

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Diseño de un sistema de gestión de fallas para redes ópticas FTTH a través de un
dispositivo móvil Android**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

AUTOR

Juan Pablo Herrera García

ASESOR:

M.Sc. Ing. Gumercindo Bartra Gardini

Lima, enero del 2020

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo principal diseñar un sistema de gestión de fallas para redes ópticas FTTH a través de un dispositivo móvil Android, con el fin de agilizar y mejorar el monitoreo de una planta externa FTTH. Actualmente, debido a los equipos que se utilizan, el tiempo para monitorear este tipo de redes es muy largo y los costos son elevados. Es por ello, que esta tesis presenta una alternativa para mejorar la atención de fallas y monitoreo, a través de una herramienta que es utilizada con mucha frecuencia hoy en día: el *Smartphone*. Para lograrlo, se ha adaptado una base de datos en la nube, debido a que esta ofrece grandes beneficios. Algunos de ellos son, por ejemplo, accesibilidad a cualquier hora del día, carencia de mantenimiento y grandes unidades de almacenamiento. Por otro lado, mediante un *Smartphone*, el personal de planta no solo tiene acceso rápido a información de gran importancia, sino que, además, puede transmitir la ubicación de estos mediante GPS, con el propósito de asignar trabajos de manera más eficiente. Por último, para un mejor monitoreo de la red en planta externa, en el aplicativo móvil se ha diseñado un sistema de comunicación entre *Big Data* y analítica predictiva mediante el *framework* de *software* Hadoop para poder predecir atenuaciones en la red FTTH.

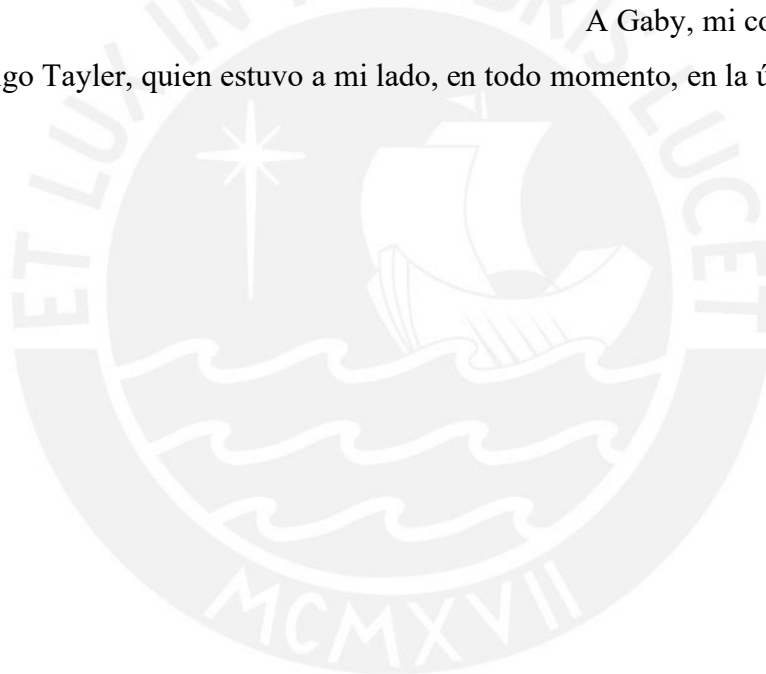
A mis padres, Juan Herrera y Jenny García, por su apoyo incondicional.

A mi abuelo, quien siempre me anima a cumplir mis metas.

A mis hermanos, por ser mi motivación.

A Gaby, mi compañera de vida.

Y a mi fiel amigo Tayler, quien estuvo a mi lado, en todo momento, en la última etapa de mi carrera.



Agradecimientos

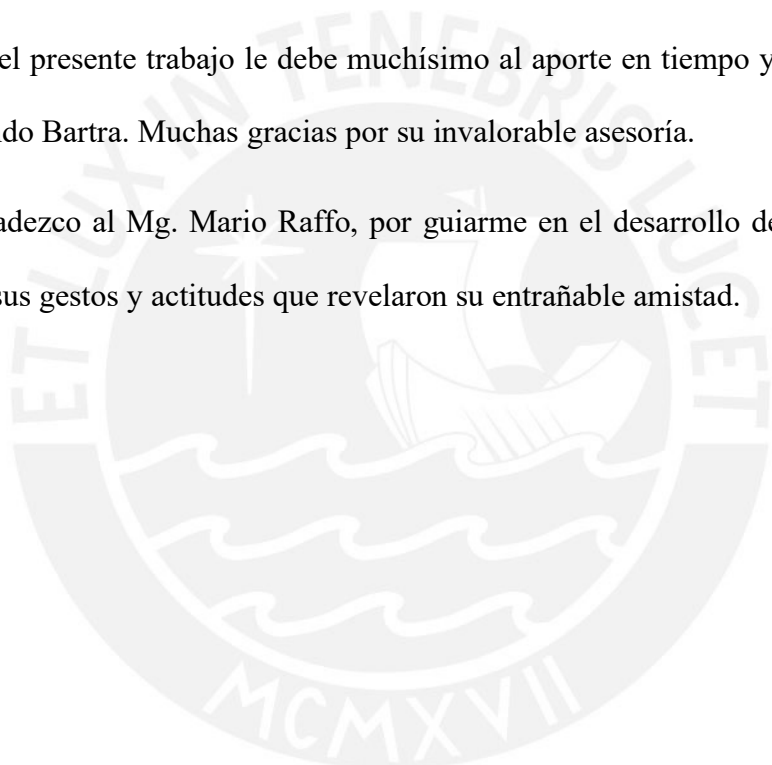
Agradezco a Dios, por todo lo que de él recibí en estos años universitarios.

Por su cariño y apoyo, un agradecimiento especial a mis tíos Jorge, Olga y Pocha, así como a mi prima Mercy.

Hago también presente mi sentido reconocimiento a la familia Llanos Aguilar, así como a la señora Maritza Cherrez, pues gracias a su soporte ha sido posible cumplir mis metas.

La realización del presente trabajo le debe muchísimo al aporte en tiempo y conocimiento al M.Sc. Gumercindo Bartra. Muchas gracias por su invaluable asesoría.

Finalmente, agradezco al Mg. Mario Raffo, por guiarme en el desarrollo de esta tesis, pero, sobre todo, por sus gestos y actitudes que revelaron su entrañable amistad.



Índice general

Introducción	1
1. Capítulo I: Problemática.....	2
1.1 Situación actual	2
1.1.1 Breve descripción de la red FTTH en planta externa.....	2
1.1.2 Proceso para el monitoreo, detección de averías y reportes en una red de fibra óptica en planta externa	3
1.2 Presentación de la problemática	4
1.3 Estado del arte	6
1.3.1 Metodología del OTDR	6
1.3.2 Metodología georreferenciada.....	8
1.3.3 Nuevas tecnologías en el mundo	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos	10
1.5 Justificación.....	10
1.5.1 Justificación teórico-académica.....	10
1.5.2 Justificación económica	11
2. Capítulo II: Marco teórico	12
2.1 Fundamentos de la red óptica FTTH	12
2.1.1 Fibra óptica.....	12
2.1.1.1 Estructura básica de la fibra óptica	13
2.1.1.2 Tipos de fibra óptica.....	14
2.1.2 Elementos pasivos y activos de una red FTTH.....	16

2.2 Estándares de comunicaciones ópticas	17
2.3 Parámetros de transmisión.....	18
2.3.1 Atenuación	18
2.3.2 Dispersión	18
2.4 Analítica predictiva para el monitoreo de la red óptica FTTH.....	19
2.5 Modelado del sistema.....	21
2.5.1 Herramientas necesarias.....	23
2.5.2 Sistemas operativos móviles	23
3. Capítulo III: Análisis y diseño del sistema de gestión de fallas para redes FTTH...24	
3.1 Alcances	24
3.2 Objetivos	24
3.2.1 Objetivo general	24
3.2.2 Objetivos específicos	25
3.3 Desarrollo del sistema.....	25
3.3.1 Sistema operativo móvil, base de datos y analítica predictiva.....	26
3.3.2 Estructura de la base de datos.....	26
3.3.3 Estructura de la aplicación móvil	28
3.3.4 Comunicación entre base de datos y la aplicación móvil	31
3.3.5 Trazar rutas en la aplicación.....	33
3.5 Conversión de formato SOR a formato JSON	34
3.5 Diseño de la analítica predictiva.....	36
4. Capítulo IV: Pruebas y resultados.....39	
4.1 Validación de interfaz de inicio.....	39
4.2 Validación de cliente.....	41
4.3 Validación de fallas.....	43

4.4 Validación de monitoreo	46
Conclusiones.....	49
Recomendaciones	51
Trabajos futuros.....	52
Bibliografía.....	53



Índice de figuras

Figura 1: Proceso de detección de averías en una red de fibra óptica en planta externa	3
Figura 2: Caja de transmisión óptica en mal estado	5
Figura 3: Esquema de monitoreo de una red i-FTTH	6
Figura 4: Estructura para reflectores de referencia para Dfs	7
Figura 5: Esquema de monitoreo en oficina central	8
Figura 6: Sistema de detección, localización y alerta de averías	9
Figura 7: Estructura de la fibra óptica.....	14
Figura 8: Tipos de fibra óptica.....	15
Figura 9: Caja de transmisión óptica y empalmes por fusión.....	17
Figura 10: Predicción promedio de cada método	20
Figura 11: Combinación de modelos SVM y DES.....	21
Figura 12: Indicadores para analítica predictiva.....	21
Figura 13: Diagrama del sistema.....	22
Figura 14: Estructura de la base de datos.....	27
Figura 15: Ejemplo de formato en la base de datos.....	27
Figura 16: Interfaz de ingreso.....	29
Figura 17: Creación de la actividad <i>Navegation Drawer</i>	29
Figura 18: Interfaz de interacción.....	30
Figura 19: Diagrama de flujo interfaz de inicio.....	30
Figura 20: Interfaz mLab.....	31
Figura 21: API Key generado en mLab	32
Figura 22: Creación de documentos en la base de datos.....	32
Figura 23: Declaración de variables.....	33
Figura 24: Función para comunicarse con la base de datos	8

Figura 25: <i>Web service</i> para el trazado de rutas	34
Figura 26: Parte del código Python para obtener el formato JSON.....	35
Figura 27: Documentos generados por el comando pyOTDR	35
Figura 28: JSON del documento.....	34
Figura 29: Diagrama de comunicación analítica predictiva y aplicativo móvil.....	37
Figura 30: Diseño de sistema de gestión.....	37
Figura 31: Interfaz de inicio usuario y contraseña.....	39
Figura 32: Ingreso a la aplicación.....	40
Figura 33: Usuario incorrecto.....	40
Figura 34: Interfaz de opciones de sistema de gestión de fallas.....	40
Figura 35: Base de datos de clientes	41
Figura 36: Listado de los clientes en el aplicativo móvil.....	42
Figura 37: Información del cliente.....	42
Figura 38: Validación de observaciones en la base de datos.....	42
Figura 39: Registro de averías	43
Figura 40: Detalle de avería.....	44
Figura 41: Visualización del cliente.....	44
Figura 42: Visualización del empalme.....	44
Figura 43: Visualización de la ruta.....	45
Figura 44: Ubicación GPS en la base de datos	45
Figura 45: Ejecutando nodos Hadoop y la conexión con la base de datos.....	46
Figura 46: wekaSTRIPPED.jar en Android Studio	46
Figura 47: Datos del monitoreo	47
Figura 48: Datos para la analítica predictiva	48
Figura 49: Datos del Switch Catalyst 3850	48

Índice de tablas

Tabla 1: Problemas del proceso de detección de averías en una red de fibra óptica en planta externa.....	4
Tabla 2: Resumen estándares UIT	17
Tabla 3: Valores de referencia FTTH (ITU-T G.984.x)	36



Introducción

El monitoreo en redes ópticas FTTH (del inglés *Fiber To The Home*) es un proceso crucial debido a la gran cantidad de información que se transfiere a nivel mundial. Sin embargo, detectar una avería en una red óptica FTTH es muy costoso, ya que los equipos optoelectrónicos son relativamente caros debido a la tecnología que se maneja para la detección de errores.

Por otro lado, debido a los grandes avances tecnológicos en telecomunicaciones, se puede acceder de manera global a múltiples aplicativos que permiten ahorrar tiempo, agilizar tareas y manejar grandes volúmenes de información. Asimismo, usando el concepto de analítica predictiva, se puede establecer mejores parámetros de monitoreo en una red óptica FTTH y de esta manera poder predecir fallas en el servicio.

Por ello, la presente tesis tiene como objetivo principal diseñar un sistema de gestión de fallas a través de un dispositivo móvil para el monitoreo de redes ópticas FTTH, con la finalidad de mejorar los tiempos de atención de averías, reducir costos y tener un monitoreo en tiempo real de los técnicos en planta externa. Es así, que, para cumplir con los objetivos planteados, se realizó un estudio de la red de planta externa FTTH y se identificó los tipos de avería. De esta manera, se pudo comparar las posibles causas de dichas fallas para realizar un mejor monitoreo de la red.

Capítulo I

Problemática

En este capítulo se desarrollará la situación actual de una red de fibra óptica con tecnología FTTH. Así mismo, se analizará el proceso para el monitoreo, detección de averías y reporte de una red de fibra óptica en planta externa. Además, se identificará la problemática y se expondrán los objetivos de la presente tesis.

