

PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN Y
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DE FIBRA
ÓPTICA DE LA EBSA CON CANALES DE 10 Gbps

PAOLA ANDREA SAINEA MOLINA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
TUNJA
2016

PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN Y
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DE FIBRA
ÓPTICA DE LA EBSA CON CANALES DE 10 Gbps

PAOLA ANDREA SAINEA MOLINA

Trabajo de grado elaborado para optar por el título de Ingeniera Electrónica,
Modalidad: Práctica con Proyección Empresarial o Social

DIRECTOR:
OSCAR FERNANDO VERA CELY
Magíster en Tecnología Informática
Ingeniero Electrónico

COORDINADOR:
JORGE ARTURO MOJICA CACERES
Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
TUNJA
2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 24 de Junio de 2016

DEDICATORIA

A toda mi familia, principalmente a mis padres y mi hermana, por brindar todo su apoyo, por ser voz de aliento, por estar pendientes de detalles y aportar con sus diversos conocimientos, por sembrar la semilla, este logro es de ustedes.

A mi abuelita, mujer valiente, símbolo de fortaleza, que nos ha enseñado a no desfallecer, cada logro nuestro es orientado con sus palabras y su sabiduría, con su sencillez y su inmenso cariño, que la vida le permita acompañarnos en muchos más caminos, y celebrar juntos en familia, como es costumbre, muchas más metas.

A la vida misma.

Agradecimientos

A la vida, porque ha brindado todas las herramientas para crecer, ha enviado cada cosa en su momento, permitió que todo fluyera y hoy me permite culminar una etapa.

A los sucesos que me hicieron elegir esta carrera, a todos los sueños grandes y pequeños, al tiempo que se quema a diario con el mundo corriendo en círculos, a todos los que me han formado a lo largo de esta vida universitaria, a los que me retaron y los que me hicieron conocerme.

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional, por creer en mí cuando yo dudaba, a mi abuelita por sus palabras de aliento, sus abrazos y bendiciones, y en general a toda la familia porque sé que han depositado su confianza en mí, y siempre estuvieron prestos a colaborar.

A mis amigos principalmente a Andrea, Juliana, Sebastian, Keidy, Julian y Yesica por su apoyo durante toda la carrera, por el compartir, su tiempo para oírme y brindarme lindos momentos, por su ayuda en las transiciones, por mantener los lazos a pesar de la distancia y de diversas situaciones.

A Nelson y Juan David, compañeros de trabajo y amigos, gracias por los desvelos y la confianza, por las palabras de apoyo, el compartir, los proyectos, el estudio, los días de laboratorio, y en general por esa etapa universitaria que va culminando y sabemos no volverá.

Al Ingeniero Oscar Vera por su colaboración con el desarrollo de este proyecto, por su paciencia y comprensión, sin su ayuda este trabajo no habría sido lo que es hoy.

A cada uno de los docentes con los que compartí y me forme, gracias a ustedes hoy tengo unas bases para seguir formándome y complementando cada una de sus enseñanzas.

A la empresa de energía de Boyacá por brindarme la oportunidad de desarrollar la práctica empresarial, principalmente al Ingeniero Jorge Mojica quien me oriento en

el desarrollo de la misma y a los ingenieros del grupo de Telemática: el Ing Carlos Gomez, Amilcar Diaz, Carlos Montoya y Dilvar Puerto.

A las instituciones que paralelo a la universidad me han formado, e ineludiblemente a esta alma mater, que me recibió y brindo las herramientas para realizar este trabajo, y ha dejado una semilla para servir a la sociedad más adelante.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN	21
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	24
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.4 JUSTIFICACIÓN	27
1.5 OBJETIVOS	29
1.5.1 Objetivo General	29
1.5.1 Objetivos Específicos	29
2 MARCO REFERENCIAL.....	30
2.1 MARCO HISTORICO	30
2.2 MARCO TEÓRICO.....	31
2.2.1 Conceptos Generales de Fibra Óptica	31
2.2.3 Tipos de Cables según su Construcción	32

2.2.3.1 De estructura holgada	32
2.2.3.2 De estructura ajustada	33
2.2.4 Características de las Fibras Ópticas.....	34
2.2.4.1 Características de transmisión.	34
2.2.4.2 Características Mecánicas	35
2.2.4.3 Condiciones Ambientales.	36
2.2.5 Pérdidas en los Enlaces de Fibra Óptica	36
2.2.5.1 Pérdidas en los Cables de Fibra Óptica.	36
2.2.5.3 Pérdidas En Los Dobleces o Curvaturas.....	38
2.2.6.1 Especificaciones de transmisión óptica para el 10GBASE-L y 10GBASE-E	39
3. INSTALACIONES DE CABLES OPTICOS	43
3.1 CABLEADO DE FIBRAS ÓPTICAS	43
3.1.1 Herrajes.....	44
3.1.1.1 Tensores.	44
3.1.1.2 Herraje de amarre.	44
3.1.1.3 Herrajes De Suspensión.	44
3.1.2 Accesorios componentes de cadenas de herraje.....	45
3.1.2.1 Varillas De Protección.	45

3.1.2.2 Antivibradores o Amortiguadores.	45
3.1.2.3 Protecciones y Balizamientos contra Choques.	45
3.1.2.4 Grapas de conexión.	45
3.2 CABLE AUTOSOPORTADO COMPLETAMENTE DIELÉCTRICO	46
3.3 CABLE DE FIBRA OPTICA DE HILO DE GUARDA	46
3.4 RECOMENDACIONES DE INSTALACION DE LA RED DE FIBRA OPTICA DE LA EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A. E.S.P.	47
3.4.1 Objeto.....	47
3.4.2 Alcance	47
3.4.4 Recomendaciones de Manipulación de la Fibra Óptica.	48
3.4.5 Recomendaciones de Tendido de Fibra.....	49
3.4.5.1 Cable Exterior.....	50
3.4.6 Generalidades Certificación De Fibra Óptica	55
3.4.7 Perfiles y Equipo de Trabajo	57
4. CERTIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA	58
4.1 CERTIFICADOS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.....	59
4.2 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA CALIBRACIÓN ADECUADA DEL OTDR FTB-200 V2	60

4.2.1 Medición de Potencia	66
4.2.2 LOCALIZADOR VISUAL DE FALLOS (VFL).....	68
4.2.3 Medidas Reflectométricas	71
4.2.3.1 Evento de Fibra continúa.	74
4.2.3.2 Evento no Reflectivo	75
4.2.3.3 Evento Reflectivo	75
4.2.3.4 Evento Positivo.....	76
4.2.3.5 Evento Reflectivo combinado.....	77
4.2.3.6 Eco	78
4.2.3.7 Evento Reflectivo (Eco posible).....	79
4.2.3.8 Eventos Fantasma	79
5. MANTENIMIENTO DE REDES DE FIBRA OPTICA.....	80
5.1.4 Generalidades del Mantenimiento Preventivo	81
5.1.5 Mantenimiento Preventivo	83
5.1.6 Mantenimiento Correctivo	88
5.1.7 Perfiles y Equipo de Trabajo	89

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DE FIBRA OPTICA DE LA EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A. E.S.P 90

6. TRABAJOS POSTERIORES92

CONCLUSIONES 93

BIBLIOGRAFÍA 94

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Capa física implementada según nomenclatura	38
Tabla 2. Especificaciones de transmisión para 10G BASE-L	39
Tabla 3. Especificaciones de recepción para 10GBASE-L	40
Tabla 4. Potencia de linkeo para 10GBASE-L	40
Tabla 5. Especificaciones de transmisión para 10GBASE-E	40
Tabla 6. Especificaciones de recepción para 10GBASE-E	41
Tabla 7. Potencia de linkeo para 10GBASE-E	41
Tabla 8. Espacio vertical de cables	43
Tabla 9. Normas relacionadas de la ITU-T	48
Tabla 10. Valores de Fabricante de IOR y RBS	65
Tabla 11. Símbolos de eventos del OTDR	73
Tabla 12. Normas de la ITU-T a tener en cuenta para el mantenimiento preventivo y correctivo	83

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fibra monomodo.....	31
Figura 2. Estructura de Cable ADSS y SS.....	33
Figura 3. Estructura del cable ADSS	46
Figura 4. Estructura cable OPGW.....	47
Figura 5. Caja de tracción en línea recta y en empalme.....	55
Figura 6. OTDR de la EBSA	60
Figura 7. Menú Principal OTDR.....	61
Figura 8. Menú OTDR Avanzado.....	62
Figura 9. Menú Configuración OTDR Pestaña General.....	63
Figura 10. Menú Configuración OTDR Pestaña de Adquisición	64
Figura 11. Configuración Información de traza predeterminada	64
Figura 12. Configuración análisis de eventos	65
Figura 13. Menú de Medidor de Potencia en OTDR.....	67
Figura 14. Configuración del Módulo medidor de potencia.....	68
Figura 15. Interfaz gráfica del localizador visual de fallos.....	69
Figura 16. Cambio Umbrales de Potencia	69
Figura 17. Vista Superior Modulo FTB-200.....	70
Figura 18. Configuración VFL como fuente de Luz.....	70
Figura 19. Error OTDR, Fibra Activa.....	71

