

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UN ENLACE RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA SAN
MATEO - SANTA ANITA USANDO INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA
AT MT BT PARA UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

AYALA CCASA, ROBERTO CARLOS

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres y hermanos por los consejos y el apoyo incondicional en mi formación personal y mi etapa de formación profesional.

,

AGRADECIMIENTO

Agradecer a los docentes de mi Universidad por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional.

A mi asesor por haberme brindado sus consejos y orientado en el desarrollo de mi informe.

A mis familiares por darme los ánimos de culminar esta etapa.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.3.1 Teórica	14
1.3.2 Temporal.....	14
1.3.3 Espacial.....	14
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.4.1 Problema General	15
1.4.2 Problemas específicos.....	15
1.5 OBJETIVOS	15
1.5.1 Objetivo General	15
1.5.2 Objetivos específicos	15
CAPITULO II: MARCO TEORICO	16
2.1 ANTECEDENTES.....	16
2.2 BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1 Propagación de la luz.....	18
2.2.1.1 La reflexión.....	18
2.2.1.2 La refracción.....	18
2.2.2 Leyes de la reflexión.....	19
2.2.3 Leyes de la refracción.....	19
2.2.4 Fibra óptica.....	20
2.2.5 Principios de funcionamiento.....	21
2.2.6 Modos de propagación de la fibra óptica.....	21
2.2.6.1 Fibra monomodo.....	21
2.2.6.2 Fibra multimodo.....	22
2.2.7 Pérdida o atenuación.....	23
2.2.8 Topología de red.....	25
2.2.9 Topologías lógicas.....	25

2.2.10 Planta externa.....	26
2.2.11 Tendido aéreo.....	26
2.2.11.1 Fibra óptica ADSS.	27
2.2.11.2 Postes y torres.....	28
2.2.11.3 Ferretería (herraje de retención, suspensión, abrazadera).....	28
2.2.11.4 Atenuador de efecto corona.	29
2.2.11.5 Cruceta.	29
2.2.11.6 Caja de empalmes.	30
2.2.11.7 Gabinete óptico.	31
2.2.12 Las variables para tendido aéreo.	31
2.2.12.1 Vano.	31
2.2.12.2 Flecha.	31
2.2.12.3 El efecto galope por acción del viento.	32
2.2.12.4 Campo Eléctrico asociado.	32
2.2.13 Normas y estándares para fibra óptica.....	33
2.2.14 Normas eléctricas.....	34
2.2.15 Distancias mínimas de seguridad.....	34
CAPITULO III: METODOLOGÍA	38
3.1 METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	38
3.1.1 Mapa de ubicación del área de concesión de Luz del Sur	39
3.1.2 Ubicación de la ruta de enlace troncal de fibra óptica.	41
3.1.3 Condiciones climatológicas y topográficas.	41
3.1.4 Trabajos preliminares.	42
3.1.5 Inspección en campo.	43
3.1.6 Elaboración del plano en kmz.	43
3.1.7 Selección del tipo de cable.	45
3.1.8 Cálculos para selección de cable.	48
3.1.8.1 Calculo del vano.....	48
3.1.8.2 Cálculo de la flecha.	50
3.1.8.3 Calculo por acción del viento.	53
3.1.8.4 Calculo por acción del hielo.	53
3.1.8.5 Span	54
3.1.9 Pérdida de señal en una instalación típica de fibra óptica.	56

3.1.9.1 Cálculo del presupuesto de potencia.....	58
3.1.9.2 Calculo de pérdidas ópticas.	58
3.1.10 Identificación de peligros y evaluación de riesgos.	59
3.1.11 Mediciones del cable de fibra óptica.	67
3.1.12 Protocolo de validación para un enlace de fibra óptica.	68
3.1.12.1 Análisis de la gráfica de enlace de fibra óptica en software EXFO ..	
.....	70
3.1.12.1.1 Ventana principal del OTDR.	70
3.1.12.1.2 Importancia del uso de la fibra de lanzamiento.	71
3.1.12.1.3 Descripción de la pantalla de curvas y la tabla de eventos. .	72
3.1.12.1.4 Visualización de resultados de la prueba.	73
3.1.12.1.5 Establecimiento de umbrales de Aprobado/Falla.....	73
3.1.12.1.6 Configuración de los umbrales de detección del análisis.	76
3.1.12.2 Análisis manual de resultados.	78
3.1.12.2.1 Obtención de atenuación.	78
3.1.12.2.2 Obtención de reflectancia.	81
3.1.12.2.3 Obtención de la pérdida óptica de retorno (ORL).	82
3.1.12.2.4 Graficas del hilo 003 del enlace San Mateo - Matucana.	83
3.1.13 Cronograma.	85
3.1.14 Costos.	86
3.1.15 Resultados.	89
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	98

FIGURAS

Figura 1. Reflexión y Refracción de la luz	18
Figura 2. Ley de la reflexión	19
Figura 3. Ley de Snell	19
Figura 4. Partes de la fibra óptica	20
Figura 5. Esquema básico de un sistema de comunicación óptico	21
Figura 6. Fibra Monomodo (SM)	22
Figura 7. Fibra Multimodo (MM)	22
Figura 8. Atenuación típica de la fibra. Longitud de onda vs Atenuación.....	23
Figura 9. Pérdida por Macrocurvatura y Microcurvaturas	24
Figura 10. Pérdida por Absorción y Dispersión.....	25
Figura 11. Pérdida por conector	25
Figura 12. Tendido aéreo, los más empleados para fibra óptica son postes de telecomunicaciones, redes eléctricas (postes y torres) y el canalizado.	26
Figura 13. Elementos de Panta Externa de F.O.	27
Figura 14. Fibra óptica ADSS	27
Figura 15. Postes y torres, utilizados en tendido aéreo de fibra óptica	28
Figura 16. Ferretería para fibra óptica ADSS.....	29
Figura 17. Corona Coil aplicada en el Conjunto de Retención	29
Figura 18. Cruceta	30
Figura 19. Caja de empalme	30
Figura 20. ODF (Optical Distribution Frame)	31
Figura 21. Vano y Flecha de un enlace.....	32
Figura 22. El efecto galope por acción del viento	32
Figura 23. Campo eléctrico generado por la línea de alta tensión.	33
Figura 24. Distancia mínima de seguridad para personal técnico.	35
Figura 25. Distancia mínima de seguridad en redes MT, BT y de telecomunicaciones	36
Figura 26. Estructura eléctricas de alta media tensión. Descripción y zonas de instalación de ferretería considerando la DMS.	37

Figura 27. Mapa de ubicación del área de Concesión de Luz del Sur (Red MT y Subestaciones de Transmisión AT/MT).	39
Figura 28. Mapa de Red MT, Subestaciones de Transmisión AT/MT y Subestaciones de Distribución MT/BT de Luz del Sur en la zona Este y centro de Lima.	40
Figura 29. Ubicación Inicio (San Mateo) y Fin (Santa Anita) de la ruta de enlace troncal de fibra óptica	41
Figura 30. Clima y datos históricos del tiempo Huarochirí	42
Figura 31. Plano KMZ del Diseño enlace de red troncal de fibra óptica San Mateo - Santa Anita.	44
Figura 32. Partes de cable de fibra óptica ADSS y la identificación de colores. ...	46
Figura 33. Características de cable de F.O.	47
Figura 34. Fuerzas que intervienen en el cable	50
Figura 35. Fuerzas que actúan sobre el cable	53
Figura 36. Fuerzas peso de cable y del hielo	53
Figura 37. Pérdida de señal en una instalación típica de fibra óptica	56
Figura 38. Representación gráfica de medición con el OTDR.	68
Figura 39. Pasos correctos para la certificación de la fibra.	69
Figura 40. Pérdida media de empalmes recomendada para diferentes aplicaciones	69
Figura 41. Ventana principal OTDR	70
Figura 42. Diagrama de enlace con fibra de lanzamiento	71
Figura 43. Descripción de la pantalla	72
Figura 44. Umbrales de mínimos y máximos por defecto	73
Figura 45. Umbrales mínimos y máximos por defecto en el OTDR	73
Figura 46. Mensajes que se muestran al final de un análisis.....	74
Figura 47. Configuración de umbrales	75
Figura 48. Visualización de estado de eventos en la ventana principal de resultado	76
Figura 49. Curva con diferentes valores de umbral	77
Figura 50. Umbral de detección de empalme, reflectancia y final de fibra.....	78
Figura 51. Pérdida por empalme enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1	79
Figura 52. Factor lineal de atenuación enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1	80

Figura 53. Reflectancia enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1.....	81
Figura 54. Pérdida óptica de retorno enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1.	82
Figura 55. Información del enlace San Mateo - Matucana (sentido A-B) hilo 3	83
Figura 56. Información del enlace Matucana - San Mateo (sentido B-A) hilo 3	84
Figura 57. Cronograma del diseño de enlace de red troncal de fibra óptica.	85

TABLAS

Tabla 1. Cuadro de pérdidas intrínsecas y extrínsecas.....	24
Tabla 2. Niveles de Tensión y distancia mínima de seguridad (DMS) para cables de comunicación y personal técnico con EPP	34
Tabla 3. Distancia mínima de seguridad vertical para cables eléctricos y cables de comunicación	35
Tabla 4. Tabla comparativa de cables de Fibra Óptica	45
Tabla 5. Vano (distancia en metros) calculado entre dos puntos de coordenadas UTM	49
Tabla 6. Valor porcentual de la flecha con relación al vano	51
Tabla 7. Valor de la flecha en metros de las primeras estructuras.....	52
Tabla 8. Presión del viento con relación al diámetro de cable	54
Tabla 9. Elección de Span de fibra	55
Tabla 10. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (1) Organización, selección y traslado de materiales y/o herramientas	60
Tabla 11. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (2) Desplazamiento a la estructura eléctrica.....	61
Tabla 12. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (3) Traslado de la bobina de fibra óptica	62
Tabla 13. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (4) Tendido de la fibra óptica.....	63
Tabla 14. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (5) Escalamiento de estructura eléctrica AT/MT	64
Tabla 15. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (6) Instalación de Ferrería y otros.....	65
Tabla 16. Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (7) Realización de empalmes por fusión de la fibra óptica.....	66
Tabla 17. Costos aproximados de materiales, diseño e instalación.....	86
Tabla 18. Comparación técnico y/o económico financiero.	87
Tabla 19. Cantidad total de estructuras a emplear para el enlace F.O.	89
Tabla 20. Cantidad bobinas para el enlace de F.O.....	91

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la conexión a internet, la telefonía móvil está avanzando en los lugares más alejados, a pesar de los desafíos que presenta la accidentada geografía del Perú. La fibra óptica permite la transmisión de datos de alta velocidad, conexión de redes a grandes distancias denominadas troncales o backbone, es considerado un medio de comunicación confiable y seguro.

Telefónica con la finalidad de ampliar su red de cobertura ha solicitado a la Empresa Eléctrica Luz del Sur el servicio de alquiler de infraestructura eléctrica para la implementación de la red troncal de fibra óptica. En este informe se describe el diseño del enlace óptico utilizando Redes Eléctricas de Alta Media y Baja Tensión desde el distrito de San Mateo (Huarochirí) hasta Santa Anita (Lima) con una longitud aproximada de 89.543 Kilómetros, considerando las distancias mínimas de seguridad del Código Nacional de Electricidad. Para el proyecto se ha determinado el tipo de cable, longitud, vano, la flecha, tomando en cuenta los parámetros de viento, condiciones climáticas, efectos de campo eléctrico, el cuadro de identificación de peligros y evaluación de riesgos del proyecto, las mediciones reflectométricas y protocolos de validación para el enlace óptico.

La estructura del trabajo de investigación se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde la metodología del trabajo.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Según el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), en el Perú se requieren 7,145 antenas (estaciones base de telefonía móvil) hasta 2025, lo que implicará una inversión de 2,143 millones de dólares para cubrir el déficit. [1]

En las zonas más alejadas de la capital, todavía no hay cobertura de red móvil, internet por parte de operador Telefónica, tal es el caso de los algunos distritos de la provincia de Huarochirí. Los inconvenientes en despliegue de red de fibra óptica, la falta de inversión, la accidentada geografía como terrenos con pendientes pronunciadas, caída de rocas y deslizamiento de terrenos (Huaycos) y eventos climatológicos. En el 2016, OSIPTEL aplicó 174 multas a las empresas operadoras de telefonía móvil y fija, por interrupciones en el servicio y deficiente cobertura en las zonas más alejadas de la región de Lambayeque. [2]

Telefónica cuenta con una red troncal propia que se desplaza por la carretera central uniendo la capital con algunas ciudades de la sierra y la selva central del país. Esta red ha tenido inconvenientes de conectividad por la rotura de cable de fibra óptica en el tramo Matucana - Monterrico, que fue causado por eventos climatológicos de la corriente del niño costero en el 2017. Este evento afectó el servicio de internet y telefonía en las ciudades de Ayacucho, Pasco, Huánuco, Huancavelica, Junín y Ucayali. [3] En Chosica, por la carretera central quedó bloqueada por inmensos bloques de piedras y lodo. [4] Los postes de telecomunicaciones y postes de electricidad (baja tensión) fueron afectados por el huayco.

Una noticia según el diario Gestión, que el presidente de Telefónica anunció que en el periodo 2016-2020, invertirá cerca de US\$ 3,000 millones para ampliar su red de cobertura en todo el Perú y continuar con el esfuerzo de conectar a más peruanos con el mundo y para que puedan aprovechar plenamente las oportunidades que trae la digitalización. [5]

De manera que, Telefónica, mediante una solicitud a Luz del Sur pretende utilizar las Líneas de Transmisión de Alta, Media y Baja Tensión en el tramo desde San Mateo (límite de la Concesión Eléctrica de Luz del Sur) hasta el distrito de Santa Anita (Lima), para desplegar una nueva red de fibra óptica. Al parecer las estructuras eléctricas, por su ubicación y altura no presenta vulnerabilidad a los eventos naturales mencionados, sin embargo, no se sabe si es posible desplegar dicha red de fibra óptica ya que debe cumplir normas que establece el Código Nacional de Electricidad (CNE), para este fin se debe realizar un estudio por Luz del Sur de acuerdo a las necesidades del solicitante.

1.2 Justificación

En los últimos 20 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan en las telecomunicaciones como medio de transmisión de información a grandes velocidades. Presenta inmunidad a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor, por lo tanto, se convierte en un medio de comunicación altamente confiable y seguro.

La justificación a nivel empresarial en las Telecomunicaciones es la necesidad de la ampliación de una nueva red del operador y disminuir los problemas de tráfico de red, desconexiones por condiciones climáticas y la falta de cobertura del servicio de internet móvil que presenta en zonas alejadas.

En el sector eléctrico, el acuerdo para el uso compartido de infraestructura eléctrica y telecomunicaciones (según ley de acceso y uso compartido de infraestructura - Ley N° 29904) el beneficio de disminuir el costo de inversión de infraestructura propia por parte del Operador de Telecomunicaciones y el alquiler de infraestructura, el diseño y la implementación por parte de la Empresa Eléctrica.

La justificación a nivel profesional es aplicar los conocimientos, la experiencia adquirida en campo y que la propuesta del diseño sea el más óptimo para su posterior implementación del enlace de fibra óptica, capaz de soportar las necesidades de transporte de información y no presentar vulnerabilidad. También dar a conocer la correcta aplicación de las normas del CNE para instalación de cables de comunicación en infraestructura eléctrica.

1.3 Delimitación del Proyecto

1.3.1 Teórica

Los temas a tratar en el presente trabajo son: teoría de fibra óptica, cálculos de pérdidas, cálculos de vano y la flecha del cable de comunicación, normas técnicas para el diseño de un enlace de fibra óptica. Distancias mínimas de seguridad de acercamiento a una línea eléctrica energizada, siguiendo la normativa del Código Nacional de Electricidad.

1.3.2 Temporal

Comprende el periodo Enero – Agosto 2018.

1.3.3 Espacial

La ruta del diseño enlace de fibra óptica comprende desde San Mateo (Huarochirí) hasta Santa Anita (Lima).

Es importante precisar que el alcance del informe solo se limita al realizar el diseño del enlace de fibra óptica. Más no en los detalles de transmisiones de información, propagación de las señales, tampoco de la elección de equipos de comunicaciones.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General

¿De qué manera se puede disminuir los problemas de cobertura, las fallas y cortes de red móvil que actualmente sufre la operadora por los eventos naturales, climatológicos entre las zonas de San Mateo y Santa Anita?

1.4.2 Problemas específicos

¿Cuál será la ruta más favorable de conectividad entre San Mateo y Santa Anita que facilite la ampliación de cobertura del operador?

¿Qué parámetros son los adecuados en una conectividad de red de San Mateo a Santa Anita?

¿De qué manera afecta los eventos climatológicos y naturales en las zonas involucradas de San Mateo a Santa Anita?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un enlace de red troncal de fibra óptica entre San Mateo y Santa Anita usando infraestructura eléctrica AT MT BT para el operador de telecomunicaciones.

1.5.2 Objetivos específicos

- Validar la ruta de infraestructura eléctrica AT MT BT para el tendido de la red troncal de fibra óptica de San Mateo a Santa Anita.
- Realizar el análisis de las pérdidas del enlace de red troncal de fibra óptica.
- Identificar zonas vulnerables a eventos naturales o climatológicos en la ruta de tendido de fibra óptica.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

“PROYECTO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA EN PLANTA EXTERNA EN LA REGIÓN DE HUANCVELICA”, Universidad Nacional de Ingeniería, presentado por el Sr. Rodolfo Ciro Pomalaya Tacuri, Lima en el 2018.

El autor explica la metodología de instalación de fibra óptica en la Región de Huancavelica del enlace de Pilpichaca-Tambo que involucra red eléctrica y red vial, describe de forma amplia todos los procedimientos que se requiere en trabajos de planta externa. En enlace de fibra óptica forma parte de la construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) que concluye en lograr integrar las 21 regiones de Huancavelica enmarcadas por el proyecto del MTC. Permitir al lector tener una referencia de cómo se realiza una instalación de fibra óptica en planta externa en redes eléctricas.

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMA COMPARTIDO CON LÍNEA DE ENERGÍA PARA UN CAMPAMENTO MINERO EN ETAPA PRE-OPERATIVA”, Universidad Nacional de Ingeniería, presentado por el Sr. Víctor Martín Celis Chávez, Lima en el 2011.

El autor describe la implementación de una backbone de fibra óptica utilizando estructura de la línea eléctrica de alta tensión (60KVA) para el campamento minero situado en Sechura. Hace una descripción de la metodología en la instalación de postes, el tendido aéreo de la fibra óptica. Durante la instalación las normas que deben cumplir, los factores a considerar como el viento temperatura, etc. Describe la altura de instalación del cable, el control de calidad. Concluyendo que su implementación fue realizada dentro de los parámetros exigidos por el cliente. El trazado del tendido de fibra óptica tomo en consideración la ruta del oleoducto Norperuano, utilizaron tablas provista por el fabricante, sus resultados en las pruebas fueron las esperadas.

“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA ENTRE DESAGUADERO Y MOQUEGUA”, Universidad Nacional de Ingeniería, presentado por el Sr. Edwin Gabriel Gutiérrez Villagómez, Lima en el 2014.

El autor realiza un estudio a nivel de sistema que contempla la arquitectura lógico y físico empleando todos los parámetros a nivel de costos de inversión, tecnología utilizada y un análisis de proyección de la red en la zona sur del Perú frontera con Bolivia.

Según el estudio para el diseño, el tramo de fibra a diseñar corresponde a 250 Km punto a punto de las dos ciudades Moquegua y desaguadero cuyo objetivo es brindar una alternativa técnicamente viable de transporte internacional de datos para Bolivia para incrementar la oferta de alquiler de líneas de interconexión, de ese modo generar un entorno más competitivo en la frontera para el beneficio del país sureño reduciendo el costo de Megabit y asegurar cubrir una demanda en los próximos años de capacidad de banda ancha internacional.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Propagación de la luz.

Tomasi (2003) refiere que para estudiar la propagación de la luz en medios transparentes se describen dos fenómenos la reflexión y la refracción.

2.2.1.1 La reflexión.

Es el cambio de trayectoria que experimenta un haz de luz al incidir en una superficie reflectora (Tomasi, 2003).

2.2.1.2 La refracción.

Es el cambio de dirección que experimenta un haz al cambiar de un medio de propagación a otro (Tomasi, 2003).

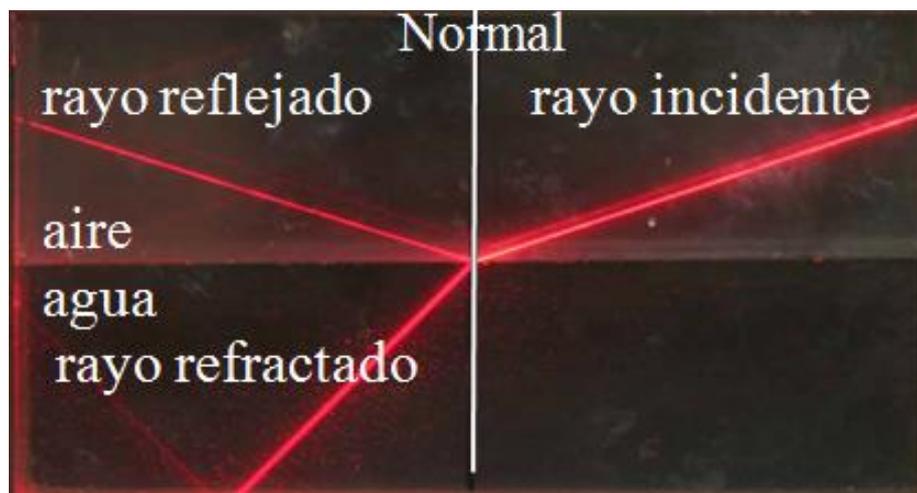


Figura 1. Reflexión y Refracción de la luz

Fuente: <http://www.heurema.com/PDF42.htm>

2.2.2 Leyes de la reflexión.

El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado, están en el mismo plano. El ángulo de incidencia, θ_i , es igual al ángulo de reflexión θ_r (Tomasi, 2003).