1.1 Situación actual

En los últimos años, la red de fibra óptica ha tenido un gran impacto en la sociedad y esto se debe a sus grandes capacidades para transportar y acceder a la información. Además, la gran demanda de usuarios que requieren acceso a Internet ha generado que se implementen megaproyectos. Uno de ellos es la red dorsal de fibra óptica. Esta consiste en el despliegue y operación de una red de fibra de más de 13 mil kilómetros en todo el país.

Por otro lado, muchas empresas optan por la tecnología FTTH (*Fiber to the Home*) para acceder a Internet. Sin embargo, la fibra óptica presenta una desventaja: su fragilidad. Un solo hilo de fibra óptica rota o quebrada podría dejar una ciudad entera sin Internet. Es por ello, que cuando se presenta una avería en un cableado estructurado de fibra óptica, los tiempos de ejecución para solucionar dicho problema deben ser lo más cortos posibles.

1.1.1. Breve descripción de la red FTTH en planta externa

Las empresas que brindan servicios de telecomunicaciones, cuya red es de fibra óptica con tecnología FTTH, principalmente funcionan en base a los clientes que tiene a lo largo de toda su red. Estos clientes son denominados receptores, pues reciben el servicio para que puedan acceder a Internet; y, el lugar donde se distribuye la información, se denomina central de monitoreo.

En cuanto a la fibra óptica, esta se utiliza como un medio para transportar la información mediante un haz de luz. Los cables que contienen la fibra pueden ser aéreos o subterráneos. Durante el recorrido se usan cajas de transmisión óptica para realizar empalmes. De esta manera, la fibra puede ramificarse y llegar a más clientes. En ambos extremos, para convertir la señal óptica en señal eléctrica, se usa un convertidor óptico-eléctrico para que los equipos puedan acceder a la información.

1.1.2 Proceso para el monitoreo, detección de averías y reportes en una red de fibra óptica en planta externa

A continuación, se detallará el proceso para la detección de una avería en una red de fibra óptica y en la Fig. 1 se enumeran los problemas encontrados. Los números significan el problema localizado en cada parte del diagrama de flujo.

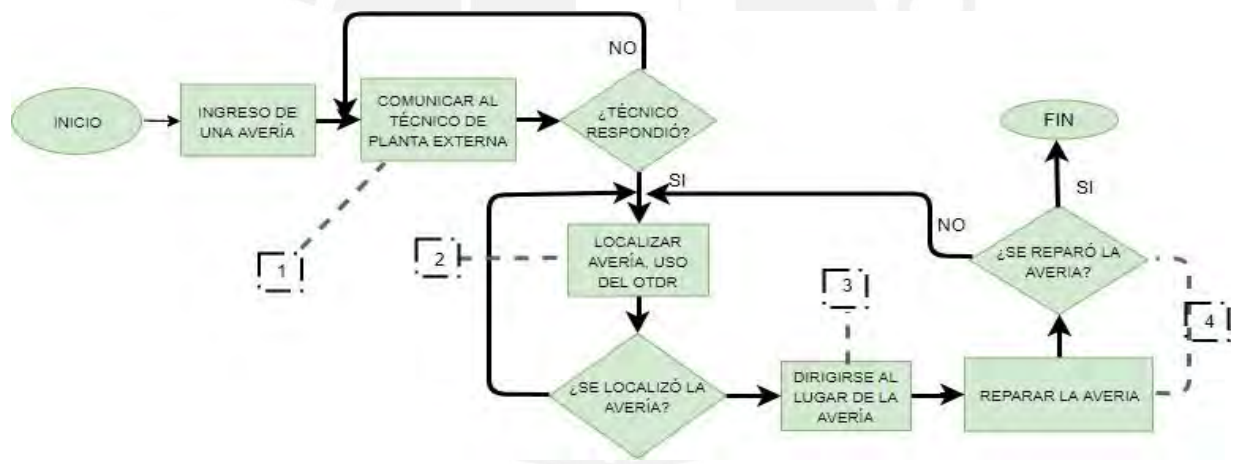


Fig. 1. Proceso de detección de averías en una red de fibra óptica en planta externa

El proceso se inicia cuando hay una alerta de avería en la red de fibra óptica. En ese momento, es de vital importancia comunicarse con un técnico para que este pueda localizar la avería. Para ello, se usa un equipo llamado OTDR. Una vez localizada la falla, el técnico debe dirigirse al lugar donde esta se encuentra para poder solucionar el problema. En caso de que la avería no se encuentre en el punto indicado, se vuelve a hacer las mediciones para

poder encontrar la falla. En la Tabla 1 se muestran los problemas que pueden presentarse al detectar averías en una red de fibra óptica.

Tabla 1. Problemas del proceso de detección de averías en una red de fibra óptica en planta externa

PROBLEMA	EXPLICACIÓN
1) Proceso de comunicación muy extensa	La información sobre una avería es avisada a diferentes jefes y supervisores hasta que llega al técnico para realizar el trabajo.
2) Uso costoso del OTDR	El uso de este dispositivo es muy costoso. Además, solo los técnicos con una adecuada capacitación pueden usar este equipo.
3) Movilizarse innecesariamente	El uso del OTDR implica que la medición solo se puede hacer desde un punto. Por lo que, si no se pudo localizar la avería, se debe ir al punto donde se hizo la primera medición para realizar otras. Esto implica múltiples viajes.
4) Extensos proceso de reparación de una avería	Los trabajos en una red de fibra óptica deben ser realizados de manera muy cuidadosa, ya que una mala manipulación puede ocasionar múltiples averías. Es por ello, que estos trabajos requieren de mucho tiempo.

1.2 Presentación de la problemática

La red de fibra óptica con tecnología FTTH en planta externa presenta varias deficiencias. Desde las condiciones físicas que se pueden dar en su infraestructura, hasta problemas de comunicación entre la central y el técnico.

La mayor desventaja que presenta la fibra óptica es su fragilidad. La mayor cantidad de averías en una red de fibra óptica con tecnología FTTH se dan en las cajas de transmisión

ópticas o cajas ópticas (Ver Fig. 2). Esto se debe a una mala instalación que ocasiona la ruptura de la fibra en el empalme que se realizó. Estas cajas de transmisión óptica son instaladas en postes eléctricos o telefónicos. Sin embargo, no se tiene un control adecuado sobre la cantidad y la ubicación de estas a lo largo de la planta externa.

Por otro lado, el proceso para informar una avería es muy largo, ya que la información viaja entre diferentes jefes y supervisores para que finalmente el técnico de planta externa sea informado. Por último, la asignación de técnicos para los trabajos en planta externa se da de manera aleatoria, ya que no se tiene un monitoreo de su ubicación.

Actualmente se viene implementando varias tecnologías en redes de planta externa para fibra óptica. Algunas de ellas son el OTDR y los sistemas georreferenciados, entre otras. Estas tecnologías han cumplido la expectativa deseada para el monitoreo y la detección de averías. Incluso se ha modernizado la interacción de las personas que trabajan en planta externa con diferentes equipos de alto nivel tecnológico.



Fig. 2. Caja de transmisión óptica en mal estado

Asimismo, hoy en día, las aplicaciones móviles para *Smartphones* son una herramienta muy útil al momento de realizar tareas específicas, ya que los operadores móviles ofrecen planes de datos a precios muy accesibles. Es por ello, que implementar un *software* junto a un aplicativo móvil para solucionar los problemas mencionados, se

por lo que afectará a todos los enlaces en la red i-FTTH. Por otro lado, una falla de equipo es considerada como un error dentro del sistema de monitoreo que se encarga de la detección de la línea central emitida por el pulso del OTDR [1].

Otro método para la detección de fallas es que mediante el uso del OTDR se realiza un censado en las rutas similares para localizar las averías. Este método consiste en usar la fibra de bragg (FBG) en una longitud de onda centrada en la banda U (1625 – 1675 nm) para construir una ruta similar. De esta manera, la fibra que tenga el coeficiente de correlación más grande será la fibra que presente la avería. En la Fig. 4 se muestra la estructura de reflectores para la detección de averías usando la fibra bragg [2].

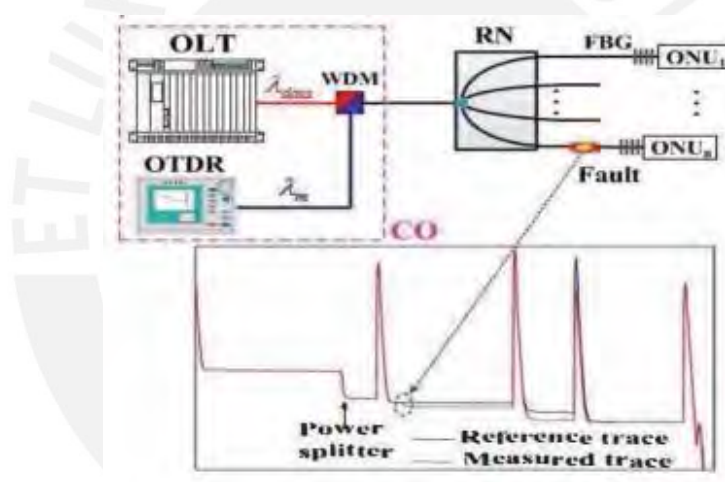


Fig. 4 Estructura para reflectores de referencia para Dfs. [2]

Por otro lado, la solución de monitoreo para redes FTTH radica en los períodos de implementación y las operaciones en la red de fibra óptica. La importancia de este método es monitorear las atenuaciones en la fibra para que se pueda evitar un *attenuation Budget*, ya que esto podría ocasionar altas pérdidas de datos en la red FTTH [3].

En la Fig. 5 se observa el monitoreo para redes punto – multipunto. Debido a las fibras de distribución individuales, difícilmente se puede evaluar la red con una simple medida del OTDR. Es por ello, que se requiere caracterizar la infraestructura con

mediciones de extremo a extremo con una fuente de luz y medidores de potencia con diferentes longitudes de onda [3].

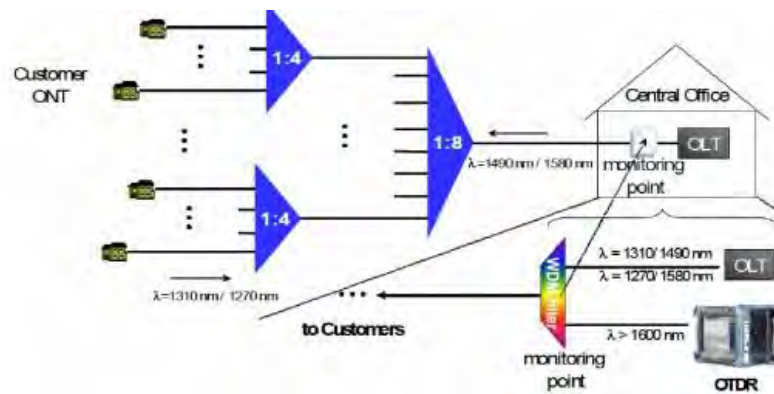


Fig. 5 Esquema de monitoreo en oficina central [3]

1.3.2 Metodología Georreferenciada

Este método consiste en diseñar una aplicación web en un *framework* basado en JAVA y crear una base de datos que almacene la información georreferenciada de la red de planta externa. Dicha base de datos tiene tres funciones principales que se explicarán a continuación.

La primera función es detectar una avería que descarte fallas de equipos o desconexión física en los enlaces de fibra óptica. La segunda es localizar la avería en base al uso de la base de datos con la información georreferenciada de la red de planta externa. Esto quiere decir, que los datos se obtienen de latitud y longitud de cada elemento presente en la red. La tercera función es enviar por correo las alertas o alarmas con la ubicación de la avería en un navegador web, en el cual se muestra la posición donde se encuentra la avería sobre un mapa de calles de la red de planta externa.

Luego de realizar la detección de averías y de alertar vía correo web, el sistema se reinicia para que continúe con el censo de los enlaces repitiendo el ciclo de funcionamiento. En la Fig. 6 se observa el sistema de detección y localización de averías para redes de planta externa [4].



Fig. 6. Sistema de detección, localización y alerta de averías [4]

1.3.3 Nuevas tecnologías en el mundo

Se presentará a continuación, de manera resumida, una recopilación de *softwares* y programas que usan algunas empresas que brindan el servicio de monitoreo de una red y que han tenido un carácter innovador usando aplicaciones móviles.

NQMSfiber es un sistema de control de calidad de red diseñado por la empresa EXFO. Este sistema de monitoreo es una solución de servidor centralizada que administra el estado de la red de fibra óptica. También proporciona una manera fácil de integrar un sistema GIS a través de servicios web. Este método aprovecha los módulos del OTDR de EXFO para mediciones de pérdidas precisas y de alta resolución en entornos de fibra corta y larga [5].

PRTG es un *software* que supervisa toda una infraestructura de una red de fibra óptica. Permite analizar la red haciendo ping a intervalos definidos. Además, crea páginas *web* con datos de supervisión de la red de fibra óptica [6].

CERTIFIBER PRO es un *software* que permite certificar el cableado estructurado de una red de fibra óptica. Este *software* de la empresa FLUKE analiza los resultados de las pruebas y crea informes de prueba profesionales con el *software* de gestión *LinkWare*,

el cual permite seguir el progreso del trabajo y obtener acceso en tiempo real a los resultados que se reportaron en el campo [7].

