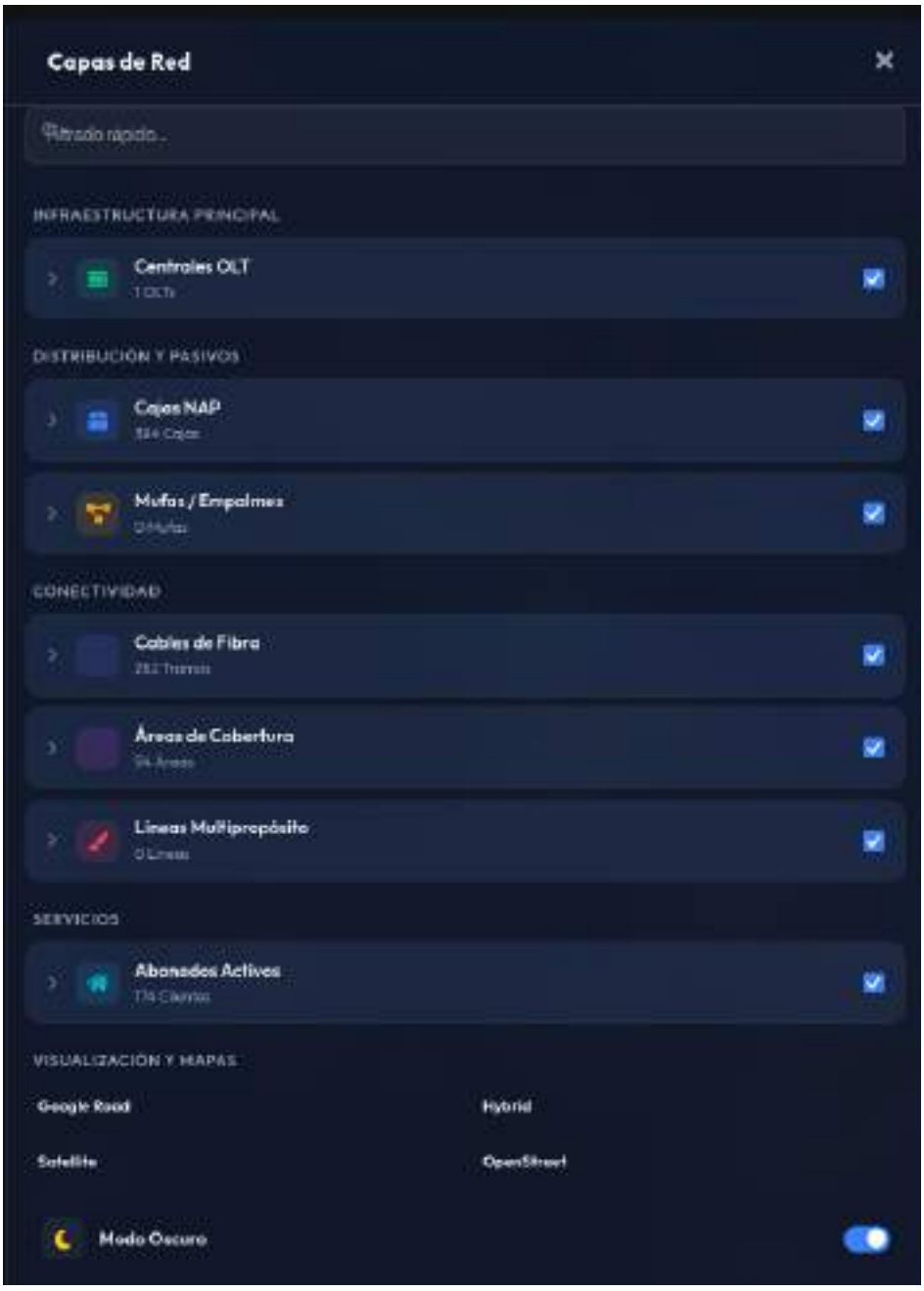
Abstacción de elementos de la ODN

Categoría	Tipo Espacial	Cantidad Original
Nodos OLT	Punto	1
Cajas de Empalme (Mufas)	Punto	0 (no aplica)
Cajas NAP 1er nivel	Punto	55
Cajas NAP 2do nivel	Punto	329
Abonados Activos	Punto	174
Cables ADSS/Troncales	Polilínea	282
Líneas Multipropósito	Polilínea	0 (no aplica)
Áreas de Cobertura	Polígono	54
	Total	895

Para verificar que esta cantidad corresponde con la que se importa, se verifica mediante el menú de capas que se representa en la Figura 81, donde se muestra la distribución de cada elemento al proyecto, el cual coincide con el KMZ.

Figura 81.