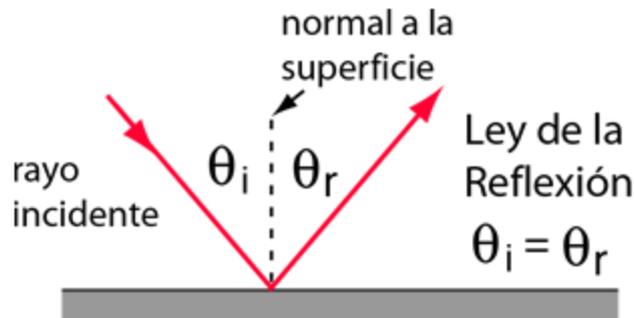


Figura 2. Ley de la reflexión

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/Fermat.html>

2.2.3 Leyes de la refracción.

Un rayo de luz al pasar de un material de determinada densidad a un material menos denso, el rayo de luz no se dobla, sino que cambia de dirección en la interfaz (Tomasi, 2003).

Tomasi (2003) refiere que el rayo incidente, la normal, el rayo reflejado y el rayo refractado están en el mismo plano. El ángulo de incidencia, θ_1 , y el ángulo de refracción, θ_2 , están relacionados por:

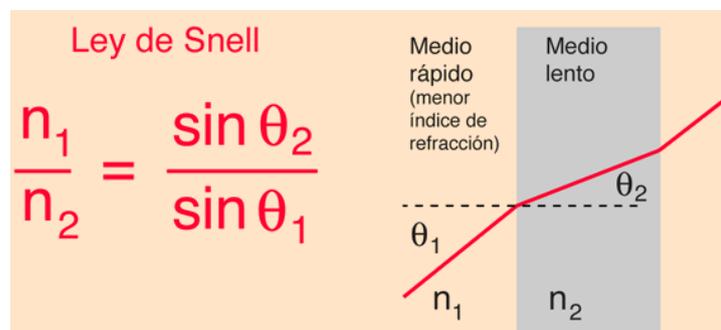


Figura 3. Ley de Snell

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/geoopt/refr.html>

2.2.4 Fibra óptica.

La fibra óptica es una guía de onda en forma de hilo de material altamente transparente diseñado para transmitir información a grandes distancias utilizando señales ópticas (Pierri, 2010).

Tomasi (2003) refiere que la fibra óptica es un cable construido de material de vidrio o plástico transparente que se emplea para guiar las ondas luminosas, su diámetro es muy fino parecido al de un cabello. El cable de fibra está conformado por un núcleo (donde se propaga la luz), un revestimiento (envuelve e impide que salga la luz del núcleo) y una cubierta (protege al núcleo).

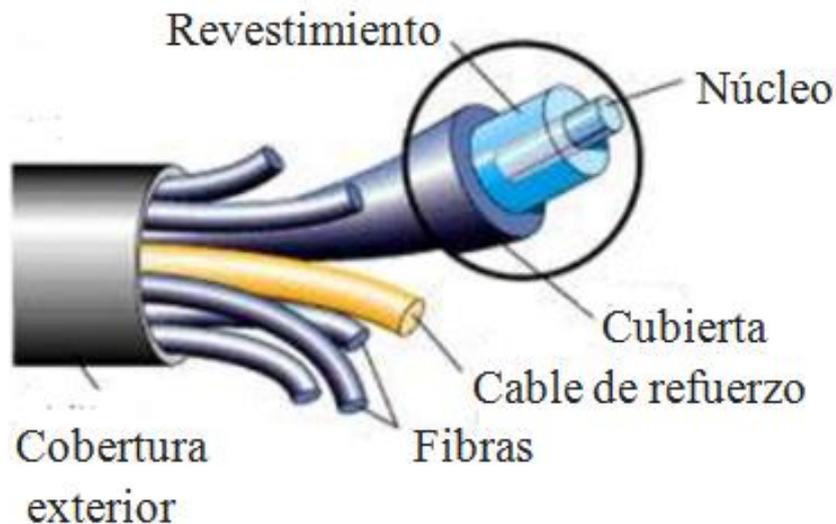


Figura 4. Partes de la fibra óptica

Fuente: <http://www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/fibras.html>

2.2.5 Principios de funcionamiento.

Para la transmisión de información por medio de fibra óptica se utilizan dispositivos emisores que pueden ser LED y LASER de material semiconductor. La onda de luz incide en el núcleo de la fibra y se transmite por reflexión hasta llegar al dispositivo receptor conformado por el diodo LED o PIN (tipo p-tipo n intrínseco) y los APD denominado fotodiodo de avalancha (Tomasi, 2003).

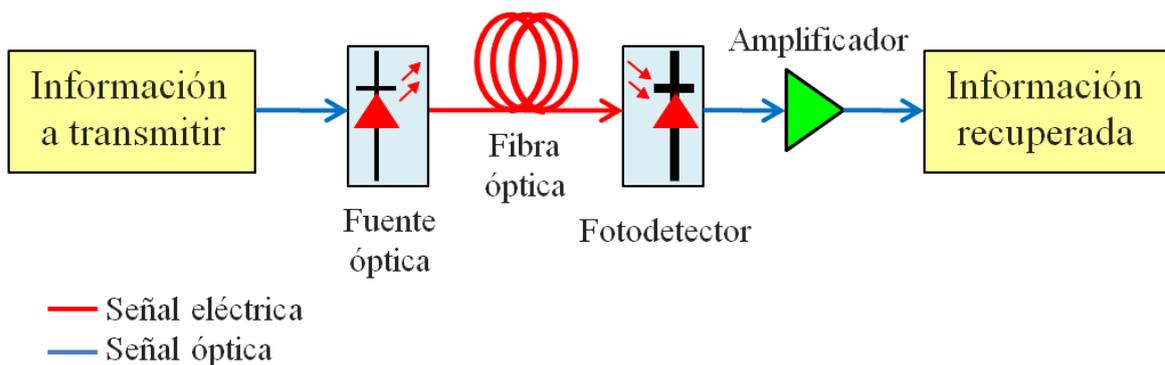


Figura 5. Esquema básico de un sistema de comunicación óptica

Fuente <http://saberesciencias.com.mx/2015/09/02/el-uso-de-la-luz-en-un-sistema-de-comunicacion-optico/>

2.2.6 Modos de propagación de la fibra óptica.

2.2.6.1 Fibra monomodo.

Tiene un núcleo de 9 micrones y la cubierta de 125 micrones de diámetro, la fuente de luz normalmente es LASER, se propaga de un solo modo y es empleado en longitudes largas (Tomasi, 2003).

Gallardo (2015) refiere que las redes troncales de larga distancia son una de las aplicaciones más comunes de las fibras monomodo, estas sirven para conectar una o varias localidades y generalmente nos podemos referir a ellas como redes dorsales o su equivalente en inglés: backbone.



Figura 6. Fibra Monomodo (SM)

Fuente: <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>

2.2.6.2 Fibra multimodo.

La fibra multimodo tiene un núcleo de 50 ó 62.5 micrones y la cubierta de 125 micrones de diámetro. La fuente de luz es un LED, se propaga en varios modos de luz (Tomasi, 2003).

Chomycs (2002) refiere que la fibra multimodo se usa comúnmente en aplicaciones de red de corta distancia (pocos kilómetros). La electrónica del equipo es más barata. Su uso se puede referir a las redes fibra hasta el hogar o su equivalente del inglés: fiber to the home (FTTH).



Figura 7. Fibra Multimodo (MM)

Fuente: <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>

2.2.7 Pérdida o atenuación.

La atenuación tiene varios efectos negativos sobre el funcionamiento, que incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema (Tomasi, 2003).

La atenuación se define como la relación entre la potencia luminosa a la salida y de entrada, expresada en decibel (Briceño, 2005). La notación matemática se expresa a continuación:

$$A_{(dB)} = 10 \log \left(\frac{P_S}{P_E} \right), \quad (\text{Briceño, 2005})$$

Siendo:

P_S Potencia de salida en Watts

P_E Potencia de entrada en Watts

En la figura se muestra la atenuación en cada una de las ventanas ópticas

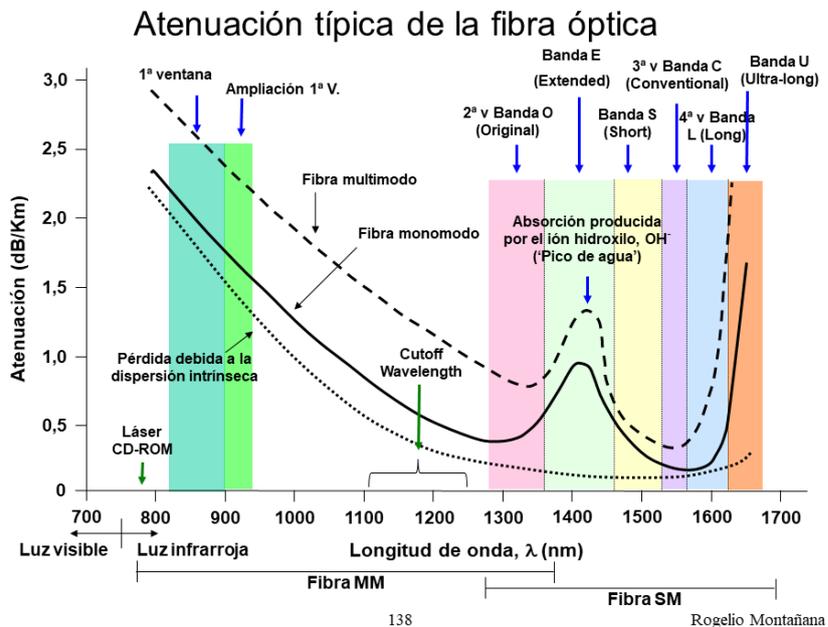


Figura 8. Atenuación típica de la fibra. Longitud de onda vs Atenuación.

Fuente: https://www.aulaclic.es/redes/secuencias/p02_04_05_atenuacion.htm

Tabla 1.

Cuadro de pérdidas intrínsecas y extrínsecas.

	Tipos de pérdidas	Causas
Pérdidas extrínsecas	Macrocurvatura	Cuando se curvan demasiado, que puede ser por instalación, se especifica un radio mínimo de curvatura con relación al diámetro del cable.
	Microcurvatura	Las pequeñas fisuras en el núcleo puede ser causado por deformación de fabricación o de instalación, también por cambios de temperatura cable
	Empalmes, conectores	Las diferencias en los núcleos, ángulo después del empalme, el tipo de conector óptico.
Pérdidas intrínsecas	Absorción	Rayos UV, rayos IR, absorción de OH y las impurezas en el núcleo
	Dispersión "Rayleigh scattering"	Los rayos de luz se reflejan en todas las direcciones

Fuente: Rec. UIT-T L.26

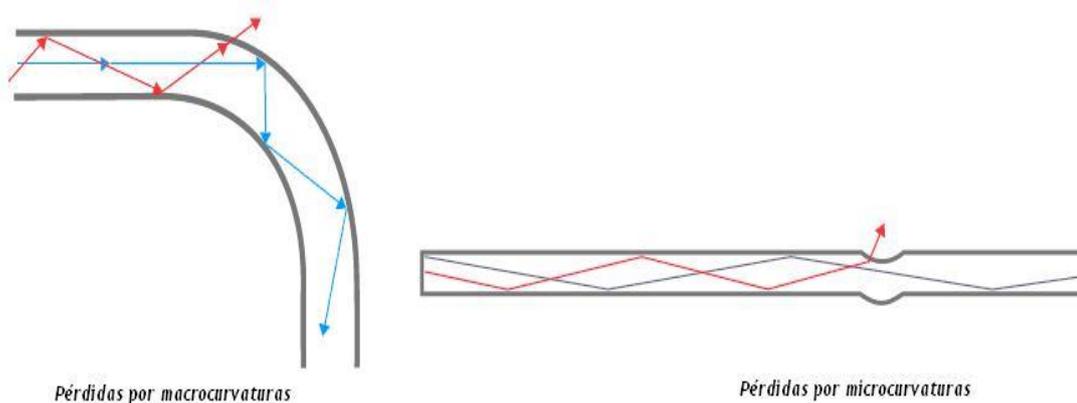


Figura 9. Pérdida por Macrocurvatura y Microcurvaturas

Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>

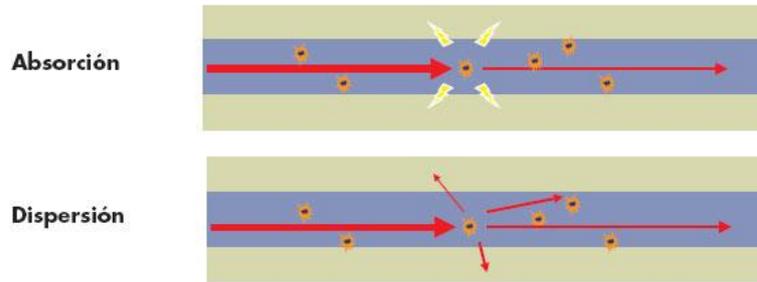


Figura 10. Pérdida por Absorción y Dispersión

Fuente: https://www.siemon.com/la/white_papers/08-03-03-light-it-up.asp

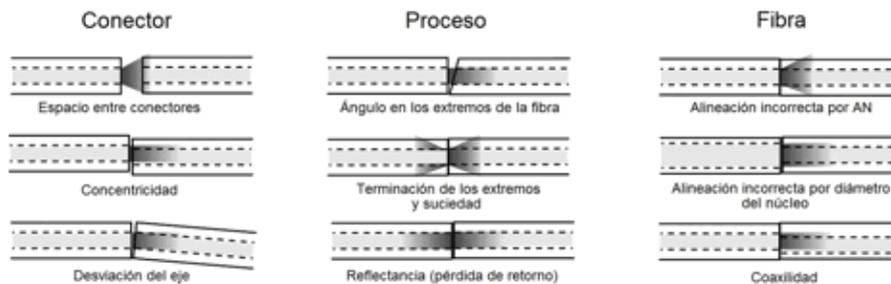


Figura 11. Pérdida por conector

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>

2.2.8 Topología de red.

Las topologías de red se pueden clasificar como topologías lógicas o físicas. Una topología lógica se puede describir como el método por el cual se comunica unos con otros los nodos de red. Una topología física es el trazado real físico del cableado y de los nodos en la red (Chomycs, 2002).

2.2.9 Topologías lógicas.

Chomycs (2002) refiere que hay cuatro topologías lógicas estándar.

- Punto a punto (Point to Point)
- En estrella (Star)
- En enlace común (Bus)
- En anillo (Ring)

2.2.10 Planta externa.

La planta externa hace referencia a la red de fibra que se encuentra fuera de un edificio, puede estar instalado en postes, atravesar ductos subterráneos, también sumergido bajo el agua (Cabezas, 2007).

2.2.11 Tendido aéreo.

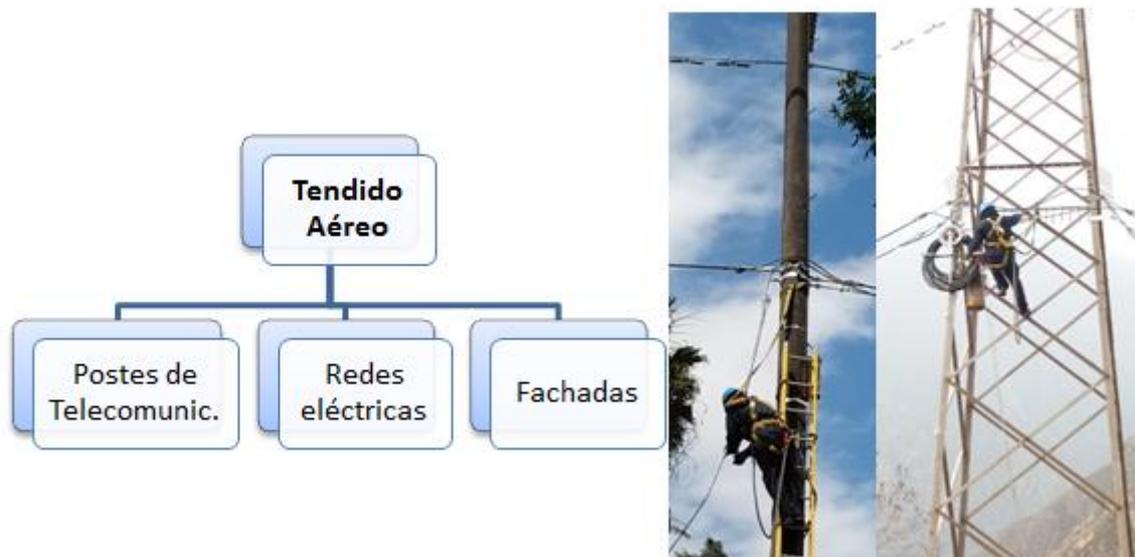


Figura 12. Tendido aéreo, los más empleados para fibra óptica son postes de telecomunicaciones, redes eléctricas (postes y torres) y el canalizado.

Fuente: Elaboración propia

Elementos de tendido aéreo:

- Cable de comunicación (Fibra óptica)
- Postes
- Ferretería (herraje de retención, suspensión, abrazadera)
- Caja de empalmes
- Gabinete óptico - ODF (Optical Distribution Frame)

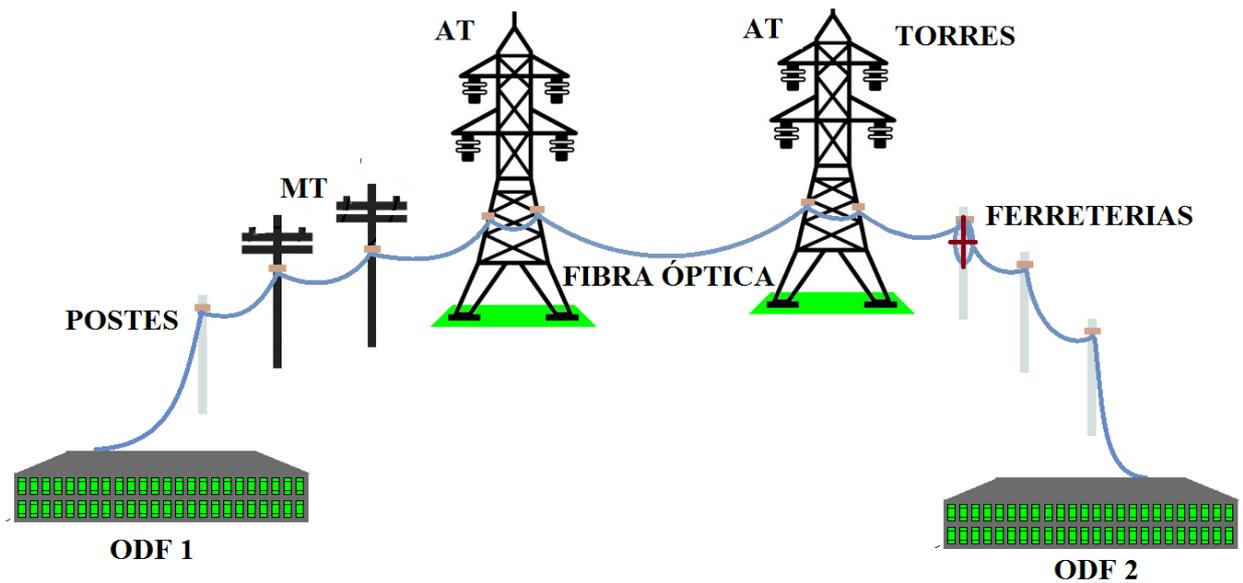


Figura 13. Elementos de Panta Externa de F.O.

Fuente: Elaboración propia

2.2.11.1 Fibra óptica ADSS.

El cable empleado en el tendido aéreo es la fibra óptica ADSS (All Dielectric Self Supported), es completamente dieléctrico y autoportado, estos cables no se ven afectados por los campos electromagnéticos, además de ofrecer una resistencia a la tracción y tener peso muy ligero. Puede contener en su interior 12, 24, 48 y 96 hilos de fibra, peso aproximado entre 115-171 kg/km, soportas altas y bajas temperaturas (Telnet, 2019).

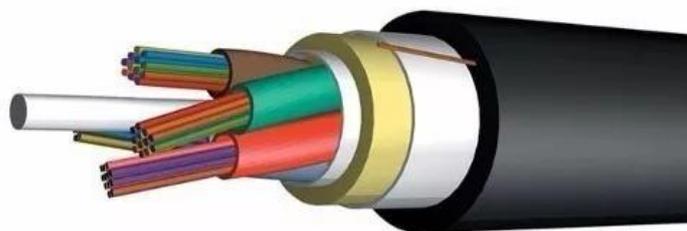


Figura 14. Fibra óptica ADSS

Fuente: www.provetel.com.ar/tienda/fibra-y-accesorios/fibra-adss-24fo-bobina-de-2km

2.2.11.2 Postes y torres.

Son elementos de soporte de cables eléctricos o de comunicación, en el caso de los postes son construidos de concreto armado centrifugado, también de madera tratada y son utilizados para líneas eléctricas en zonas alejadas (de alta y media tensión) las torres son estructuras de gran altura, normalmente construida de acero soportan conductores eléctricos de alta tensión. (Luz del Sur, 2018)



Figura 15. Postes y torres, utilizados en tendido aéreo de fibra óptica

Fuente: Elaboración propia

2.2.11.3 Ferretería (herraje de retención, suspensión, abrazadera).

Son accesorios que sirve para la fijación del cable de comunicación en los postes. Los herrajes de retención y suspensión dependen del diámetro del cable ADSS y el span (vano) que va soportar (Chec, 2018).

Los amortiguadores que son utilizados en vanos largos mayores a 100 metros, es utilizado para atenuar las vibraciones eólicas que puede producir daños al cable ADSS y herrajes (PLP Brasil, 2016).



Figura 16. Ferretería para fibra óptica ADSS

Fuente: Elaboración propia

2.2.11.4 Atenuador de efecto corona.

El atenuador de efecto corona (corona coil) fue proyectado para reducir los efectos eléctricos en las puntas de las varillas metálicas de protección de anclaje y suspensión para cables de fibra óptica. Cuando los cables ADSS se instalan cercanos a las líneas de transmisión están sometidos al campo eléctrico, el cual podrá dañar la capa externa del cable. La corona coil se instala sobre los extremos de las varillas de protección o de suspensión (PLP Brasil, 2016).