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de gestión de fallas a través de un dispositivo móvil con sistema operativo Android para redes ópticas FTTH.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar y analizar averías por diferentes equipos optoelectrónicos de una red FTTH.
- Analizar y comparar posibles causas de averías en una red óptica FTTH.
- Aplicar analítica predictiva para identificar futuras fallas y mejorar el monitoreo de una red óptica FTTH.
- Desarrollar una interfaz de usuario para sistemas operativos Android para la gestión de fallas de una red FTTH.
- Implementar un sistema de localización mediante GPS usando el aplicativo móvil para el monitoreo de técnicos en planta externa.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación teórico - académica

Las nuevas tecnologías para solucionar problemas en una red FTTH están en constante desarrollo. Gracias a las tecnologías emergentes se pueden desarrollar *softwares* y aplicaciones móviles, de tal manera que el trabajo en planta externa de una red de fibra óptica sea más sencillo y que los tiempos de ejecución de estos trabajos sean más cortos.

1.5.2 Justificación Económica

En Perú, el método más usado para el monitoreo y detección de averías en una red FTTH es el uso del OTDR. Si bien es cierto, la precisión y los parámetros de medición que ofrece este dispositivo están certificados, ya sea en longitud del cable de fibra, pérdida en los empalmes, etc., termina siendo un método muy costoso. Por ello, buscar métodos donde se puedan aprovechar estas mediciones sin necesidad de poner en riesgo este equipo optoelectrónico resulta necesario para pequeñas empresas que se dedican a este rubro.



Capítulo II

Marco teórico

En este capítulo se desarrollará los conceptos más relevantes y necesarios para la elaboración, diseño e implementación de la presente tesis.

2.1 Fundamentos de la red óptica FTTH

Como se mencionó en el capítulo 1, sección 1.1, debido a la alta demanda de clientes que requieren mayor ancho de banda en sus servicios de internet, los mercados están optando por la tecnología FTTH. Como su nombre lo indica, esta red óptica es una tecnología de transmisión de datos, donde el medio físico de comunicación es la fibra óptica. Es así, que en países desarrollados se está instalando de forma masiva esta red FTTH, con el objetivo de que llegue de forma directa al hogar de los clientes.

Actualmente existen diversas tecnologías y topologías disponibles que se implementan con el fin de desplegar el acceso a datos mediante fibra óptica hasta el hogar. Estas tecnologías pueden clasificarse en dos grandes grupos. Las redes activas y las redes pasivas. [8].

Redes activas: esta es una red de fibra óptica que cuenta con elementos activos en ella. Es decir, que existe una conversión entre luz y electricidad para que el elemento funcione de manera correcta. Ejemplos: OLT, *media converter*, amplificadores ópticos, detectores, etc [8].

Redes pasivas: son los componentes que son enteramente pasivos a la red de fibra óptica. Es decir, que estos componentes no requieren electricidad para su funcionamiento. Ejemplos: *splitters*, empalmes, *pigtail*, cajas de transmisión óptica, etc. [8].

2.1.1 Fibra óptica

Según la Real Academia Española, la fibra óptica se define de la siguiente manera:

“Hilo o haz de hilos de vidrio altamente transparente por el cual se transmite información a grandes distancias mediante señales luminosas.” Asimismo, se puede definir la fibra óptica como una guía de onda dieléctrica de forma cilíndrica fabricada con cristal de sílice, material que ayuda a disminuir las pérdidas por atenuación. Además, debido a los grandes avances tecnológicos, para la fabricación de fibra óptica, es posible transmitir la información a través de la luz con pérdidas inferiores a 0.16 dB [9].

Las ventajas de la fibra óptica son las siguientes:

- Baja atenuación
- Gran ancho de banda
- No es afectada por ruidos eléctricos
- Tamaño y peso reducidos
- Dificil violabilidad
- Aislamiento eléctrico

Y las desventajas son:

- Fragilidad
- Costo de equipamiento elevado
- Maniobrabilidad complicada

2.1.1.1 Estructura básica de la fibra óptica

El cilindro sólido que constituye la fibra óptica está formado por tres partes. Dos de ellas son de vidrio y la otra es de material dieléctrico, tal como es ilustrado en la Fig. 7.

El **núcleo**, que se encuentra en la parte de vidrio, está formado por sustancias isotópicas y ópticamente transparentes. Tiene un diámetro de unas pocas micras hasta 62,5 um [10].

El **revestimiento**, que también se ubica en la parte de vidrio, propicia la reflexión

interna total de la fibra óptica. Tiene un diámetro estándar para telecomunicaciones que es de 125 μm [10].

El **recubrimiento**, que forma parte del material dieléctrico, elimina y protege la fibra óptica de la humedad y daños físicos. Además, este puede ser de diferentes materiales, como el acrilato [10].

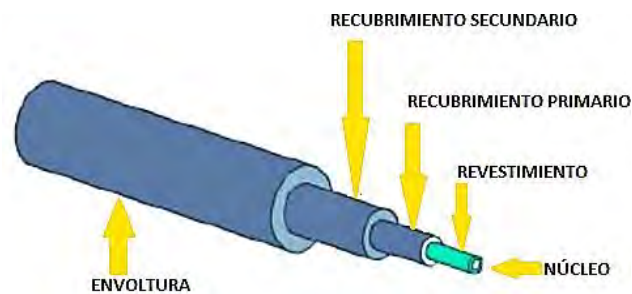


Fig. 7 Estructura de la fibra óptica

La protección básica de la fibra consta de dos capas llamadas *buffer*. La capa interna sirve para amortiguar la fibra y protegerla frente a movimientos mecánicos y la capa externa permite proteger la fibra durante su manipulación en los procesos de instalación de la misma.

2.1.1.2 Tipos de fibra óptica

Existen dos criterios para clasificar las fibras ópticas, el tipo de perfil que presenta y el comportamiento de la propagación.

Tipo de perfil: Esta presenta un índice de refracción. Este es el valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción. Dicho esto, se distinguen dos grandes tipos de fibras según el cambio de sus perfiles de índice de refracción: las fibras de índice escalón y las fibras de índice gradual. Las fibras de índice escalón son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo tiene un valor constante en todo su diámetro. De esta manera, existe una disminución abrupta hasta un valor dado por

el revestimiento [10]. Por otro lado, las fibras de índice gradual son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo disminuye gradualmente desde un valor máximo hasta un valor más bajo dado por el revestimiento [10].

Comportamiento de la propagación: Según el número de modos de propagación, se puede distinguir dos tipos de fibras: multimodo y monomodo. La fibra multimodo tiene un núcleo de aproximadamente 50 μm y es un tipo de fibra donde la señal es capaz de viajar en varias rutas. Además, tiene aplicaciones locales, son de menor ancho de banda y su velocidad de transmisión es limitada (100Mbs, 40Km) [11]. En cuanto a la fibra monomodo, esta es capaz de guiar un solo modo de luz. Esto se debe a que su núcleo es muy pequeño, lo que causa una emisión de luz en la dirección del rayo axial. Incluso, este tipo de fibra tiene un ancho de banda de paso del orden de los 100 GHz/km [11]. Asimismo, la fibra monomodo se puede clasificar en distintos tipos debido a las diferentes aplicaciones que puede existir tanto en el ámbito laboral como en el profesional. Incluso, esta es clasificada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (Ver Fig. 8).

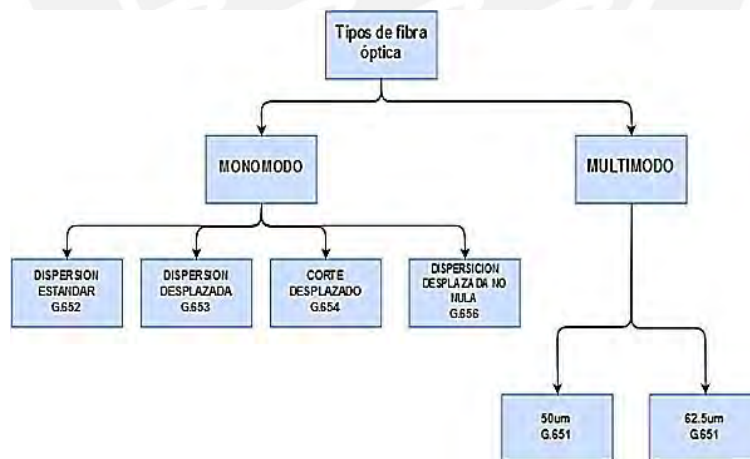


Fig.8 Tipos de fibra óptica

Fibra monomodo de dispersión estándar: tipo de fibra monomodo que tiene un comportamiento diferente por absorción del pico de agua [12].

Fibra monomodo de dispersión desplazada: tipo de fibra monomodo para aplicaciones en cables submarino, debido a que cuenta con una longitud de onda de Zero-dispersión nominal cercana a 1550 nm [12].

Fibra monomodo de corte desplazado: tipo de fibra monomodo para ser utilizada en la región de 1530 -- 1625 nm. Tiene una longitud de onda Zero - dispersión alrededor de los 1300 nm [12].

Fibra monomodo de dispersión desplazada no nula: tipo de fibra monomodo que resuelve problemas no lineales de la fibra de dispersión desplazada. Es muy usada para sistemas de gestión de dispersión [12].

2.1.2 Elementos pasivos y activos de una red FTTH

Como se mencionó en el capítulo 2 sección 2.1, una red FTTH puede estar compuesta por elementos activos, aquellos que requieren de corriente eléctrica para su funcionamiento, y por elementos pasivos, que no requieren de alimentación eléctrica. A continuación, se mencionará los elementos más importantes de una red óptica FTTH, los cuales serán caso de estudio para la presente tesis debido a las pérdidas (dB) que cada uno ofrece para que se pueda realizar el monitoreo correspondiente.

Patch Cord: cordones de fibra óptica que se usan para interconectar dos o más dispositivos ópticos. Se caracterizan por su ligereza y flexibilidad [13].

Pigtail: cordones de fibra óptica muy cortos que en uno de sus extremos no tiene conector debido a que se usa para hacer un empalme por fusión o mecánico. [13].

Empalmes: es la unión de dos fibras ópticas. Puede ser por fusión o mecánicas. Son muy usados en cajas de transmisión óptica (Ver Fig. 9) [13].

Cajas de Transmisión óptica: caja de plástico que almacena los empalmes por fusión. Además, distribuye la red principal óptica con las conexiones hacia los clientes (Ver

Fig. 3) [13].

Media Converters: dispositivo electrónico que se encarga de convertir la señal óptica en señal eléctrica. Suelen estar en las centrales o domicilio de los clientes. Se conecta vía cable utp al *router* para dar acceso a internet.

Splitters: elemento pasivo que permite dividir la señal óptica en varios canales de distribución [13].

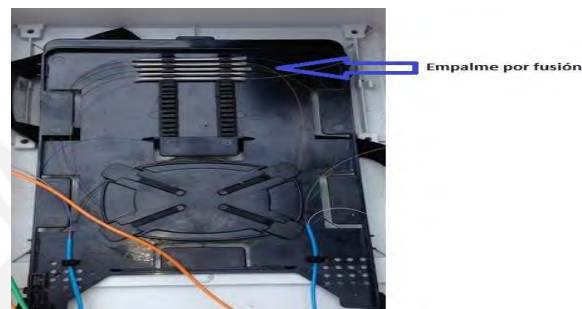


Fig. 9 Caja de transmisión óptica y empalmes por fusión

2.2 Estándares de comunicaciones ópticas

La Unión Internacional de Telecomunicaciones establece estándares para la instalación de fibra óptica dependiendo del tipo de uso que se le pueda dar. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los estándares más usados [14].

Tabla 2. Resumen estándares UIT

ESTANDAR	RESUMEN
ITU-T G651.1	Estándar para fibra multimodo OM3, OM4.
ITU-T G.652	Estándar para fibra monomodo debido a los diferentes comportamientos por absorción del pico agua.
ITU-T G.653	Dispersión de zona cero.
ITU-T G.654	Corte desplazado.
ITU-T G.655	Zona cero de dispersión para dwdm. Aplicaciones de largo alcance y <i>backbone</i> .

ITU-T G.656 BB	Dispersión de fibra para redes dorsales.
ITU-T G.657	Estándar para redes FTTH.

En la Tabla 2 se puede observar que la ITU-T G.657 establece estándares para redes FTTH. En este trabajo se tendrá en cuenta esta norma para que el monitoreo de la red óptica FTTH cumpla estos parámetros establecidos.

2.3 Parámetros de transmisión

2.3.1 Atenuación

Se define atenuación en una red óptica, como la pérdida de la potencia de luz a lo largo de toda la red FTTH. Esta se mide en dB y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$A = 10 \text{ Log}(P_{in}/P_{out}) \text{ dB,}$$

$$A = \alpha * L,$$

$$A = P_{in} - P_{out},$$

Donde L es la longitud de la red óptica instalada, P_{in} es la potencia de entrada, P_{out} es la potencia de salida y α es el coeficiente de atenuación de la fibra dada por su fabricante [15].

Este parámetro es importante, ya que permite saber el estado de la red óptica. Además, al tener todos los componentes de una red FTTH, ya sean pasivos o activos, se puede hallar la atenuación total y se puede monitorear la pérdida de cada componente para luego poder predecir fallas sobre la misma.

2.3.2 Dispersión

Dispersión es la diferencia de retardo entre las distintas porciones de energía en la propagación de la luz, a través de la red óptica. Este parámetro determina la capacidad máxima de información transportada por unidad de longitud. Existen 3 tipos de dispersión

en una fibra óptica [16].