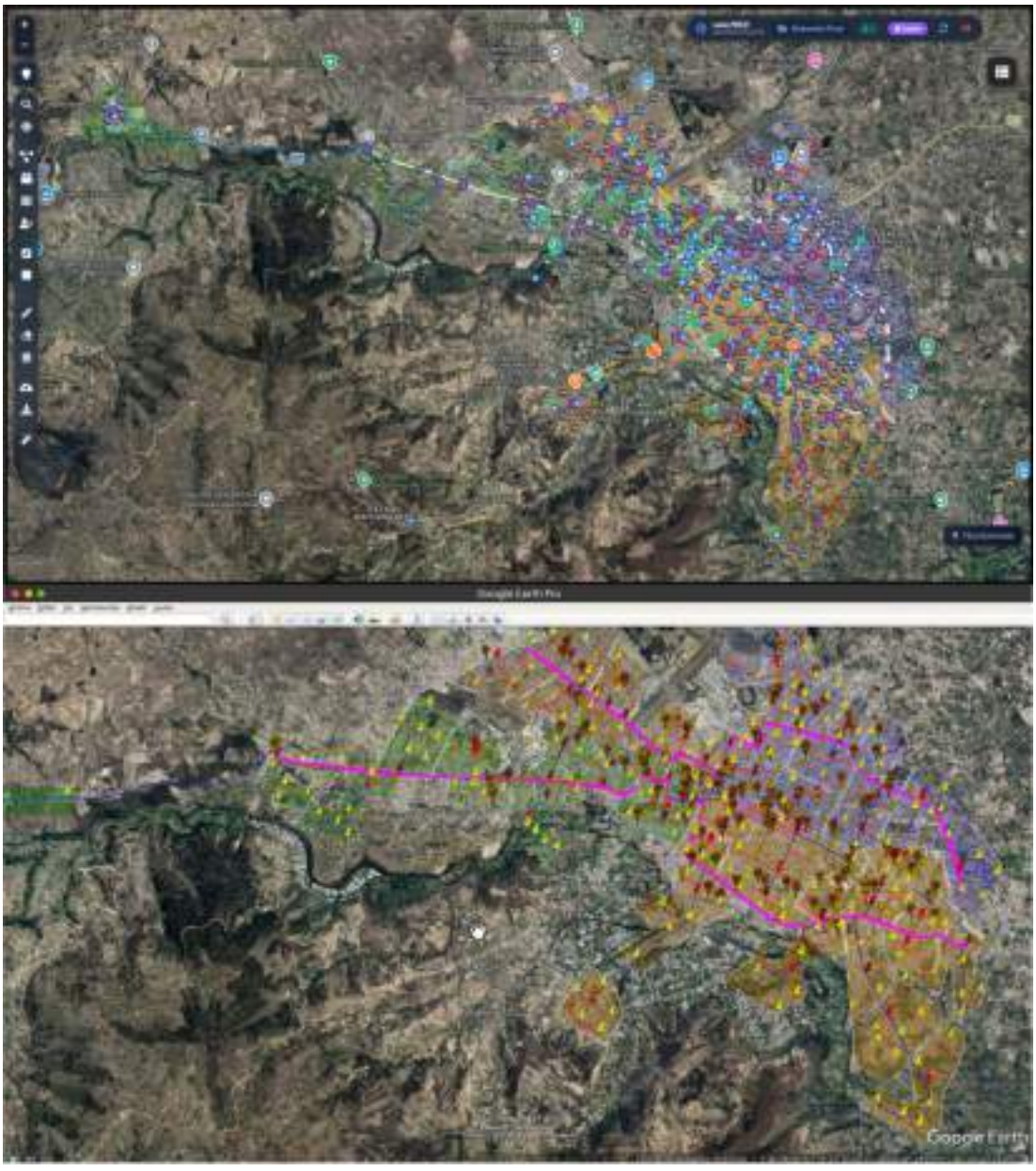
Menú de capas



Además, se puede verificar visualmente que cada elemento se encuentra distribuido correctamente en el mapa al realizar una comparativa entre ODN Tracer (aplicación propuesta) y Google Earth como se muestra en la Figura 82.

Figura 82.

Comparación entre ODN Tracer y Google Earth



Ahora únicamente se debe de unir ciertos hilos, ya que los demás se unen de manera automática, para verificar que cajas son los faltantes se hace uso de el botón en el mapa llamado Fibra Iluminada, el cual opaca los cables y cajas NAP que no tienen señal y da una retroalimentación de cuantas cajas, cables y abonados si la tienen, como se muestra en la Figura 83.

Figura 83.

Uso de Fibra Iluminada



Entonces para que la señal de la OLT llegue a todas partes, se debe de hacer uso del menú de las cajas NAP denominado interior de caja para realizar la unión de los hilos correspondientes a la entrada del splitter, tal y como se observa en la Figura 84, donde se muestra la conexión de un hilo para alimentar al splitter con el objetivo de obtener conexión con la OLT.

Figura 84.

Conexión del IN del splitter con hilo de alimentación



Este proceso se sigue hasta obtener toda la red energizada por la OLT, para verificar que esto sucede se usa nuevamente el botón de Fibra Iluminada y se verifica que todo se encuentre encendido, como se muestra en la Figura 85.

Figura 85.

Mapa completamente iluminado



En el caso de cajas NAP que poseen clientes, se puede verificar que se encuentra correctamente funcionales al encender el modo VFL en el abonado, el cual nos traza la ruta desde el abonado hasta la OLT a la cual se encuentra conectada y además se puede seguir la ruta del hilo al entrar al Interior de Caja en cada NAP por la que cruza, como se muestra en la Figura 86, donde la ruta se ilumina de color verde fosforescente para que sea fácil de identificar por todo el tramo que sigue.

Cabe mencionar que se censuran los nombres de los abonados en el panel de clientes y en el mapa debido a políticas de privacidad de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

Figura 86.

Uso de VFL en cliente



Por otra parte, se debe mencionar que el sistema evita el vendor-locking con la exportación directa a KMZ para su visualización nuevamente en Google Earth como se muestra en la Figura 87, donde además se encuentra ordenado por carpetas cada tipo de elemento e iconos renovados mucho más acorde a su función con una descripción informativa en cada elemento.

Figura 87.

KMZ exportado de ODN Tracer



Con esto finaliza la importación del sistema, verificando la precisión de la herramienta en todo momento, demostrando la viabilidad y facilidad de importación de una sucursal completa al sistema ODN Tracer en un corto tiempo.

4.2. Pruebas del sistema de monitoreo de clientes

Para probar la fiabilidad del sistema de monitoreo de clientes en las cajas NAP y realizar pruebas, se manipula el estado de los clientes directamente desde la base de datos PostGres, proporcionada por parte de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., la cual se tiene estrictamente permisos de lectura para evitar eliminar clientes o cambiar su estado por error. Dicha base de datos posee los clientes y su estado actual, se debe mencionar que la base de datos de la empresa no trabaja en tiempo real ya que se actualiza cada 5 minutos desde el OLT del datacenter.

Por la fragilidad de la información tratada y la privacidad de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. antes mencionada, no se explicará ni se profundizará en ciertos apartados técnicos ya que vulneran y/o comprometen las normas por las cuales se rige la empresa.

En este caso, debido a que se trata de una sucursal nueva no existe gran afluencia de clientes. Por ello, únicamente se altera el estado de conexión de 2 abonados (los más antiguos) cambiando su estado en un corto periodo de tiempo para no afectar en gran medida a los sistemas vinculados en los otros departamentos de la empresa a dicha base de datos.

Las pruebas de conexión y desconexión son muy sencillas de realizar y se manejan de la siguiente manera:

- ✓ Abonado A y B se visualiza en el panel de clientes de ODN Tracer para verificar su estado actual.
- ✓ Se cambia el estado y otros parámetros relacionados desde la base de datos.
- ✓ Se verifica después de cierto tiempo si el nuevo estado se muestra en el panel de clientes.
- ✓ Se revierte al estado anterior.
- ✓ Se verifica si el estado cambio a su estado inicial.

Hay que mencionar que la base de datos de la empresa presenta 3 estados proporcionados por la OLT mediante el protocolo SNMP, los cuales ayudan a saber el motivo de la desconexión:

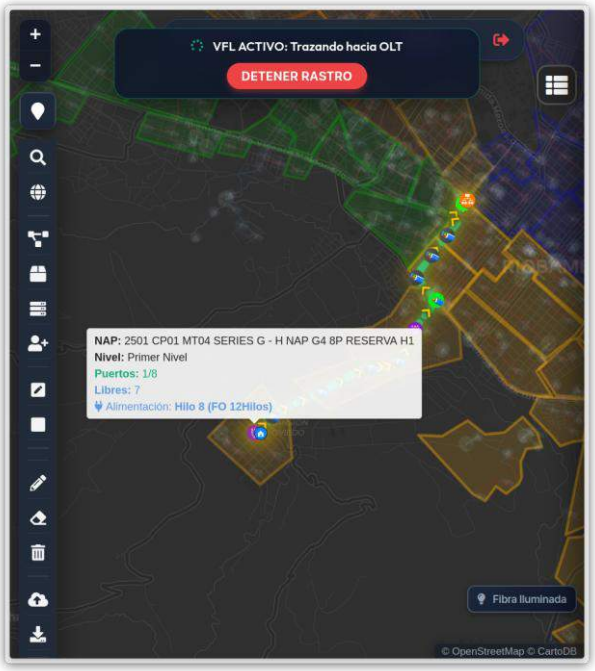
- ✓ Potencia Baja
- ✓ ONU sin energía
- ✓ Causa Desconocida

4.2.1. *Abonado A (Conectado a NAP de Primer Nivel)*

En este caso para el Abonado A, el cual se encuentra conectado directamente a la caja NAP de primer nivel de la serie G-H como se muestra en la Figura 88, se verifica su estado actual ingresando al menú Interior de Caja de la caja NAP antes mencionada.