Figura 17. Corona Coil aplicada en el Conjunto de Retención

Fuente (PLP Brasil, 2016)

2.2.11.5 Cruceta.

Este tipo de ferretería es utilizado para el almacenamiento de la reserva del cable de fibra óptica a lo largo del tendido (Chec, 2018).



Figura 18. Cruceta

Fuente: (PLP Brasil, 2016).

2.2.11.6 Caja de empalmes.

Es una caja que sirve para proteger los empalmes de fibra óptica de agentes externos como agua, vapor, polvo, entre otros (PLP Brasil, 2016).



Figura 19. Caja de empalme

Fuente: (PLP Brasil, 2016).

2.2.11.7 Gabinete óptico.

Es un distribuidor de fibra óptica (ODF), sirve para realizar interconexiones de redes de planta externa, integrado de empalmes de fibra, terminaciones de fibra y conectores (Chec, 2018).



Figura 20. ODF (Optical Distribution Frame)

Fuente: (PLP Brasil, 2016).

2.2.12 Las variables para tendido aéreo.

2.2.12.1 Vano.

Es la distancia máxima entre apoyos (postes, torres) que se va a tener en el enlace (Telnet, 2019).

2.2.12.2 Flecha.

Es que tanta catenaria puede tener el cable, esta variable es muy estable en ciudad el estándar de la flecha es 1.5% (Chec, 2018).

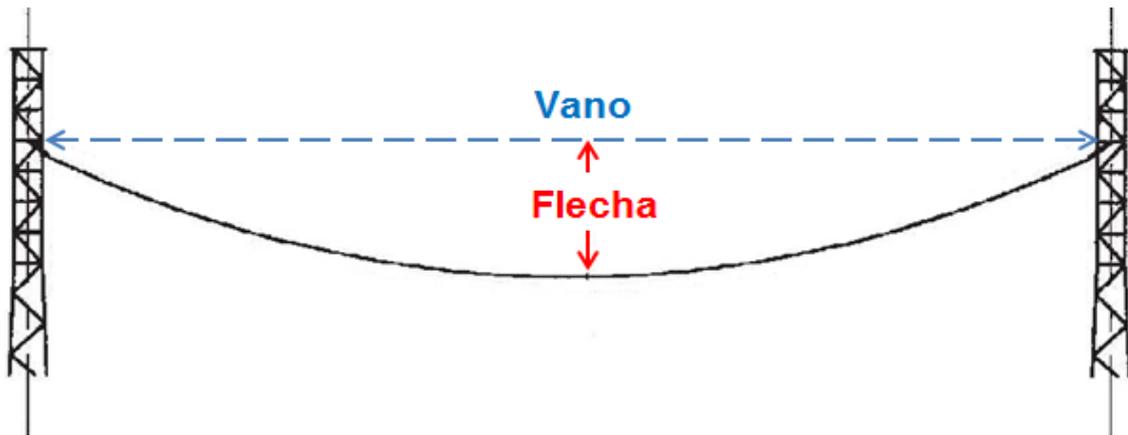


Figura 21. Vano y Flecha de un enlace.

Fuente: Elaboración propia

2.2.12.3 El efecto galope por acción del viento.

Solo aplica para instalación sobre torres de energía y vanos largos, ya que se presenta vibraciones del cable por efecto del viento (Huamaní , 2017).

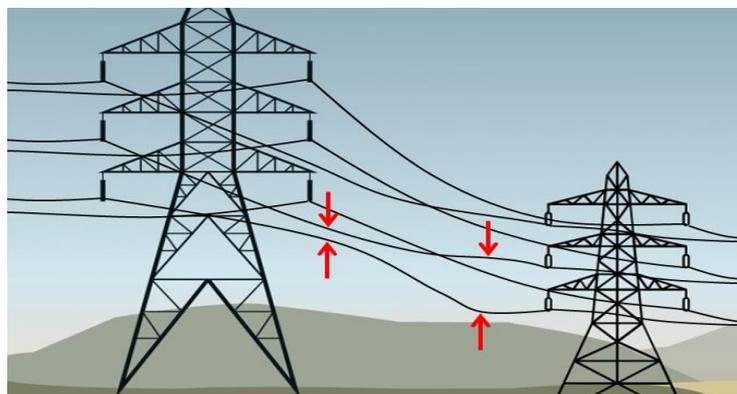


Figura 22. El efecto galope por acción del viento

Fuente: Elaboración propia

2.2.12.4 Campo Eléctrico asociado.

La exposición del cable al potencial eléctrico generado por la línea de transmisión de energía, sumada al efecto de intemperies como la lluvia, radiación

solar y la contaminación del ambiente, resulta en el surgimiento de regiones conductoras en la superficie de los cables ópticos. Este fenómeno se denomina Efecto Tracking (Furukawa, 2016).

Furukawa (2016) refiere que para evitar los efectos nocivos del fenómeno, es necesario utilizar materiales de cubierta “anti-tracking” en los cables ópticos ADSS instalados en locales de potencial eléctrico igual o superior a 12kV.

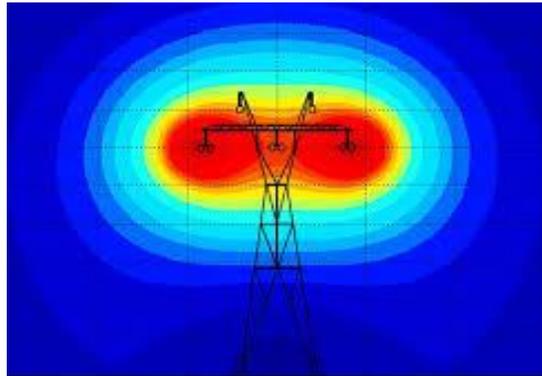


Figura 23. Campo eléctrico generado por la línea de alta tensión.

Fuente (Furukawa, 2016)

2.2.13 Normas y estándares para fibra óptica

UIT (Unión Internacional de telecomunicaciones) Es el órgano especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. UIT-T (Sector de Normalización de las telecomunicaciones de la UIT).

Las normas que recomienda la UIT-T para tendido aéreo de fibra óptica son:

- UIT-T Rec. L.12 Empalmes de fibra óptica
- UIT-T Rec. L.26 Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas.
- UIT-T Rec. L.56 Instalación de cables de fibra óptica a lo largo de las vías ferroviarias.
- UIT-T Rec. G.652 Características de un cable de fibra óptica monomodo.

2.2.14 Normas eléctricas

El Código Nacional de Electricidad establece las reglas preventivas que permite proteger a las personas (de la empresa eléctrica, contratistas o terceros) y las instalaciones durante la ejecución de trabajos eléctricos y de comunicaciones cuidando de no afectar propiedad privada, pública, el ambiente, ni el patrimonio de la nación (CNE, 2011).

2.2.15 Distancias mínimas de seguridad

Todo personal técnico que va realizar trabajos en infraestructura eléctrica (postes o torres) debe contar con una capacitación en seguridad y riesgo eléctrico, conocimiento de las normas de distancias mínimas de seguridad (DMS) para cuidar su integridad y de los demás (Luz del Sur, 2018).

CNE (2011) refiere que para los trabajos de instalación de fibra óptica en infraestructura eléctrica de alta, media y baja tensión se debe cumplir con la distancia de los niveles de tensión que se describe en la tabla 2.

Tabla 2.

Niveles de Tensión y distancia mínima de seguridad (DMS) para cables de comunicación y personal técnico con EPP.

Distancias mínimas de seguridad DMS (metros)				
Acercamiento	B.T	M.T	A.T.	
Cable de comunicación / Personal técnico con EPP	0.60	1.80	2.50	4.50

Fuente (CNE, 2011)



Figura 24. Distancia mínima de seguridad para personal técnico.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se detalla la altura que debe cumplir los cables eléctricos y cables de comunicación con respecto al piso en cruce de avenidas, calles, vía de ferrocarril, a lo largo de avenidas y calles (CNE, 2011).

Tabla 3.

Distancia mínima de seguridad vertical para cables eléctricos y cables de comunicación.

Distancias mínimas de seguridad DMS (metros)					
	F.O.	B.T	M.T	A.T.	
Acercamiento		0.22KV	10KV - 22.9KV	60KV	220KV
Cruce de calles	5.50	5.50	6.50	7.60	8.50
Cruce de avenidas	6.50	6.50	7.00	7.60	8.50
Largo de calle	5.00	5.00	6.00	7.00	8.50
Largo de avenida	5.50	5.50	6.50	7.00	8.50
Cruce vía de ferrocarril	7.30	7.30	8.00	9.40	11.00

Fuente: (CNE, 2011)

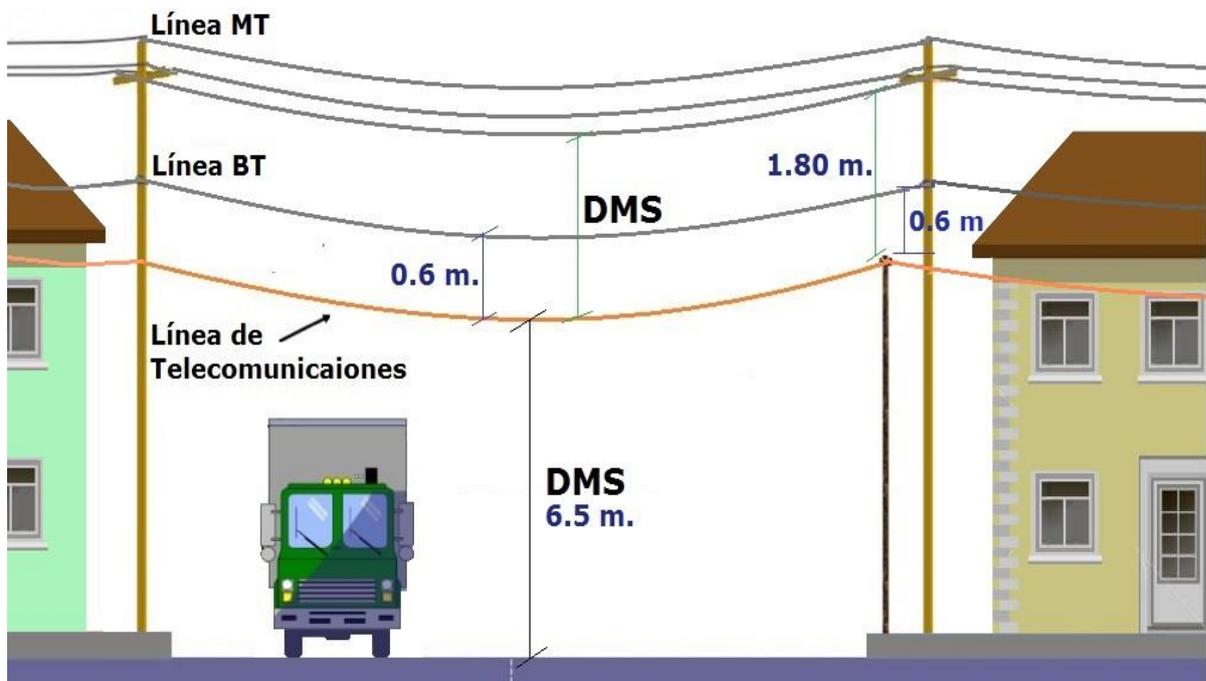


Figura 25. Distancia mínima de seguridad en redes MT, BT y de telecomunicaciones

Fuente Elaboración propia

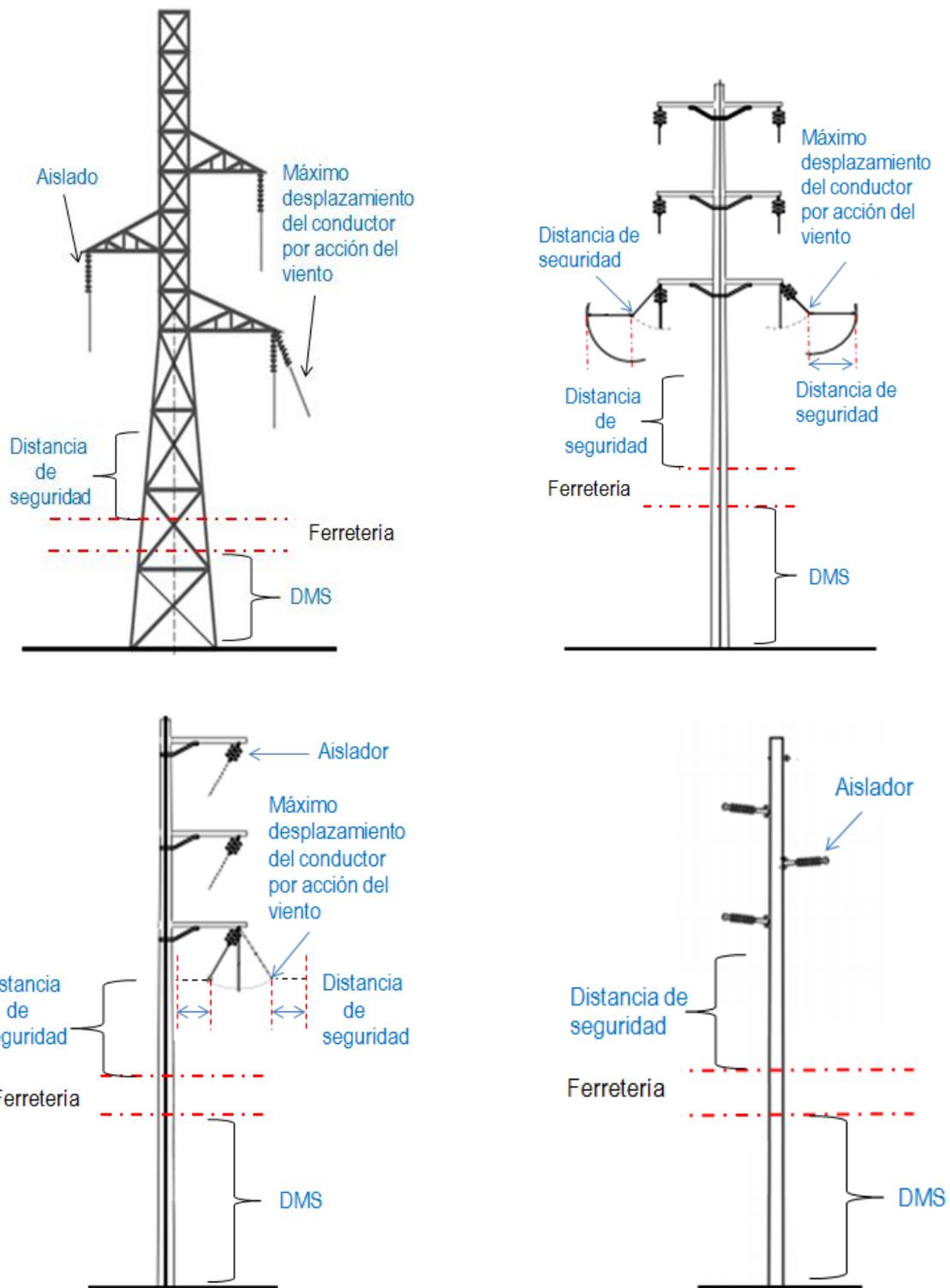


Figura 26. Estructura eléctricas de alta media tensión. Descripción y zonas de instalación de ferretería considerando la DMS.

Fuente Elaboración propia

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Metodología para la solución del problema

En el presente capítulo se va a desarrollar la solución al diseño de enlace de red troncal de fibra óptica San Mateo - Santa Anita en infraestructura eléctrica de alta media y baja tensión para la empresa telefónica.

Antes de iniciar el estudio del proyecto en campo, se realizó la ubicación geográfica de la infraestructura eléctrica, obtener datos históricos de las condiciones climáticas de la zona a inspeccionar.

Se preparó los mapas guía del área de concesión de Luz del Sur, cuadros, formato, plantillas para la recopilación de información como características de la infraestructura.

La preparación de herramientas y elementos de protección, movilidad, entre otros.

Posterior a la inspección en campo y recopilación de información en las plantillas de catastro se trabajó en gabinete para graficar el enlace en el mapa con ayuda de la aplicación Google Earth. Los cálculos de vano, flecha, número de bobinas, la elección de ferretería.

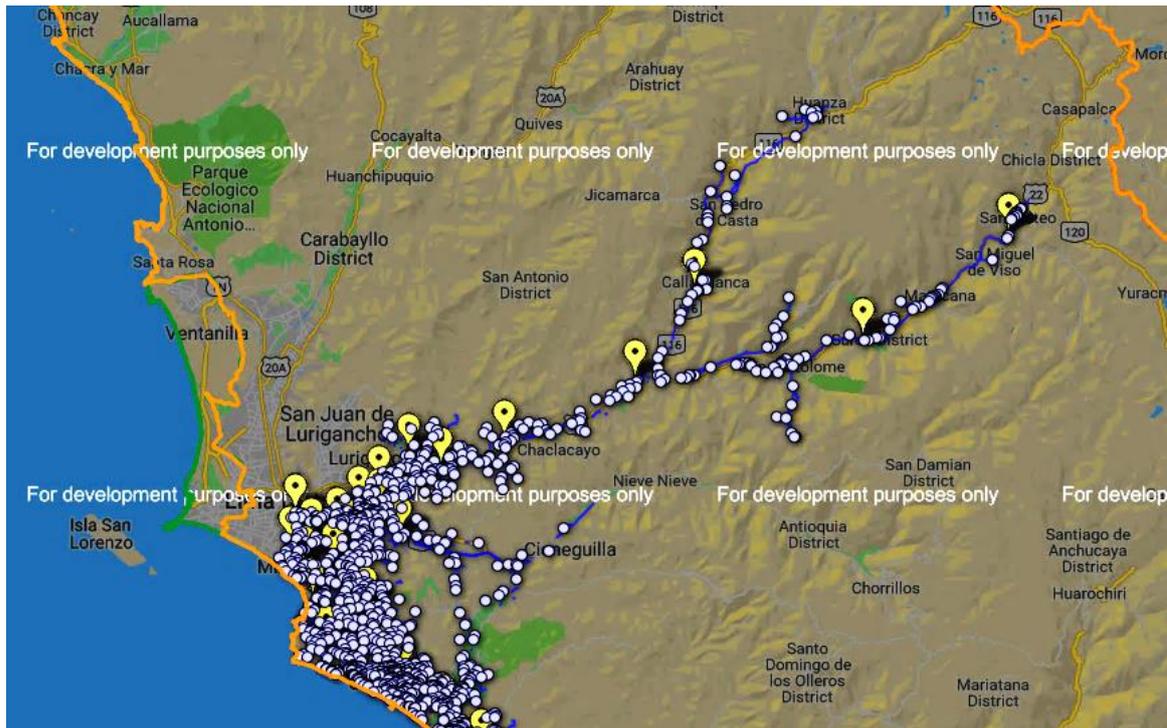


Figura 28. Mapa de Red MT, Subestaciones de Transmisión AT/MT y Subestaciones de Distribución MT/BT de Luz del Sur en la zona Este y centro de Lima.

Fuente (Osinermin, 2019)

3.1.2 Ubicación de la ruta de enlace troncal de fibra óptica.



Figura 29. Ubicación Inicio (San Mateo) y Fin (Santa Anita) de la ruta de enlace troncal de fibra óptica

Fuente: Google Earth elaboración propia

3.1.3 Condiciones climatológicas y topográficas.

Huarocharí es una provincia de departamento de Lima, ubicada en la zona Este. Su terreno es quebrado y su altitud puede sobrepasar los tres mil metros como parte de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes. Los meses de lluvia son de Diciembre a Marzo (Marzo es el mes más lluvioso con una precipitación aproximada de 86 mm), con temperatura media de 11° C. a continuación se detalla en un cuadro los datos históricos del clima y lluvia durante todo el año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	10.9	11	10.7	10.3	9.1	8.1	7.7	8.3	9	9.8	10	10.2
Temperatura mín. (°C)	4.9	5.3	4.7	3.6	1.7	0	-0.6	0.1	1.6	2.8	2.9	3.4
Temperatura máx. (°C)	16.9	16.8	16.8	17.1	16.6	16.2	16	16.5	16.5	16.8	17.2	17.1
Temperatura media (°F)	51.6	51.8	51.3	50.5	48.4	46.6	45.9	46.9	48.2	49.6	50.0	50.4
Temperatura mín. (°F)	40.8	41.5	40.5	38.5	35.1	32.0	30.9	32.2	34.9	37.0	37.2	38.1
Temperatura máx. (°F)	62.4	62.2	62.2	62.8	61.9	61.2	60.8	61.7	61.7	62.2	63.0	62.8
Precipitación (mm)	57	64	86	18	3	0	0	0	2	6	8	26

Figura 30. Clima y datos históricos del tiempo Huarochirí

Fuente: <https://es.climate-data.org/americadel-sur/peru/lima/huarochiri-765123/>

La ruta de enlace pasará por los distritos de San Mateo, Matucana, Surco, Santa cruz de Cocachacra y Ricardo palma (Todos los distritos las estructuras de alta y media tensión se encuentra en zonas de camino de difícil acceso a los cerros).

3.1.4 Trabajos preliminares.

Se efectuó el análisis de la zona geográfica, condiciones climáticas, ríos, la ubicación de zonas críticas por inundaciones y huaycos empleando la aplicación de Google Earth.

La preparación de mapas de las redes eléctricas de transmisión y distribución de alta, media y baja tensión y el trazo inicial para el enlace, los formatos catastro ruta de inspección, binoculares, equipos de protección personal, equipos de comunicación, GPS, Kit de contingencia, pértiga de medición, medidor Laser y movilidad.

3.1.5 Inspección en campo.

En la etapa de inspección de campo, para la calificación de Apto a las estructuras se aplicó procedimientos y normas de las distancias mínimas de seguridad (DMS) detallados en capítulo anterior. La línea de vista para un enlace, cambios de dirección, estado de la estructura eléctrica y los posibles riesgos que puede presentarse en una futura instalación de tendido de fibra. En la inspección se procedió a tomar la ubicación de la estructura eléctrica y los postes proyectados (coordenadas geográficas con el GPS) y fotografías de la estructura y fotos panorámicas.