Dispersión modal: causada por los distintos recorridos debido a los diferentes modos de transmisión. Este tipo de dispersión solo ocurre en fibras multimodo [16].

Dispersión cromática: se debe a la presencia de muchas longitudes de onda que entran en la fibra óptica. Este tipo de dispersión es especificado por el fabricante [16].

Dispersión por modo de polarización: se presenta cuando dos componentes ortogonales de polarización viajan a distintas velocidades produciendo en el tiempo, el distorsionamiento del pulso. De esta manera, estos dos componentes reducen la calidad de la transmisión en la red óptica [16].

2.4 Analítica predictiva para el monitoreo de la red óptica FTTH

Uno de los objetivos específicos de esta tesis es aplicar Big Data para poder predecir fallas en la red óptica FTTH. Es por ello, que mediante modelos matemáticos analíticos se puede predecir las pérdidas en un cable de fibra óptica.

Time-Series-Exponential Smoothing Method

Este método es una herramienta poderosa para predecir futuras demandas de transmisión de información en una red óptica. Este método se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$Y(t)^{SES} = \sum_{j=1}^{\infty} \alpha(1-\alpha)^{j-1} X(t-j) = \alpha X(t-1) + \alpha(1-\alpha) X(t-2) + \alpha(1-\alpha)^2 X(t-3) + \dots$$
$$0 < \alpha \leq 1$$

, (Ec. 1a)

Donde $Y(t)^{SES}$ es el valor de previsión por un periodo de tiempo t . Asimismo, la selección de valores iniciales es crucial para determinar el coeficiente *exponential-smoothing*, ya que determina la rapidez en la respuesta que existe entre el valor predictivo y los valores actuales debido al resultado [17].

Grey System Prediction Method

Este modelo matemático requiere de menos muestras para lograr mejores resultados para la previsión de pérdidas en una red óptica. Este método se crea por una secuencia algorítmica. Primero, se crea una secuencia de datos sin formato. Luego, se calcula una nueva secuencia en base a los datos sin formato realizados en la etapa anterior. Después, se calcula el diferencial de grey para posteriormente calcular la predicción de parámetros en la red óptica. Por último, se crea una nueva base de las posibles fallas en la red óptica [17].

Combinación de métodos

Este método combina los anteriores para poder tener una mejor predicción de las pérdidas en la red óptica FTTH. Así, con esta combinación se compara la suma de errores, el error medio, el error absoluto y el error de porcentaje absoluto. El resultado se puede observar en la Fig. 10 [17].

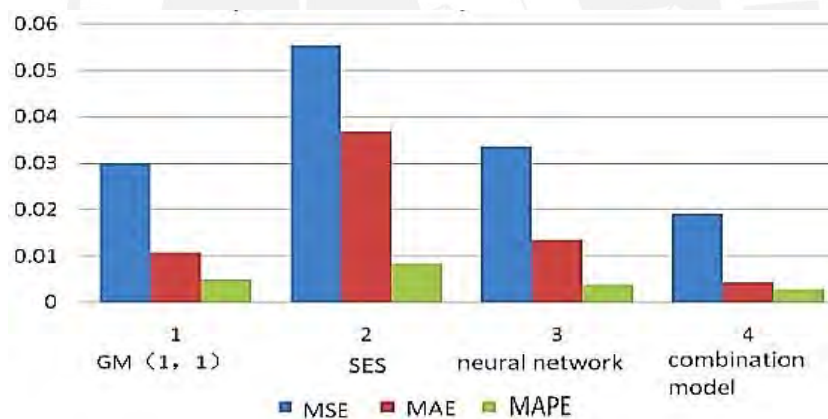


Fig. 10 Predicción promedio de cada método [17]

En conclusión, este último método puede predecir las pérdidas de una red óptica FTTH con mayor precisión.

Para la presente tesis se usará el método *Time-Series-Exponential Smoothing*. De esta manera, el sistema podrá identificar los riesgos posibles que podrían existir en el tendido de la red óptica basados en la atenuación del enlace.

Por otro lado, para tener un mejor monitoreo y predicción de fallas en redes ópticas se puede usar *machine learning*. Esto se logra usando dos algoritmos: SVM (*Support Vector Machine*) y DES (*Double Exponential Smoothing*). [18] El algoritmo DES sirve para saber el estado actual y futuro de los equipos optoelectrónicos, mientras que el algoritmo SVM sirve para predecir las fallas de dichos equipos (Ver Fig. 11).

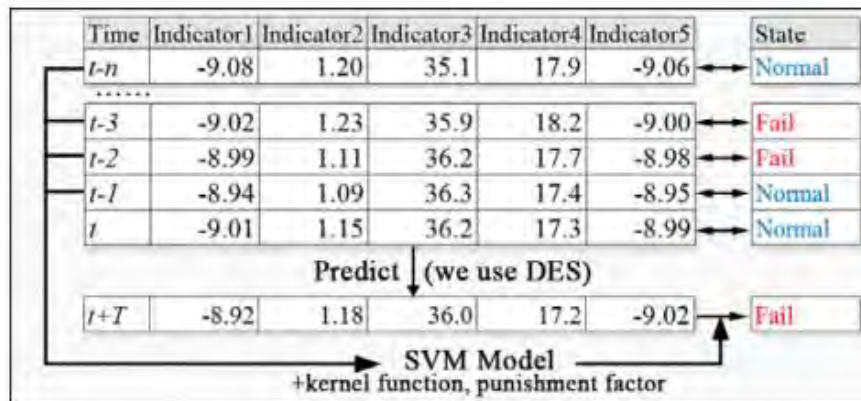


Fig. 11 Combinación de modelos SVM y DES [18]

Además, para poder realizar la analítica predictiva es necesario tener datos respecto a los equipos que se van a analizar. Donde, *Unusable Time* es el tiempo en el que el equipo presentó fallas a lo largo de su uso. (Ver Fig. 12)

Indicator Name	Units
Input Optical Power (IOP)	dBm
Laser Bias Current (LBC)	mA
Laser Temperature Offset (LTO)	°C
Output Optical Power (OOP)	dBm
Environmental Temperature (ET)	°C
Unusable Time	s

Fig. 12 Indicadores para analítica predictiva.

En conclusión, el uso de DES-SVM es un método que predice fallas futuras de equipos optoelectrónicos, en el cual se tiene una precisión del 95%. [18]

2.5 Modelado del sistema

Como ya se ha mencionado, este trabajo tiene como objetivo general diseñar un sistema

de gestión a través de un dispositivo móvil para el monitoreo y detección de fallas en una red óptica FTTH. Por ello, en la Fig. 13 se plantea el diagrama de solución para la realización de esta tesis.

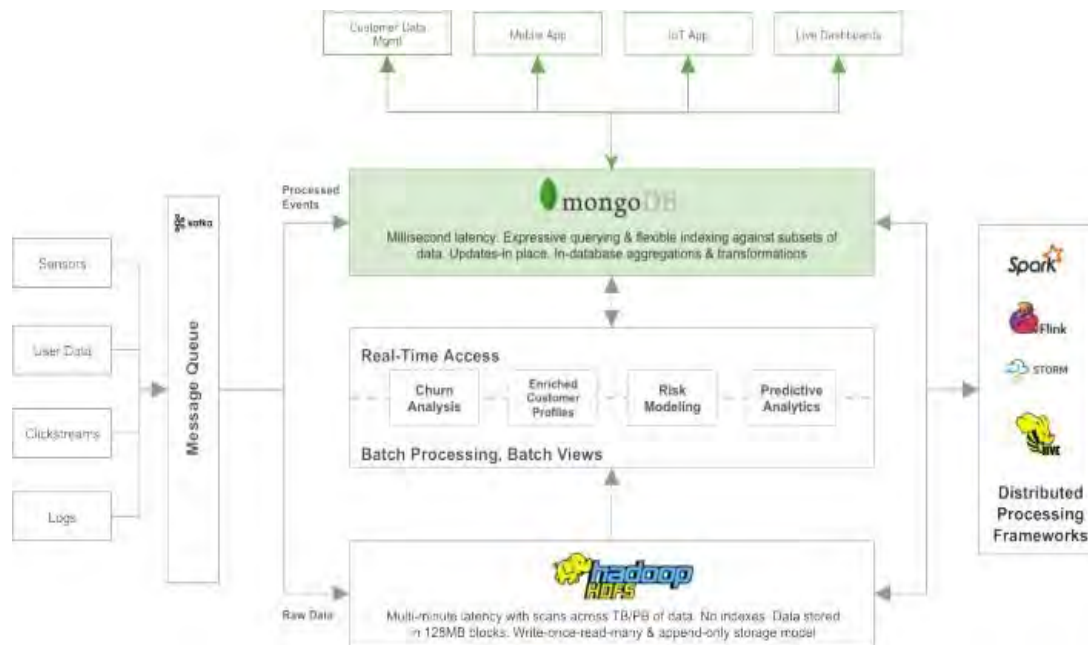


Fig.13 Diagrama del sistema [19]

Primero se tendrá que recopilar la información de la red óptica FTTH, así como la avería o atenuación que esta pueda presentar. Esto se llevará a cabo con el dispositivo OTDR, el cual puede localizar los fallos que puedan existir en la red óptica FTTH. Luego, la información dada por este dispositivo se ingresará de manera manual al sistema para que se pueda hacer una base de datos de los eventos ocurridos. Después, se validará la información, comparándola con los datos teóricos dados por los estándares de la unión internacional de telecomunicaciones. Esta información, ya validada, será puesta en una base de datos para que, mediante los modelos matemáticos, se pueda usar la analítica predictiva. De esta manera, el monitoreo y la detección de fallas de averías podrán ser manejados por el sistema de gestión y así, enviar toda la información al aplicativo móvil

para que en planta externa se puedan solucionar los problemas que dicha red óptica pueda presentar.

2.5.1 Herramientas necesarias

A continuación, se mencionará las herramientas necesarias para que la presenta tesis tenga la mejor solución.

Hadoop: *Software* de código abierto para procesar, almacenar y analizar grandes volúmenes de datos. Este sistema permitirá procesar toda la información validada para poder usar la analítica predictiva [20].

NoSQL Server: sistema de administración de base de datos que sirve para la administración y mantenimiento de cualquier tipo de base de datos de gran capacidad y de diferentes entornos [21].

2.5.2 Sistemas operativos móviles

Asimismo, se mencionará los distintos sistemas operativos móviles que se pueden encontrar en el mercado.

Android: sistema operativo desarrollado por Android, basado en el kernel de Linux. Actualmente, todo desarrollo y enfoque está a cargo de Google y del *Open Handser Alliance* [22].

IOS: sistema operativo de la empresa Apple. Este sistema estaba diseñado solo para dispositivos iPhone. Sin embargo, ya fue extendido para todos los dispositivos móviles que ofrece dicha empresa [23].

Debido a la gran participación del sistema operativo Android en el mercado actual, se usará este para la realización del aplicativo móvil. Asimismo, como *software* se usará Android Studio, cuyo lenguaje de programación es Java.

Capítulo III

Análisis y diseño del sistema de gestión de fallas para redes FTTH

El presente capítulo abarcará el análisis y el diseño del sistema de gestión de fallas para una red óptica FTTH, así como la construcción de la aplicación móvil para *Smartphone* usando Android SDK en Android Studio. Además, se explicará la comunicación que existe entre la aplicación móvil y la base de datos en MongoDB de tipo NoSQL. Por último, se detallará el análisis predictivo usando Hadoop para el monitoreo de fallas de toda la red óptica FTTH.

3.1 Alcances

Para diseñar un sistema de gestión de fallas para redes ópticas FTTH es necesario realizar un estudio previo de las posibles fallas. Luego, se debe analizar y comparar para establecer el monitoreo predictivo de dichas fallas.

En esta sección se describirá primero, el entorno de la aplicación, así como los datos de entrada que recibió la aplicación móvil para poder establecer el sistema de gestión de fallas. Luego, se explicará cada uno de los procesos que se llevó a cabo para el diseño del mismo. Además, se detallará su interacción para finalmente gestionar las fallas de redes ópticas FTTH usando un *Smartphone*.

Esta tesis está enfocada a pequeñas empresas que brindan servicios de telecomunicaciones usando fibra óptica (FTTH). Así, no solo se podrá llevar un mejor control del tendido de la fibra instalada, sino que se podrá atender las averías de manera inmediata y se mejorará el monitoreo de toda la red óptica en servicio.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo Principal

Diseñar un sistema de gestión de fallas a través de un dispositivo móvil con sistema

operativo Android para redes ópticas FTTH.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y analizar averías por diferentes equipos optoelectrónicos de una red FTTH.
- Analizar y comparar posibles causas de averías en una red óptica FTTH.
- Aplicar analítica predictiva de las posibles causas de una avería en una red óptica FTTH para predecir futuras fallas y mejorar el monitoreo de la misma.
- Desarrollar una interfaz de usuario para el sistema operativo Android en base a los sistemas de gestión para la gestión de fallas de una red óptica FTTH.

3.3 Desarrollo del sistema

El desarrollo de la aplicación móvil se llevó a cabo en el entorno de programación Android Studio versión 3.1.3. Sobre su instalación se puede revisar la referencia [22]. Las ventajas de usar este *software* son:

1. Fácil uso de códigos
2. Fácil configuración de procesos
3. La fácil distribución de códigos, por tanto, permite la interacción con otros sistemas
4. La óptima y eficiente gestión de la información.
5. Crea distintas aplicaciones para diferentes dispositivos.