Figura 20. Warning de OTDR, reflectancia alta	72
Figura 21. Hilo 09 Maranta-Duitama	73
Figura 22. Fibra 11 Continúa de Ed. Duitama a Maranta.....	74
Figura 23. Evento no reflectivo en Hilo 11 de Sirata a Centro de Control.....	75
Figura 24. Eventos reflectivos en la fibra 12 de La Ramada a San Antonio.	76
Figura 25. Hilo 06 de Iraca a la Ramada con diferentes eventos.....	77
Figura 26. Evento reflectivo al inicio de la fibra, hilo 9 de Donato a Edificio Tunja.	77
Figura 27. Segmento final medido con eco, hilo 08 de Iraca a la Ramada	78

LISTA DE ANEXOS

Los anexos se encuentran en el CD adjunto con el siguiente contenido:

ANEXO A. SEGMENTOS ENTRE SUBESTACIONES DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE LA EBSA

A.2 PÉRDIDAS EN SEGMENTOS DE FIBRA ÓPTICA ENTRE SUBESTACIONES DE LA EBSA

ANEXO B. VARIABLES MÍNIMAS A MEDIR EN LAS SECCIONES DE FIBRA

ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

ANEXO D. FORMATO INVENTARIO DE EQUIPOS DE FIBRA POR SUBESTACIÓN

ANEXO E. LEVANTAMIENTO DE INVENTARIO SUBESTACIONES

ANEXO F INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES SIRATA –CENTRO DE CONTROL

ANEXO G. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES CENTRO DE CONTROL – LA RAMADA

ANEXO H. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES HIGUERAS – MARANTA

ANEXO I. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES HIGUERAS-TERMOPAIPA

ANEXO J. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES LA RAMADA – IRACA

ANEXO K. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES LA RAMADA – SAN ANTONIO

ANEXO L. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES MARANTA- DUITAMA

ANEXO M. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES LA RAMADA – IRACA

ANEXO N. INFORME MEDIDAS BIDIRECCIONALES TERMOPAIPA – DONATO

ANEXO O. PLANO DE CONEXIONES DE LA FIBRA ÓPTICA ENTRE ODFS Y SUBESTACIONES DE LA EBSA

GLOSARIO

ABERTURA NUMÉRICA: describe la capacidad de reunir la luz que tiene una fibra óptica.

ACOPLADOR Generalmente entre fuente y fibra (como por ejemplo un lente) es una interfaz mecánica. Su función es acoplar la luz que emite la fuente e introducirla al cable de fibra óptica.

ÁNGULO DE ACEPTACIÓN: Define al ángulo máximo que pueden formar los rayos luminosos externos al llegar a la interfaz aire-fibra. Para poder propagarse por la fibra, Al girar este ángulo en torno al eje de la fibra se obtiene el cono de aceptación de la entrada de la fibra.

ÁNGULO CRÍTICO: se define como el ángulo de incidencia mínimo en el cual un rayo de luz puede llegar a la interfaz entre dos medios y tener un ángulo de refracción de 90° o mayor. Esta definición sólo se aplica cuando el rayo de luz pasa de un medio más denso a uno menos denso.

ÁNGULO DE ACEPTACIÓN: Define al ángulo máximo que pueden formar los rayos luminosos externos al llegar a la interfaz aire-fibra con una respuesta no mayor de 10 dB menos que el valor máximo.

ATENUACIÓN: Pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable.

CONSTANTE DE ENSANCHAMIENTO DEL PULSO: es la diferencia entre los tiempos absolutos de demora de los rayos de luz más rápidos y más lentos que se propagan por una fibra de longitud unitaria, se expresa en nanosegundos por kilómetro (ns/km).

CORRIENTE OSCURA: es la corriente de reposo que pasa por un fotodiodo cuando no hay entrada luminosa. Se debe a portadores generados térmicamente en el diodo

DECAIMIENTO ESPONTÁNEO O EMISIÓN ESPONTÁNEA: es el proceso de decaer de un nivel de energía a otro.

DETECTOR DE LUZ: Es un diodo PIN (tipo p tipo n intrínseco) o un fotodiodo de avalancha (APD, de avalanche photodiode). Tanto el diodo APD como el PIN convierten la energía luminosa en corriente.

DIÁMETRO DEL CAMPO MODAL: Este diámetro se define como la inversa del ancho cuadrático medio de la distribución del campo emitido desde el extremo de la FO y es el ancho cuando la potencia emitida se reduce a e^{-2} (aproximadamente

0,13) del valor máximo considerando la emisión gaussiana del extremo de la fibra óptica. Normalmente el diámetro del campo modal está determinado por el diámetro del núcleo y es un 15% mayor a éste.

DISPERSIÓN MODAL, o ensanchamiento del pulso se debe a la diferencia en los tiempos de propagación de rayos de luz que van por diferentes trayectorias en una fibra. La dispersión modal sólo puede presentarse en las fibras multimodales.

DISPERSION DE GUIA DE ONDAS: la dispersión de guía de ondas se debe a imperfecciones en la relación entre el radio del núcleo r_a y la longitud de onda de la luz que se transmite.

FLECHA: Se llama flecha, a la distancia entre la línea recta que pasa por los dos puntos de sujeción de un conductor en dos apoyos consecutivos, y el punto más bajo de este mismo conductor.

FO STD: es del tipo monomodo SM (*SingleMode*) normalizada en ITU-T G.652. Se trata de la FO más popular en redes de telecomunicaciones actuales. Es factible de usarse en 1300 y 1550 nm. Debido a la dispersión cromática esta FO está optimizada para el cero de dispersión en 1300 nm.

FO PDC (*Passive Dispersion Compensator*): permiten la compensación de la dispersión cromática G.652. Posee un núcleo muy estrecho (2 μm) y un salto de índice de refracción muy alto. La atenuación se incrementa, por lo que se realiza una reducción paulatina entre el núcleo de la FO normal y la de compensación de dispersión. Se utilizan algunos metros de FO de compensación por varios km de FO standard G.652.

HILO DE GUARDIA: Las líneas incluyen como protección una cuerda de acero denominada Hilo de Guardia, cuya sección se determina de acuerdo a los requerimientos de la corriente de falla de la línea y/o por el nivel de actividad.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN: no es más que la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre, entre la velocidad de propagación del rayo en determinado material.

LONGITUD DE ONDA: la longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética.

LONGITUD DE ONDA DE CORTE: es la longitud de onda más pequeña a la que puede propagarse un modo único en una fibra monomodo.

POTENCIA ÓPTICA: La potencia óptica mide la tasa con la que las ondas electromagnéticas transfieren energía luminosa.

RESPONSIVIDAD: Es una medida de la eficiencia de conversión de un fotodetector. Es la relación de la corriente de salida de un fotodiodo entre la potencia óptica que le entra, y tiene unidades de amperes/watt.

RESPUESTA ESPECTRAL: Es el intervalo de longitudes de onda que se puede usar con determinado fotodiodo. En general, la respuesta espectral relativa se grafica en función de la longitud de onda o de la frecuencia.

SENSIBILIDAD A LA LUZ: En esencia, esta sensibilidad es la potencia óptica mínima que puede recibir un detector para producir una señal eléctrica útil de salida. La sensibilidad a la luz se acostumbra mencionar para determinada longitud de onda, ya sea en dBm o en dB

TENSIÓN DE TRABAJO MÁXIMA. Es la máxima tensión ejercida en el conductor en las condiciones climáticas más adversas previstas para el área de instalación; por ejemplo, viento máximo más la carga de hielo y las mínimas temperaturas. Normalmente se considera el 50% de la carga de rotura del conductor (CBL ó Conductor Breaking Load).

TENSIÓN PERMANENTE: Es la condición en la cual se espera que trabaje el conductor en la gran mayoría del tiempo, y generalmente se refiere a la tensión del conductor a una temperatura especificada (por ej. 20% del CBL a 25°C). Se la suele denominar por sus siglas en inglés EDT (everyday tension).

TIEMPO DE TRÁNSITO: Es el tiempo que tarda un portador inducido por la luz en cruzar la región de agotamiento. Este parámetro determina la máxima frecuencia posible de bits con determinado fotodiodo.

VANO: Vano de una conducción aérea a la distancia entre apoyo y apoyo. Esta distancia, medida en metros, se denomina luz.

VENTANAS: La transmisión de información a través de fibras ópticas se realiza mediante la modulación (variación) de un haz de luz invisible al ojo humano, que en el espectro ("color" de la luz) se sitúa por debajo del infra-rojo.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el fin de proporcionar a la empresa de energía de Boyacá, recomendaciones de tendido de fibra óptica, así como un protocolo de mantenimiento de la red de fibra óptica, haciendo uso de conceptos referentes a pérdidas y atenuaciones en redes de fibra óptica monomodo en largas distancias, que cumplen con el estándar ITU-T G.652.D del tipo ADSS(Dieléctrico autosoportado de sus siglas en inglés All-Dielectric Self-Supporting) y OPGW (Cable de guarda con fibra óptica de sus siglas en inglés Optical ground wire system), de tal manera que se cuente con las herramientas necesarias para mejorar los protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica, logrando disminuir el tiempo de respuesta de dichas acciones de soporte, y proporcionar un enlace seguro para el transporte de información de monitoreo, importante para el correcto funcionamiento de la empresa.