Figura 88.

NAP de primer nivel conectada al abonado A



Al ingresar al Interior de la caja se observa en panel de clientes que el abonado A se encuentra en el puerto 1 y se encuentra activo sin ningún fallo como se observa en la Figura 89.

Figura 89.

Abonado A activo



Se procede a ingresar a la base de datos para cambiar su estado, pero no de manera directa, en este caso se cambia el valor manualmente de la potencia en dBm a –30, para que la razón de la inactividad sea por potencia baja, tal y como se muestra en la Figura 90, donde se muestra la demora de unos pocos minutos antes de mostrar el estado actual del cliente.

Figura 90.

Abonado A con estado inactivo



Ahora se procede a restaurar el estado inicial del cliente con la potencia real que maneja dicho abonado, para ello se revierte la potencia a su estado original en la base de datos, como se observa en la Figura 91, donde se observa que el abonado A regreso a su estado original. Se

reitera que para visualizar este cambio se tiene que esperar cierto tiempo (unos cuantos minutos), ya que como se mencionó antes la base de datos de la empresa no trabaja en tiempo real.

Figura 91.

Abonado A con su estado restaurado

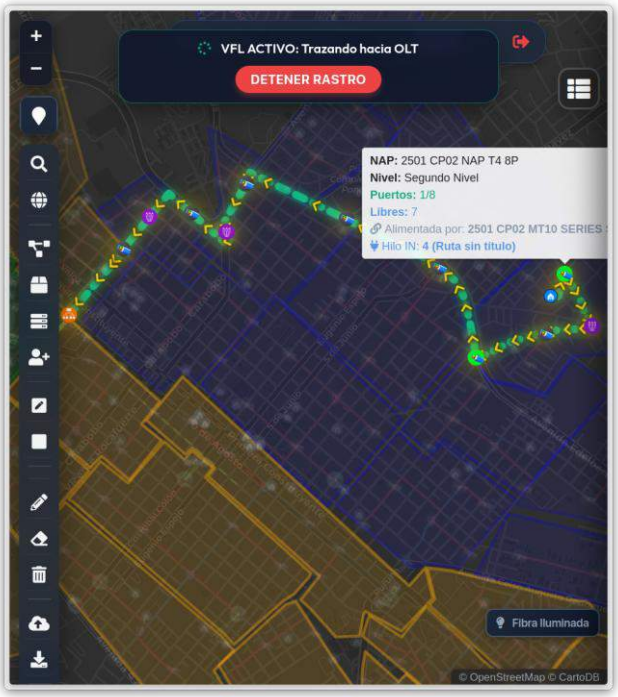


4.2.2. *Abonado B (Conectado a NAP de Segundo Nivel)*

Para el caso del abonado B el cual se encuentra conectado a una caja NAP de segundo nivel de la serie S-T, específicamente de la NAP T4, como se llega a visualizar en la Figura 92. Se realiza exactamente la misma prueba, pero variando un parámetro distinto. En este caso, se desea que la inactividad por causa desconocida.

Figura 92.

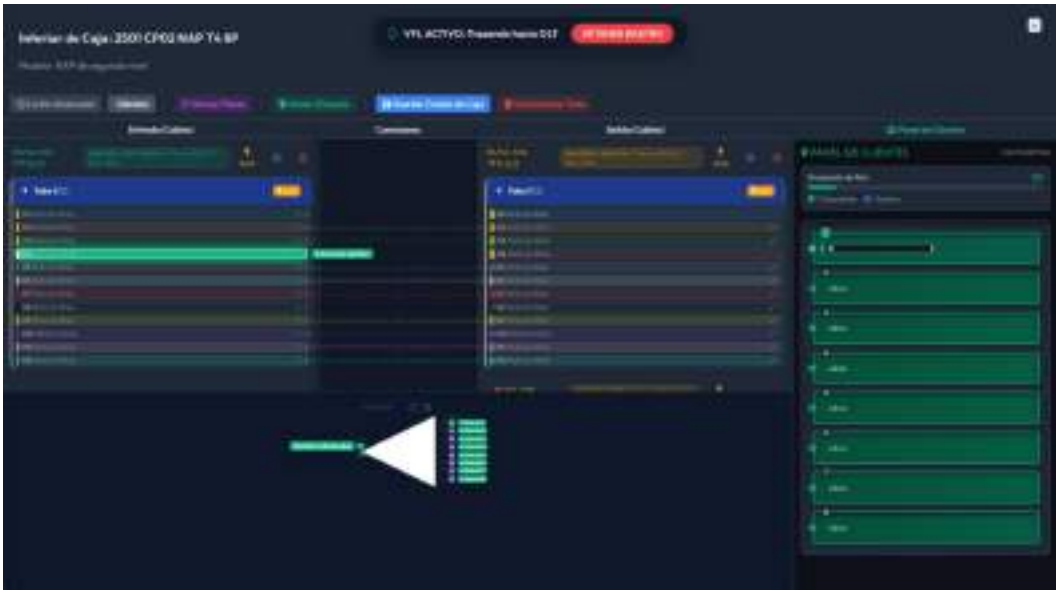
NAP de segundo nivel conectada al abonado B



Primero se verifica el estado actual del abonado B, el cual se encuentra activo y conectado al primer puerto en el panel de clientes, esto se puede observar en la Figura 93. Entonces se procede con la misma prueba cambiando el estado del cliente a inactivo.

Figura 93.