La referencia [24] provee mayores detalles.

El uso de la aplicación tiene tres funciones principales para el técnico de planta externa: poder visualizar si existe alguna falla en la red óptica FTTH, saber el estado del enlace de cada cliente y saber del monitoreo predictivo.

Por otro lado, la administración, el desarrollo de funciones, reportes y servicios y control de base de datos se desarrollaron usando el MongoDB (mlab) [24].

3.3.1 Sistema operativo móvil, base de datos y analítica predictiva

Como se explicó en el capítulo anterior, el desarrollo de la aplicación se realizó para dispositivos Android, ya que estos tienen una gran demanda en el mercado móvil. Sin embargo, se debe considerar diferentes plataformas para la realización de aplicativos móviles.

La aplicación móvil siempre estará en comunicación con una base de datos. Por ello, se creó una en la nube, *MongoDBCloud*. Esto se debe a la seguridad que ofrecen los servidores. Asimismo, la comunicación se dio por un API (conjunto de comandos y protocolos informáticos que permiten crear programas específicos para diferentes sistemas operativos) generado por la base de datos creada en mLab. Por último, el monitoreo predictivo se hizo en Hadoop y se usó dos algoritmos de predicción de datos: SVM (*Support vector machine*) y DES (*Double Exponential Smoothing*), con el objetivo de obtener resultados óptimos en la predicción de fallas en una red óptica FTTH.

3.3.2 Estructura de la base de datos

Para la estructura de la base de datos se consideró la siguiente información: la que se recibe del OTDR, la de los clientes y la de las fallas más comunes en redes ópticas FTTH. En la Fig. 14 se puede observar la información que fue ingresada a la base de datos. Por cada cliente, se hacen mediciones con el OTDR desde la central para obtener diferentes datos. Además, se creó otro campo, el cual tiene información respecto a cada empalme, incluyendo sus coordenadas.

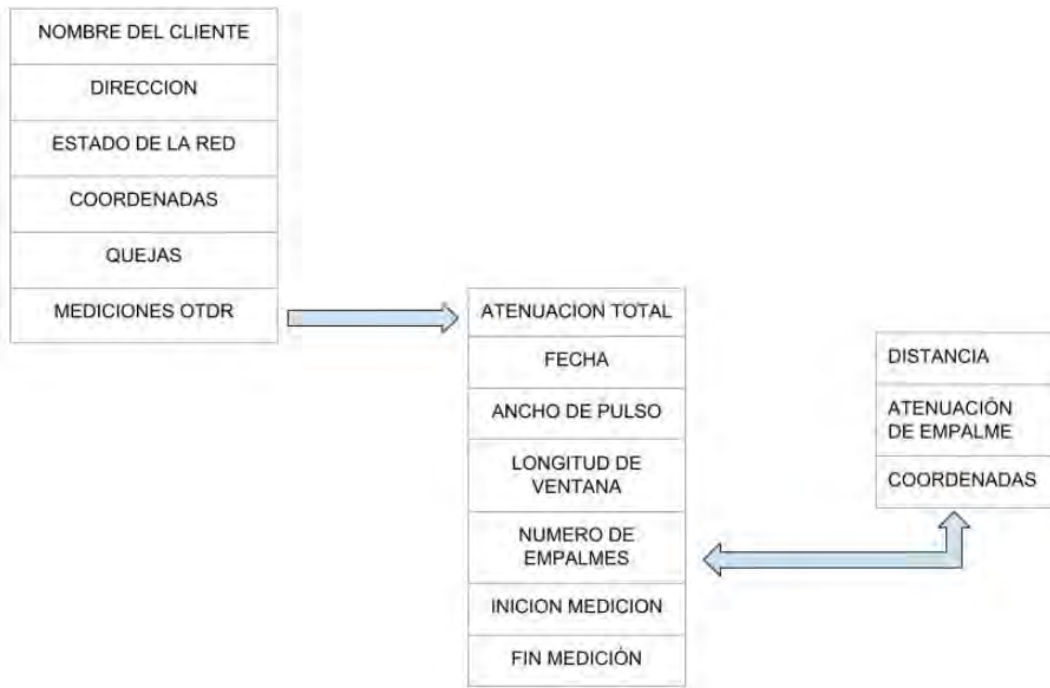


Fig. 14 Estructura de la base de datos

La base de datos debe tener información de cada técnico, así como un usuario y contraseña para poder acceder a la aplicación móvil. Esto es importante, ya que cualquier usuario no debe acceder a la misma debido a la información que se maneja.

```

{
  "_id": {
    "$oid": "5bb92d9dfb6fc038040bafef"
  },
  "Cliente": "Juan Herrera",
  "date": " Oct 10 14:52:14 2018 (886668374 sec)",
  "wavelength": "1310.0 nm",
  "pulse width": "1000 ns",
  "Empalmes": {
    "Resumen": {
      "ORL finish": "50.727876",
      "ORL start": "0.0",
      "loss end": "50.727876",
      "total loss": "0.0"
    }
  }
}

```

Fig. 15 Ejemplo de formato en la base de datos

Toda la información fue ingresada, en formato JSON, a la base de datos creada en la nube. Esto se puede observar en la Figura 15. Además, el propósito de almacenar todos los datos del OTDR fue para que estos puedan ser usados en el monitoreo de la analítica predictiva.

3.3.3 Estructura de la aplicación móvil

La aplicación móvil que se desarrolló en la presente tesis tiene como objetivo acceder a la base de datos que contiene información de la red óptica FTTH de los clientes. De esta manera, los técnicos de planta externa pueden gestionar las fallas que se presenten en la misma.

La estructura de la aplicación móvil, así como la conexión con la base de datos, se explica con diagramas de procesos. Los diagramas de procesos describen el comportamiento del sistema desde el punto de vista del técnico de planta externa. Por ello, su función principal es proporcionarle información clara y concisa, además de las características generales del sistema. En resumen, representan la totalidad de funciones que el sistema puede ejecutar.

Por último, la conexión entre la aplicación móvil y la base de datos se explica con algoritmos en el lenguaje JAVA. De esta manera, se pretende tener un marco referencial al momento de programar las tareas de la aplicación para posteriormente darles funcionalidad.

El propósito de la aplicación móvil es poder gestionar las fallas de una red óptica FTTH en planta externa. Esto se pudo lograr con la interacción de la base de datos, la cual contiene la data de todas las incidencias de la red, así como las mediciones del OTDR.

Para estos procesos se identificaron a los actores, que son los técnicos de planta externa. Para ello, se pensó en un interfaz de inicio de sesión, debido a que la información no debe estar al alcance de diferentes personas.

La aplicación adoptó el nombre “*FTTH Management*”. En la Fig. 16 se observa la interfaz de inicio, donde el técnico debe ingresar su usuario y contraseña previamente cargados en la base de datos. Además, existe un usuario administrador que puede ingresar

a la aplicación para poder monitorear el estado de la misma.

El propósito de esta aplicación móvil es proporcionar un menú que muestre las diferentes funcionalidades del sistema de gestión. Esto se logró creando una actividad llamada *Navigation Drawer* en Android Studio (Ver Fig. 17). Una vez creada la actividad se procedió a generar la interfaz, donde el técnico de planta externa podrá interactuar (Ver Fig. 18).

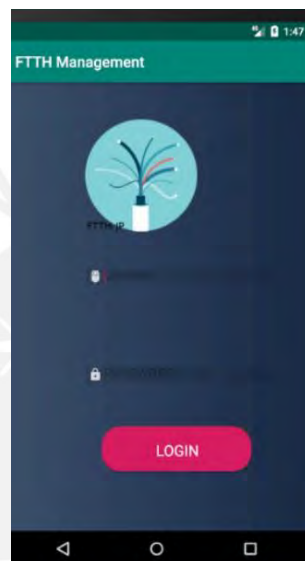


Fig. 16 Interfaz de ingreso.

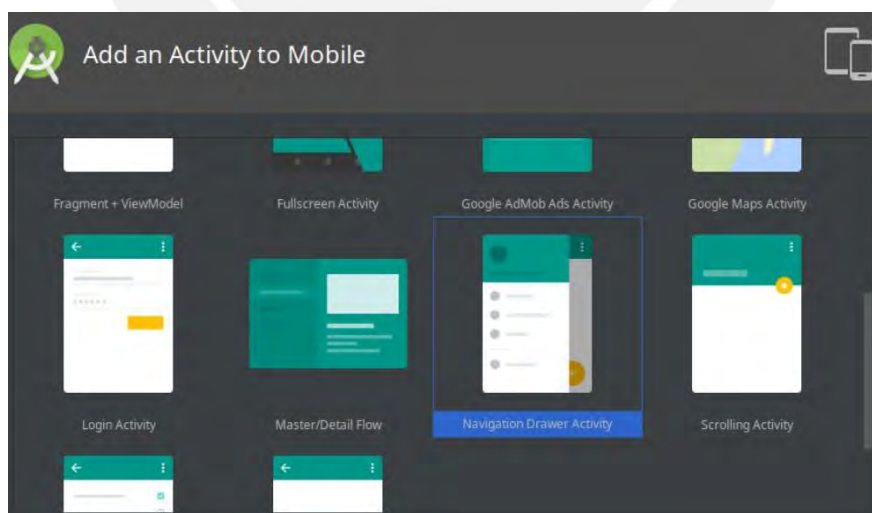


Fig. 17 Creación de la actividad *Navigation Drawer*

En la Fig. 18 se muestra el menú donde se puede interactuar con la aplicación móvil

para la gestión de fallas de toda la red óptica FTTH. Además, se creó un campo de “MONITOREO” con el propósito de hacer visible el monitoreo predictivo que se hizo en Hadoop. Por último, en la Fig. 19 se muestra el diagrama de flujo para el acceso a esta aplicación.

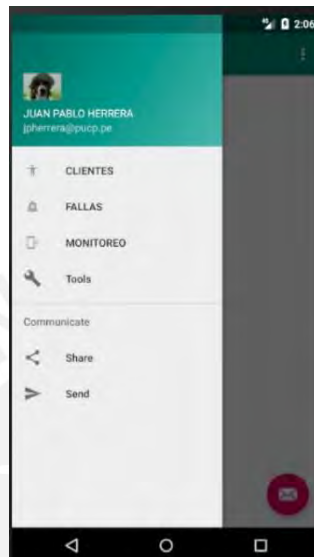


Fig. 18 Interfaz de interacción.

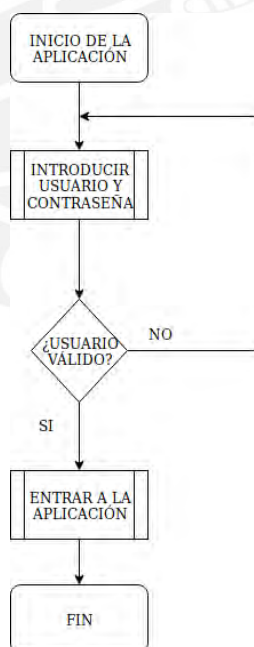


Fig. 19 Diagrama de flujo interfaz de inicio

3.3.4 Comunicación entre base de datos y la aplicación móvil

Como se mencionó anteriormente, se usó una base de datos en la nube, ya que ofrece los siguientes beneficios:

- Menos cargas administrativas
- Ahorro en los equipos de cómputo y de mantenimiento
- Ahorro en configuraciones e implementaciones que un servidor requiere
- Siempre está disponible para el cliente

El servicio que se usó fue mLab (Ver Fig. 20). Para ello fue necesario registrarse y escoger uno de los planes que ofrece. Cabe recalcar, que mLab tiene un tamaño de 500MB; sin embargo, también se ofrecen planes con mayor capacidad de almacenamiento a diferentes costos. Para la realización de esta tesis se usó el plan gratuito, ya que, si el sistema funciona para esta cantidad de datos, también funcionará para una mayor capacidad de almacenamiento.

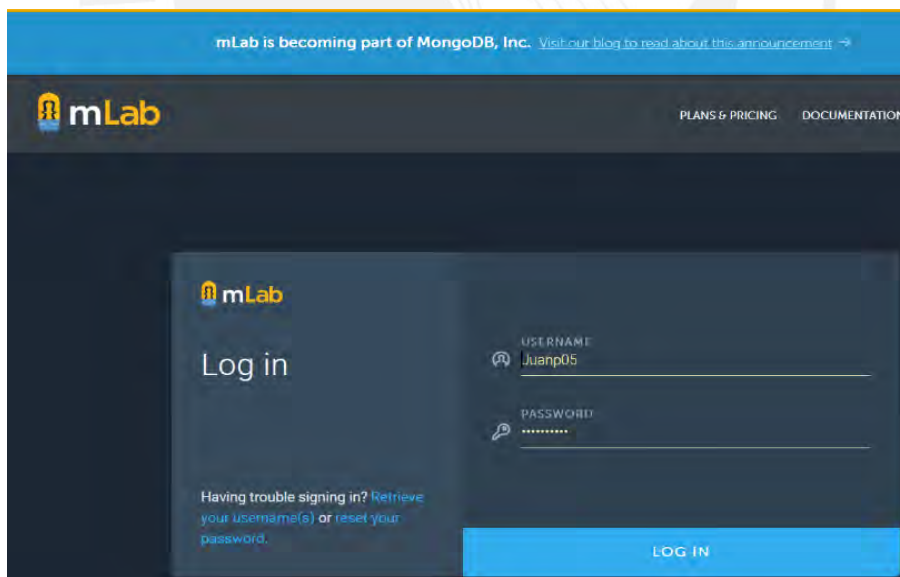


Fig. 20 Interfaz mLab

Este servidor en la nube ofrece, además, un *API Key* para poder establecer la conexión entre la base de datos y la aplicación móvil (Ver Fig. 21). Una vez que el API

Key fue generado se procedió a crear los campos necesarios en la base de datos. Primero, se creó el nombre de la base de datos y luego se agregó una nueva colección, en la cual se ingresó los documentos necesarios para la comunicación con el aplicativo móvil en formato JSON. Para este trabajo, a la base de datos se le denominó *mydata* y a la colección, *user*. En este último, se colocó el registro de acceso de los técnicos como usuario y contraseña.