Para lograr establecer los términos adecuados para los procesos de mantenimiento e instalación se relacionaron conceptos teóricos, prácticas y anotaciones de técnicos, y personal especializado en fibra óptica, así mismo se tuvo en cuenta los manuales de proveedores de equipos de medición y las normas nacionales e internacionales que regulan tanto la instalación, conexión, empalme, ODF (Distribuidores de Fibra óptica de las siglas Dealer for Fiber Optic), reducción de pérdidas, tensión y manipulación pertinente.

Teniendo en cuenta que los términos de referencia de instalación y mantenimiento preventivo y correctivo a realizar van encaminados a trabajar con la fibra óptica para enviar información a una velocidad de 10Gbps, se analizaran cuáles son los limitantes para alcanzar esas velocidades, según la norma que tipos de fibras pueden ser útiles, con que ventanas se podría trabajar mejor, en cuales habrá mayor atenuación, mayor dispersión, que recomendaciones de tendido y mantenimiento deben seguirse, en que está fallando la EBSA y como se puede con la red que ya se tiene implementada generar opciones de mejora, todo encaminado a optimizar la red que ya está instalada, ampliando su cobertura y aumentando la velocidad de transmisión.

INTRODUCCIÓN

Acontecía la primera mitad del siglo XVII, W. Snel realizaba experimentos cuando descubrió el efecto de refracción de la luz entre dos medios con distinto índice de refracción, era inimaginable en aquel entonces la importancia y aplicabilidad que tendría este descubrimiento¹.

Posteriormente con la adopción de la teoría de la luz como onda y partícula, y la invención del fonógrafo por Alexander Graham Bell, en 1880, empezaría a gestarse en el campo de la ciencia, invenciones que revolucionarían las prácticas de comunicación.

Solo fue hasta 1960 con la invención del láser, el cual aporta mayor frecuencia de operación, que fueron relevantes los descubrimientos en el campo de la óptica, así como la aplicación del principio de la reflexión interna total, encaminando desde 1967, al uso de la fibra óptica revestida para transmisión de información en sistemas de comunicaciones de gran capacidad².

Desde esos tiempos a la actualidad como conducta natural del ser humano, con cada necesidad se ha producido una idea, y con ello una solución, a la par, con el fenómeno de la globalización, los procesos de comercialización cada vez son más prácticos y eficaces, así como la competencia empresarial ha migrado de un ámbito departamental o nacional a internacional, por lo mismo las empresas se ven abogadas a contar con mejor tecnología e infraestructura, para estar a vanguardia con un alto nivel competitivo.

Actualmente el ultimo estándar de Ethernet, el IEEE 802.3ae, que está vigente desde el 2002 establece velocidades de 10Gbps; sin embargo, son pocas las redes implementadas en Colombia para proporcionar esa velocidad a pesar de los esfuerzos que ha hecho el gobierno con el MINTIC, así como la empresa privada por invertir en la implementación de tecnologías más eficientes.

¹ DOMINGO, Alfredo Abad. McGraw-Hill Interamericana de España, SL. 2005. [En línea] <https://www.mhe.es/cf/ciclos_informatica/844819974X/archivos/unidad2_recurso2.pdf> Consultada el 3 de diciembre de 2015. P. 14.

² Tomasi Wayne. En: Sistemas de Comunicaciones Electronicas. Cuarta Edicion. México. 2003. Pearson Educación (EDUCACIÓN P, ed.). México; 2003. P. 423

Mientras tanto, en otras partes del mundo esta tecnológica ha sido probada y se ha evidenciado el buen desempeño que tienen las redes de fibra óptica para transmitir información a largas distancias y grandes velocidades.

Para implementar estos canales se hace necesario conocer el rendimiento y estabilidad de la red frente a ciertos factores externos como las condiciones climáticas, la exposición del tendido de la red de fibra, la distancia de propagación de la información, las posibles pérdidas por factores físicos, mecánicos y de acoples, así como la incidencia de las condiciones de instalación y tendido aéreo de la red de fibra óptica.

Debido a las necesidades definidas anteriormente y con el interés de estar sincronizados con los avances tecnológicos y generar progreso, es que la empresa de Energía de Boyacá E.S.P. (EBSA E.S.P), mediante la distribución y comercialización de energía eléctrica, con altos estándares en la gestión integral, innovación e incremento en la participación del sector eléctrico, está en continuo fortalecimiento de los sistemas existentes, entre ellos el de fibra óptica, uno de los más grandes del departamento, con una alta demanda de ancho de banda y cobertura, actualmente con canales de 1Gbps, buscando migrar a redes de mayor velocidad, que proporcionen 10 Gbps³.

Debido a que se busca trabajar con canales de alta velocidad, el trabajo se orientara hacia las características de fibras monomodo, dejando de lado todo lo referente a fibras multimodal, debido a que estas últimas no son útiles para altas velocidades ni grandes distancias; esto es sustentara con más detalle en el trascurso del presente documento. A la vez que se han realizado numerosos avances en este campo, reduciendo atenuaciones y pérdidas, permitiendo mayores velocidades de transmisión y ancho de banda.

Por lo mismo este trabajo busca, después de hacer una exploración por el campo de la fibra y de su aplicación a redes de transmisión de datos, tanto teóricos como prácticos, proporcionar una guía de los fenómenos a los que está expuesta la red, como se pueden eliminar o reducir, que variables deben ser medidas para detectar fallas y/o perdidas, y que tipo de equipos son los más adecuados para tomar las mismas. Todo teniendo en cuenta la norma UIT-T G. 652D.

³ *Empresa Energía Boyacá. Misión. En: <<http://www.ebsa.com.co/nue/mis/SitePages/Inicio.aspx>>*
Consultado: 3 de diciembre de 2015

También es importante tener en cuenta que la investigación se orientara según la capacidad de equipos, e instrumentos que se encuentran en la región o son accesibles a la EBSA.

En cuanto a las partes que integran el presente trabajo se presentaran cinco capítulos en los cuales se exploran las diferentes bases necesarias para el cumplimiento de los objetivos, partiendo tanto de la teoría y normatividad vigente, como del conocimiento de las condiciones de la fibra óptica implementada en la red de energía eléctrica de la EBSA.

El primer capítulo describe las necesidades y déficits de la empresa a la hora de realizar procedimientos de instalación y mantenimientos, y por ende la importancia de la elaboración de los protocolos y recomendaciones nombrados anteriormente.

El segundo capítulo le da un suelo al lector del tipo de fibra que usa la empresa, las cualidades, tipos de pérdidas y opciones de mejora que puede tener; además de evaluar tecnología, equipos, recomendaciones y estándares mínimos que debe cumplir una red instalada de fibra óptica aérea para lograr una velocidad de transmisión de 10 Gbps en distancias máximas de 120km.

El tercer capítulo orientará al lector en la relación medioambiental y el desempeño de trasmisión en la fibra óptica a corto, medio y largo plazo, con el fin de conocer cuáles son las principales cualidades que se deben cuidar de los cables de fibra, evitando grandes pérdidas y atenuaciones en los enlaces.

El cuarto capítulo se enfoca en el manejo del reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), los certificados de calibración del instrumento y datos importantes a tener en cuenta para evitar errores de medición por parte del instrumentador, así mismo se presentará un análisis de los diferentes eventos que mide el OTDR y los que se presentaron en las fibras de la empresa al realizar el mantenimiento predictivo en 11 subestaciones y/o edificios administrativos de la EBSA.

El quinto capítulo se desarrolla en torno al mantenimiento preventivo que se debe realizar a la fibra, para que con el paso del tiempo, no se deteriore la calidad de transmisión de la información, basándose en el mantenimiento predictivo realizado y explicado en el capítulo anterior, así como en valores umbrales recomendados.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La empresa de energía de Boyacá fundada desde 1955 presta el servicio de comercialización de energía eléctrica ejecutando proyectos eléctricos contribuyendo al desarrollo de la región y mejorando sus niveles de servicio⁴.

Al inicio la compañía, el campo de las telecomunicaciones aún estaba evolucionando y no se manejaba proceso alguno de monitoreo automatizado, debido en gran parte a que Colombia aún no se ajustaba a estándares o normas internacionales de calidad y servicio.

El primer medio de telecomunicación con que conto la EBSA fue la telefonía fija y el sistema de radioenlace, con el uso de la banda VHF (very high frequency), había comunicación entre cuadrillas y era posible la alerta en caso de alguna falla o suspensión del flujo eléctrico en alguno de los 123 municipios de Boyacá en que presta servicio la EBSA, de esta manera se ejercía cierto control al correcto funcionamiento de las subestaciones.