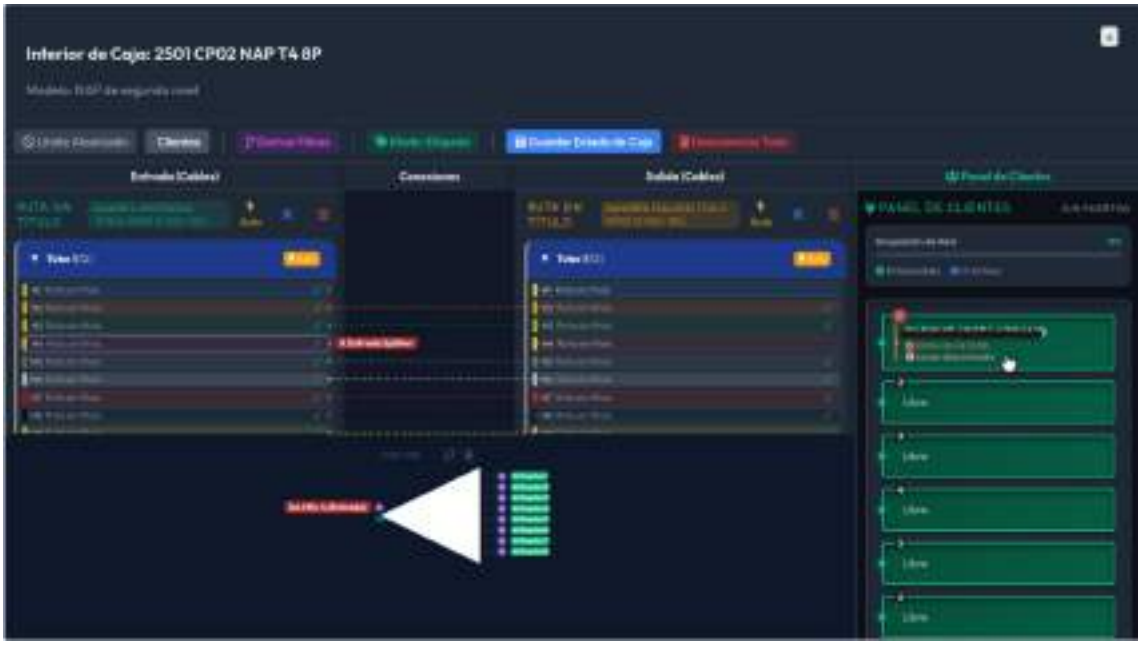
Abonado B activo



Para este caso sucede igual que en el abonado A, el cual como se observa en la Figura 94, muestra al abonado B inactivo con la causa de desconexión marcada como causa desconocida.

Figura 94.

Abonado B con estado inactivo



Para concluir con esta subsección, se restaura el estado a su estado anterior y se verifica dentro del Interior de la Caja NAP en el panel de clientes que el cliente B se visualice como activo nuevamente, tal y como se muestra en la Figura 95. Demostrando la eficacia del sistema implementado y como este se acopla correctamente con la base de datos de abonados de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

Figura 95.

Abonado B su estado restaurado



4.3. Comparativa del sistema actual y el sistema propuesto

Con las pruebas exitosas y la aplicación completa, se establece un análisis comparativo para comprender los beneficios de la aplicación ODN Tracer a comparación del sistema actual que se maneja en AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

Para comprender de mejor manera se presenta la información en formato de tabla comparativa final entre Google My Maps/Google Earth y ODN Tracer seleccionando los puntos más importantes a tener en cuenta, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10.

Análisis comparativo final entre herramientas de Google y ODN Tracer

Característica a Evaluar	Google My Maps / Google Earth	ODN Tracer (Sistema Propuesto)
Renderizado Gráfico	✓ Manejo de SVG. ✓ Restricciones de capas y severa latencia en sucursales densas. ✓ Límite de polígonos y capas	✓ HTML5 Canvas. ✓ Alta fluidez de miles de elementos concurrentes. ✓ Sin limite
Diagnóstico de Fallos	× Inexistente. ✓ Método de ensayo y error requiriendo escalado repetitivo en postes.	✓ Lógico. ✓ Herramienta de modo VFL y rastreo recursivo de ruta hasta la OLT.
Monitoreo de Abonados	✓ Operativamente inviable dentro de la misma plataforma (consulta física a personal de planta interna).	✓ Integración con la base de datos de la empresa.
Beneficiarios	✓ Jefe y personal de planta externa ✓ Otras Áreas (Parcialmente)	✓ Jefe y personal completo de planta externa ✓ Personal de planta interna ✓ Personal de ventas ✓ Otras Áreas
Arquitectura de Datos	✓ Descentralizada. ✓ Guardado local (KML/KMZ individuales).	✓ Centralizada. ✓ Cliente-servidor con base de datos espacial (SpatiaLite) ✓ Capacidad bidireccional (Importe/Exporte).
Lógica Relacional de Fibra	× Inexistente. ✓ Trazos planos sin conectividad.	✓ Completa. ✓ Emulación interna bajo norma TIA/EIA 598 ✓ Enrutamiento lógico.

Trabajo Colaborativo	✗ No aplica. ✓ Gran riesgo de pérdida de información por sobreescritura de datos.	✓ Tiempo real. ✓ Sin límite de usuarios en un mismo proyecto. ✓ Sistema de WebSockets y sistema de bloqueo interactivo inteligente.

Estas mejoras se traducen como un aporte en cuanto a eficiencia para la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., minimizando el tiempo invertido en el levantamiento de las redes de fibra óptica y optimizando los tiempos medios de reparación (MTTR) en gran medida.

Además, disminuye el riesgo de accidentes al evitar que el técnico en campo se dirija al área y verifique manualmente en el poste los clientes activos. Finalmente, al basarse completamente la aplicación en un entorno de software libre, libera a la empresa de licencias mensuales disminuyendo costos en costosas herramientas mejorando la sostenibilidad y fiabilidad en la red ODN a largo plazo. En la Figura 96, se observa la descarga de Ubuntu Server en su versión Long Term Service (LTS); el cual proporciona un mantenimiento en cuanto actualizaciones durante un largo periodo de tiempo a comparación de la versión tradicional.

Figura 96.