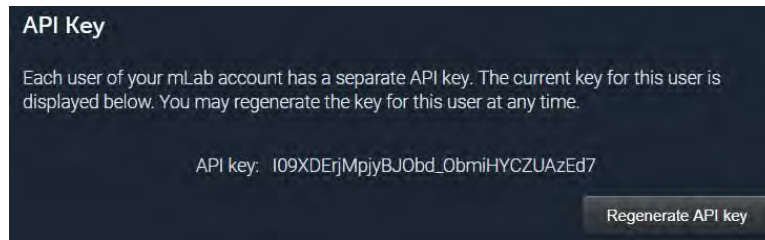


Fig. 21 API Key generado en mLab

En la Fig. 22 se puede observar los documentos creados para el registro de los diferentes técnicos, así como el usuario de administrador. Por defecto, mLab crea un identificador “*_id*” para señalar cada documento creado en la base de datos.

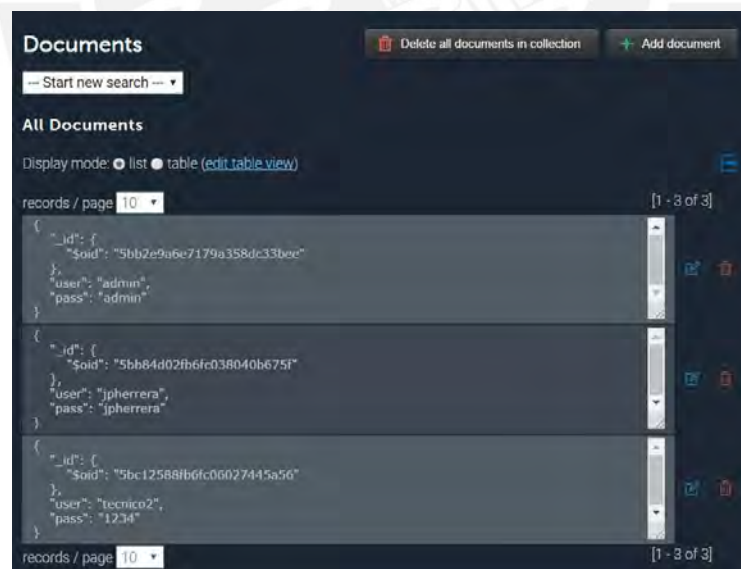


Fig. 22 Creación de documentos en la base de datos

La interacción entre la base de datos y el aplicativo móvil se da en la interfaz de Android Studio en el lenguaje de programación Java. Primero se declaró en formato *String*, los nombres de la base de datos como el de la colección. Además, se declaró el *API Key* generado en la base de datos mLab (Ver Fig 23).

```
private static String DB_NAME = "mydata";
private static String COLLECTION_NAME = "user";

public static String API_KEY = "I09XDErjMojy8J0bd_QhmjHYCZUAzEd7";
```

Fig. 23 Declaración de variable base de datos

Luego, se procedió a construir la función que permitió la conexión entre la base de datos y el aplicativo móvil. En la Fig. 24 se puede observar que lo primero que se hizo fue construir el URL indicando los parámetros del nombre de la base de datos y de la colección de la misma. Luego, se agregó el *API Key* generado, para finalmente obtener los valores en formato *String* de los documentos dentro de la colección.

```
public static String getAddressAPI(){
    String baseUrl =String.format("https://api.mlab.com/api/1/databases/%s/collections/%s",DB_NAME,COLLECTION_NAME);
    StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder(baseUrl);
    stringBuilder.append("?apiKey="+API_KEY);
    return stringBuilder.toString();
}
```

Fig. 24 Función para comunicarse con la base de datos

3.3.5 Trazar rutas en la aplicación

El propósito del trazado de rutas en la aplicación móvil es para que el personal de planta externa pueda llegar de manera más rápida al lugar donde se encuentra la avería. Para ello, se hizo uso del *web service* proporcionado por Google maps. En la Fig. 25 se puede observar que al usar este *web service* (teniendo las coordenadas de origen y las

coordenadas de destino), no solo se muestra en formato JSON la información de cada coordenada, sino también, toda la información de la ruta que se debe seguir para poder llegar a la coordenada de destino. De esta manera, el formato JSON puede ser leído por el aplicativo móvil y, mediante los comandos de trazado de ruta, se puede visualizar en el *Smartphone* el recorrido hacia el destino al que se desee llegar. Es preciso señalar, que para poder hacer uso de este *web service* es necesario que el *Smartphone* cuente con acceso a Internet. Así, Google accederá a dicha ubicación.

```

"copyrights" : "Datos de mapas ©2018 Google",
"legs" : [
  {
    "distance" : {
      "text" : "1,0 km",
      "value" : 1038
    },
    "duration" : {
      "text" : "4 min",
      "value" : 264
    },
    "end_address" : "Av Javier Prado Oeste Cuadra 22, San Isidro 15076, Perú",
    "end_location" : {
      "lat" : -12.0950019,
      "lng" : -77.05459379999999
    },
    "start_address" : "Jirón Trujillo 548, Magdalena del Mar 15076, Perú",
    "start_location" : {
      "lat" : -12.0922721,
      "lng" : -77.0617518
    },
    "steps" : [
      {
        "distance" : {
          "text" : "60 m",
          "value" : 60
        },
        "duration" : {
          "text" : "1 min",
          "value" : 18
        },
        "end_location" : {
          "lat" : -12.092778,
          "lng" : -77.0619378
        }
      }
    ]
  }
]

```

Fig. 25 Web service para el trazado de rutas

3.4 Conversión de formato SOR a formato JSON

Cuando se realiza una medición con el OTDR, estos generan un archivo en formato .SOR, el cual solo puede ser visible por el *software* apropiado. Para poder obtener los datos del OTDR fue necesario convertirlos en formato JSON para que estos pudieran ser cargados en la base de datos. Para ello, se usó un código en Python que pudo convertir este formato .SOR en JSON (Ver Fig. 26).

```
def main():
    if len(sys.argv) < 2:
        print("USAGE: %s SOR_file [format]" % sys.argv[0])
        print("      : format: JSON (default) or XML")
        sys.exit()
```

Fig. 26 Parte del código Python para obtener el formato JSON.

Para generar estos formatos se ejecutó el siguiente comando:

```
juan@juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC:~/pyOTDR-master$ pyOTDR test2.sor
```

Este comando originó en la carpeta pyOTDR-master 2, archivos en los cuales uno de ellos estuvo en formato JSON (Ver Fig. 27).



Fig. 27 Documentos generados por el comando pyOTDR.

De esta manera, es que se obtiene el formato JSON, el cual está compuesto por todos los parámetros de la medición de OTDR (Ver Fig. 28). Cabe señalar, que este código solo muestra los datos de OTDR que tiene el formato definido por el estándar de Telcordia SR-4731. Se realizaron mediciones con el OTDR ORIENTK_TR600 y se pudo comprobar que los datos obtenidos fueron transformados a formato JSON por el programa ya mencionado.

```
"FxdParams": {
  "BC": "-80.00 dB",
  "EOT thr": "6.000 dB",
  "X1": 0,
  "X2": 0,
  "Y1": 0,
  "Y2": 0,
  "acquisition offset": -417,
  "acquisition offset distance": 0,
  "acquisition range distance": 0,
  "averaging time": "179 sec",
  "date/time": "Wed Jan 12 08:20:55 2011 (1294838455 sec)",
  "front panel offset": 0,
  "index": "1.475050",
  "loss thr": "0.050 dB",
  "noise floor level": 3710,
  "noise floor scaling factor": 100,
  "num averages": 106080,
  "num data points": 20993,
  "number of pulse width entries": 1,
  "power offset first point": 10913,
  "pulse width": "1000 ns",
  "range": 159.99990858260736,
  "refl thr": "-40.000 dB",
  "resolution": 7.621583793769703,
  "sample spacing": "0.0375 usec",
  "trace type": "ST[standard trace]",
  "unit": "km (kilometers)",
  "wavelength": "1291.0 nm"
```

Fig. 28 JSON del documento.

3.5 Diseño de la analítica predictiva

El diseño de la analítica predictiva se basó en los algoritmos de aprendizaje supervisados SVM (*Support Vector Machine*), DES (*Double Exponential Smoothing*) y *Three Exponential Smoothing*. Esto con la finalidad de predecir fallas en la red óptica FTTH. Estos algoritmos fueron desarrollados en el lenguaje de programación JAVA. Por ello, toda la información procesada fue enviada a la aplicación móvil [17]. Además, se usó Hadoop, ya que permite almacenar datos para posteriormente ejecutarlos en *clusters* de *hardware* básicos. Para ello, se debió definir parámetros normales de la red óptica FTTH para que, mediante los algoritmos ya mencionados, esta información pueda ser comparada con los datos que nos brinde el OTDR.

La normal ITU-T G.984.x (x=1, 2, 3, 4, 5, 6) brinda información sobre las bases y certificaciones de topologías GPON. En la Tabla 3 se puede observar algunos de estos valores de los elementos de una red FTTH.

Tabla 3. Valores de referencia FTTH (ITU--T G.984.x) [17]

Medios físicos dependientes.	
Máxima velocidad Downstream:	2,488 Gbit/s.
Máxima velocidad Upstream:	1,244 Gbit/s.
Máximo alcance físico	20 Km
Máximo alcance lógico	60 Km
Atenuación en puntos de fusión.	≤ 0,30 dB
Atenuación en conectores mecánicos.	≤ 0,50 dB
Atenuación en conectores.	≤ 0,75 dB
Atenuación en mangas.	≤ 0,15 dB
Margen de seguridad	+3 dB
Atenuación $\lambda = 1310$ nm	0,35 dB/Km
Atenuación $\lambda = 1550 / 1490$ nm	0,22 dB/Km
Divisor óptico (splitter)	
1:64	≤ 20,5 dB
1:32	≤ 17,5 dB
1:16	≤ 13,8 dB
1:8	≤ 10,6 dB
1:4	≤ 7,5 dB
1:2	≤ 3,8 dB

El uso del algoritmo *Three Exponential Smoothing* sirvió para obtener la atenuación promedio de los siguientes meses de la fibra ya tendida. De esta manera, se pudo comparar en base a la suma de valores referenciales de la norma ITU-T G984.x para monitorear la red.

Los algoritmos SVM y DES se usaron para saber el estado de los equipos opto electrónicos ya instalados. Para más información se puede revisar [18].

Por otro lado, es importante mencionar que la primera medición que brindó el OTDR fue la referencia para poder gestionar la analítica predictiva. También, se almacenó las fallas más comunes, como la ubicación de las mismas. En la Fig. 29 se puede observar el diagrama que permite realizar la analítica predictiva.

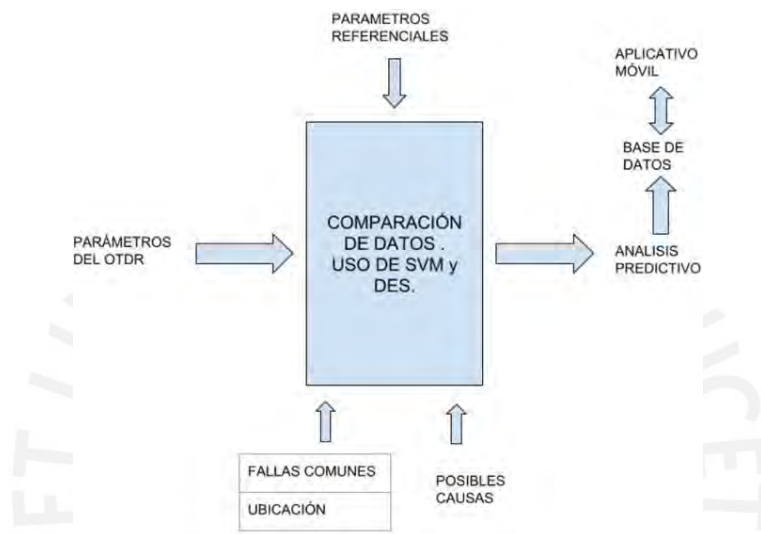


Fig. 29 Diagrama de comunicación analítica predictiva y aplicativo móvil

En la Fig. 30 se observa el diagrama general de comunicación de todo el sistema de gestión.



Fig. 30 Diseño de sistema de gestión.

Finalmente, todos los datos fueron mostrados en el aplicativo móvil. De esta manera, el personal de planta externa podrá acceder a información de gran importancia para el monitoreo de la red.



Capítulo IV

Pruebas y resultados

En el presente capítulo se validarán los resultados obtenidos del aplicativo móvil para las opciones de interfaz de usuario, datos de los clientes y datos de fallas para redes FTTH. Así mismo, se mostrará el diseño de la analítica predictiva para aplicaciones móviles en dichas redes.