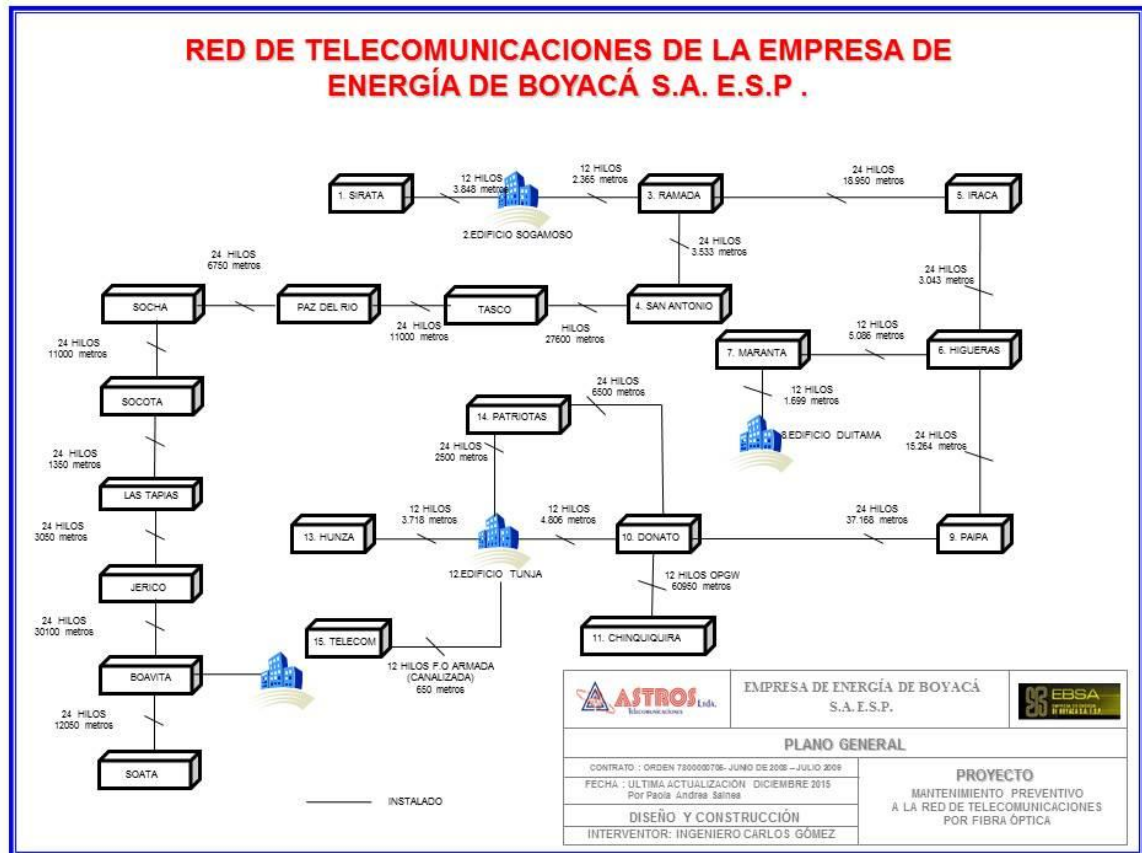
Sin embargo, la tecnología VHF debido a la topografía montañosa de Boyacá presenta numerosas zonas de sombra, por lo cual la señal no tenía total cubrimiento, y se dificultaba la transmisión de la información, principalmente en zonas rurales del departamento, generando un retraso en el restablecimiento de la señal, por lo mismo fue necesario ampliar el número de repetidoras, para dar mayor cobertura y tener presencia mediante VHF, en todo el departamento.

Pese a la ventaja de tener los canales de VHF para alguna alerta o comunicación entre cuadrillas, desde el 2006 la EBSA cambio sus políticas de gestión de carácter funcional a gestión por procesos, enfocándose en la gestión de recursos y optimización. Con este cambio organizacional, la EBSA empezó a interesarse más por tener un control de la energía que producía, el estado de sus subestaciones y de su rendimiento, lo que la llevo a automatizar las subestaciones del corredor industrial, que son Tunja, Paipa, Duitama y Sogamoso, para lo cual implemento una red de fibra óptica desde el año 2007.

⁴ Empresa Energía Boyacá. Historia. En: <<http://www.ebsa.com.co/nue/his/SitePages/Inicio.aspx> >
Consultado: 18 de diciembre de 2015

Con la implantación de la fibra óptica para monitorear las principales subestaciones al centro de control ubicado en Sogamoso, se evidencio lo importante que era el mismo y se buscó ampliar la cobertura de la red de fibra óptica, así como darle un segundo uso, que es el de telefonía IP, aprovechando los enlaces ya establecidos. Por lo anterior se realizó una ampliación de la red de fibra en 2009, y otra en 2011, dando cobertura a la zona norte del departamento de Boyacá y a Chiquinquirá, como se observa en el ...mapa 1...

Mapa 1. Red de Fibra Óptica de la EBSA



Fuente: Archivos EBSA

La implementación de esta tecnología ha posicionado a la EBSA como una de las empresas con mejor índices de calidad de servicio, dado que está centrada en trabajar en el marco de la calidad, planeando, proyectando los objetivos de mediano plazo y buscando un mejoramiento continuo de la organización.

A pesar del interés de la EBSA por prestar servicio de calidad, dado que la implementación de la red de fibra es algo nuevo, siempre que se han ejecutado los contratos de instalación de la red de fibra, así como los mantenimientos, las condiciones de la prestación del servicio han sido especificadas en su mayoría por el contratista más no por el cliente, lo que ha generado fallas en los

mantenimientos, debido a no tener en cuenta algunos procesos de limpieza o de cuidado de la fibra importantes, desatendiendo algunas necesidades que la red requiere. Por lo anterior la EBSA, ahora busca establecer unos términos más claros y precisos que abarquen técnicas de instalación, variables a medir, valores tolerables, necesidades de certificación de los equipos, todo orientado a generar procesos de instalación y mantenimiento de calidad que puedan proporcionar una velocidad de transmisión de 10Gbps.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Qué características técnicas, mecánicas y ópticas deben cumplir los enlaces de fibra óptica para brindar eficazmente una velocidad de transmisión de datos de 10Gbps?
- ¿Cuáles son los equipos de medición más aptos para verificar el correcto funcionamiento de redes de fibra óptica y qué requisitos deben cumplir los mismos de tal manera que los valores de las variables medidas sean confiables, exactos y precisos?
- ¿Mediante que pruebas o protocolos es posible establecer fallas en los diversos trayectos de la red de fibra óptica y cómo es posible mediante los mismos que sea identificable el punto exacto de caída o atenuación en el tramo?

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa de energía de Boyacá, debido a su misión de proveer energía eléctrica en todo el departamento, cuenta con una red de distribución de energía eléctrica aérea de alta, media y baja tensión, junto con unas subestaciones que requieren de un proceso de monitoreo para verificar que los valores de tensión de distribución de la red se encuentren en un rango permitido y seguro.

Para lo anterior se estableció una red de comunicación entre cuatro sistemas que son: una red principal de fibra óptica que se encuentra en la zona industrial (Tunja, Duitama, Sogamoso) y pequeña parte de occidente, Oriente y Ricaurte, una red de respaldo WiFi extendida por la mayor parte del departamento, una red de VHF usada para la comunicación operativa entre las cuadrillas encargadas del mantenimiento general y correctivo, y una red de comunicaciones VoIP que se interconecta con la red de fibra óptica o WiFi según la tecnología que este implementada en cada zona, todo lo anterior con el fin de mejorar los tiempos de

respuesta a procedimientos de mantenimiento y tener un mayor control de los procesos realizados por la empresa.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Según la Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos, se espera que el consumo mundial de electricidad aumente un 73 por ciento entre 1999 y 2020, convirtiendo a la electricidad en la forma de energía de crecimiento más rápido. Este crecimiento estará impulsado principalmente por los países en desarrollo

Sin embargo, según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en la actualidad 2.000 millones de personas no disponen de electricidad en absoluto, 1.000 millones utilizan electricidad de fuentes poco económicas (baterías de pilas secas, velas, queroseno), y 2.500 millones de personas de los países en desarrollo, principalmente en zonas rurales, tienen poco acceso a los servicios comerciales de energía (PNUD, 2002)⁵.

El suministro de energía eléctrica cuando es limitado o ausente, disminuye las posibilidades de desarrollo, debido a que las perspectivas de empleo son mínimas, y las mujeres y niños deben gastar su tiempo en buscar recursos que reemplacen el suministro de energía eléctrica, como leña u otros combustibles, lo que limita sus procesos de formación. Por tal razón es vital que las redes de energía eléctrica sean implementadas en diferentes poblaciones, por más remotos que sean sus asentamientos, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas, disminuir la pobreza y promover el crecimiento económico.