En las inspección de un estructura eléctrica al no cumplir la DMS, se proyecta un poste denominado (PP - Poste Proyectado), este poste debe cumplir la DMS (separación horizontal) con la estructura de alta y/o media tensión.

Según norma de Luz del Sur, la unión o empalme de dos fibras ópticas, se debe realizar en PP - Poste Proyectado, ninguna Mufa o caja de empalme debe estar instalada en una estructura eléctrica.

3.1.6 Elaboración del plano en kmz.

En esta etapa se utilizó el software de aplicación Google Earth, en esta herramienta se realizó la importación de la data de coordenadas del GPS recopiladas en campo.

El nodo inicial es en el distrito de Santa Mateo (Huarochirí), donde empieza la concesión de luz del Sur y el nodo final es en el distrito de Santa Anita (Lima).

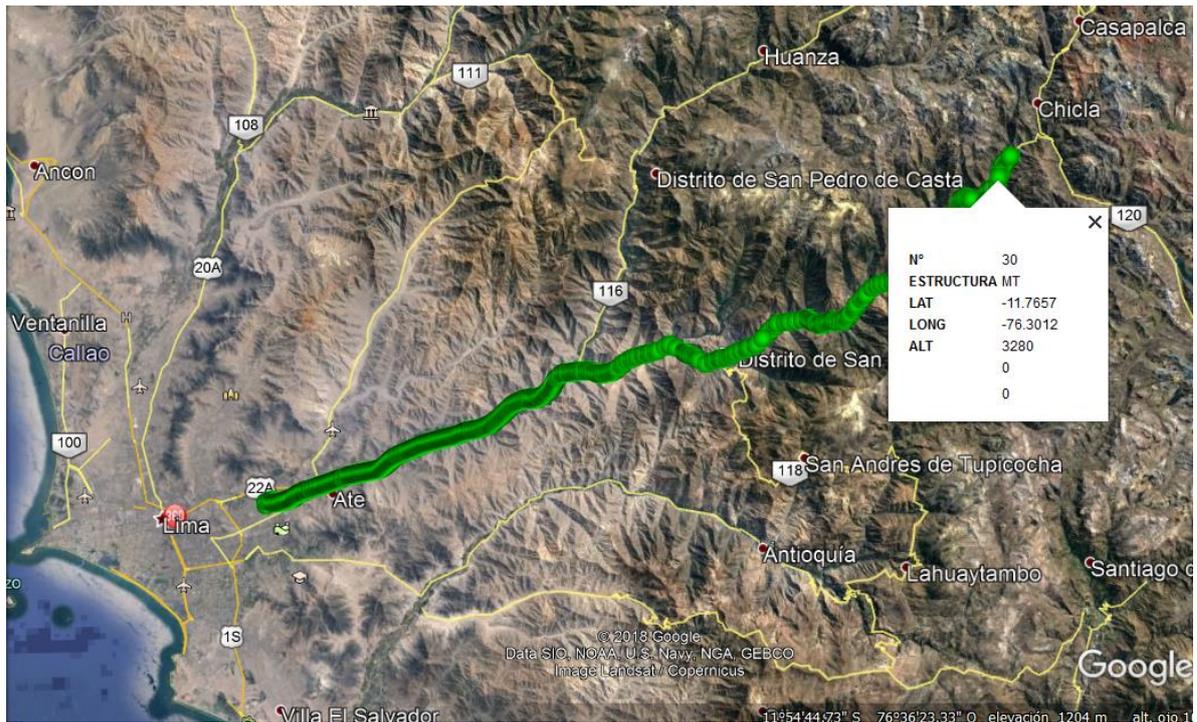


Figura 31. Plano KMZ del Diseño enlace de red troncal de fibra óptica San Mateo - Santa Anita.

Fuente: Google Earth elaboración propia

Como se observa en la figura La altitud en el poste MT N° 30 está ubicado aproximadamente a 3280 msnm. Camino accidentado hacia la estructura, detectando zonas de riesgos para la instalación el vano es aproximadamente de 800 metros, este tramo cruza al cerro del frente, la estructura de media tensión se ubica en una pendiente pronunciada involucrado en el cruce de ferrocarril, cruce del río y cruce de la carretera central.

Desde los distritos de San Mateo hasta Ricardo palma cerca de Corcona, Se puede calificar como ruta de alto riesgo para la ejecución de proyecto. Se consideró la ruta para su posterior análisis y control de riesgos.

3.1.7 Selección del tipo de cable.

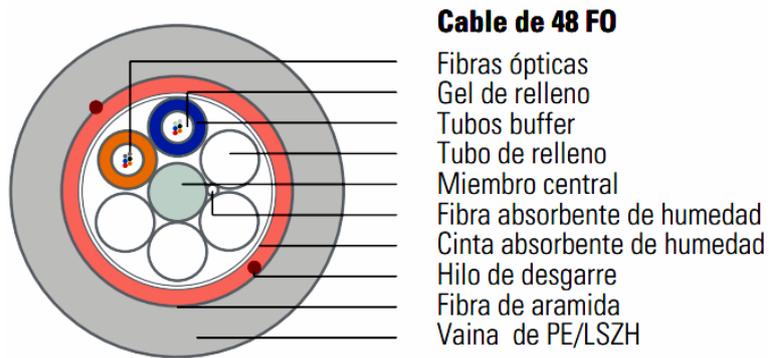
Según UIT REC- L.26 para diseñar un cable en tendido aéreo es necesario conocer el vano, la flecha, el viento y la carga del hielo.

Tabla 4.

Tabla comparativa de cables de Fibra Óptica

Tabla comparativa de cables			
Características	ADSS	OPGW	LASHED
Confiabilidad	Alta	Alta	Baja
Independencia de pararrayo	Total	Total	Ninguna
Sobrecarga Estructural	Pequeña	Razonable	Pequeña
Instalación en sistema nuevo	Simple	Simple	Media
Instalación en sistema existente	Simple	Compleja	Compleja
Trabajo con tensión enganchada	Simple	Compleja	Compleja
Facilidad de Mantenimiento	Fácil	Difícil	Difícil
Costo del producto	Bajo	Alto	Bajo
Costo de instalación	Bajo	Alto	Muy alto
Costo total del sistema	Bajo	Alto	Alto
Transferencia de esfuerzos para fibras con el tiempo	Bajo	Medio	Alto
Acceso a fibras ópticas	Fácil	Difícil	Fácil

Fuente: <http://odont.info/instalacion-de-fibra-optica-introduccion.html>



Identificación de color

- | | |
|------------|-------------|
| 1. Azul | 7. Rojo |
| 2. Naranja | 8. Negro |
| 3. Verde | 9. Amarillo |
| 4. Marrón | 10. Violeta |
| 5. Gris | 11. Rosa |
| 6. Blanco | 12. Celeste |

Figura 32. Partes de cable de fibra óptica ADSS y la identificación de colores.

Fuente: <http://www.fibromarket.com/files2015/catalogo.pdf>

Características mecánicas

Temperatura de almacenamiento: -40 to + 80C7 // Temperatura operativa: -30 to + 70 C°

Cant. Fibra	Nro. Parte LSC	Diámetro exterior Nominal		Peso Nominal		Carga de aplastamiento				Radio de curvatura min.			
		[mm]	[pulgada]	[kg/km]	[pb/1000ft]	(corto plazo)		(largo plazo)		Cargado		Instalado	
						[N/cm]	[pb/pulgada]	[N/cm]	[pb/pulgada]	[cm]	[pulg.]	[cm]	[pulg.]
6	LS09ADSS006-S100	11.3	0.44	96	64	220	125	110	63	22.6	8.90	11.3	4.45
12	LS09ADSS012-S100	11.3	0.44	96	64	220	125	110	63	22.6	8.90	11.3	4.45
24	LS09ADSS024-S100	11.3	0.44	96	64	220	125	110	63	22.6	8.90	11.3	4.45
36	LS09ADSS036-S100	11.3	0.44	96	64	220	125	110	63	22.6	8.90	11.3	4.45
48	LS09ADSS048-S100	12.0	0.47	105	70	220	125	110	63	24.0	9.45	12.0	4.72
72	LS09ADSS072-S100	12.0	0.47	105	70	220	125	110	63	24.0	9.45	12.0	4.72

Rendimiento en transmisión

Atenuación máx.	(dB/km)	0.35/025
Dispersión máx.	(ps/nm-km)	3.5/18
PMD máx.	(ps/V km)	0.2
Diámetro de campo máx.	(µm)	9.2 ± 0.4/10St10

Presentación

Longitud de bobina estándar	4000m
-----------------------------	-------

Estimación de cargas/vanos

Ítems		Unidad	Estimación de carga ligera	
Cantidad de fibras ópticas			6-36	48-72
Instalación	Carga vano	kg(lb) m(1t)	120 (264) 1.0 (3.3)	132S (290) 1.0 (3.3)
Estrés diario	Carga vano	kg(lb) m(ft)	111 (244) 1.1 (3.6)	123 (271) 1.1 (3.6)
Estrés operativo máx.	Carga vano	kg(lb) m(ft)	312 (687) 4.0 (13.2)	333 (733) 3.9 (12.8)
Vano máx.	Vertical Horizontal	m(ft) m(ft)	2.1 (6.9) 4.3 (14.1)	2.1 (6.9) 4.3 (14.1)
Velocidad de viento máx.		km/h	150	

Figura 33. Características de cable de F.O.

Fuente: <http://www.fibromarket.com/files2015/catalogo.pdf>

3.1.8 Cálculos para selección de cable.

3.1.8.1 *Calculo del vano.*

Para calcular la distancia en metros entre dos puntos conocidos de coordenadas UTM se aplica la fórmula de Pitágoras.

Punto1(x1, y1) Punto2(x2, y2)

$$D^2 = (X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2, \quad (\text{Leyva, 2009})$$

$$\text{DISTANCIA} = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2}$$

En la Tabla 5, se expresa el valor del vano a partir de las coordenadas UTM.

Tabla 5.

Vano (distancia en metros) calculado entre dos puntos de coordenadas UTM

N°	Tramo	Dirección	Vano (metros)	X (UTM)	Y (UTM)
1	SM – Matu	C.Central	103.5778276	359274.3950	8700967.3190
2	SM – Matu	C.Central	58.23725574	359253.6690	8700865.8360
3	SM – Matu	C.Central	62.611101406	359211.4690	8700825.7020
4	SM – Matu	C.Central	86.59654895	359169.2980	8700779.4230
5	SM – Matu	C.Central	32.03761578	359124.2270	8700705.4800
6	SM – Matu	C.Central	45.37191069	359115.2870	8700674.7150
7	SM – Matu	C.Central	51.06770919	359085.1690	8700640.7810
8	SM – Matu	C.Central	74.92874188	359038.9500	8700619.0620
9	SM – Matu	C.Central	79.96123239	358988.6480	8700563.5280
10	SM – Matu	C.Central	56.85743916	358928.3420	8700511.0210
11	SM – Matu	C.Central	60.37187292	358895.2540	8700464.7830
12	SM – Matu	C.Central	55.63216912	358871.2900	8700409.3710
13	SM – Matu	C.Central	64.51981503	358865.4900	8700354.0420
14	SM – Matu	C.Central	47.30051806	358846.0960	8700292.5060
15	SM – Matu	C.Central	78.8966227	358826.6160	8700249.4030
16	SM – Matu	C.Central	138.6704795	358781.5040	8700184.6760

Fuente: Elaboración propia

3.1.8.2 Cálculo de la flecha.

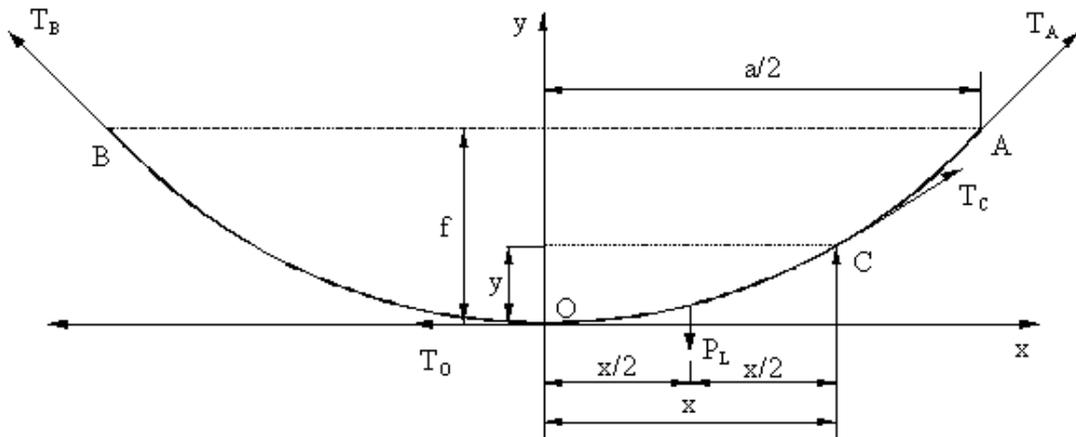


Figura 34. Fuerzas que intervienen en el cable

Fuente: http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/index.html

Se considera la sección de cable OC con un peso P_L en el punto medio, esta sección OC está sometido a tensiones: T_0 y T_C en cada extremo del cable.

Aplicando Momentos respecto al punto C, $\Sigma M = 0$, (Leyva, 2009):

$$P_L \frac{x}{2} = T_0 y$$

Luego la se despeja variable y :

$$y = \frac{x P_L}{2 T_0} \quad (1)$$

Luego se denomina P al peso unitario del cable, el peso total del cable en OC que se ha denominado P_L , será igual al peso unitario multiplicado por la longitud del cable.

$$P_L = P x \quad (2)$$

Al reemplazar (2) en (1) se obtiene:

$$y = \frac{x^2 P}{2T_0} \quad (3)$$

Si se considera en el punto A al amarre del cable en vez del punto C se obtiene

$$y = f \quad (4)$$

$$x = \frac{a}{2} \quad (5)$$

Al reemplazar (4), (5) en (3) se obtiene:

$$f = \frac{Pa^2}{8T_0}$$

De la fórmula de la flecha que resultó del cálculo anterior. Los parámetros del cable se muestran en la Tabla 6, para considerar la flecha (%) con respecto al vano.

Tabla 6.

Valor porcentual de la flecha con relación al vano.

Vano (m)	Flecha (m)	Flecha (%)
100	0.552	1%
200	2.210	1%
400	8.843	2%
600	19.897	3%
800	35.374	4%
1000	55.272	5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.

Valor de la flecha en metros de las primeras estructuras.

N°	Vano (distancia en metros)	Flecha
1	103.5778276	1.035778276
2	58.23725574	0.582372557
3	62.61101406	0.626110141
4	86.59654895	0.865965489
5	32.03761578	0.320376158
6	45.37191069	0.453719107
7	51.06770919	0.510677092
8	74.92874188	0.749287419
25	385.085954	7.70171908
26	19.56088362	0.195608836
27	110.9288797	1.109288797
28	210.7735741	4.215471481
29	122.4095478	1.224095478
30	799.2810287	31.97124115
31	647.8966228	25.91586491
32	34.24863374	0.342486337

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se observa la longitud en metros de los primeros vanos, las flechas de mayor longitud en metros son de los postes N° 25, 30 y 31.

3.1.8.3 Cálculo por acción del viento.

Aplicando vectores según (Leyva, 2009).

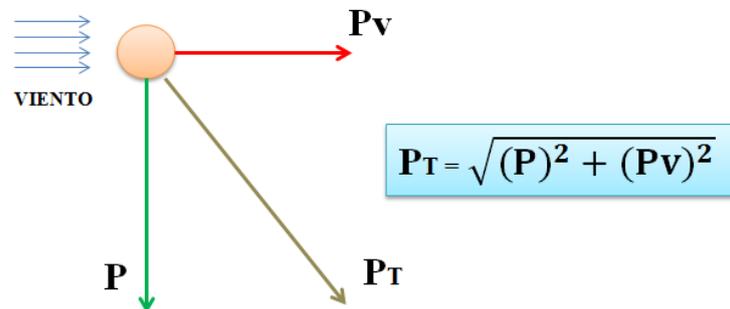


Figura 35. Fuerzas que actúan sobre el cable

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

P_T = Peso Total del Cable (kg/m).

P = Peso del Cable.

P_V = Presión del viento (kg/m).

3.1.8.4 Cálculo por acción del hielo.

Aplicando vectores según (Leyva, 2009).

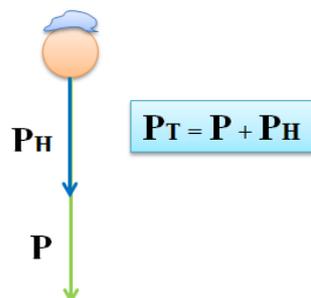


Figura 36. Fuerzas peso de cable y del hielo

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

PT = Peso Total del Cable.

P = Peso del Cable.

PH = Peso del Hielo.

Tabla 8.

Presión del viento con relación al diámetro de cable

Fuerza del viento por unidad de longitud		
Diámetro	Pv (Kg/m)	D (mm.)
D ≤ 16 mm.	Pv = 0.06 D	
D > 16 mm.	Pv = 0.05 D	

Fuente: (Pomalaya, 2018)

3.1.8.5 Span.

La forma de elegir el span del cable de fibra óptica es verificando el vano máximo en cada tramo, en la tabla 10 se muestra el metrado acumulado (longitud de la bobina de fibra óptica a instalar), El vano máximo y la aproximación del span requerido para la fibra óptica ADSS.

Tabla 9.*Elección de Span de fibra*

Proyecto enlace de red troncal de F.O.					
N°	Tramo	Bobina	Metrado acumulado	Vano máximo	Span
1	San Mateo - Matucana	Bobina N° 1	2345.84	385.09	400
		Bobina N° 2	4489.99	799.28	1000
		Bobina N° 3	7613.89	491.13	600
		Bobina N° 4	10776.12	297.56	400
		Bobina N° 5	14047.83	515.58	600
		Bobina N° 6	17555.96	743.09	1000
		Bobina N° 7	20818.38	781.70	1000
2	Surco - Corcona	Bobina N° 8	24663.90	779.58	1000
		Bobina N° 9	28569.91	386.28	600
		Bobina N° 10	32584.51	673.53	800
3	Surco - Corcona	Bobina N° 11	36117.33	849.56	1000
		Bobina N° 12	38913.58	529.39	800
		Bobina N° 13	42367.12	785.19	1000
4	Corcona – Chosica	Bobina N° 14	46221.81	804.09	1000
		Bobina N° 15	49386.17	531.89	600
		Bobina N° 16	52818.67	533.83	600
		Bobina N° 17	56234.42	390.35	600
5	Chosica – Ate Vitarte	Bobina N° 18	59984.96	108.26	200
		Bobina N° 19	63604.37	149.49	200
		Bobina N° 20	67249.05	106.29	200
		Bobina N° 21	71211.20	64.22	200
		Bobina N° 22	74917.68	92.57	200
		Bobina N° 23	78602.48	49.61	200
6	Ate Vitarte – Santa Anita	Bobina N° 24	82305.36	164.82	200
		Bobina N° 25	85990.73	146.60	200
		Bobina N° 26	89543.30	152.57	200

Fuente: Elaboración propia

3.1.9 Pérdida de señal en una instalación típica de fibra óptica.

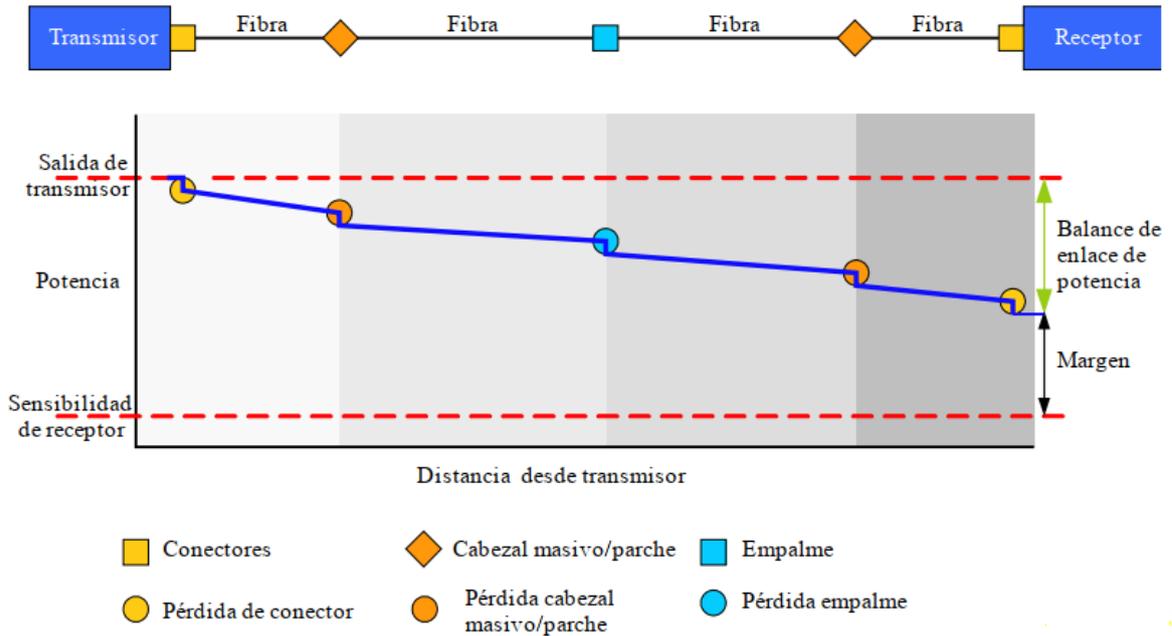


Figura 37. Pérdida de señal en una instalación típica de fibra óptica

Fuente: Rec. UIT-R BT.1367-2 (10/2015)

La fórmula general para el cálculo del balance de una transmisión por fibra óptica entre un emisor y receptor, está dada por la siguiente expresión lineal.

$$\text{Atenuación} = n_c \alpha_c + n_e \alpha_e + L \alpha_{FO} \quad (\text{UIT-T Rec. G.652})$$

$$P_o - [n_c \alpha_c + n_e \alpha_e + L \alpha_{FO} + M_s - G] \geq S_o \quad (\text{Prieto, 2014})$$

Siendo:

P_o es la potencia máxima inyectada en la fibra óptica.