4.1 Validación de interfaz de inicio

En la Fig. 31 se muestra la interfaz de inicio del aplicativo móvil. Inicialmente se debe ingresar un usuario y contraseña para poder acceder al sistema de gestión de fallas. Esto se realizó con el propósito de que solo el personal autorizado pueda acceder a la aplicación.

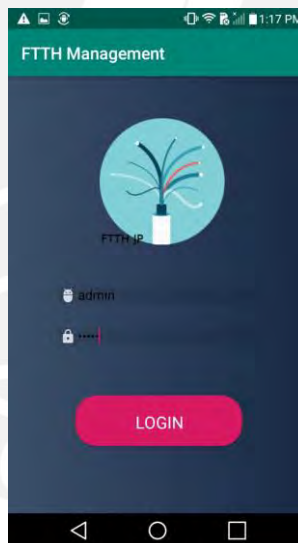


Fig. 31 Interfaz de inicio usuario y contraseña.

Si el usuario y contraseña son correctos, automáticamente se puede ingresar al aplicativo móvil y aparece un mensaje de “USUARIO CORRECTO” (Ver Fig. 32). En caso contrario se negará el acceso a la aplicación y aparecerá un mensaje que dirá: “USUARIO INCORRECTO” (ver. Fig. 33).



Fig. 32 Ingreso a la aplicación

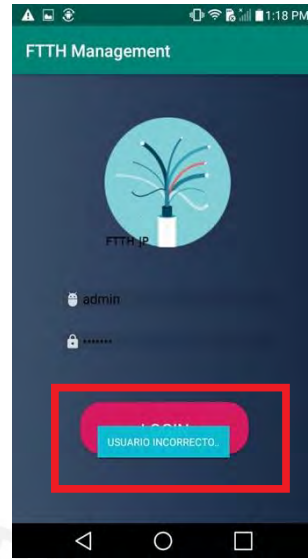


Fig. 33 Usuario incorrecto

Por otro lado, se agregó el buscador Google como principal opción de manejo. Esto se realizó, con el propósito de brindar información al personal de planta externa respecto a temas específicos o de interés personal.

Asimismo, en la figura 34 se puede observar, un botón de despliegue en la parte superior izquierda en caso de que el usuario acceda a la aplicación. Este muestra todas las opciones que se suelen emplear en el sistema de gestión de fallas.

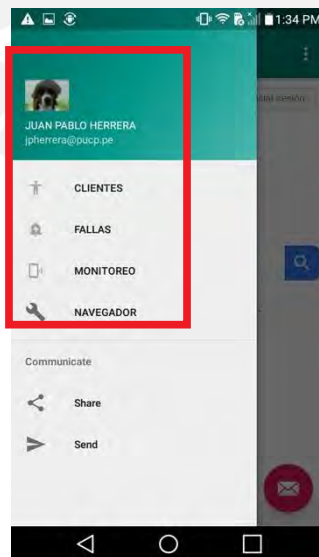


Fig. 34 Interfaz de opciones de sistema de gestión de fallas

respecto al cliente (ver Fig.37).

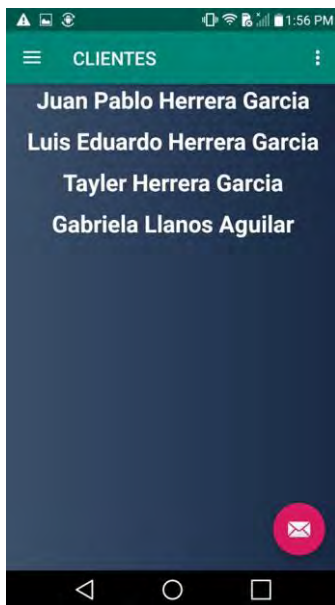


Fig. 36 Listado de los clientes en el aplicativo móvil.

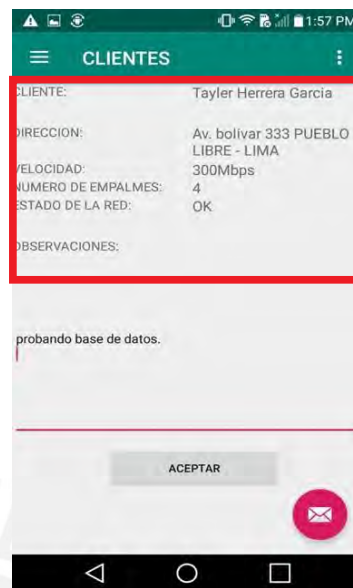


Fig. 37 Información del cliente.

Al momento de pulsar el botón ACEPTAR, esta información se envía directamente a la base de datos (ver Fig. 38). De esta manera, toda la información enviada desde el aplicativo móvil se visualiza en el sistema, para que se pueda tomar las medidas necesarias en caso de quejas o reclamos por parte de los clientes. Asimismo, en caso de que exista alguna falla o avería, el estado de la red pasará a “SN”.

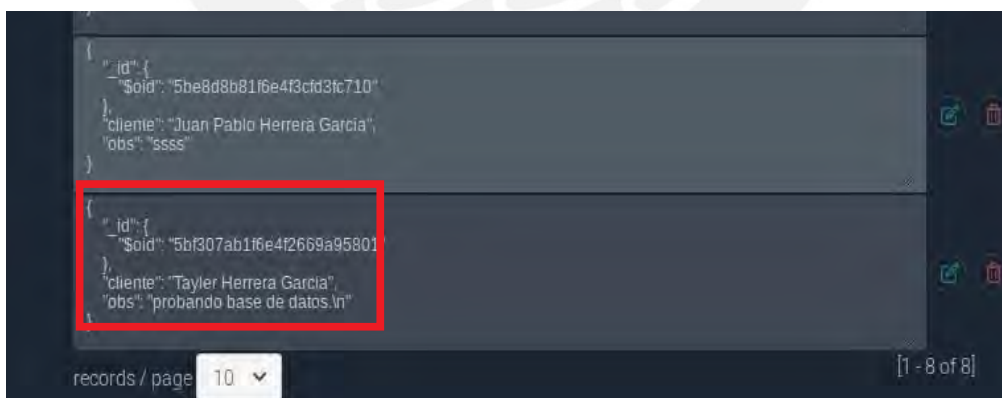


Fig.38 Validación de observaciones en la base de datos.

4.3 Validación de fallas

Al igual que en la opción de clientes, en fallas se puede visualizar, en un formato de lista, todas las averías existentes para cada cliente, donde “OK” significa que dicha avería fue solucionada y la opción “SN”, que esta aún se encuentra presente (ver Fig. 39). Para poder observar los datos de cada avería, solo se debe seleccionar la falla que se desea visualizar.

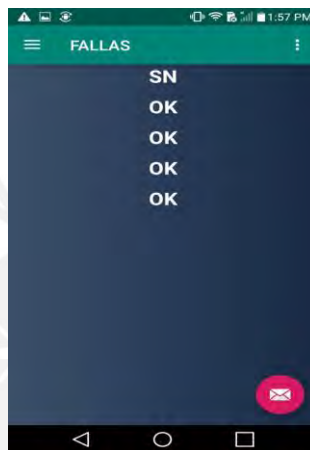


Fig. 39 Registro de averías.

En la Fig. 40 se observa todas las especificaciones técnicas de las averías obtenidas de la base de datos en la aplicación móvil. Incluso, se puede verificar todos los datos obtenidos por el OTDR. Para la presente tesis, solo se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- *date*
- *wavelength*
- *pulse*
- *ORLfinish*
- *ORLstart*
- *Lossend*
- *Totalloss*

Solo se mencionan estos datos, ya que estos proporcionan una distancia en metros desde donde se presenta la falla. Esto es de gran utilidad para el personal de planta externa, pues permite la inmediata solución de la avería.

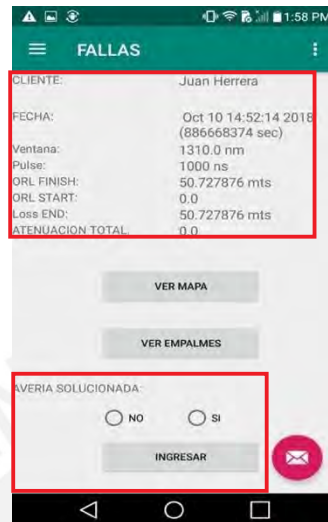


Fig. 40 Detalle de avería.

Asimismo, se agregaron dos botones donde se puede visualizar, no solo la ubicación del cliente (ver Fig. 41), sino también la ubicación geográfica de cada empalme a lo largo del tendido de la fibra óptica. El propósito de visualizar dichos empalmes en un mapa es para poder solucionar la avería de manera rápida, ya que el sistema de gestión de fallas traza una ruta hacia un punto seleccionado (ver Fig. 42).



Fig. 41 Visualización del cliente.

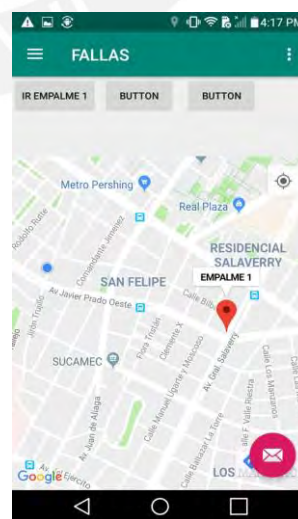


Fig. 42 Visualización del empalme.

En la Fig. 43 se puede observar el trazado de la ruta alternativa que se hace desde la posición de donde se encuentra el dispositivo móvil hacia el empalme que se tomó como referencia. Además, en la parte superior se agregaron los botones para trazar la ruta hacia el empalme al que se desea ir. También, se agregó una opción para cambiar el estado de la avería en caso esta sea solucionada. De esta manera, al presionar el botón “ACEPTAR”, automáticamente su estado cambia (ver Fig. 40).

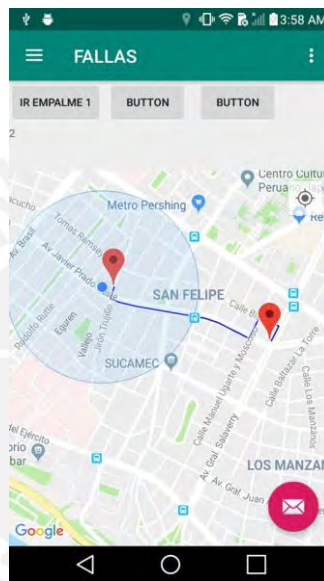


Fig. 43 Visualización de la ruta.

Por último, en la sección de monitoreo se puede obtener la ubicación del personal de planta externa, que, automáticamente, será enviada a la base de datos cada minuto. Esto se hizo con el propósito de que siempre se tenga la posición del personal para que, en caso necesario, se pueda asignar trabajos de manera más eficiente (ver Fig. 44).

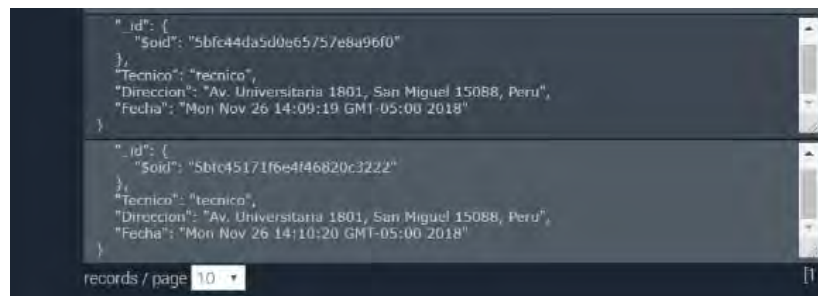
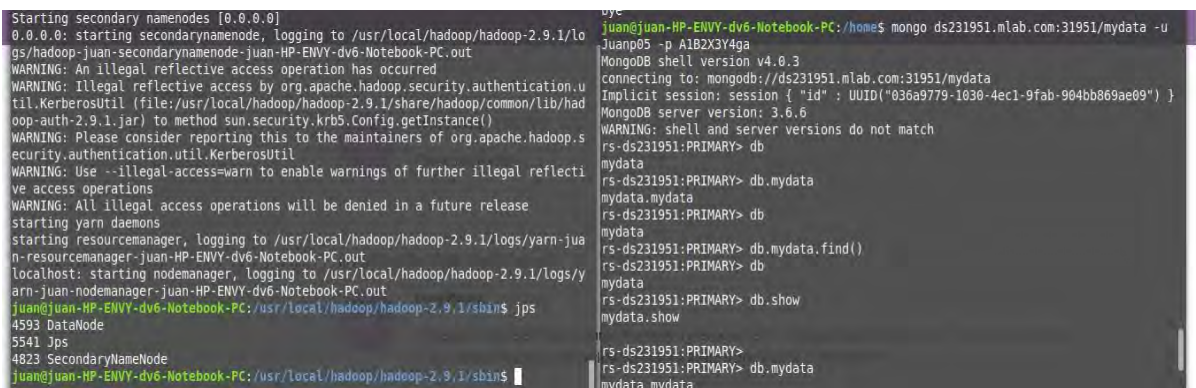