Para que las empresas prestadoras del servicio de distribución de energía eléctrica puedan hacer presencia en lugares recónditos de manera responsable, la misma debe velar por la constante expansión y actualización de sus sistemas, persistiendo por estar a la par con el desarrollo tecnológico global; En este aspecto la Empresa De Energía de Boyacá, presenta cada año un plan de expansión ante la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), buscando ofrecer un suministro de energía más confiable en el departamento de Boyacá, posibilidades de inversión para el sector productivo y generar oportunidades de trabajo durante el desarrollo de los proyectos.

⁵ ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). Desarrollo de la energía para satisfacer las necesidades del desarrollo. En: Parte III: retos para la vida y el bienestar [En línea] <http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap10_es.pdf. > Consultado el 3/12/15

Paralelo al sistema de distribución de fluido eléctrico, debe existir un sistema de comunicaciones que verifique el correcto funcionamiento de las subestaciones y del proceso de distribución de la energía, mediante procesos de automatización; La EBSA desde el 2009 cuenta con un sistema de fibra óptica monomodo con canales a una velocidad de transmisión de 1Gbps conectando las subestaciones hasta el centro de control en Sogamoso llamado INTEGRA, desde el cual se visualiza continuamente el desempeño de las mismas, se verifica que los niveles de tensión sean los adecuados en cada una de ellas y se está al tanto de posibles cambios que afecten el suministro de energía en cualquier región del departamento.

Debido a la importancia de la información que transmiten estos canales de fibra óptica y teniendo en cuenta que anualmente la empresa está haciendo procesos de expansión de la red eléctrica y que junto a ella se debe expandir el sistema de comunicación, o en otros casos migraciones a mejores tecnologías, es que la empresa ha visto la necesidad de aumentar la velocidad de sus canales de comunicación de fibra óptica dadas las prestaciones que brinda la misma; a la vez se ha buscado hacer redundancias o anillos lógicos y físicos con la misma tecnología, para que actúen como respaldos en caso que la red principal sufra alguna falla.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente la empresa de energía de Boyacá actualmente quiere migrar su tecnología para proveer una velocidad de transmisión de 10 Gbps con canales de fibra óptica, entre subestaciones y edificios administrativos de todo el departamento de Boyacá, para lo cual requiere conocer cada una de las características que se deben cumplir al momento de instalar la fibra, condiciones como tensiones, y tipos de herrajes que se deben usar de acuerdo a determinadas características, así como las recomendaciones a tener en cuenta al momento de realizar mantenimientos preventivos o correctivos, de tal manera que procesos como empalmes, acoples, pruebas reflecto métricas o de limpieza en los conectores, se realicen de la mejor manera proporcionando valores confiables y precisos.

Dado las necesidades de la EBSA E.S.P. expresadas anteriormente es que se realiza este trabajo, con tal de definir las condiciones y características nombradas, que deben ser esenciales para proporcionar las menores pérdidas y atenuaciones en la red de fibra óptica de la empresa; hasta llegar a establecer una Propuesta de un Manual De Procedimientos de Mantenimiento Preventivo y Correctivo de la Red de Fibra Óptica de la EBSA con Canales de 10 Gbps.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General Analizar las características técnicas y mecánicas tanto del cable de fibra óptica, como de los equipos que se deberán usar para la implementación de una red de datos con canales a velocidades de transmisión de 10Gbps para la EBSA E.S.P con distancias promedio de 40 km con un máximo de 120 km, logrando establecer los parámetros de calidad de transmisión, seguridad y prestación de servicios aceptables que serán exigidos a las empresas contratistas encargadas de instalar dicha red, así como de las responsables por posteriores mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos de la misma. Lo anterior regidos por la norma de fibra óptica: ITU-T G.652.D y demás estándares de la industria actualmente vigente. Como expresa Jose Capmany, en sus libros de fibra óptica.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Establecer las características que deberán cumplir los enlaces de la red de fibra óptica a implementar en la empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P , así como los términos de referencia de las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, temperatura, aplastamiento, torsión, curvaturas, flexión), ópticas (apertura numérica, longitud de onda de corte, coeficiente de dispersión cromática) y de transmisión del cable de fibra (ancho de banda, atenuaciones, coeficiente de pérdida de dispersión modal), sobre los cuales se evaluarán los procesos de implementación e interventoría de la red de fibra óptica.
- Especificar los requisitos de operatividad que deben cumplir los equipos con los que se van a realizar procesos de diagnóstico, monitoreo y mantenimiento a las redes de fibra óptica de la empresa de energía de Boyacá, como el margen de error, el tiempo y tipo de certificación. Así como los métodos que preferirá la EBSA para realizar dichos diagnósticos⁶.
- Proponer mecanismos de monitoreo de las líneas de transmisión de fibra óptica implementadas por la EBSA E.S.P. así como las pruebas de funcionalidad y operatividad en los racks de comunicaciones; en puntos iniciales, intermedios y finales de la red de fibra óptica, permitiendo identificar posibles puntos de falla antes de que esto ocurra y sin interrumpir el servicio.

⁶ Fluke Networks, Cableado de Fibra Óptica para Comunicaciones de datos, Manual de Comprobación y Solución de Problemas, U.S.A. 11/2009 3584157A. [En línea] <http://www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf > [Citado en 2015-08-14]

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

Los efectos de reflexión se conocen desde el siglo IV aC y de refracción desde el siglo II aC (Ptolomeo)⁷. Y es en 1621 que W. Snel, enuncia la ley de refracción de la luz.

Los inicios de la fibra óptica se remontan a 1880 con la invención del fotófono por Alexander Graham Bell, sin embargo este dispositivo que transmitía ondas sonoras a través de un haz de luz, no fue nada exitoso, debido a que la transmisión a través de la atmosfera terrestre era impráctica por la existencia de múltiples factores que absorbían y atenuaban dicha información. En la primera mitad del siglo XX se realizaron diferentes investigaciones por parte de científicos estadounidenses y alemanes, pero no fue sino hasta 1951 que fue tomado el principio de reflexión interna total en serio, cuando A. C. S. van Heel de Holanda, H. H. Hopkins y N. S. Kapany de Inglaterra experimentaron con transmisión de luz a través de haces de fibras, conduciendo al desarrollo del fibroscopio flexible, que se usó mucho en el campo de la medicina. Acuñando el término “fibra óptica” en 1956.

Con la invención del láser, en 1960 se aceleraron las investigaciones en comunicaciones con fibra óptica, a tal punto que el Standard Telecommunications Laboratory de Inglaterra propusiera un medio nuevo de comunicaciones, usando cables de fibra revestida.

Posteriormente, a principios de la década de 1980, el refinamiento de los cables ópticos, el desarrollo de fuentes luminosas, detectores económicos y de alta calidad, abrieron la puerta al desarrollo de sistemas de comunicaciones de gran capacidad, eficientes y económicos, con fibra óptica, lo que hace que hoy sea muy utilizado para transmisión de voz y datos a alta velocidad, reduciendo interferencias electromagnéticas y proporcionando mayor seguridad⁸.

El primer sistema de fibras ópticas se realizó para aplicaciones militares en 1973 y la Western Electric lo aplicó en Atlanta en 1976 para telefonía comercial. El uso comercial de las fibras ópticas se pensó en un principio con propagación monomodo, pero los problemas de acoplamiento entre núcleos llevaron a crear las fibras ópticas multimodo con perfil gradual como solución alternativa. A partir de 1985, en telecomunicaciones, sólo se usan fibras ópticas monomodo⁹.

⁷ DOMINGO, Alfredo Abad. Op. Cit. p. 1

⁸ Tomasi Wayne. p. 423

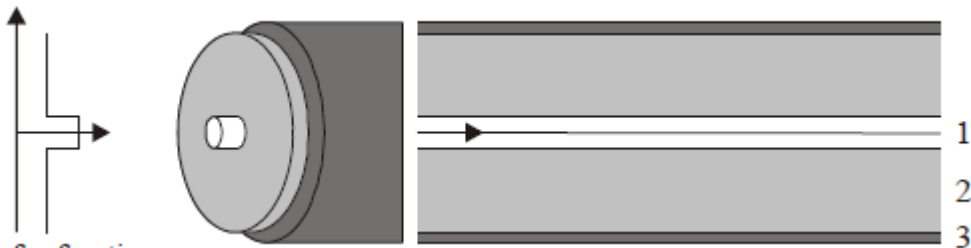
⁹ DOMINGO, Alfredo Abad. Op. Cit. p. 4

En sus inicios se usó la primera ventana de 850 nm, por dos razones; en primera instancia, en la segunda ventana (1310nm) se producían muchas atenuaciones causadas por los iones OH, Sin embargo, con la mejora de los métodos de fabricación se alcanzaron límites de atenuación aceptables para transmitir en la segunda ventana, adquiriendo popularidad la ventana de los 1310nm. La otra causa del uso de la primera ventana, es que para la época era más fácil contar con derivados de AsGa(Arseniuro de galio) para emisiones a 1310nm, que con derivados de InP (Fosforo de indio) que requería la segunda ventana para su iluminación. Finalmente y a pesar de las restricciones tecnológicas de la época, la segunda ventana también era mejor que la tercera ventana por tener valores de atenuación sólo algo mayor y tener el mínimo de dispersión cromática.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Conceptos Generales de Fibra Óptica El cable de fibra óptica consiste en un centro de cristal rodeado de varias capas de material protector. Lo que se transmite no son señales eléctricas sino luz con lo que se elimina la problemática de las interferencias. Es ideal para entornos en los que hay gran cantidad de interferencias eléctricas. También se utiliza mucho en la conexión de redes entre edificios debido a su inmunidad a la humedad y a la exposición solar.