Descarga de Ubuntu Server

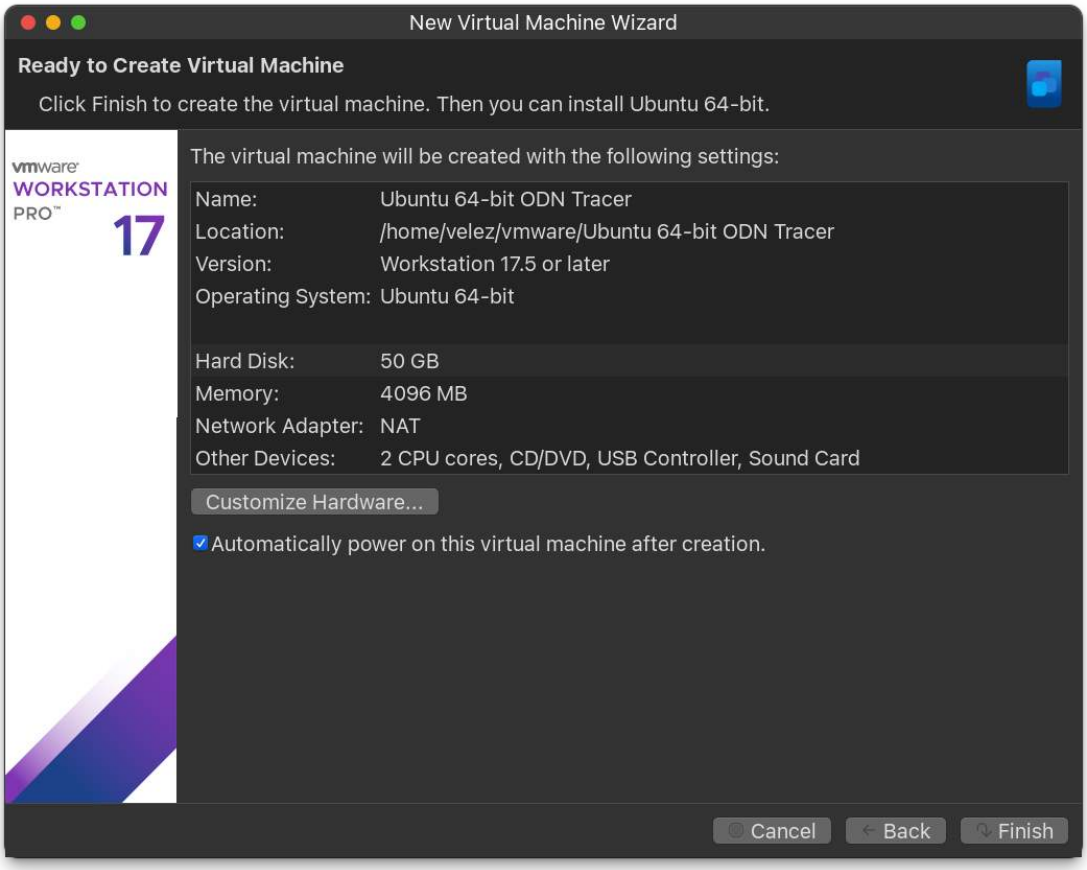


En cuanto al espacio destinado para esta máquina virtual se tiene en cuenta el tamaño de la base de datos actual el cual es de 8.3 MB, lo cual es muy pequeño. Además, teniendo en cuenta que existen 19 sucursales hasta la fecha en la empresa, se concluye que se obtiene apenas 200 MB si se incluye todas las sucursales en ODN Tracer.

Por lo que al tener en cuenta los anteriores parámetros se procede a crear la máquina virtual con un almacenamiento de 50 GB, del cual aproximadamente 20 GB están destinados a recursos y/o servicios nativos de Ubuntu Server y los 30 GB para la creación de proyectos dentro de la aplicación y la adición de nuevas funciones a futuro que ocupen espacio. Las características de la máquina virtual se observan de mejor manera en la Figura 97.

Figura 97.

Características de la máquina virtual



Para facilitar todo el proceso de instalación del sistema se crea un script en Python el cual instala las librerías necesarias, migra todos los datos hacia la máquina virtual y finalmente hace que funcione como un servicio nativo con systemd para ejecutarse después de que el kernel de Linux inicie, esto se observa de mejor manera en la Figura 98, donde se muestra el momento en el cual el script termina de ejecutar con un mensaje de éxito.

Figura 98.

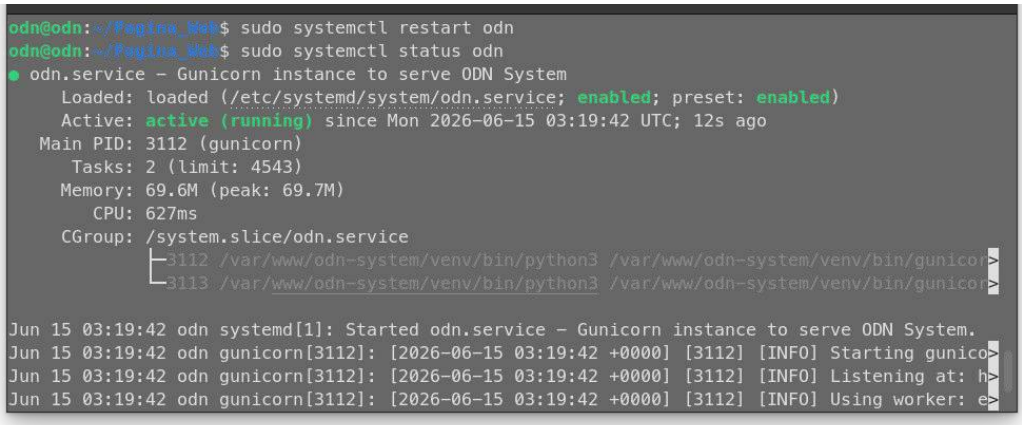
Script completado



Se verifica que el servicio de ODN Tracer esté en funcionamiento reiniciando el servicio y verificando su estado, tal y como se muestra en la Figura 99, donde se muestra que todo el servicio está en funcionamiento y se encuentra activo en cada inicio de la máquina virtual.

Figura 99.

ODN Tracer en funcionamiento.



Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El presente trabajo demuestra que el desarrollo de una solución web GIS enfocada a fibra óptica específicamente en la ODN, soluciona de raíz inconvenientes como dispersión de información y la falta de sincronía presentes en los archivos KMZ, además el uso de las herramientas Open Source empleadas por grandes empresas referentes de la industria, por ejemplo Facebook con Leaflet, nos garantiza el soporte a largo plazo evitando problemas de actualizaciones o correcciones de errores durante un tiempo prolongado garantizando una gran estabilidad y fiabilidad del sistema por varios años.
- Si bien el uso de SaaS enfocados en fibra óptica es esencial dentro de un ISP, el principal inconveniente al que se enfrentan y el por cual evitan usarlas y optan por opciones más simples pero para nada adecuadas, es debido al alto coste. El cual su modelo de negocio se maneja mediante suscripciones mensuales, las cuales poseen precios poco accesibles, comenzado desde los 100 dólares en adelante. Este inconveniente se aumenta especialmente en empresas emergentes en principios de su desarrollo, por ello el uso de softwares que cumplen el mismo propósito y además pueden llegarse a alojar dentro del propio datacenter de la empresa con un despliegue de manera sencilla es la solución perfecta, ya que evita problemas de logística y gastos innecesarios.
- El rendimiento de un sistema es crítico y sumamente esencial a tener en cuenta, por lo que el motor de renderizado nativo de Leaflet manejado mediante el renderizado vectorial estándar (SVG), el cual genera una gran carga para un sistema el cual está planeado mayormente a usarse en dispositivos móviles debido a que la mayor parte de empleados en la empresa son parte del personal técnico en campo. Por ello, el

optar por el motor de renderizado Canvas mediante HTML5 probó ser altamente eficaz para cargar varios elementos en el mapa a comparación del motor por defecto. Se evidenció esto de manera clara al cargar la sucursal de Riobamba el cual tiene una gran cantidad de elementos. Además, el sistema por proyectos ayudo no solo en la organización, sino que además sirvió enormemente para reducir la carga innecesaria, evitando cargar los elementos de todas las demás sucursales en un mismo mapa.