α_e es la atenuación de empalmes.

α_c es la atenuación de conectores.

n_e es el número de empalmes.

n_c es el número de conectores.

M_s es un margen de seguridad, contempla el margen de reserva del equipo y el margen de reserva de la fibra como, cambios de temperatura y otros factores que puedan introducir pérdidas.

L es la longitud del tramo de fibra en km.

α_{F0} es la atenuación característica de la fibra óptica, en dB/km.

G es la ganancia de amplificadores ópticos.

S_0 es la sensibilidad del fotodetector, esto es, la mínima potencia necesaria.

3.1.9.1 Cálculo del presupuesto de potencia.

Según la Rec. UIT-R BT.1367-2 (10/2015), Enlace de potencia elevada (Largo alcance).

$$P_o : -7\text{dBm a } +7\text{dBm}$$

$$S_o : -11\text{ dBm a } -32\text{ dBm}$$

3.1.9.2 Calculo de pérdidas ópticas.

Según la Rec. UIT-T G.652

$$\text{Atenuación intrínseca F.O. } (\lambda = 1550\text{ nm}) = 0.25\text{ dB/Km}$$

$$\text{Atenuación del empalme} = 0.2\text{dB}$$

$$\text{Atenuación por conector} = 0.3\text{dB}$$

$$\text{Numero de empalmes} = [(L_{\text{Total del enlace}})/(L_{\text{Empalme}})]+2$$

$$= [(89.543\text{Km})/(4\text{Km})]+2 = 24.38 \approx 25$$

Considerando todos los valores recomendados, se realiza el cálculo de atenuación.

$$n_c \alpha_c : (2)(0.3\text{ dB}) = 0.6\text{ dB, (UIT-T Rec. G.652)}$$

$$n_e \alpha_e : (25)(0.2\text{dB}) = 5\text{ dB, (UIT-T Rec. G.652)}$$

$$L \alpha_{FO} : (89.543\text{Km})(0.25\text{ dB/Km}) = 22.3\text{ dB, (UIT-T Rec. G.652)}$$

$$M_s : \text{Margen de reserva del equipo: } 3\text{ dB}$$

$$\text{Margen de reserva de la fibra: } 2\text{ dB}$$

$$G : 0$$

De (1):

$$P_o - S_o \geq [n_c \alpha_c + n_e \alpha_e + L_{\alpha_{FO}} + M_s - G] \quad (\text{Prieto, 2014})$$

$$7\text{dBm} - (-32\text{dBm}) \geq [0.6\text{ dB} + 5.0\text{ dB} + 22.3\text{ dB} + (3 + 2)\text{dB} - 0]$$

$$39\text{ dB} \geq [32.9\text{ dB}]$$

El sistema tolera máximo 39 dB y la pérdida total es de 32.9 dB. Se determina que el sistema óptico es apto para la instalación, si la desigualdad no se cumpliría, se tendría que utilizar un amplificador (G).

Por lo general se requiere un margen de 5 a 10 dB para tomar en cuenta el deterioro de los componentes con el tiempo y la posibilidad de pueden ser necesarios para más empalmes (si el cable es cortado accidentalmente). La sensibilidad es el mínimo nivel de potencia que requiere el receptor para funcionar. Estos valores teóricos se deben comprobar con las mediciones realizadas en campo con el OTDR.

3.1.10 Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

La otra etapa importante en desarrollo de este proyecto de investigación es la identificación y análisis de los riesgos antes de la ejecución del proyecto enlace de red troncal de fibra óptica San Mateo – Santa Anita en infraestructura eléctrica AT MT BT. Durante la inspección de campo para la ruta de enlace. Se identificó los peligros y se evaluó los riesgos, lo cual se describe en las siguientes tablas.

Tabla 10.

Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (1) Organización, selección y traslado de materiales y/o herramientas.

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
1. Organización, selección y traslado de materiales y/o herramientas	Manipulación de herramientas y objetos	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	Uso de EPP. Señalización en el área de trabajo. Capacitación procedimiento de inspección de herramientas manuales. Uso de check list (inspección de herramientas).
	Superficie a desnivel o irregular.	Caídas, tropiezos, golpes.	Transitar por área libre y segura.
	Zona de alto tránsito (carretera)	Atropellos, caídas, golpes.	Uso de EPP, chaleco reflectivo, transitar por zona segura, estar atento.
	Maquinaria automotriz (vehículos).	Choques y golpes contra elementos fijos. Volcadura.	Revisar periódicamente el estado del vehículo. Usar cinturón de seguridad. Respetar y cumplir las señalizaciones.
	Clima lluvioso	Resbalamiento, caídas.	Paralizar los trabajos. Esperar a que deje de llover de lo contrario retirarse de la zona.
	Animales, insectos.	Lesiones en la piel, picaduras.	Uso de repelente contra insectos
	Probabilidad de sismo	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	Mantener en un lugar seguro.
	Radiación UV - Calor.	Insolación, daños a los ojos y piel. Cansancio.	Uso de bloqueador solar, lentes oscuros, tapa nuca. Hidratarse.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.*Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (2) Desplazamiento a la estructura eléctrica.*

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
2. Desplazamiento a la estructura eléctrica AT/MT en zona de difícil acceso (traslado de material y herramientas).	Terrenos húmedos, pantanosos	Caídas, resbalamiento	Uso de EPP. Transitar por área libre y segura. Evaluar e informar.
	Viento fuerte.	Inestabilidad, caídas, golpes	Uso de EPP (Transitar por área libre de rocas en las alturas. Estar atento.
	Superficie a desnivel o irregular.	Caídas a desnivel, tropiezos.	Uso de EPP. Transitar por arrea libre y segura.
	Camino estrecho, presencia de espinas	Pinchazos e incrustaciones.	Uso de EPP. Caminar con cuidado.
	Probabilidad de sismo (rodamiento de piedras)	Golpes, cortes, torceduras, caídas.	Uso de EPP. Mantener en un lugar seguro.
	Clima lluvioso	Resbalamiento, caídas.	Paralizar los trabajos. Esperar a que deje de llover de lo contrario retirase de la zona.
	Clima lluvioso	Resbalamiento, caídas.	Paralizar los trabajos. Esperar a que deje de llover de lo contrario retirase de la zona.
	Altura a más 1000 msnm	Dolor de cabeza, fatiga, agitación, vértigo, sueño, náusea y vómitos.	Evaluar e informar. Descansar. Beber agua.
	Puente colgante, cruce de río.	Caídas al río, ahogamiento.	Cruzar el puente de forma individual y con cuidado.
Vías de ferrocarril	Caídas a nivel, tropiezos.	Uso de EPP. Estar atento.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.*Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (3) Traslado de la bobina de fibra óptica.*

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
3. Traslado de la bobina de fibra óptica (zona estratégica)	Manipulación de herramientas y objetos (bobina, porta bobina)	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	Uso de EPP. Señalización en el área de trabajo.
	Maquinaria automotriz (vehículos).	Choques y golpes contra elementos fijos. Volcadura.	Revisar periódicamente el estado del vehículo. Usar cinturón de seguridad. Respetar y cumplir las señalizaciones.
	Superficie a desnivel o irregular.	Caídas, tropiezos	Uso de EPP. Transitar por área libre y segura.
	Clima lluvioso	Resbalamiento, caídas.	Paralizar los trabajos. Esperar a que deje de llover de lo contrario retirase de la zona.
	Probabilidad de sismo	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	Uso de EPP. Estar atento. Mantener en un lugar seguro.
	Radiación UV - Calor.	Insolación, daños a los ojos y piel. Cansancio.	Uso de bloqueador solar, lentes oscuros, tapa nuca. Beber agua.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.*Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (4) Tendido de la fibra óptica.*

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
4. Tendido de la fibra óptica (utilización de cable guía, y el transporte manual del cable de fibra óptica).	Manipulación de herramientas y objetos	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	1. Uso de EPP. Señalización en el área de trabajo. Uso adecuado de las herramientas.
	Terrenos húmedos, pantanosos	Caídas, resbalamiento	Uso de EPP. Transitar por área libre y segura.
	Cruce de río (traslado de fibra óptica).	Caídas al río, ahogamiento.	Uso de EPP. Utilizar sogas, etc.
	Cruce de vía de ferrocarril (traslado de fibra óptica).	Accidente por acercamiento de tren	Uso de EPP. Estar atento y mantener comunicación por radio.
	Altura a más 1000 msnm	Cansancio, presión alta, mareos, soroche.	Descansar. Beber agua. Evaluar e informar.
	Viento fuerte.	Inestabilidad, caídas, golpes	Uso de EPP. Transitar por área libre de rocas en las alturas. Estar atento. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.)
	Movimientos repetitivos.	Ergonomía, lesiones por movimientos repetitivos.	Descansos periódicos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.

Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (5) Escalamiento de estructura eléctrica AT/MT.

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
5. Escalamiento de estructura eléctrica AT/MT (poste y/o torre).	Manipulación y armado de escalera embonable en poste AT/MT.	Caídas, golpes, cortes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solamente se permitirá la ejecución del trabajo al personal calificado previamente entrenado 2. Uso de EPP. 3. Uso obligatorio de ropa antiarco. 4. Capacitación procedimientos de trabajos en altura. 5. Tener conocimiento obligatorio de las distancias mínimas de seguridad a la línea eléctrica AT/MT/BT. 6. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.) 7. Uso de check list (inspección de herramientas).
	Ascender y/o descender de estructura (poste y/o torre eléctrica AT/MT)		
	Acercamiento a la línea eléctrica AT/MT		
	Movimientos repetitivos.	Ergonomía, lesiones por movimientos repetitivos.	Descansos periódicos.
	Altura a más 1000 msnm	Dolor de cabeza, fatiga, agitación, vértigo, sueño, náusea y vómitos.	Descansar. Beber agua. Evaluar e informar.
	Viento fuerte.	Inestabilidad, caídas, golpes	Uso de EPP Transitar por área libre de rocas en las alturas. Estar atento. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.

Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (6) Instalación de Ferretería y otros.

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
6. Instalación de Ferretería (flechado, fijación de herrajes y colocación de reserva F.O.)	Trabajos de altura (más de 5 metros)	Golpes por caída de objetos manipulados en altura	1. Solamente se permitirá la ejecución del trabajo al personal calificado previamente entrenado 2. Uso de EPP.
	Manipulación de herramientas	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	3. Uso obligatorio de ropa antiarco. 4. Capacitación procedimientos de trabajos en altura.
	Instalación de materiales en la estructura eléctrica AT/MT (poleas, herrajes, F.O, etc.)		5. Tener conocimiento obligatorio de las distancias mínimas de seguridad a la línea eléctrica AT/MT/BT. 6. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.)
	Acercamiento a la línea eléctrica AT/MT	Inducción, descarga eléctrica.	7. Uso de check list (inspección de herramientas).
	Movimientos repetitivos.	Ergonomía, lesiones por movimientos repetitivos.	Descansos periódicos.
	Altura a más 1000 msnm	Dolor de cabeza, fatiga, agitación, vértigo, sueño, náusea y vómitos.	Descansar. Beber agua. Evaluar e informar.
	Viento fuerte.	Inestabilidad, caídas, golpes	Estar atento. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.).
	Clima lluvioso	Resbalamiento, caídas. Accidentes o incidentes	Paralizar los trabajos. Descender de la estructura eléctrica AT/MT. Esperar a que deje de llover de lo contrario retirase de la zona.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

Identificación y evaluación de riesgos en la Actividad (7) Realización de empalmes por fusión de la fibra óptica .

Identificación y evaluación de riesgos			
Tarea y/o actividad	Peligro	Riesgo	Medidas de control
7. Realización de empalmes por fusión de la fibra óptica	Trabajos de altura (más de 5 metros) para retirar y/o colocar la reserva de fibra óptica en poste.	Golpes por caída de objetos manipulados en altura.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solamente se permitirá la ejecución del trabajo al personal calificado previamente entrenado. 2. Uso de EPP. 3. Capacitación específica en el uso de herramientas y equipos de medición. 4. Capacitación procedimientos de trabajos en altura.
	Manipulación de herramientas	Golpes, cortes por herramientas y objetos.	
	Altura a más 1000 msnm	Dolor de cabeza, fatiga, agitación, vértigo, sueño, náusea y vómitos.	Descansar. Beber agua. Evaluar e informar.
	Viento fuerte.	Inestabilidad, caídas, golpes	Uso de EPP. Transitar por área libre de rocas en las alturas. Estar atento. Uso obligatorio del sistema protección contra caídas (Arnés, línea de vida, bloque retráctil, eslingas, estrobos, etc.)
	Radiación UV - Calor.	Insolación, daños a los ojos y piel. Cansancio.	Uso de bloqueador solar, lentes oscuros, tapa nuca. Beber agua.

Fuente: Elaboración propia

3.1.11 Mediciones del cable de fibra óptica.

Las mediciones reflectométrica del cable de fibra óptica se realizan en tres etapas:

- En la Bobina (se realiza con el equipo OTDR en un solo sentido con un mínimo de 2 hilos por buffer).
- Al finalizar el tendido (se realiza con el equipo OTDR en un solo sentido con un mínimo de 2 hilos por buffer).
- Al finalizar los trabajos de empalme (se realiza con el equipo OTDR en los dos sentidos para medir la calidad de cada uno de los enlaces).

Para fibras monomodo las mediciones reflectométricas se realizan en las longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm con la finalidad de detectar macrocurvaturas.

Los parámetros necesarios para el informe técnico son:

- Parámetros de atenuación del enlace de fibra óptica.
- Pérdida de inserción y reflectancia del primer conector del enlace.
- Pérdida de retorno óptico (ORL) del enlace de fibra óptica.

Los equipos de medición deben estar calibrados y certificados.

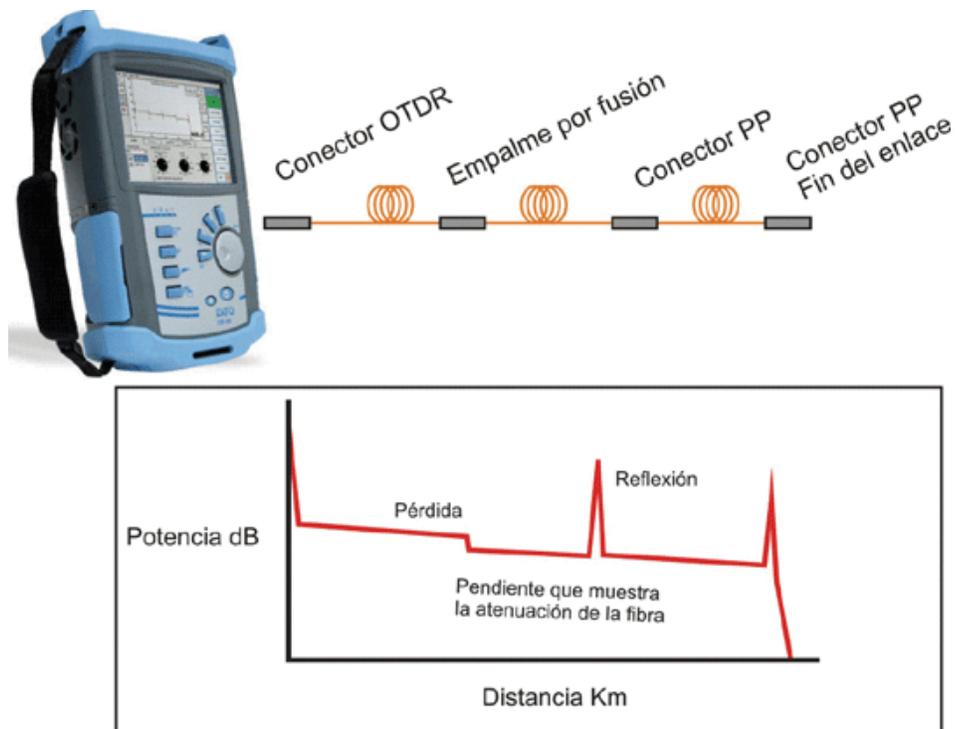


Figura 38. Representación gráfica de medición con el OTDR.

Fuente: <https://www.conectronica.com/fibra-optica/instrumentos-para-fibra-optica/medidas-en-fibra-optica-ireflectometria-o-potencia>

3.1.12 Protocolo de validación para un enlace de fibra óptica.

Para validar la atenuación de cualquier tipo de enlace de fibra óptica se debe tomar en cuenta las mediciones con el equipo OTDR. Las mediciones se realizan en ambos sentido de A hacia B y de B hacia A para cada hilo de fibra óptica y se calcula el promedio, en el siguiente grafico se describe los pasos correctos para certificar un enlace.

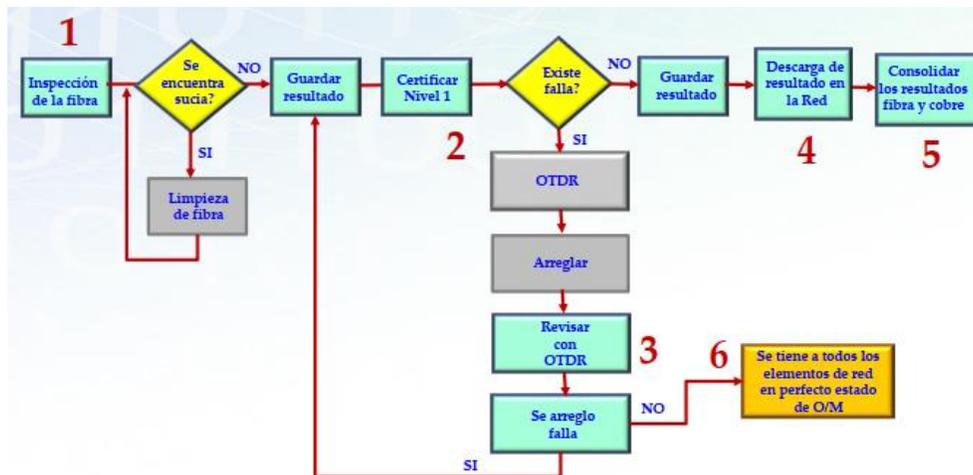


Figura 39. Pasos correctos para la certificación de la fibra.

Fuente: Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones

Los límites de prueba para un enlace de fibra óptica instalada son independientes de cualquier aplicación de red. El límite se calcula en base a la longitud del cable, número de conectores y el número de empalmes. Las normas para certificación son TIA/EIA-568-B, ISO11801, EN50173. La pérdida por empalme de arco fusión establecida por la UIT-T debe ser menor o igual a 0.2 dB, La norma establecida por Telefónica es menor o igual a 0.15 dB.

	Pérdida media	Valor máximo para 95%	Aplicación típica
Empalmes por fusión simples	$\leq 0,1$ dB	$\leq 0,5$ dB	Ruta de concentración de enlaces
	$\leq 0,2$ dB		Red de acceso
Empalmes por fusión múltiples	$\leq 0,2$ dB	$\leq 0,8$ dB	-
Empalmes mecánicos simples	$\leq 0,2$ dB	$\leq 0,5$ dB	Red de acceso
Empalmes mecánicos múltiples	$\leq 0,2$ dB	$\leq 0,8$ dB	Red de acceso

Figura 40. Pérdida media de empalmes recomendada para diferentes aplicaciones

Fuente: UIT-T Rec. L.12 (05/2000) Empalmes de fibra óptica

3.1.12.1 Análisis de la gráfica de enlace de fibra óptica en software EXFO.

3.1.12.1.1 Ventana principal del OTDR.

Contiene todas las instrucciones necesarias para supervisar el OTDR.