Figura 1. Fibra monomodo



Fuente: Manual ITU, 2009, Fibras ópticas, cables y sistemas.

Con un cable de fibra óptica se pueden transmitir señales a distancias mucho mayores que con cables coaxiales o de par trenzado. La velocidad de transmisión también es mayor.

Los tres bloques principales de un enlace de comunicaciones de fibra óptica lo forman el transmisor (fuente de luz), el receptor (Ej: fotodiodo) y la guía (fibra óptica).

Las ventajas de las fibras ópticas son, entre otras, las siguientes:

- Baja atenuación (grandes distancias entre repetidores);

- Gran ancho de banda (muchas capacidad de transmisión);
- Inmunidad frente a las influencias electromagnéticas;
- Ausencia de diafonía¹⁰.

Las fibra ópticas tienen la posibilidad de trabajar en un solo modo o con múltiples modos, en terminología de fibras ópticas, la palabra modo simplemente quiere decir camino. Si sólo hay una trayectoria que pueda tener la luz por el cable, se llama modo único, o unimodal. Si hay más de una trayectoria, se llama modo múltiple o multimodal¹¹.

En este caso se hará énfasis en la fibra unimodal de índice escalonado o fibra monomodo, como lo refleja la Figura 1. Fibra monomodo Figura 1, que posee un núcleo de diámetro reducido, como para que sólo haya una trayectoria que pueda seguir la luz para propagarse por el cable. En consecuencia, todos los rayos de luz siguen más o menos la misma trayectoria por el cable, y tardan más o menos el mismo tiempo en recorrer el tramo de cable. Siendo ideal para transmitir a largas distancias y con tasas de transmisión más elevadas que la fibra óptica multimodo, usando como medias las líneas aéreas de alta tensión de la red propiedad de la EBSA E.S.P.

2.2.3 Tipos de Cables según su Construcción

2.2.3.1 De estructura holgada. Su estructura se basa en varias fibras agrupadas en un tubo de plástico pequeño y, a su vez, enrolladas en un elemento central de refuerzo, rodeadas de elementos de refuerzo de aramida. Dentro del tubo protector hay un compuesto de poliuretano que encapsula, o sella, a la fibra, y evita la penetración del agua. Puede presentar un fenómeno llamado corrosión bajo tensiones, o fatiga estática si la fibra de vidrio se expone durante largos periodos a humedades altas. Todo esto está envuelto en una chaqueta que forma un cable pequeño, de muchas fibras por cable.

Para aplicaciones aéreas, en general la fibra óptica es adecuada para el uso en líneas eléctricas aéreas en redes de alta tensión, ya que son inmunes a influencias electromagnéticas. Sin embargo, los cables que podrán usarse según su estructura son:

- Cable Dieléctrico Totalmente Autosoportado (ADSS): el elemento de tracción se proporciona mediante un refuerzo no metálico que permite que

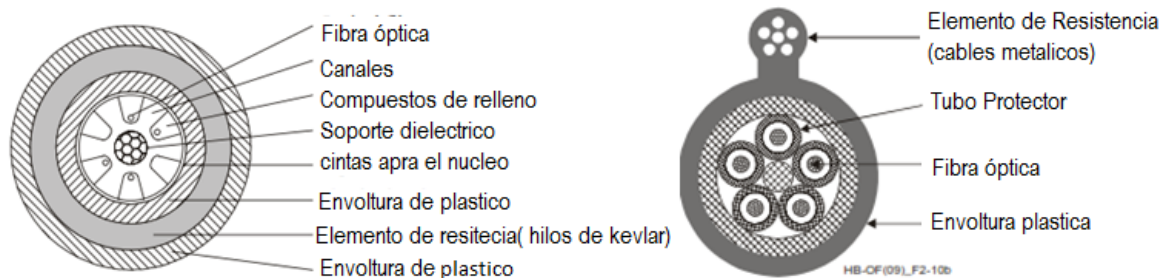
¹⁰ Comisión de Estudio 6 (1997-2000) del UIT-T, Instalación De Cables De Fibra Óptica De Hilo De Guarda, Ginebra, 1998, p. 5.

¹¹ Tomasi Wayne. p. 435

soporten su propio peso (hilos de aramida, materiales de fibra de vidrio reforzada o miembros de rigidez dieléctrica equivalentes) pueden estar enlazados a un cable mensajero u a otro cable, su estructura es como la que se muestra a la izquierda en la Figura 2.

- El Cable Autosoportado (SS): la funda incluye un elemento metálico o no metálico de soporte, para formar una figura "8" como se observa en la derecha de la Figura 2.

Figura 2. Estructura de Cable ADSS y SS



Fuente: Manual ITU-T 2009 de Fibras Ópticas, cables y sistemas

- Cable Lashed: Son cables no metálicos instalados en una catenaria en suspensión independiente y mantenidos en posición con un cable en espiral aglutinante o clips especiales preformadas.
- Cable OPGW: fibra óptica de hilo de guarda (OPGW, *optical fibre ground wire cable*), Estos cables están constituidos por un núcleo que contiene fibras ópticas de forma holgada y una cubierta constituida generalmente por una o varias capas de hilos de aluminio, de hilos metálicos tipo Aldrey, de acero o de acero recubierto de aluminio. Estos cables con respecto a otros tipos de cables tienen mayor resistencia a la tracción y protección de las fibras contra el exceso de temperatura cuando se producen altas densidades de corriente en el cable¹².

Estas fibras están mucho más protegidas por la ubicación física ya que se encuentra en la parte superior de las líneas de alimentación en lugar de estar por debajo. La instalación de OPGW es más compleja, pero permite una mayor velocidad de instalación, dado que se deben generar cortes de energía para reemplazar el hilo de guarda por el OPGW, lo que facilita el trabajo, sin embargo, no es recomendable para las necesidades de la empresa. Ha sido especialmente diseñado para instalaciones de líneas eléctricas de alta tensión.

¹² Comisión de Estudio 6 del UIT-T, Op., p. 5.

2.2.3.2 De estructura ajustada. Los cables de estructura ajustada (simplex, dúplex *zipcord*, de distribución y “*breakout*”) se utilizan en instalaciones en planta interna en las que la flexibilidad del cable y la facilidad para realizar la terminación son importantes, incluso más que la robustez y la resistencia a la fuerza de tracción que caracterizan a los cables de estructura holgada y a los cables tipo cinta (*ribbon*). En general, los cables de estructura ajustada se utilizan en interiores y los cables de estructura holgada o los cables tipo cinta (*ribbon*), en exteriores¹³.

Los cables de estructura ajustada poseen dos materiales que actúan como amortiguadores, rodeando al cable de fibra. Las chaquetas amortiguadoras protegen a la fibra de influencias mecánicas externas que pudieran causar su ruptura, o demasiada atenuación óptica¹⁴.

2.2.4 Características de las Fibras Ópticas Las características se miden de acuerdo con normas del IEC 60793, ITU-T L.34 e ITU-T L.26 para cable de hilo de guarda y aéreo auto-soportado respectivamente, entre ellas se encuentran: características físicas y mecánicas, la dispersión cromática, atenuación, ancho de banda, la longitud de onda de corte, el diámetro del campo modal, el diámetro del revestimiento, el error de concentricidad del campo modal y la no circularidad del revestimiento, las dimensiones geométricas, el campo lejano, etc. Sin embargo varias de estas características solo se miden al momento de su fabricación, por lo cual no serán tenidas en cuenta, y describiremos las características que es importante que el lector conozca a la hora de evaluar los enlaces de fibra óptica.

2.2.4.1 Características de transmisión. *Microcurvatura de las fibras:* Se llama microcurvatura a un curvado de una fibra óptica que contenga un desplazamiento axial local de unas cuantas micras en pequeñas distancias a causa de fuerzas laterales localizadas aplicadas a lo largo de la fibra. Puede deberse a las deformaciones a que se someten las fibras durante la fabricación e instalación, y también a las variaciones de las dimensiones de los materiales del cable que resultan de los cambios de temperatura.

Las microcurvaturas pueden incrementar las pérdidas ópticas. A fin de reducir la pérdida por microcurvatura, debe eliminarse todo esfuerzo mecánico aplicado aleatoriamente a lo largo del eje de la fibra durante el proceso de incorporación de la misma en el cable, así como durante y después de la instalación del cable.