- Centralizar la información en una sola fuente de verdad íntegra y unificada garantiza una visibilidad completa sobre la infraestructura física. Además, el diseño del sistema de importación permitió la migración de volúmenes masivos de información una manera sencilla, directa y ágil, siendo la experiencia de usuario intuitiva, cómoda y agradable.
- La implementación de las normas de la empresa en cada apartado dentro de ODN Tracer, garantizan que siempre se cumpla por parte de cada departamento sus funciones de manera correcta evitando procesos innecesarios de auditorías.
- La implementación de PWA amplía el ecosistema de la aplicación adecuando su interfaz y funciones para todo tipo de dispositivos respetando la experiencia de usuario; agilizando y economizando el consumo de datos en smartphones.
- La inclusión de exportar e importar proyectos a KMZ propone la visualización de la red en todo momento incluso si no se posee conexión a internet por encontrarse en zonas alejadas sin cobertura, el cual es el caso de los técnicos en campo. Además, garantizando compatibilidad con sistemas de otras empresas que aún se rigen mediante archivos KMZ.
- El sistema de monitoreo de abonados visualizado en el panel de clientes demostró ser útil al reducir el tiempo de detección de fallos, evitando llamadas innecesarias

por parte del personal técnico para consultas sobre el estado del abonado al personal de planta interna y soporte técnico.

5.2. Recomendaciones

- Es indispensable la estandarización de los colores y cajas dentro de los archivos KMZ para la fácil migración de futuras sucursales dentro de ODN Tracer agilizando todo tipo de procesos manuales como la verificación cable por cable o caja por caja.
- La capacitación técnica enfocada al manejo del nuevo sistema ODN Tracer y sus normas de uso dentro de la empresa es primordial para que cada departamento de la empresa comprenda el correcto uso y funcionamiento del nuevo sistema evitando complicaciones o confusiones.
- Es conveniente instaurar auditorías anuales dirigidas a verificar el rendimiento del renderizado en los navegadores en celulares, con el fin de verificar la optimización de HTML5 Canva sea viable aun cuando exista una gran cantidad de afluencia de datos.
- Se recomienda la integración de ODN Tracer con la OLT mediante el protocolo SNMP, para la lectura de parámetros ópticos tales como dBm o pérdidas; e implementarlo directamente en el panel de clientes y en cada caja, para que además se contraste con la parte teórica y se realice un análisis comparativo verificando que la potencia sea correcta en dicho tramo o cliente acercándose al cálculo teórico lo más exacto posible evitando potencias bajas en clientes por malos cálculos.
- Se recomienda homogeneizar el código del sistema y liberarlo para transformarlo en un sistema libre y gratis, mediante una plataforma como GitHub o GitLab para que se maneje constantemente con mejoras y actualizaciones por parte de la comunidad. Con ello, transformándose en un proyecto autosostenible y escalable, y volviéndose Open Source debido a que no existe ningún software parecido que no

necesite de suscripciones o se deba de pagar. Con esto se evitaría que este trabajo de grado no quede estancado únicamente como un simple proyecto de grado desarrollado para una empresa y sea un gran apoyo para el resto de empresas en el mundo.

- La integración con otros sistemas de parte de la empresa específicamente con los sistemas de facturación y atención al cliente seria clave para obtener un ecosistema interconectado que permitiría el reporte de problemas, como una rotura de una fibra troncal, se enviase de manera automática y se emitiese comunicados a clientes afectados por medio de SMS o Whatsapp, reduciendo las llamadas por perdida de servicios en gran medida elevando la satisfacción del cliente y la calidad del servicio en la empresa.
- Teniendo en cuenta la operatividad de los técnicos en campo en lugares con escasa cobertura en cuanto a la telefonía móvil, se propone evaluar como una segunda etapa la evolución del sistema PWA en la que funcione de manera offline mediante la descarga del caché de ciertas partes específicas del mapa y parte de la funcionalidad de la red, para realizar consultas o simulaciones del sistema VFL y sincronizándose de manera automática los cambios con el servidor en cuanto vuelva la conexión a la red.

Bibliografía

[1] Google, “Usar capas del mapa - Ordenador”, Ayuda de Mis Mapas. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://support.google.com/mymaps/answer/3024933?hl=es&authuser=1

[2] Wesco, “Manual Network Documentation No Longer Makes the Grade | Knowledge Hub”, Manual Network Documentation No Longer Makes the Grade. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.wesco.com/us/en/knowledge-hub/articles/manual-network-documentation-no-longer-makes-the-grade.html

[3] OZMap, “Documentación de redes existentes: una guía para proveedores.”, OZmap. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://ozmap.com/es/documentacion-de-redes-existentes-una-guia-para-proveedores/

[4] P. Pizzutillo, “Fiber Network Design: A Key Tool for ISP Success”, VETRO. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://vetrofibermap.com/fiber-optic-network-design/

[5] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel), “Boletin cierre 2023”, Boletín Estadístico. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2024/09/Boletin-cierre-2023_sz.pdf

[6] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), “Measuring digital development”, 2024, [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2024-4-pdf-e.pdf

[7] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), “Communication Towers - Overview | Occupational Safety and Health Administration”, Communication Towers. Consultado: el 2 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.osha.gov/communication-towers

[8] R. Friedrich *et al.*, “The Cost of Complexity for Telecoms and How Companies Can Reduce It”, [En línea]. Disponible en: https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/archive/cost-complexity-telecoms/strategyand-the-cost-of-complexity-for-telecoms.pdf

[9] K. X. Zhu y Z. Z. Zhou, “Lock-In Strategy in Software Competition: Open-Source Software vs. Proprietary Software”, *Inf. Syst. Res.*, vol. 23, núm. 2, pp. 536–545, jun. 2012, doi: 10.1287/isre.1110.0358.

[10] G. Keiser, *FTTX Concepts and Applications*. John Wiley & Sons, 2006.

[11] P. A. Longley, M. Goodchild, D. J. Maguire, y D. W. Rhind, *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons, 2010.

[12] H. O. Grazzini, *Fibras ópticas: Conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas, 2021.

[13] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación, 2003.

[14] B. M. ISIDORO, *Instalación y mantenimiento de redes para transmisión de datos 3.ª edición 2025*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2025.

[15] M. Alhaider, *Optical Fiber Communications*. Notion Press, 2017.

[16] M. E. MANUEL JUAN, *Técnicas y procesos en infraestructuras de telecomunicaciones 2.ª edición*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2024.

[17] C. P. RAFAEL y H. M. MANUEL JOSÉ, *Sistemas de telefonía*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2006.

[18] L. C. JORGE, *Módulo 5. Técnicas digitales. Sistemas de instrumentos electrónicos*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2020.

[19] M. S. Morales, *MF1209_1 - Operaciones auxiliares con tecnologías de la información y la comunicación*. Editorial Elearning, S.L., 2015.