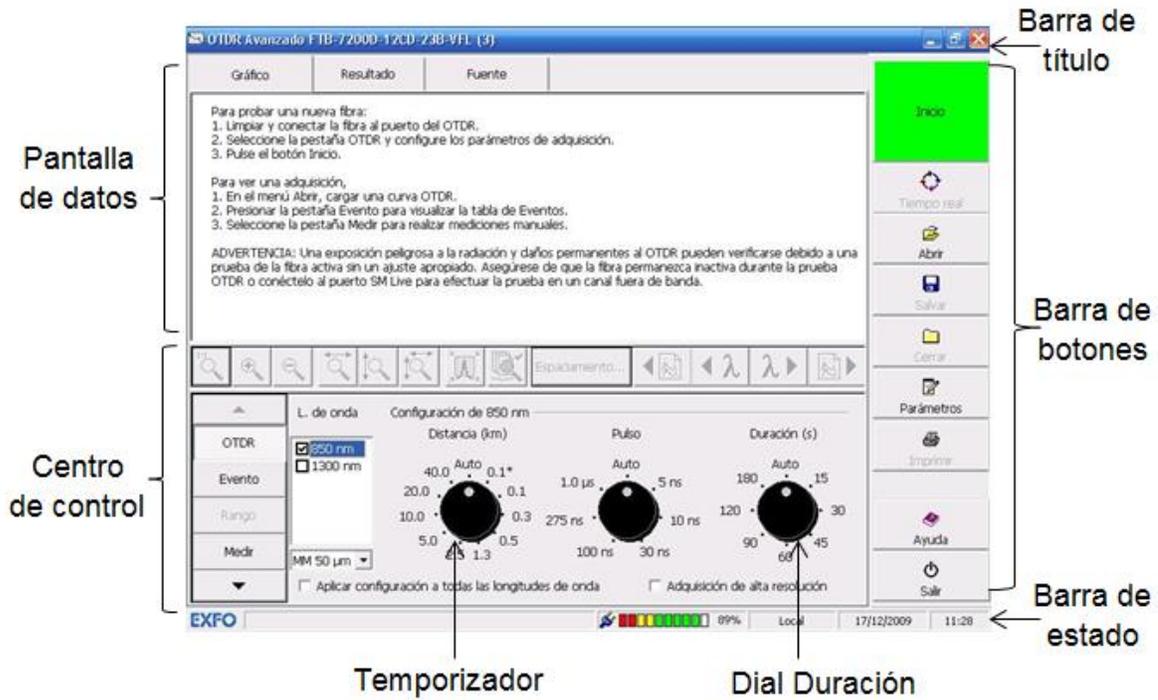


Figura 41. Ventana principal OTDR

Fuente: (EXFO, 2010)

3.1.12.1.2 Importancia del uso de la fibra de lanzamiento.

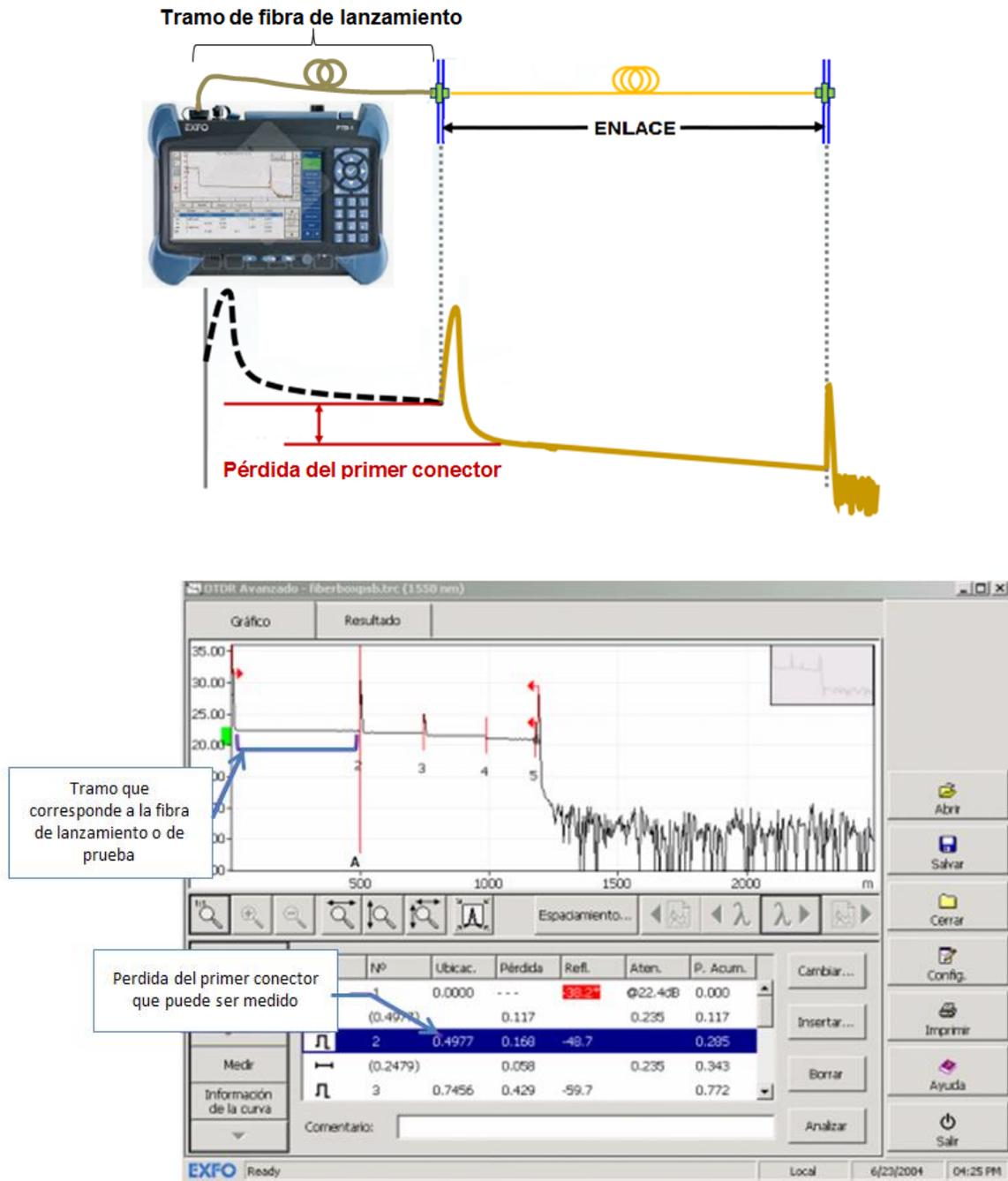


Figura 42. Diagrama de enlace con fibra de lanzamiento

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

3.1.12.1.3 Descripción de la pantalla de curvas y la tabla de eventos.

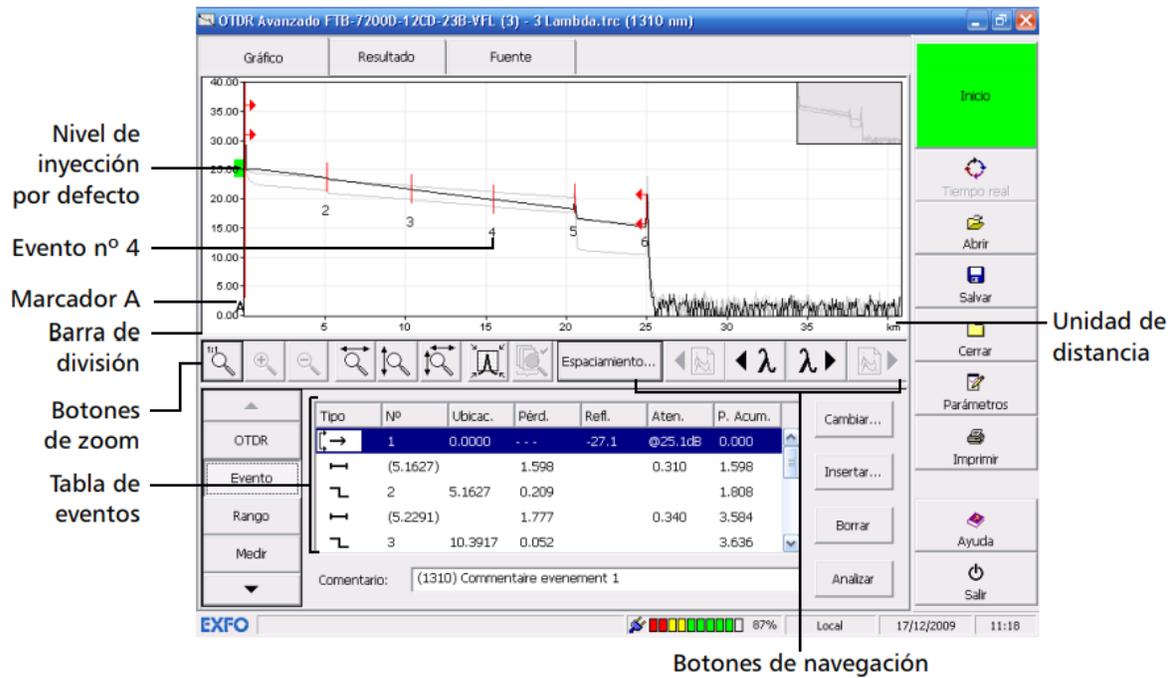


Figura 43. Descripción de la pantalla

Fuente: (EXFO, 2010)

3.1.12.1.4 Visualización de resultados de la prueba.



Figura 44. Umbrales de mínimos y máximos por defecto

Fuente: (EXFO, 2010)

3.1.12.1.5 Establecimiento de umbrales de Aprobado/Falla.

En la siguiente tabla se muestra los umbrales mínimos y máximos por defecto.

Prueba	Valor por defecto	Mínimo	Máximo
Pérdida por empalme (dB)	0,500	0,015	5,000
Pérdida del conector (dB)	1,000	0,015	5,000
Reflectancia (dB)	-40,00	-80,00	0,00
Atenuación de sección de fibra (dB/km)	0,40	0,00	5,000
Pérdida del segmento (dB)	45,000	0,000	45,000
Longitud de segmento (km)	0,00	0,0000	300,0000
ORL del segmento (dB)	15,00	15,00	40,000

Figura 45. Umbrales mínimos y máximos por defecto en el OTDR

Fuente: (EXFO, 2010)

Después de establecer los umbrales, la aplicación podrá realizar comprobaciones de Aprobado/falla para determinar el estado de los distintos eventos que pueden ser Aprobado, Advertencia y Falla (EXFO, 2010).

En la siguiente grafico como ejemplo muestra lo que ocurrirá en una sección de fibra que tenga el valor de atenuación de 0.5523 dB

Valor	Número de dígitos	Valor mostrado	Umbral de advertencia	Estado de resultado
0,5523	3	0,552	0,550	Advertencia
0,5523	2	0,55	0,55	Aprobado

Nota: Los valores mostrados se redondean, no se truncan.

Nota: Esta función sólo está disponible en el modo Avanzado.

Si selecciona...	La aplicación mostrará un mensaje si...
Aprobado	todos los eventos están por debajo de los umbrales
Advertencia	al menos un evento excede los umbrales de advertencia
Fallo	al menos un evento excede los umbrales de fallo

Figura 46. Mensajes que se muestran al final de un análisis

Fuente: (EXFO, 2010)

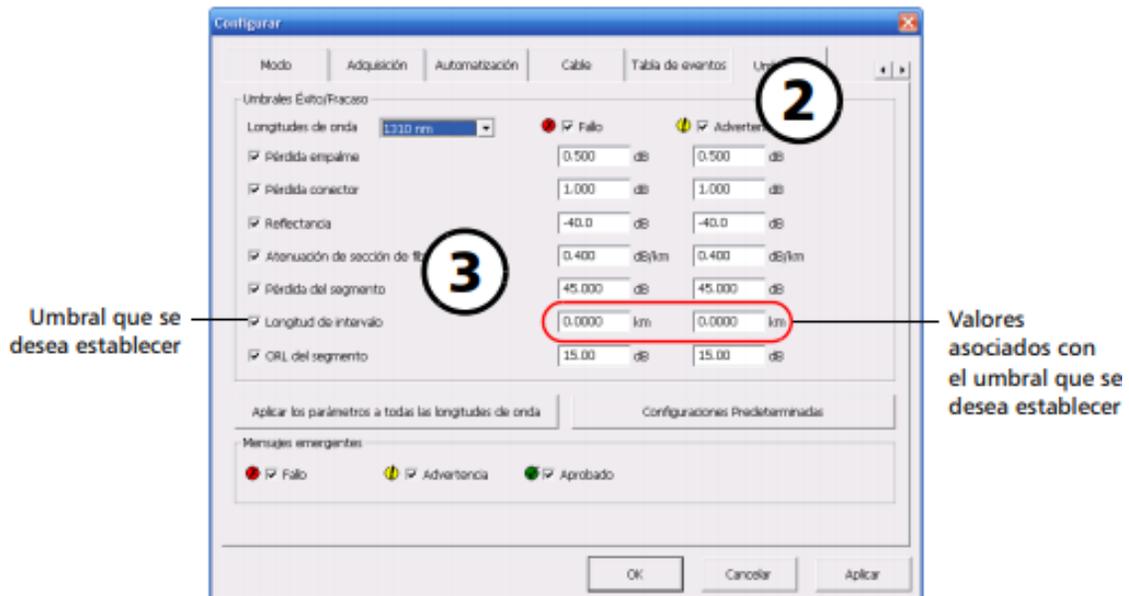


Figura 47. Configuración de umbrales

Fuente: (EXFO, 2010)

En 2 se debe seleccionar las casillas que corresponden con los umbrales que se desea utilizar e introducir los valores deseados en los campos que corresponde. En 3 Se selecciona la longitud de onda en la que se desea aplicar los umbrales (EXFO, 2010).



Figura 48. Visualización de estado de eventos en la ventana principal de resultado

Fuente: (EXFO, 2010)

3.1.12.1.6 Configuración de los umbrales de detección del análisis.

EXFO (2010) refiere que con la finalidad de optimizar la detección de eventos, se puede establecer los umbrales de pérdida por empalme (para mostrar u ocultar eventos no reflectivos pequeños). Umbral de reflectancia (para ocultar falsos eventos reflectivos no perjudiciales en eventos de pérdida). El umbral de extremo de la fibra (para detener el análisis cuando se produzca una pérdida de evento importante).

Para diferentes niveles de umbral de pérdida por empalme puede afectar a numerosos eventos mostrados en la Figura 47 se observa tres curvas que corresponden a tres valores de nivel de umbral.

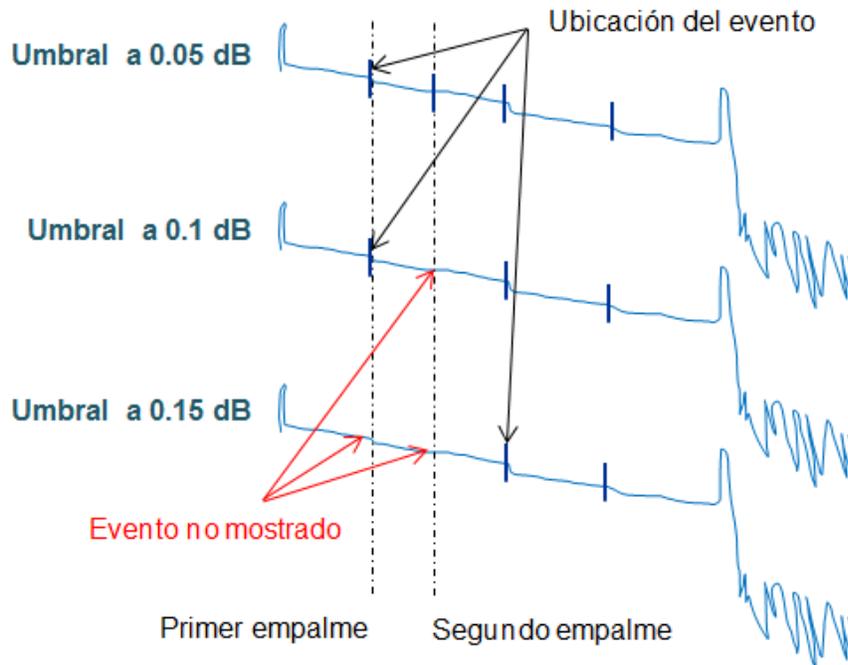


Figura 49. Curva con diferentes valores de umbral

Fuente: (EXFO, 2010)

Umbral de 0.05 dB, muestra dos eventos a las distancias correspondientes donde se ubica el primer y segundo empalme. Umbral 0.1 dB muestra solo el primer empalme, el segundo empalme es inferior a 0.1 dB. Umbral 0.15 dB no se muestran los dos primeros empalmes por que las pérdidas son menores a 0.15 dB (EXFO, 2010). La ventana de configuración de los umbrales se muestra en el siguiente gráfico.

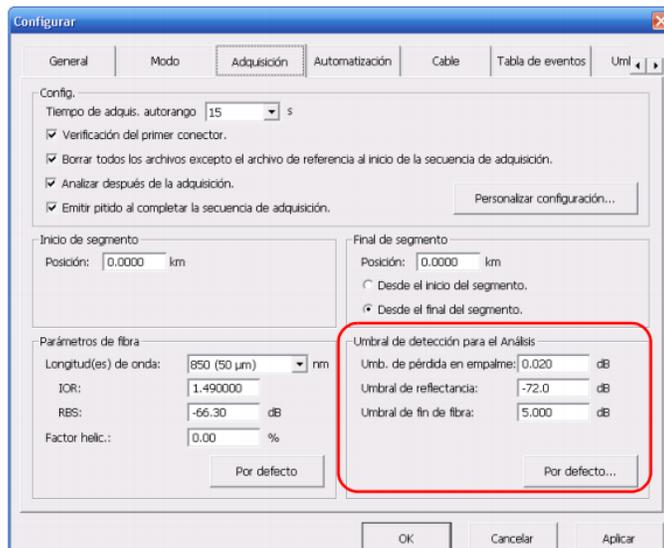


Figura 50. Umbral de detección de empalme, reflectancia y final de fibra.

Fuente: (EXFO, 2010)

3.1.12.2 **Análisis manual de resultados.**

3.1.12.2.1 *Obtención de atenuación.*

El método de aproximación de mínimos cuadrados mide la atenuación a lo largo de la distancia entre dos puntos, que se ajusta a una recta en los datos de retrodifusión entre los marcadores A y B. la atenuación por el método de los mínimos cuadrados corresponde a la diferencia de potencia a lo largo de la distancia entre dos puntos (EXFO, 2010).

EXFO (2010) refiere que para obtener la atenuación se debe ir a la ventana principal, en el grafico seleccionar Medir. En la sección de mediciones seleccionar Aten. De esta manera aparecerán los marcadores A y B en el gráfico. Ubicar los marcadores en la curva del grafico ver Figura 49.

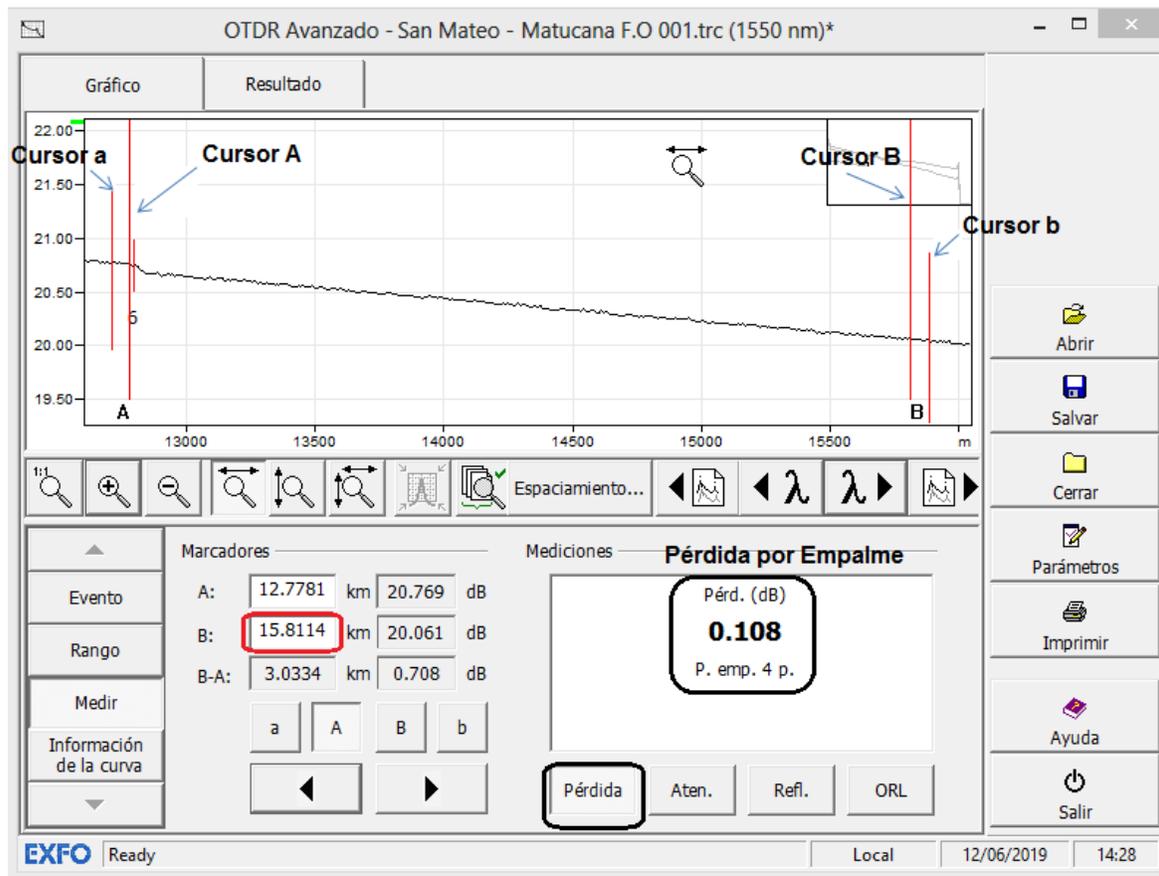


Figura 51. Pérdida por empalme enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

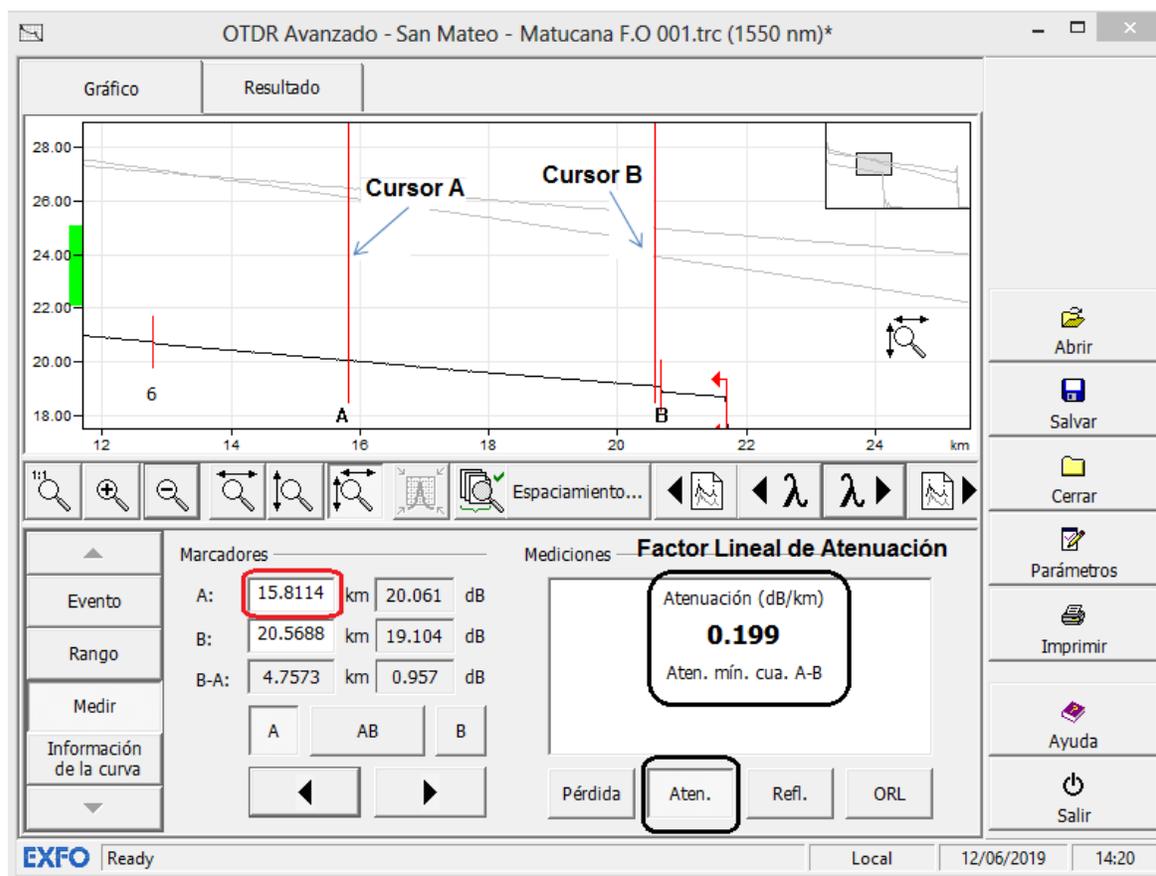


Figura 52. Factor lineal de atenuación enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

3.1.12.2.2 Obtención de reflectancia.

EXFO (2010) refiere que la reflectancia es la proporción de luz reflejada y luz de entrada.