¹³ La Asociación de fibra óptica (the FOA). Reference Guide To Fiber Optics. Cable de fibra óptica ,2014. [en línea] <<http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>> [Citado el 8 de octubre de 2015]

¹⁴ Tomasi Wayne. p. 432

Macrocurvatura de las fibras: Es la curvatura resultante en una fibra óptica después de la fabricación e instalación del cable. La macrocurvatura puede incrementar la pérdida óptica. Esta aumenta si el radio de curvatura es demasiado pequeño¹⁵.

Ancho De Banda. Se expresa en una velocidad de bits a la cual las señales se pueden enviar sobre una distancia dada sin que un bit interfiera con el bit anterior o posterior. El ancho de banda se expresa como:

Ecuación 1. Ancho de banda

$$AB = \frac{0.44 \times 10^6}{\Delta\lambda \cdot M(\lambda)}$$

Donde el valor 0,44 surge de la conversión de la Anchura a media altura, (abreviada FWHM, del inglés Full Width at Half Maximum) al valor cuadrático medio (en inglés root mean square, abreviado RMS), $\Delta\lambda$ en nm es el ancho espectral de la fuente definida como la diferencia entre las longitudes de onda donde la potencia óptica emitida es la mitad (FWHM). Este valor resulta en unidades de longitud MHz.km si la $M(\lambda)$ se expresa en ps/nm.Km.

Atenuación. La atenuación de la fibra óptica se define como el valor de pérdidas de potencia de la onda luminosa a una frecuencia modulante nula al atravesar el cable. Generalmente se expresa como la pérdida de luz en un km y los principales factores que general las atenuaciones son debidas a la absorción del material de impurezas, absorbiendo la luz y transformándola en calor. Oro factor de atenuación es debido a dispersión de la luz por irregularidades del material generadas al momento de su fabricación.

2.2.4.2 Características Mecánicas. *Flexión:* durante la instalación la fibra puede sufrir deformaciones debido a la tensión y la flexión del cable. Por lo cual es importante seleccionar los elementos de resistencia mecánica del cable y los radios de curvatura de instalación adecuados limitando la deformación, a fin de que no se reduzca la vida útil prevista de la fibra¹⁶.

Resistencia Mecánica: durante la fabricación e instalación pueden existir esfuerzos continuos como tensiones, torsiones, flexiones y micro deformaciones por el peso

¹⁵ UIT-T, Recomendación UIT-T L.10 Cables De Fibra Óptica Para Aplicaciones En Conductos, En Galerías Y En Tendidos Aéreos Y Enterrados **En:** Libro azul, *Melbourne*, 1988, p. 3.

¹⁶ UIT-T, Recomendación UIT-T L.26 Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas, **En:** Serie L: construcción, instalación y Protección de los cables y otros Elementos de planta exterior, 2003, p. 10.

del cable, además el proceso del tipo de instalación y las condiciones ambientales, pueden producir deformaciones en la fibra.

Aplastamiento e impacto: si sufre aplastamiento o impacto la fibra durante la instalación puede aumentar la pérdida óptica permanentemente o por el tiempo de aplicación del esfuerzo; si el esfuerzo aplicado es excesivo, se puede producir rotura de la fibra. El cable ADSS debe resistir efectos de compresión sin pérdida óptica.

Torsión: la torsión puede generar una deformación residual de las fibras por daño en la cubierta, el cable posee un número de torsiones admisibles por longitud sin generar pérdida, ni daño.

2.2.4.3 Condiciones Ambientales. Hidrogeno gaseoso. Este se genera en presencia de humedad y elementos mecánicos, difundiéndose en el vidrio de sílice y aumentando la pérdida óptica. Por lo anterior la concentración de hidrogeno en los materiales del cable debe ser reducida, para asegurar niveles de pérdidas aceptables a largo plazo.

Penetración de agua. Daños en la cubierta del cable o en la forma de terminar los empalmes, pueden permitir que penetre agua en forma longitudinal al núcleo o entre cubiertas, produciendo un efecto similar al de la humedad o, en caso que se cristalice el agua, generar aplastamiento a la fibra, generando aumento de pérdida óptica, y en los peores casos rotura de fibra.

Vibración: las corrientes de viento producen remolinos a sotavento (vibración eólica) del cable o por variaciones en la dirección del viento con relación al eje del cable (efecto galope). Por lo anterior se debe conocer las condiciones climáticas de la región donde se desea realizar el tendido, además de aplicar el uso de amortiguadores para ejercer control sobre la vibración¹⁷.

2.2.5 Pérdidas en los Enlaces de Fibra Óptica Las pérdidas características de los enlaces de fibra óptica incluyen las siguientes:

- Pérdidas en el cable.
- Pérdidas en el conector.
- Pérdida en empalmes.
- Curvaturas del cable¹⁸.

¹⁷ UIT-T, Recomendación UIT-T L.26 Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas, **En:** Serie L: construcción, instalación y protección de los cables y otros Elementos de planta exterior, 2003,p.11

¹⁸ Tomasi Wayne. p. 463

2.2.5.1 Pérdidas en los Cables de Fibra Óptica. Las pérdidas de transmisión en los cables de fibra óptica son una de las características más importantes de la fibra. Las pérdidas en la fibra causan una reducción de la potencia luminosa y, en consecuencia, reducen el ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema. Las principales pérdidas en la fibra son:

- Pérdidas por absorción: la pérdida por absorción en las fibras ópticas es análoga a la disipación de potencia en los cables de cobre; las impurezas en la fibra absorben la luz y la convierten en calor.

- Pérdidas por dispersión en material o de Rayleigh: La dispersión del material se debe a que el índice de refracción del material es función de la longitud de onda. La tensión aplicada al vidrio durante el proceso de manufactura hace que en el enfriamiento se desarrollen irregularidades submicroscópicas, que se incorporan a la fibra en forma permanente. Los rayos de luz que se propagan por una fibra chocan con una de esas impurezas, difractándose. La difracción hace que la luz se disperse o se abra en muchas direcciones. Algo de la luz difractada continúa recorriendo la fibra, y algo escapa a través del revestimiento. Los rayos luminosos que salen representan una pérdida de potencia

- Reflexión De Fresnel. Se produce en los extremos de las fibras ópticas debido al salto de índice de refracción entre el exterior y el núcleo.

- Dispersión cromática, o de longitudes de onda: los rayos de luz que emite al mismo tiempo un LED y se propagan por una fibra óptica no llegan al extremo opuesto al mismo tiempo. Esto da como resultado una señal recibida distorsionada, llamada distorsión cromática. La dispersión cromática es la suma de la dispersión del material y de la dispersión de guía de ondas.

2.2.5.2 Pérdidas en Conectores y Empalmes. En los sistemas de comunicación se necesitan conectores para poder usar fibras ópticas. Existiendo dos categorías principales. La unión permanente entre dos fibras se conoce como un empalme de fibra, y una conexión desmontable entre ellos se realiza mediante el uso de un conector de fibra.

Las pérdidas de estos conectores se denominan Pérdidas por acoplamiento; en los cables de fibra pueden presentarse pérdidas por acoplamiento en cualquiera de los tres tipos siguientes de uniones ópticas: conexiones de fuente luminosa a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a fotodetector. Las pérdidas en las uniones se deben, con más frecuencia, a uno de los siguientes problemas de alineación: desalineamiento lateral, desalineamiento de entrehierro, desalineamiento angular y acabados superficiales imperfectos.

Los conectores se utilizan para conectar el cable de fibra con el transmisor (o receptor), mientras que los empalmes se usan para unir segmentos de fibra. El principal problema en el uso de empalmes y conectores se relaciona con la pérdida. Siempre se pierde algún nivel de potencia, ya que los dos extremos de fibra no están perfectamente alineados en la práctica¹⁹.

Pérdidas de empalme por debajo de 0,1 dB se realizan de forma rutinaria mediante el uso de la técnica de empalme de fusión.

Las pérdidas del conector son generalmente más grandes, proporcionando una pérdida media de alrededor de 0,3 dB.

2.2.5.3 Pérdidas En Los Dobleces o Curvaturas. Se deben principalmente a pequeños cambios de dirección y curvaturas de la fibra. En esencia hay dos tipos de curvaturas: las microcurvaturas y las curvaturas con radio constante. Una microcurvatura es un doblez o imperfección geométrica en miniatura del eje de la fibra, que representa una discontinuidad en ella en donde puede presentarse la dispersión de Rayleigh. Las curvaturas de radio constante se deben a demasiada presión y tensión y, en general, se presentan cuando se doblan las fibras durante su manejo o instalación.

Recomendaciones para Redes de Fibra Óptica a 10 Gbps Cada Switch y transceivers tiene varias fuentes de luz empleadas para transmitir a través de los distintos tipos de fibra. La distancia y el ancho de banda varían con la fuente de luz y la calidad de la fibra. La velocidad y la distancia son una función del núcleo, del ancho de banda de modo, de la calidad de la fibra y de la fuente de luz. El término 10 Gigabit Ethernet se refiere a cualquier uso de la IEEE 802.3 MAC 10Gb/s, junto con cualquier capa de implementación física IEEE 802.3 10G BASE.