[20] G. PACIO, *Data centers hoy*. Alfaomega Grupo Editor, 2014.

[21] Lisa, "Fiber Color Code: A Simple Guide for Beginners (2024)", Optcore. Consultado: el 1 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.optcore.net/fiber-color-code/

[22] M. Cave y W. Webb, *Administración del espectro: El uso de las ondas radiofónicas para el máximo beneficio social y económico*. CIDE.

[23] J. Unger, *Deploying License-free Wireless Wide-area Networks*. Cisco Press, 2003.

[24] O. Q. Muñoz, *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku LLC, 2019.

[25] B. S. Antonio Jose y F. G. Carmelo, *Instalaciones de telefonía. Prácticas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2008.

[26] F. Kyne *et al.*, *System z End-to-End Extended Distance Guide*. IBM Redbooks, 2014.

[27] R. Botwright, *Fiber Optics: Networking And Data Transmission In Action*. Rob Botwright, 2024.

[28] E. Coll, *Broadband 101*. Teracom Training Institute, 2023.

[29] G. Castrejón, *Hacia Un Sistema de Telecomunicaciones Completamente Optico*. UNAM.

[30] M. C. E. Boquera, *Servicios avanzados de telecomunicación*. Ediciones Díaz de Santos, 2003.

[31] G. B. Chiquero, *UF1863 - Instalación y configuración de dispositivos y servicios de conectividad asociados*. Editorial Elearning, S.L., 2017.

[32] "OLT". Consultado: el 31 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/OLT

[33] G. Keiser, *FTTX Concepts and Applications*. John Wiley & Sons, 2006.

[34] M. C. E. Boquera, *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Ediciones Díaz de Santos, 2005.

[35] G. B. Chiquero, *UF1872 - Implantación y configuración de pasarelas*. Editorial Elearning, S.L., 2015.

[36] Hentel, "NAP 16 HILOS SC/APC COMPLETA IP68", https://hentel.com.ec/tiendaenlinea/. Consultado: el 14 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://hentel.com.ec/tiendaenlinea/fibra-optica/connection_naps-y-mangas-de-empalme/6089_nap-16h-ip68-sc-apc-completa/

[37] S. C. M. Arantes, *UF0465 - Montaje de componentes y periféricos microinformáticos*. Editorial Elearning, S.L., 2015.

[38] FIBCONET, "¿Qué es el marco de distribución óptica en redes de telecomunicaciones?", Fibconet Comunicarse. Consultado: el 14 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://fibconet.com/qué-es-odf-en-fibra-óptica/

[39] The Fiber Optic Association, Inc., "The FOA Reference For Fiber Optics-Installing Fiber Optic Cable - Midspan Access", Fiber Optic Cable Installation - Midspan Access. Consultado: el 2 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.thefoa.org/tech/ref/install/midspan_access.html

[40] A. P. Navarro, *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Editorial UOC, 2011.

[41] J. A. C. de Miguel, *Información geográfica y sistemas de información geográfica (SIGs)*. Ed. Universidad de Cantabria, 1992.

[42] "Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps". Consultado: el 15 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://leafletjs.com/

[43] T. Mitchell, *Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits*. O'Reilly Media, Inc., 2005.

[44] S. Udell, *Beginning Google Maps Mashups with Mapplets, KML, and GeoRSS: From Novice to Professional*. Apress, 2008.

[45] J. Martinez, *Fundamentos del Desarrollo Web: Curso Completo para Principiantes*. JuanMartinez.

[46] M. D. Ramírez Pérez, *Desconexión Digital y Seguridad Informática en el Trabajo*. ICB Editores, 2024.

[47] Roberto Caroca, "Frontend y Backend: La analogía con un restaurante." Consultado: el 16 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://es.linkedin.com/pulse/frontend-y-backend-analog%C3%ADa-del-restaurante-roberto-caroca

[48] Scrum Guide, "Scrum Guide | Scrum Guides". Consultado: el 16 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://scrumguides.org/scrum-guide.html

[49] M. C. Layton, S. J. Ostermiller, y D. J. Kynaston, *Agile Project Management For Dummies*. John Wiley & Sons, 2025.

[50] M. J. Lado, *Building a Flask web app using Bootstrap and an SQLite database: A complete beginner-friendly learning path*. MARK JOHN LADO, 2025.

[51] J. Lawhead, *Learning Geospatial Analysis with Python: Understand GIS fundamentals and perform remote sensing data analysis using Python 3.7*. Packt Publishing Ltd, 2019.

[52] A. Mandel, V. O. Ferrero, A. Graser, y A. Bruy, *QGIS 2 Cookbook*. Packt Publishing Ltd, 2016.

[53] A. Cutts y A. Graser, *Learn QGIS: Your step-by-step guide to the fundamental of QGIS 3.4*. Packt Publishing Ltd, 2018.

[54] P. C. III, *Leaflet.js Essentials*. Packt Publishing Ltd, 2014.

[55] D. G. Juan, *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Marcombo, 2013.

[56] M. AG, "Tiles à la Google Maps: Coordinates, Tile Bounds and Projection | Guides | General | MapTiler", Tiles à la Google maps. Consultado: el 19 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://docs.maptiler.com/google-maps-coordinates-tile-bounds-projection/

Anexos

7.3. Anexo 1: Carta de auspicio por parte de AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A. para el desarrollo de la aplicación en la empresa

Internet de Alta Velocidad PLUS Servicios Tecnológicos

Ibarra, 24 de diciembre del 2025
Oficio-THH-25-12-0002

Asunto: Aprobación Carta de Auspicio.

Ingeniero:
Jaime Michilena, Msc
COORDINADOR CARRERA TL
UNIVERSIDAD TÉCNICA DELNORTE
Presente. -

De mi consideración:

En atención al Oficio s/n de fecha de recepción 20 de diciembre del 2025, me permito indicar que la petición fue **AUTORIZADA** para que el señor:

- JORDY STEVEN VÉLEZ IPIALES, con C.I. 1005208531, correo electrónico jsvelezi@utn.edu.ec; estudiante de Séptimo Nivel de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Técnica del Norte (UTN), desarrolle el Trabajo de Grado titulado: ***"Desarrollo de Aplicación Web para Diseño, Monitoreo y Gestión de la ODN en la empresa Airmaxtelecom Soluciones Tecnológicas S.A."***

La realización del proyecto de grado que se realizará en nuestra empresa AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS, estará bajo la tutoría y supervisión del Ing. Javier Lucas- Jefe de Planta externa (Contacto: 098 286 4972).

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Ing. Ana Noemi Félix B., MBA.
JEFE DE TALENTO HUMANO
AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A.