Para obtener la reflectancia se debe ir a la ficha gráfico y pulsar el botón medir, en la sección de mediciones, seleccionar Reflec. En el grafico aparecerán los marcadores a, A y B. Se debe ampliar y ubicar el marcador A en el área lineal que precede al evento que se va a medir. El marcador a se debe ubicar al principio del área lineal que precede al evento que se va a medir. El marcador B ubicar en el pico del evento reflectivo que se va a medir (EXFO, 2010).

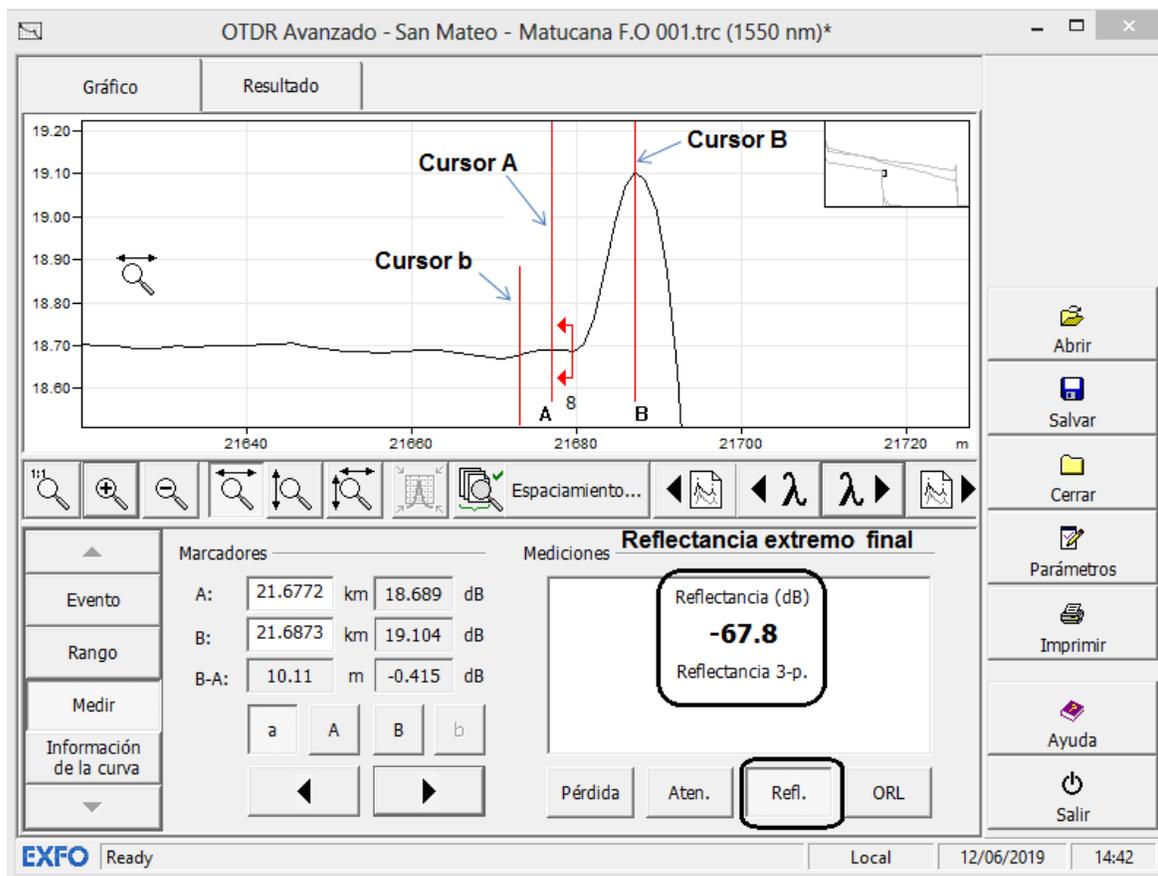


Figura 53. Reflectancia enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

3.1.12.2.3 Obtención de la pérdida óptica de retorno (ORL).

La ORL se refiere al efecto total de varias reflexiones y eventos de retrodifusión en un sistema de fibra óptica. El cálculo ORL proporcionará la siguiente información entre marcadores de A y B, La ORL total calculada entre el inicio y el final del segmento (EXFO, 2010).

EXFO (2010) refiere que para la obtención de la medición se debe ir a la ventana principal, luego a la ficha del gráfico, y seleccionar el botón medir. En la sección de mediciones, seleccionar ORL, los marcadores A y B aparecerán en el gráfico. Seguidamente ubicar los marcadores A y B para delimitar el área que se desea conocer el ORL.

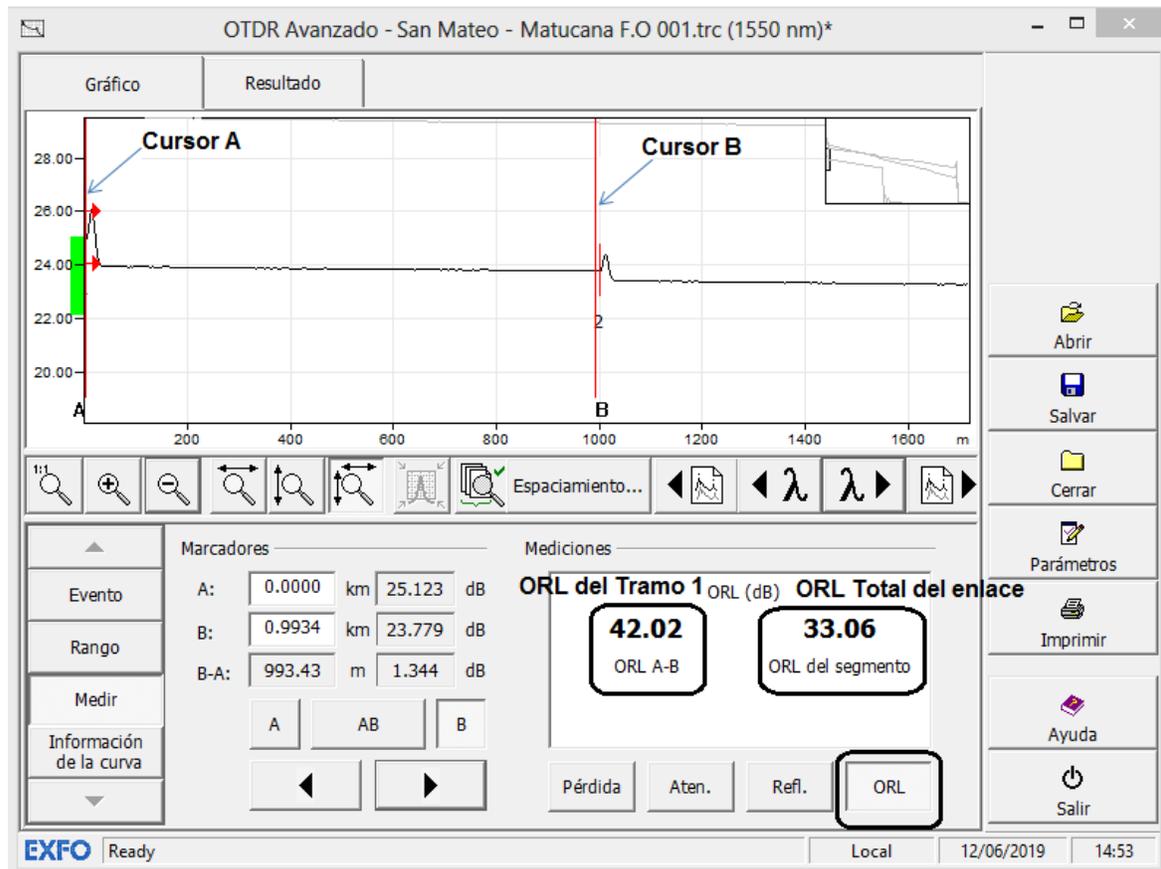


Figura 54. Pérdida óptica de retorno enlace San Mateo - Matucana (A-B) hilo 1

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

3.1.12.2.4 Graficas del hilo 003 del enlace San Mateo - Matucana.

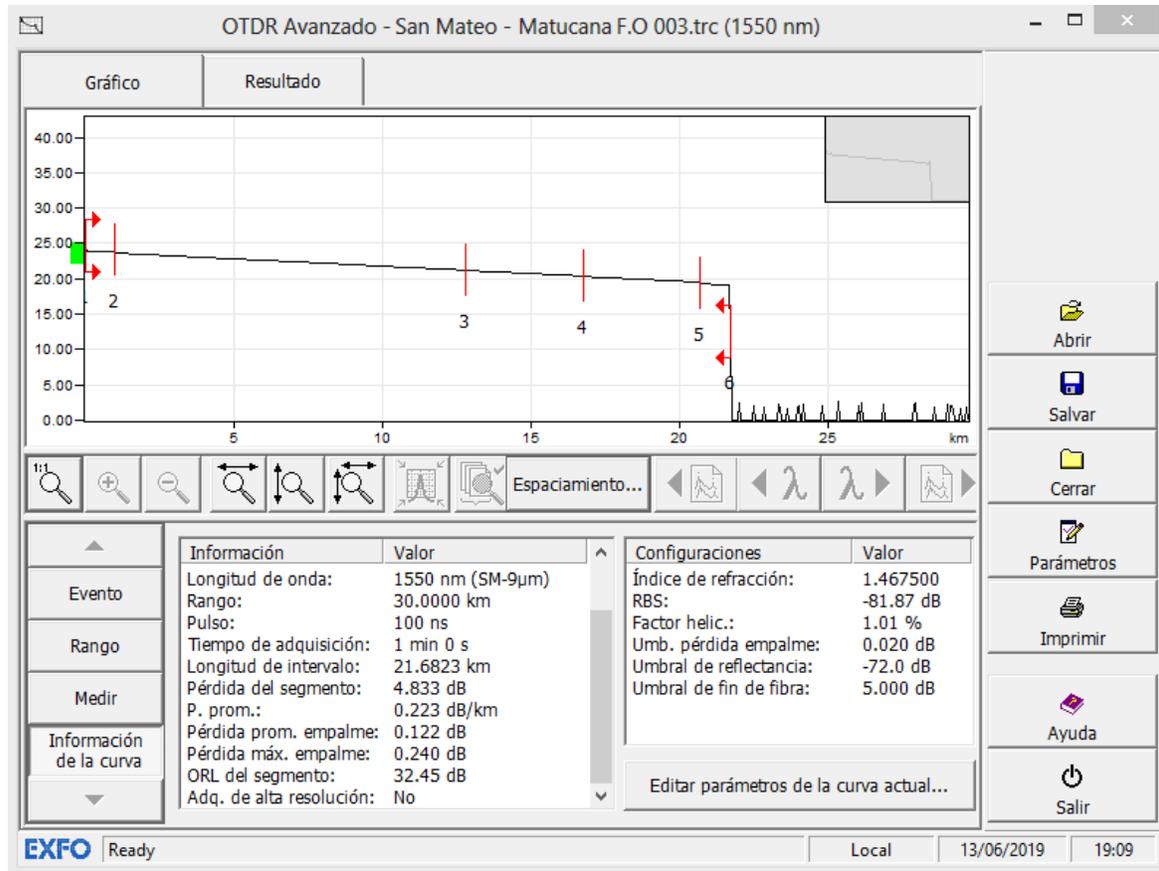


Figura 55. Información del enlace San Mateo - Matucana (sentido A-B) hilo 3

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

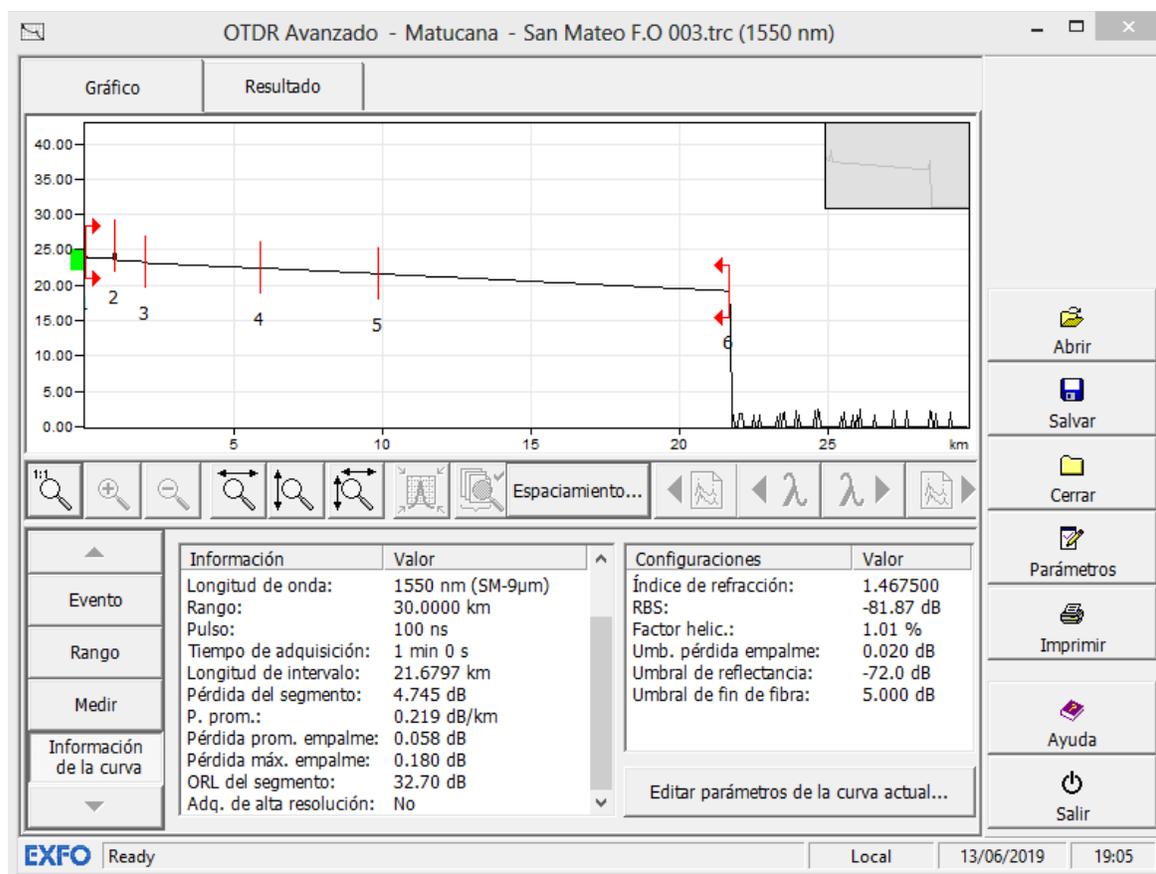


Figura 56. Información del enlace Matucana - San Mateo (sentido B-A) hilo 3

Fuente: Software EXFO - Elaboración propia

En las Figura 53 y 54 se observa la curva de medición del enlace en ambos sentidos A-B y B-A (del hilo 003) con su respectiva información de la curva. En el OTDR la configuraciones de umbral pérdida por empalme 0.020 dB, umbral de reflectancia -72.0 dB, umbral de fin de fibra 5.00 dB. El formato del informe de protocolo de validación o aceptación de un tramo del enlace del diseño (San Mateo - Matucana) de los 48 hilos se muestra en el Anexo B. Para las mediciones de los tramos restantes del diseño se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente, siguiendo las recomendaciones de la UIT-T. Ver Figura 40.

3.1.13 Cronograma.

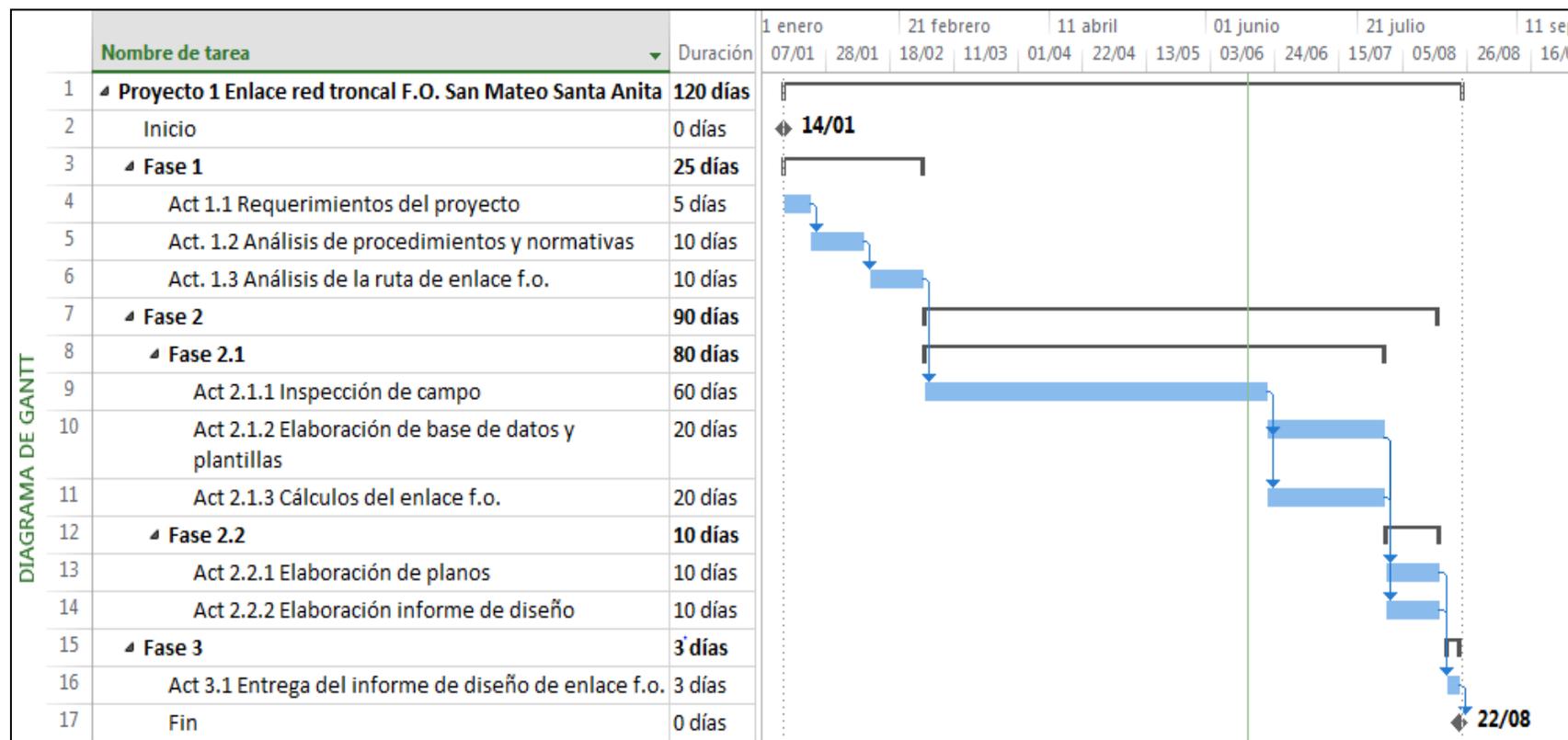


Figura 57. Cronograma del diseño de enlace de red troncal de fibra óptica.

Fuente: Elaboración propia

3.1.14 Costos.

Los costos de la ferretería, el cable de fibra óptica, el diseño y la instalación son referenciales.

Tabla 17.