Fig. 44 Ubicación GPS en la base de datos

4.4 Validación de monitoreo

Se usó el *software* weka para poder procesar la información correspondiente a los parámetros dados por el OTDR. Asimismo, se logró la interacción entre la base de datos y el nodo creado en Hadoop (ver Fig. 45). Todo esto se realizó, con el propósito de procesar gran cantidad de información para poder tener mejores resultados al momento de usar analítica predictiva.



```
Starting secondary namenodes [0.0.0.0]
0.0.0.0: starting secondarynamenode, logging to /usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/logs/hadoop-juan-secondarynamenode-juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC.out
WARNING: An illegal reflective access operation has occurred
WARNING: Illegal reflective access by org.apache.hadoop.security.authentication.util.KerberosUtil (file:/usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/share/hadoop/common/lib/hadoop-auth-2.9.1.jar) to method sun.security.krb5.Config.getInstance()
WARNING: Please consider reporting this to the maintainers of org.apache.hadoop.security.authentication.util.KerberosUtil
WARNING: Use --illegal-access=warn to enable warnings of further illegal reflective access operations
WARNING: All illegal access operations will be denied in a future release
starting yarn daemons
starting resourcemanager, logging to /usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/logs/yarn-juan-resourcemanager-juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC.out
localhost: starting nodemanager, logging to /usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/logs/yarn-juan-nodemanager-juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC.out
juan@juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC: /usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/sbin$ jps
4593 DataNode
5541 Jps
4823 SecondaryNameNode
juan@juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC: /usr/local/hadoop/hadoop-2.9.1/sbin$

juan@juan-HP-ENVY-dv6-Notebook-PC: /home$ mongo ds231951.mlab.com:31951/mydata -u
Juanp05 -p A1B2X3Y4ga
MongoDB shell version v4.0.3
connecting to: mongodb://ds231951.mlab.com:31951/mydata
Implicit session: session { "id" : UUID("036a9779-1030-4ec1-9fab-904b8069ae09") }
MongoDB server version: 3.6.6
WARNING: shell and server versions do not match
rs-ds231951:PRIMARY> db
mydata
rs-ds231951:PRIMARY> db.mydata
mydata.mydata
rs-ds231951:PRIMARY> db
mydata
rs-ds231951:PRIMARY> db.mydata.find()
rs-ds231951:PRIMARY> db
mydata
rs-ds231951:PRIMARY> db.show
mydata.show
rs-ds231951:PRIMARY>
rs-ds231951:PRIMARY> db.mydata
mydata.mydata
```

Fig. 45 Ejecutando nodos Hadoop y la conexión con la base de datos.

Por otro lado, se usó Mapreduce para comprimir los datos que corresponden a la analítica predictiva (ver Fig. 46). Además, se agregó al aplicativo móvil, la librería weka.jar que proporciona todos los algoritmos predictivos, de tal manera que se puedan generar las futuras atenuaciones en las redes ópticas FTTH.

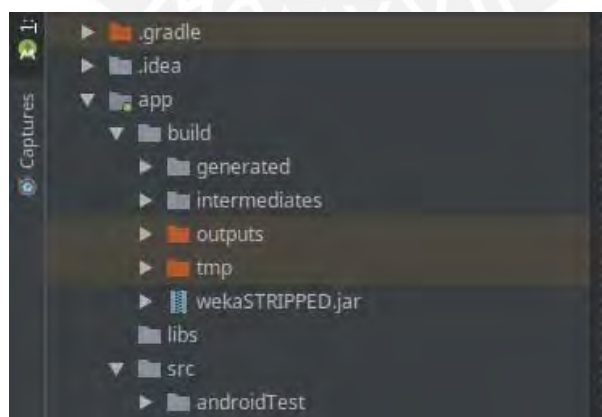


Fig. 46 wekaSTRIPPED.jar en Android studio.

De los algoritmos predictivos se usó el código en java *Three Exponential Smoothing*,

para introducirlo en el aplicativo móvil. Con ello, se realizó una simulación con los datos obtenidos de la referencia [17] cuyos datos de atenuación eran cuatrimestrales comprendidos en dos años de medición. Los datos que se tomaron fueron:

18.4, 18.61, 18.89, 19.05, 19.22, 19.48, 19.67, 19.90

Por consiguiente, al usar el algoritmo en java, se obtuvo el monitoreo de la red (ver Fig. 47).

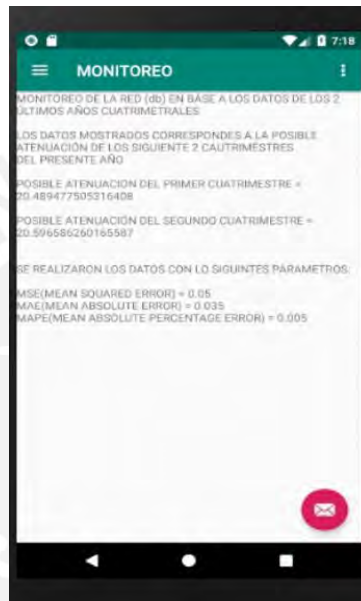


Fig. 47 Datos del monitoreo

Esta información fue obtenida de la base de datos (ver Fig. 48), ya que, si se actualiza o se agrega información, el sistema automáticamente sincroniza el monitoreo y la información en el aplicativo móvil. Por otro lado, los datos obtenidos de un un *switch* Cisco Catalyst 3850 se pueden visualizar con el comando *show interfaces transceiver*. Esto se realiza con el propósito de obtener los datos de transmisión, recepción, amperaje, temperatura y voltaje, los cuales son necesarios para los algoritmos predictivos en equipos optoelectrónicos (Ver Fig. 49)

```

{
  "_id": {
    "$oid": "5bfeb66ae7179a10a0429377"
  },
  "TotalLoss": [
    18.4,
    18.61,
    18.89,
    19.05,
    19.22,
    19.48,
    19.67,
    19.9
  ]
}

```

Fig. 48 Datos para la analítica predictiva.

```

CC3850_Dispatch_GB01_22#sh interfaces transceiver
If device is externally calibrated, only calibrated values are printed.
++ : high alarm, + : high warning, - : low warning, -- : low alarm.
NA or N/A: not applicable, Tx: transmit, Rx: receive.
mA: milliamperes, dBm: decibels (milliwatts).

```

Port	Temperature (Celsius)	Voltage (Volts)	Current (mA)	Optical TX Power (dBm)	Optical Rx Power (dBm)
Gi1/1/1	29.1	3.32	4.9	-5.6	-5.6
Gi2/1/1	28.3	3.32	4.0	-5.7	-7.3

Fig. 49 Datos del Switch Catalyst 3850

Por último, tal como lo menciona la referencia [18], al aplicar la analítica predictiva en estos equipos, se puede llegar a un mejor monitoreo, ya que al saber cuándo sucederá una falla, se podrá realizar un enrutamiento de la señal para que el cliente pueda seguir teniendo el servicio de Internet. Predecir estas fallas sigue siendo un reto, ya que la demanda para acceder a la red es cada vez mayor, la velocidad de transmisión es cada vez más alta y la cantidad de datos procesados aumenta cada segundo convirtiendo todo esto en una necesidad para todos.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos tras el diseño del aplicativo móvil, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Se logró identificar y analizar las averías ópticas por diferentes equipos optoelectrónicos de una red FTTH, mediante la corroboración de datos usando los *datasheet* correspondientes.
2. Se analizó y comparó las averías de una red óptica FTTH a través de un estudio de planta externa.
3. Se logró usar analítica predictiva para el monitoreo de una red óptica FTTH usando algoritmos predictivos mediante el lenguaje de programación JAVA.
4. Se desarrolló una interfaz de usuario para el sistema de gestión de fallas para redes ópticas FTTH usan Android Studio.
5. Se implementó un sistema de localización mediante GPS para el monitoreo de técnicos en planta externa usando un *WEB SERVICE* en Android Studio.
6. Android Studio es un *software* muy usado actualmente para la elaboración de aplicaciones móviles y el lenguaje de programación de alto nivel usado es JAVA. Este brinda la facilidad para que el programador y las personas posteriores puedan entender el código sin complicaciones.
7. La aplicación diseñada permite acceder a la información de la base de datos en cualquier momento. Su uso es sencillo e intuitivo. Además, con las grandes ofertas de transmisión de datos en el mercado, se puede acceder a grandes paquetes por tarifas muy económicas.
8. Se usó una base de datos en la nube (mLab), que permitió que la data siempre esté disponible. La ventaja de ello radica en su accesibilidad las 24 horas. Sin embargo,

la base de datos solo brinda almacenamiento gratis hasta 500MB. Si se deseara un mayor almacenamiento, se tendría que pagar un monto en dólares.



Recomendaciones

Las recomendaciones son las siguientes:

- Implementar una aplicación en IOS con las mismas funciones y objetivos de la presente tesis. Presentar IOS como una opción se debe a que este representa uno de los sistemas operativos más importantes del mercado actual.
- Se propone extender las funciones del aplicativo móvil. Enviar correos electrónicos, elaborar un sistema de chat entre planta externa y central, y otras funcionalidades, aportaría mayor contenido y una mejor experiencia con la aplicación móvil.
- Se logró interactuar entre la aplicación móvil y la base de datos. No obstante, se considera que aún se puede diseñar la aplicación de manera más amigable e interactiva. Además, se puede tener una base de datos más organizada. De esta manera, la información podría tener un mejor uso.
- Subir la aplicación móvil a la tienda de Android Studio *Play Store* con el propósito de que cualquier persona con sistema operativo Android puede utilizarla.
- Almacenar mayor información para el uso de la analítica predictiva y la Big Data. De esta manera, se obtendrá mayor precisión para el monitoreo respectivo.

Trabajos futuros

En base a la presente tesis se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Implementar un sistema de código QR para la lectura de la información de cada caja de transmisión óptica, como los empalmes, hilos de fibra óptica usados, cantidad de usuarios, etc y así poder visualizarlos en el aplicativo móvil.
- Implementar un servicio de nuevos clientes para que se pueda visualizar los requerimientos que desee la persona, así como el tendido de fibra que debe realizarse desde la central hasta la dirección requerida.



Bibliografía

- [1] Physical layer monitoring in 8--branched PON--based i--FTTH. (2010). International Conference On Photonics 2010
- [2] Xuan Z. Fengjun L. Min Z. Xiaohan S. *OTDR similarity traces analysed effective method for fault location in point--to--multipoint PON*. (2015) *IEEE Photonics Conference (IPC), Photonics Conference (IPC)*
- [3] A. Ehrhardt, F. Escher, L. Schürer , H.--M. Foisel, A. Templin, M. Adamy, C. Gerlach PON measurements and monitoring solutions for FTTH networks during deployment and operation. (2011). *2011 13th International Conference on Transparent Optical Networks, Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2011 13th International Conference on
- [4] Chang Cabanillas, V. M. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de detección, localización y alerta de averías en redes de fibra óptica de planta externa metropolitana basado en información georeferenciada*.
- [5] NQMSfiber network quality monitoring system. Consulta: 03 de junio del 2018.
<<https://www.exfo.com/es/productos/supervision--y--rendimiento--de--redes/supervision--de--fibra/nqmsfiber/>>
- [6] PRTG nertowrk monitoring Consulta 03 de junio del 2018
<<https://www.es.paessler.com/prtg>>
- [7] Fluke Networks
Consulta 03 de junio del 2018
<<http://es.flukenetworks.com/datacom--cabling/Versiv/CertiFiberPro>>

- [8] Abreu M. (2009). *Características generales de una red de fibra óptica al hogar(FTTH)*, Memoria de trabajos de difusión científica y técnica vol. 7.
- [9] Carpio Ojeda, J. (2003). *La fibra óptica: maravilla de la comunicación*
- [10] Bazán A. (2015). *Sistemas de transmisión por fibra óptica*. INICTEL UNI.
- [11] Rupaylla J. (2015). *Instalador de fibra óptica*. INICTEL UNI.
- [12] Recomendación UIT--T G.652 (2005), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*
- [13] Edison, Q., & Nikolai, E. (2016). GPON networks certification, standard ITU G.984.x. *Enfoque*, Vol 7, Iss 4, Pp 16--30 (2016),
- [14] *Recomendaciones UIT--T: Normalización. [recurso electrónico] / Unión Internacional de Telecomunicaciones*. (n.d). Ginebra: UIT, 2013--2014.
- [15] Atención de la fibra óptica. 2016 fibra óptica Ciencia y Tecnología. Consulta: 03 de junio del 2018.
<<http://lafibraoptica peru.com/la--atenuacion--de--la--fibra--optica/>>
- [16] Dispersión en la fibra. Tutorial de comunicaciones óptica. Consulta: 03 de junio del 2018.
<http://nemesi s.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_5_1.htm>
- [17] The New Data--Analytic Method Used for Forecasting the Optical Fiber Loss. (2016). *2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), 2016 International Conference on, ICITBS, 289*.
- [18] Zhilong Wang, Min Zhang, Danshi Wang, Chuang Song, Min Liu, Jin Li, Liqi Lou and

Zhuo Liu, "Failure prediction using machine learning and time series in optical network," *Opt. Express* 25, 18553-18565(2017)

[19] Unlocking Operational Intelligence From the Data Lake (2017). MongoDB.

[20] Welcome to apache Hadoop

Consulta: 03 de junio del 2018

<<http://hadoop.apache.org>>

[21] Oracle Corporation, "What is MySQL?" in Overview of the MySQL Database Management System

[22] *Android*. 2013. Consulta: 03 de junio del 2018. <<http://www.android.com/>>

[23] *iOS7*. Apple. 2013. Consulta: 03 de junio del 2018.

<<http://www.apple.com/es/ios/what--is/>>

[24] MongoDB Cloud. Usando mlab.

Consulta 03 de junio del 2018

<<https://www.mlab.com>>