Av. Teodoro Gómez de la Torre y Calixto Miranda (Esq.) (06)1 700 910 **administracion@iplus.com.ec**
www.iplus.com.ec

7.4. Anexo 2: Código perteneciente al archivo principal html

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <meta charset="utf-8" />
    <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge" />
    <meta
      name="viewport"
      content="initial-scale=1,user-scalable=no,maximum-scale=1,width=device-width"
    />
    <meta name="mobile-web-app-capable" content="yes" />
    <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes" />
    <link rel="stylesheet" href="css/leaflet.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/L.Control.Layers.Tree.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/L.Control.Locate.min.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/qgis2web.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/fontawesome-all.min.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/leaflet.draw.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/style.css" />
    <!-- Google Fonts: Outfit -->
    <link rel="preconnect" href="https://fonts.googleapis.com">
    <link rel="preconnect" href="https://fonts.gstatic.com" crossorigin>
    <link
href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Outfit:wght@300;400;600;700&display=sw
ap" rel="stylesheet">
```

```
    <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jspdf/2.5.1/jspdf.umd.min.js"></script>
    <script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/html2canvas/1.4.1/html2canvas.min.js"></script>
    <link rel="stylesheet" href="/static/css/index_inline.css" />

    <link rel="manifest" href="/manifest.json" />
    <link rel="icon" type="image/ico" href="/images/icono.ico" />
    <title>ODN Tracer</title>
  </head>
  <body>

    {% include "partials/user_status.html" %}
    {% include "partials/project_selector.html" %}
    {% include "partials/modals.html" %}
    {% include "partials/scripts.html" %}
    {% include "partials/modals_bottom.html" %}
    {% include "partials/sidebar.html" %}



  </body>
</html>
```

7.5. Anexo 3: Código Perteneciente a la página de Inicio de Sesión

```
<button id="pwa-install-btn">
    <i class="fa fa-download"></i>
    <span>Instalar Aplicación</span>
</button>

<script src="/static/js/auth.js"></script>

<script>
  let deferredPrompt;
  const installBtn = document.getElementById('pwa-install-btn');

  if ('serviceWorker' in navigator) {
      window.addEventListener('load', () => {
          navigator.serviceWorker.register('/sw.js')
              .then(reg => console.log('[PWA] SW registrado'))
              .catch(err => console.error('[PWA] SW error:', err));
      });
  }

  window.addEventListener('beforeinstallprompt', (e) => {
      e.preventDefault();
      deferredPrompt = e;
      if (installBtn) installBtn.style.display = 'flex';
```

```
  });


  if (installBtn) {
      installBtn.addEventListener('click', async () => {
          if (!deferredPrompt) return;
          deferredPrompt.prompt();
          await deferredPrompt.userChoice;
          deferredPrompt = null;
          installBtn.style.display = 'none';
      });
  }
</script>
```

7.6. Anexo 4: Pseudocódigo de las principales funciones de ODN Tracer

- Algoritmo 1: Localizador Visual de Fallas (VFL)

```
ENTRADA: Identificador del Cliente (cliente_id)
SALIDA: Ruta continua hacia la OLT (ruta_fibra)

INICIO
  ruta_fibra = []
  nodo_actual = ObtenerNodo(cliente_id)

  MIENTRAS nodo_actual NO SEA nulo HACER
    Añadir nodo_actual a ruta_fibra

    SI Tipo(nodo_actual) IGUAL A 'OLT' ENTONCES
      Romper ciclo
    FIN SI

    puerto_in = ObtenerPuertoEntrada(nodo_actual)
    cable_conectado = ObtenerCableConectado(puerto_in)

    SI cable_conectado ES nulo ENTONCES
      RETORNAR "Error: Ruta óptica interrumpida"
    FIN SI

    Añadir cable_conectado a ruta_fibra
    nodo_actual = ObtenerNodoDestino(cable_conectado)
```

```
    FIN MIENTRAS

    RETORNAR ruta_fibra
FIN
```

- Algoritmo 2: Motor de Autovinculación de cables y cajas NAP

```
ENTRADA: Lista de Cables (C), Lista de Cajas (N), Radio de Búsqueda (r)
SALIDA: Enlaces Generados (E)

INICIO
    E = []

    PARA CADA cable EN C HACER
        coord_ini = ObtenerCoordenadaInicial(cable)
        coord_fin = ObtenerCoordenadaFinal(cable)

        caja_origen = BuscarCajaMasCercana(N, coord_ini, r)
        caja_destino = BuscarCajaMasCercana(N, coord_fin, r)

        SI caja_origen NO ES nulo Y caja_destino NO ES nulo ENTONCES
            SI NivelJerarquico(caja_origen) < NivelJerarquico(caja_destino) ENTONCES
                Enlace = CrearEnlaceLogico(caja_origen, cable, caja_destino)
                Añadir Enlace a E
            FIN SI
        FIN SI
```

FIN PARA

RETORNAR E

FIN

- Algoritmo 3: Interior de Caja NAP (Empalmes)

ENTRADA: Hilo Origen (hilo_tx), Puerto Destino (puerto_rx), Caja Actual (caja)

SALIDA: Estado de Conexión (Aprobado/Rechazado)

INICIO

SI Estado(puerto_rx) IGUAL A 'Ocupado' ENTONCES

RETORNAR Falso (Rechazado: Puerto no disponible)

FIN SI

color_tubo = ObtenerColorTubo(hilo_tx)

color_hilo = ObtenerColorHilo(hilo_tx)

SI ValidarNormaTIA598(color_tubo, color_hilo) IGUAL A Falso ENTONCES

RETORNAR Falso (Rechazado: Violación de norma)

FIN SI

SI Tipo(puerto_rx) IGUAL A 'IN' Y ValidarSplitter(caja) IGUAL A Verdadero ENTONCES

RegistrarConexion(hilo_tx, puerto_rx)

ActualizarEstado(puerto_rx, 'Ocupado')

```
        RETORNAR Verdadero (Conexión Exitosa)
    SINO
        RETORNAR Falso (Rechazado: Jerarquía inválida)
    FIN SI
FIN
```

7.7. Anexo 5: Certificado de finalización por parte de AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A. del desarrollo de la aplicación en la empresa

Ibarra, 19 de agosto de 2026

AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A.
RUC:1091732455001

A QUIÉN CORRESPONDA:

Que, el **Sr. VELEZ IPIALES JORDY STEVEN** con cédula de identidad nro. 1005208531, realizó satisfactoriamente proyecto de tesis: **"DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB PARA DISEÑO, MONITOREO Y GESTIÓN DE ODN EN LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A"**; cumpliendo con todos los requerimientos solicitados por la empresa; recibiéndose el proyecto de manera SATISFACTORIA.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, la interesada puede hacer uso del mismo para los trámites que estime conveniente.

Atentamente,

Ing. Ana Noemí Félix, MBA.
JEFE DE TALENTO HUMANO
AIRMAXTELECOM
rrhh@iplus.com.ec
Telf.: 0994791521

Av. Teodoro Gómez de la Torre y Calixto Miranda (Esq.) 098 688 1111 **www.iplus.com.ec**