Costos aproximados de materiales, diseño e instalación.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unid	Precio Unitario S/IGV	Precio Total S/IGV
1	Ferretería (AT/MT/BT)	89543.30	m	S/. 2.72	S/. 243,557.78
2	Cable 48FO / Span 200	33308.88	m	S/. 3.30	S/. 109,919.30
3	Cable 48FO / Span 400	5508.07	m	S/. 3.50	S/. 19,278.25
4	Cable 48FO / Span 600	20314.23	m	S/. 5.60	S/. 113,759.69
5	Cable 48FO / Span 800	6810.85	m	S/. 5.86	S/. 39,911.58
6	Cable 48FO / Span 1000	23601.27	m	S/. 6.90	S/. 162,848.76
Costo aproximado de materiales S/IGV					S/. 689,275.36
7	Diseño de enlace	89543.30	m	S/. 2.00	S/. 179,086.60
8	Servicio de instalación	89543.30	m	S/. 10.50	S/. 940,204.65
Costo Total aproximado S/IGV					S/. 1,808,566.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.*Comparación técnico y/o económico financiero.*

COMPARACIÓN TÉCNICO Y/O ECONÓMICO FINANCIERO		
Trabajos de investigación	Descripción metodológica o técnica	Costos
“Proyecto de la red de fibra óptica en planta externa en la región de Huancavelica” (Pomalaya, 2018)	Análisis, realización y toma de datos en campo. Transferencia de información en plantilla, Base Camp. Elaboración de kml y kmz. Definición de tipo de cable, medrado y flecha. Definición de herrajes. Agrupación por tramos el tipo de span y optimización. Elaboración de planos. Breve descripción de pruebas en cada enlace.	Longitud de instalación: 1,326 kilómetros Ferretería y cables: S/. 3,223,910.52 Servicios: S/. 4,671,717.36 Total: S/. 7,895,627.88
“Estudio de factibilidad para la implementación de una red de fibra óptica entre Desaguadero y Moquegua” (Gutiérrez, 2014)	Descripción de las características en la fibra Equipos DWDM comerciales Cálculos del presupuesto de potencia, Perdidas en la fibra, conectores y empalmes.	Longitud de instalación: 242,70 kilómetros Costo de instalación: S/. 1,987,300.00 Costo construcción planta externa: S/. 230,500.00
“Diseño e implementación de un backbone de fibra óptica en sistema compartido con línea de energía para un campamento minero en etapa pre-operativa” (Celis, 2011)	Análisis de solución, ingeniería del proyecto (tendido de postes, instalación de anclas y riostas, tendido de la fibra óptica, pruebas de comunicación). Equipamiento (enlace principal con fibra y el enlace de respaldo por radio) Materiales de cableado y canalizado.	Costo de diseño, planificación y tendido: S/. 690,042.86 Costos de servicio de gestión: S/. 149,500.00 Costo de materiales: S/. 910,211.38

“Diseño de un enlace red troncal de fibra óptica San Mateo - Santa Anita usando infraestructura eléctrica AT MT BT para un operador de telecomunicaciones”
(Ayala, 2019)

Mapa de ubicación del área de la zona de concesión eléctrica. Ubicación de la ruta, verificación de condiciones climatológicas y topográficas. Trabajos de inspección, elaboración de planos kmz. Selección de tipo de cable (cálculo vano, flecha, elección del span). Cálculos de pérdidas ópticas, validación de instalación, pasos para certificación de fibra, mediciones en OTDR, descripción del software EXFO, umbrales para el análisis de la curva, atenuación, reflectancia, pérdida óptica de retorno ORL. Protocolo de medición en ambos sentidos A-B y B-A. Cuadro de identificación de peligros y evaluación de riesgos para la implementación del enlace troncal de fibra óptica.

Longitud de instalación 89.543 kilómetros
Costo de aproximado de materiales S/IGV: S/. 689,275.36
Costo aproximado diseño de enlace S/IGV: S/. 179,086.60
Costo aproximado de servicio de instalación S/IGV: S/. 940,204.65
Costo total aproximado S/IGV: S/. 1,808,566.61

3.1.15 Resultados.

Cantidad de estructuras a emplear para el enlace de fibra óptica del proyecto

Tabla 19.

Cantidad total de estructuras a emplear para el enlace F.O.

LUZ DEL SUR		718
Alta tensión		116
Concreto	C15/400	21
Madera	M15	15
	M18	65
Metálico (torre)	A15	5
	A18	3
	A20	6
	A30	1
Baja tensión		426
Concreto	C11.5/200	215
	C13/300	173
	C8.7/200	38
Media tensión		176
Concreto	C11.5/200	4
	C13/300	21
	C13/400	16
	C15/400	96
Madera	M13	12
	M15	21
	M18	4
Metálico (torre)	A15	2
TELEFÓNICA		283
TOTAL GENERAL		1001

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19, se registra la cantidad de estructuras para el enlace de fibra óptica con un total 1001 estructuras (postes de concreto, madera y torres de metal).

Estas estructuras se registraron en la inspección de campo, donde se recorrió toda la ruta del proyecto desde San Mateo hasta Santa Anita. Para poder realizar el trabajo de inspección se dividió en 6 tramos como se muestra en la Tabla 10.

Las estructuras eléctricas (Luz del Sur) inspeccionadas y se encuentran en condición de Apto para soportar un cable de comunicación se describe estructuras de Alta Tensión que incluye el tipo concreto, madera y metal suman 116. Estructuras de Baja Tensión incluye solo el tipo de concreto suman 426. En estructuras de Media Tensión incluye el tipo concreto, madera y metal suman 176.

Las estructuras de Telefónica recomendada de concreto suma 283. El registro de las estructuras con las características de altura, tipo, estado de estructura, nivel de tensión, entre otros.

Cantidad bobinas a emplear para el enlace de fibra óptica del proyecto

Tabla 20.

Cantidad bobinas para el enlace de F.O.

Bobina	Metrado acumulado (m)	Span
Bobina N° 1	2345.84	400
Bobina N° 2	4489.99	1000
Bobina N° 3	7613.89	600
Bobina N° 4	10776.12	400
Bobina N° 5	14047.83	600
Bobina N° 6	17555.96	1000
Bobina N° 7	20818.38	1000
Bobina N° 8	24663.90	1000
Bobina N° 9	28569.91	600
Bobina N° 10	32584.51	800
Bobina N° 11	36117.33	1000
Bobina N° 12	38913.58	800
Bobina N° 13	42367.12	1000
Bobina N° 14	46221.81	1000
Bobina N° 15	49386.17	600
Bobina N° 16	52818.67	600
Bobina N° 17	56234.42	600
Bobina N° 18	59984.96	200
Bobina N° 19	63604.37	200
Bobina N° 20	67249.05	200
Bobina N° 21	71211.20	200
Bobina N° 22	74917.68	200
Bobina N° 23	78602.48	200
Bobina N° 24	82305.36	200
Bobina N° 25	85990.73	200
Bobina N° 26	89543.30	200

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20, el metrado acumulado que se observa por bobina es la sumatoria creciente (longitud de cable de fibra óptica en metros) desde la bobina 1 hasta bobina 26. Por ejemplo hasta la bobina 6 se va utilizar 17555.96 metros ó 17 kilómetros y 555.96 metros de cable de fibra óptica. Hasta la Bobina 23 se va utilizar 78602.48 metros ó 78 kilómetros y 602.48 metros de cable de fibra óptica.

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar la nueva ruta de enlace de la red troncal de fibra óptica desde San Mateo a Santa Anita en infraestructura eléctrica de alta media y baja tensión (Luz del Sur) para el operador de Telecomunicaciones (Telefónica), con una longitud aproximada de 90 Kilómetros. Los cálculos de longitudes y en diseño de plano en KMZ se realizó en la aplicación Google Earth. La recomendación cable de fibra óptica Monomodo (que se utiliza para largas distancias) de tipo ADSS (Cable de Fibra Óptica Autosoportado) de Span (200, 400, 600, 800, 1000), debido a las longitudes del vano. Con una cantidad de 25 empalmes. Para la instalación de la fibra óptica se va utilizar 1001 estructuras (ver Tabla 18), de los cuales 718 estructuras eléctricas (de alta, media y baja tensión) que pertenece a Luz del Sur y 283 postes proyectados que se requiere (Telefónica). Se requiere de 26 Bobinas de F.O para el enlace.
- Para validar el tendido de la fibra óptica, se tomó en cuenta las distancias mínimas de seguridad descritas en capítulo dos (ver Tablas 2 y 3) distancias con respecto al piso, la distancia con respecto a la línea de tensión, para ello se empleó dos instrumentos de medición: Pértiga métrica y medidor Laser y registrar en la plantilla de catastro.

Se realizó la inspección de la base de la estructura verificando que no tenga rajaduras, en postes de media tensión, las estructuras no deben presentar corrosión en la base y la inclinación no debe sobrepasar los 4 grados.

Se proyectó poste propio para colocar la caja de empalmes (Luz del Sur no permite instalar la caja de empalmes en su infraestructura eléctrica). Según el cálculo que se muestra en la Tabla 9, Elección de Span de fibra, describe el número de bobina y el metraje acumulado, en algunos casos por la longitud del Vano el empalme se debe realizar antes de 4km.

- El sistema tolera máximo 39 dB (presupuesto de potencia) y la pérdida total es de 32.9 dB. Se determina que el sistema óptico es apto para la instalación, porque tiene un margen de 6.10 dB. El valor típico del margen del sistema es 5 a 10 dB.

Si en el cálculo de la pérdida total resultaba un valor mayor a 39 dB el sistema se volvería analizar los valores de las pérdidas para reducir la atenuación total y/o utilizar un amplificador.

- Las estructuras de Alta y Media Tensión de Luz del Sur en la provincia de Huarochirí y en el distrito de Chosica tienen una ubicación favorable frente a huaycos ya que están alejadas de las quebradas. Pero pueden surgir inconvenientes en el tendido de la fibra óptica, para ello se deberá realizar una supervisión y coordinación de las cuadrillas y revisar el cuadro de identificación y evaluación de riesgos (ver Tablas del 10 al 16), que describe los peligros, riesgos y los controles de los riesgos de la ruta de enlace desde San Mateo hasta Santa Anita.

Los primeros 4 tramos que son, San Mateo – Matucana, Matucana – Surco, Surco – Corcona y Corcona – Chosica (ver Tabla 9), se ha calificado como las rutas de alto riesgo por presentar terrenos a desnivel, ladera de los cerros, con caminos angostos, pendientes pronunciadas, y algunas rutas de difícil acceso, cruce de río, cruce de la carretera central, cruce de ferrocarril, además del calor, frío y neblina, el viento.

Los últimos dos tramos, Chosica – Ate Vitarte, Chosica – Ate Vitarte, presentan facilidad para instalación por ubicar en vías calles y avenidas.

RECOMENDACIONES

- Conocer y aplicar adecuadamente las normas de distancias mínimas del CNE. mala interpretación y aplicación en el diseño que involucra redes eléctricas puede traer como consecuencia un rechazo del proyecto, pérdida de tiempo y recursos.
- Definir los parámetros para el diseño de enlace de fibra óptica.
- Para la inspección e implementación se debe realizar capacitación previa (escalamiento, caminos de difícil acceso, primeros auxilios) para el equipo técnico del proyecto.
- Es importante realizar un estudio previo en oficina para conocer las rutas, verificar si existe camino, trocha a la zona de inspección con la aplicación de Google Earth.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Peruano. (27 de Abril de 2016). Se requieren 7,145 antenas de telefonía móvil en Perú. págs. <https://elperuano.pe/noticia-se-requieren-7145-antenas-telefonía-movil-peru-40427.aspx>
- [2] RRP. (22 de agosto del 2016). OSIPTEL aplicó 174 multas por mala cobertura del servicio de telefonía. págs. <https://rpp.pe/peru/lambayeque/osiptel-aplico-174-multas-por-mala-cobertura-del-servicio-de-telefonía-noticia-989082>.
- [3] El Comercio. (16 de Marzo de 2017). telefonía móvil e internet presentan fallas 13 regiones. págs. <https://elcomercio.pe/peru/telefonía-movil-e-internet-presentan-fallas-13-regiones-145130>.
- [4] América Noticias. (26 de Enero de 2017). chosica: residentes quedaron aislados caída huaico. págs. <https://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/chosica-residentes-que-daron-aislados-caída-huaico-n262958>.
- [5] Gestión. (06 de Octubre de 2016). Telefónica invertirá cerca de US\$ 3,000 millones en el Perú entre el 2016 y 2020. págs. <https://gestion.pe/economía/empresas/telefonía-invertirá-cerca-us-3-000-millones-peru-2016-2020-117229>.
- Briceño, J. (2005). Transmisión de datos. Venezuela: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.
- BSI Group, T. (2019). *www.bsigroup.com*. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <https://www.bsigroup.com/es-ES/seguridad-y-salud-laboral-iso-45001/>
- Cabezas, J. (2007). *Sistemas de telefonía*. Madrid: I Paraninfo S.A.
- Caicedo esparza, J. (2018). DISEÑO DE UNA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA MULTIPLEXADA CON TECNOLOGÍA DWDM PARA INTERCONECTAR LAS CIUDADES DE QUITO Y TULCAN (Tabajo de titulación). Ecuador.

- Celis Chávez, V. M. (2011). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMA COMPARTIDO CON LÍNEA DE ENERGÍA PARA UN CAMPAMENTO MINERO EN ETAPA PRE-OPERATIVA (Informe de suficiencia). Lima, Peru.
- Chec. (2018). *aplicaciones.chec.com.co*. Recuperado el 11 de Marzo de 2019, de https://aplicaciones.chec.com.co/archivos/juridica/2716_2018-03-22_Condiciones_Particulares_%20Fibra_optica.pdf
- Chomycs, B. (2002). Instalación de fibra óptica. España: Mcgraw-Hill.
- CNE. (2011). Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de <http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Mayo/05/RM-214-2011-MEM-DM.pdf>
- EXFO. (2010). *www.EXFO.com*. Obtenido de http://www.adinstruments.es/WebRoot/StoreLES/Shops/62688782/550C/6598/2177/890D/694B/C0A8/2BB8/C2EB/FTB-7500E_manual.pdf
- Furukawa. (Mayo de 2016). <https://www.fisoluciones.com>. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <https://www.fisoluciones.com/index.php/noticias/38-cables-adss>
- Gallardo, S. (2015). *Elementos de sistemas de telecomunicaciones*. Madrid: Parainfo SA.
- Gutiérrez, E. (2014). *Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red de Fibra Óptica entre Desaguadero y Moquegua*. Lima.
- Huamaní , M. (2017). *CITE energia*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/efecto-galloping.pdf>
- Leyva, H. (2009). *Fisica I*. Lima: Moshera S.R.L.

- Luz del Sur. (2018). *www.luzdelsur.com.pe*. Recuperado el 2019, de <https://www.luzdelsur.com.pe/media/pdf/nosotros/reglamentointerno.pdf>
- Osinergmin. (2019). *www.osinergmin.gob.pe*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/Paginas/mapaMT/index.html>
- Pierri, J. (2010). *Comisión Interamericana de Telecomunicaciones - CITELE*. Obtenido de http://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp
- PLP Brasil. (2016). *www.plp.com.br*. Recuperado el 29 de Marzo de 2019, de <http://www.plp.com.br/es/telecomunicaciones-catalogo/item/17-atenuador-de-efecto-corona-corona-coil>
- Pomalaya Tacuri, R. (2018). PROYECTO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA EN PLANTA EXTERNA EN LA REGIÓN DE HUANCVELICA (Trabajo de suficiencia profesional). Lima, Perú.
- Prieto, J. (2014). *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica*. Madrid.
- Provetel. (2019). *www.provetel.com.ar*. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <http://www.provetel.com.ar/tienda/fibra-y-accesorios/fibra-adss-24fo-bobina-de-2km>
- Telnet. (2019). *www.telnet-ri.es*. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de <https://www.telnet-ri.es/productos/cable-de-fibra-optica-y-componentes-pasivos/cable-aereo-adss/>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.

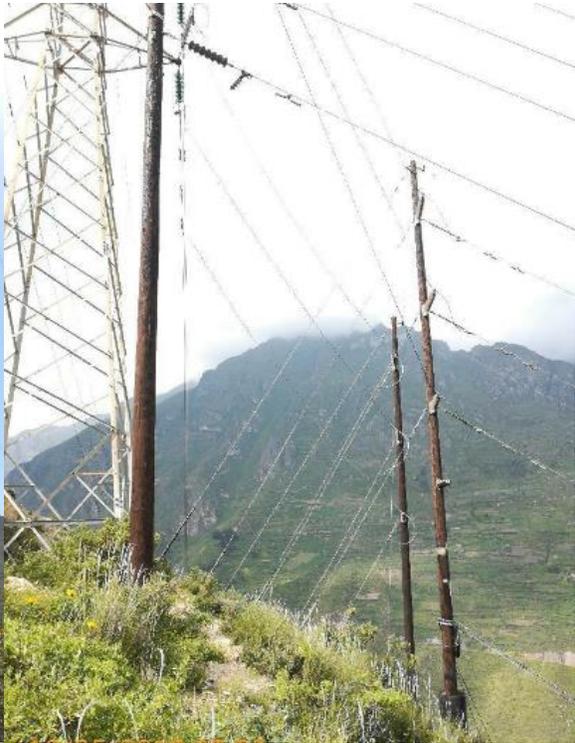
ANEXO A

Panel Fotográfico

Algunas imágenes de las estructuras que se utilizarán para la instalación del cable de comunicación.



Estructura 31



Estructura 30

Estructura 37



Estructura 51



Estructura 61



Estructura 94



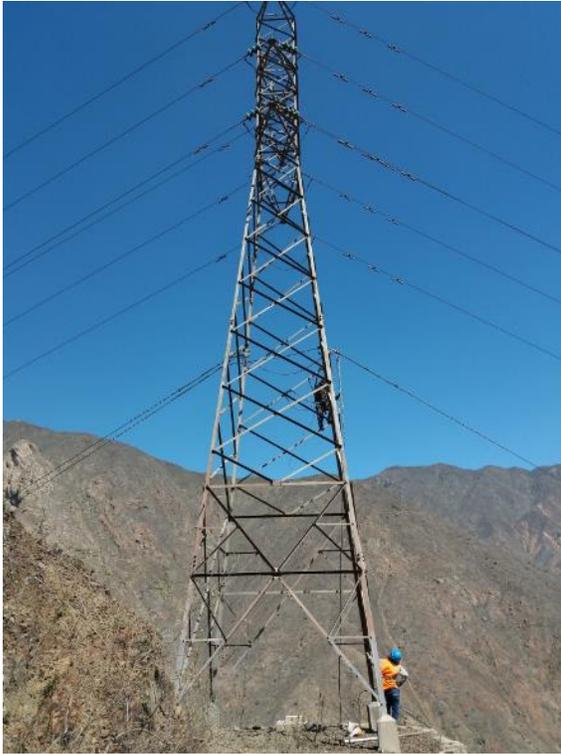
Estructura 227



Estructura 228

Algunas imágenes de la instalación del cable de comunicación.





ANEXO B

<p>FORMATO</p> <p>PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR</p>	Código:
	Versión: 3
	Pág. 1 de 1

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">ENLACE:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Enlace San Mateo - Matucana</td> </tr> <tr> <td>ESTACIÓN A:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">San Mateo</td> </tr> <tr> <td>MARCA EQUIPO A:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">EXFO</td> </tr> <tr> <td>S/N EQUIPO A:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">FTB-720-12CD-23B</td> </tr> <tr> <td>LONG. ONDA:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1,550 nm</td> </tr> <tr> <td>ANCHO DE PULSO:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">100 ns</td> </tr> <tr> <td>BOBINA LANZAMIENTO:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1000 m</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD ENLACE:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">21.6675 Km</td> </tr> </table>	ENLACE:	Enlace San Mateo - Matucana	ESTACIÓN A:	San Mateo	MARCA EQUIPO A:	EXFO	S/N EQUIPO A:	FTB-720-12CD-23B	LONG. ONDA:	1,550 nm	ANCHO DE PULSO:	100 ns	BOBINA LANZAMIENTO:	1000 m	LONGITUD ENLACE:	21.6675 Km	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">FECHA:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">11/03/2019</td> </tr> <tr> <td>ESTACION B:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Matucana</td> </tr> <tr> <td>MARCA EQUIPO B:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">EXFO</td> </tr> <tr> <td>S/N EQUIPO B:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">FTB-720-12CD-23B</td> </tr> <tr> <td>RANGO DISTANCIA:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">30 Km</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO MUESTREO:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">60 s</td> </tr> <tr> <td>COEF. RAYLEIGH (RBS):</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">-81.87</td> </tr> <tr> <td>INDICE REFRACCION:</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1.468</td> </tr> </table>	FECHA:	11/03/2019	ESTACION B:	Matucana	MARCA EQUIPO B:	EXFO	S/N EQUIPO B:	FTB-720-12CD-23B	RANGO DISTANCIA:	30 Km	TIEMPO MUESTREO:	60 s	COEF. RAYLEIGH (RBS):	-81.87	INDICE REFRACCION:	1.468
ENLACE:	Enlace San Mateo - Matucana																																
ESTACIÓN A:	San Mateo																																
MARCA EQUIPO A:	EXFO																																
S/N EQUIPO A:	FTB-720-12CD-23B																																
LONG. ONDA:	1,550 nm																																
ANCHO DE PULSO:	100 ns																																
BOBINA LANZAMIENTO:	1000 m																																
LONGITUD ENLACE:	21.6675 Km																																
FECHA:	11/03/2019																																
ESTACION B:	Matucana																																
MARCA EQUIPO B:	EXFO																																
S/N EQUIPO B:	FTB-720-12CD-23B																																
RANGO DISTANCIA:	30 Km																																
TIEMPO MUESTREO:	60 s																																
COEF. RAYLEIGH (RBS):	-81.87																																
INDICE REFRACCION:	1.468																																

FIBRA N°	MEDIDA A - B (dB)	MEDIDA B - A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A - B (dB)	MEDIDA B - A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	5.25	5.06	5.16	25	4.78	4.52	4.65
2	4.52	4.95	4.74	26	4.79	4.44	4.61
3	4.83	4.74	4.79	27	4.61	4.84	4.73
4	5.00	5.05	5.03	28	4.56	4.60	4.58
5	4.64	4.46	4.55	29	4.78	5.00	4.89
6	4.96	4.63	4.80	30	4.68	4.54	4.61
7	4.98	4.86	4.92	31	4.72	4.81	4.77
8	5.06	4.72	4.89	32	5.19	4.87	5.03
9	4.72	5.07	4.89	33	4.62	4.83	4.72
10	4.67	4.49	4.58	34	4.51	4.49	4.50
11	4.90	4.65	4.77	35	4.70	4.87	4.78
12	4.67	4.46	4.57	36	5.51	5.76	5.63
13	4.84	4.53	4.69	37	4.92	5.07	4.99
14	4.82	4.41	4.62	38	4.87	4.79	4.83
15	4.58	4.56	4.57	39	4.90	4.65	4.77
16	5.01	4.78	4.89	40	4.78	4.46	4.62
17	4.92	4.72	4.82	41	4.84	4.88	4.86
18	4.84	4.81	4.83	42	4.82	4.67	4.75
19	4.91	4.82	4.86	43	4.82	4.66	4.74
20	4.67	4.54	4.61	44	5.02	4.67	4.85
21	4.77	4.69	4.73	45	4.96	4.72	4.84
22	4.74	4.78	4.76	46	4.84	4.81	4.83
23	4.62	4.83	4.73	47	4.93	4.82	4.87
24	4.55	4.86	4.70	48	5.01	4.90	4.96

OBSERVACIONES: _____

ELABORADO POR _____

SUPERVISADO POR _____