Tabla 1. Capa física implementada según nomenclatura

Nomenclatura	1310 nm Serial PMD	1550 nm Serial PMD	1310 nm WDM PMD
10GBASE-LX4			Base de codificación 8B/10B
10GBASE-LR	Base de codificación		

¹⁹ GOVIND P. Agrawal, Sistemas De Comunicaciones Con Fibras Ópticas. Tercera Edicion . New York. Wiley Interscience, 2002 p. 70.

	64B/66B		
10GBASE-LW	STS-192c/SDH VC-4-64c encapsulación de datos 64B/66B		
10GBASE-ER		Base de codificación 64B/66B	
10GBASE-EW		STS-192c/SDH VC-4-64c encapsulación de datos 64B/66B	

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002

El código 64B/66B soporta caracteres de datos y de control, mientras se mantiene la detección de errores robusto.

2.2.6.1 Especificaciones de transmisión óptica para el 10GBASE-L y 10GBASE-E Los equipos de la capa física que adquiera la EBSA deben cumplir con las especificaciones del estándar IEEE 802.3ae del 2002, para asegurar una velocidad de transmisión de 10Gbps, lo anterior, suponiendo una excelente calidad de tendido, que no genere pérdidas muy altas al momento de transmitir la información. Las especificaciones se encuentran en las tablas de la 4 a la 9.

Tabla 2. Especificaciones de transmisión para 10G BASE-L

DESCRIPCIÓN	10GBASE -LW	10GBASE -LR	UNIDAD
Velocidad de señal (nominal)	9,95328	10,3125	GBd
Variación de la velocidad respecto a la velocidad nominal (máx.)	± 20	± 100	ppm
Longitud de onda central (rango)	1260 to 1355		nm
Relación de tasa de supresión de modo (min)	30		dB
Potencia media de lanzamiento (máx.)	0,5		dBm
Potencia media de lanzamiento (min)	-8,2		dBm
Potencia emitida (min)	-6,2		dBm
Modulación de amplitud óptica (min)	-5,2		dBm
Umbral de Transmisor y dispersión (máx.)	3,2		dB
Potencia media de apagado del transmisor (máx.)	-30		dBm
Relación de extinción (min)	3,5		dB
Reflectancia del transmisor (máx.)	-12		dB

Tolerancia de Pérdida óptica de retorno (máx.)	12	dB
--	----	----

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, p. 411

Tabla 3. Especificaciones de recepción para 10GBASE-L

DESCRIPCIÓN	10GBASE-L	UNIDAD
Velocidad de señal (nominal) 10GBASE-LR 10GBASE-LW	10,3125 9,95328	GBd
Variación de la velocidad respecto a la velocidad nominal (máx.)	± 100	Ppm
Longitud de onda central (rango)	1260 a 1355	Nm
Potencia media de lanzamiento (max)	0,5	DBm
Potencia media de lanzamiento (min)	-14,4	DBm
Sensibilidad del receptor (máx)	0,055 (-12,6)	mW (dBm)
Reflectancia recibida (max)	-12	Db
Sensibilidad del receptor estresado (máx)	0,093 (-10,3)	mW (dBm)
Recepción eléctrica de la frecuencia de corte superior a 3 dB (máx)	12,3	GHz

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, pag. 412

Tabla 4. Potencia de linkeo para 10GBASE-L

PARÁMETRO	10GBASE-L	UNIDAD
Potencia	9,4	dB
Distancia de operación	10	Km
Pérdida de canales de inserción	6,2	dB
Asignación de errores	3,2	dB
Pérdida adicional de inserción permitida	0,0	dB

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, pag. 413

Tabla 5. Especificaciones de transmisión para 10GBASE-E

DESCRIPCIÓN	10GBASE-LW	10GBASE-LR	UNIDAD
Velocidad de señalización (nominal)	9,95328	10,3125	GBd
Variación de la velocidad respecto a la velocidad nominal (máx.)	± 20	± 100	Ppm
Longitud de onda central (rango)	1530 to 1565		Nm
Relación de lados de supresión de modo (min)	30		dB

Potencia de lanzamiento media (max)	4	dBm
Potencia de lanzamiento media (min)	-4,7	dBm
Potencia emitida (min)	-2,1	dBm
Potencia media de apagado del transmisor (máx.)	-30	dBm
Modulación de amplitud óptica (min)	-1,7	dBm
Umbral de Transmisor y dispersión (máx.)	3	dB
Relación de extinción (min)	3	dB
Reflectancia del transmisor (máx.)	-128	dB/Hz
Tolerancia de Pérdida óptica de retorno (máx.)	21	dB

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, pag. 414

Tabla 6. Especificaciones de recepción para 10GBASE-E

DESCRIPCIÓN	10GBASE-E	UNIDAD
Velocidad de señal (nominal) 10GBASE-LR 10GBASE-LW	10,3125 9,95328	GBd
Variación de la velocidad respecto a la velocidad nominal (máx.)	± 100	Ppm
Longitud de onda central (rango)	1530 to 1565	Nm
Potencia media de lanzamiento (max)	-1	dBm
Potencia media de lanzamiento (min)	-15,8	dBm
Máxima potencia recibida	4	dBm
Sensibilidad del receptor (máx)	0,039 (-14,1)	mW (dBm)
reflectancia recibida(max)	-26	dB
Sensibilidad del receptor estresado (máx)	0,074 (-11,3)	mW (dBm)
Recepción eléctrica de la frecuencia de corte superior a 3 dB (máx)	12,3	GHz

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, pag. 415

Tabla 7. Potencia de linkeo para 10GBASE-E

PARÁMETRO	10GBASE-E		UNIDAD
Potencia	15		dB
Distancia de operación	30	40	Km
pérdida de inserción del canal	10,9	10,9	dB
reflectancia discreta máxima (máx)	-26		dB
Asignación de errores	3,6	4,1	dB

Pérdida adicional de inserción permitida	0,5	0	dB
--	-----	---	----

Fuente: Norma IEEE 802.3ae del 2002, pag. 416

El mejor rendimiento se consigue utilizando fibras de dispersión desplazada en combinación con láseres de oscilación en un único modo longitudinal.

3. INSTALACIONES DE CABLES ÓPTICOS

Cada tipo de cable de fibra óptica tiene unos límites y cuidados específicos, por lo cual se generan unas recomendaciones para garantizar una correcta instalación. Si se producen sobrecargas en la instalación o fallas en la flexión de la fibra, puede que los efectos no se vean al instante, pero a mediano y largo plazo se evidenciarán las fallas, a fin de evitar todo lo anterior, en este capítulo se describen los principales métodos de tendido y recomendaciones.

3.1 CABLEADO DE FIBRAS ÓPTICAS

La instalación de los cables aéreos ópticos difiere de los de Cobre en que aquéllos están diseñados para una elongación máxima. Esto afecta, además del proceso de instalación, a la resistencia al viento, la nieve y a cambios de temperatura. El cable aéreo puede tener un soporte separado colocado previamente y al que se engrampa, del tipo autosoportado o mediante un conducto aéreo tipo “8”.

Los cables aéreos permiten el uso de las instalaciones de energía para colocar cables de comunicaciones. Así, por ejemplo, puede usarse cables con FO en redes de alimentación de ferrocarriles, de distribución o transporte de energía, dentro del hilo de guardia, etc. En todos los casos se usa la ventaja de la FO de no recibir interferencia de inducciones electromagnética.

Todos los cables y conductores de comunicación aislados, mensajeros, cables protegidos contra sobrevoltaje, retenidas a tierra, deben cumplir la norma 230E1...ver Tabla 8...

Tabla 8. Espacio vertical de cables

Superficie debajo del cable	Metros
Vías y ferrocarriles.	7,2
Caminos, calles y otras áreas sujetas al tráfico de camiones	4,7
Pasajes, estacionamientos y callejones.	4,7
Otros terrenos atravesados por vehículos, tales como zonas cultivadas, pastizales, bosques, huertos.	4,7
Espacios y caminos sujetos a peatones o tráfico permitido solamente	2,9

Fuente: Manual de construcción, aplicaciones de banda ancha y cable de fibra óptica de CommScope.

Según el tipo de fibra óptica a tender se recomienda utilizar determinados accesorios como herrajes, antivibradores, tensores, etc.

3.1.1 Herrajes. Se conocen como herrajes, todos los elementos utilizados para la fijación de los aisladores al apoyo y al conductor, los de fijación del cable de tierra al apoyo, los elementos de protección eléctrica de los aisladores y, finalmente, los accesorios del conductor, como separadores, antivibradores, etc²⁰.

Los herrajes y el sistema escogido de fijación al cable seleccionado, deberán ser capaces de soportar las cargas de tracción, debido a los esfuerzos estáticos (verticales u horizontales del cable) y dinámicos (vibraciones eólicas y efectos del galope sobre el cable), sin afectar la integridad mecánica y óptica del cable²¹.

Los principales herrajes usados para la fibra óptica son:

- Grillete normal
- Grillete revirado
- Eslabón
- Eslabón plano
- Eslabón plano revirado
- Pasador para bulones y tornillos

3.1.1.1 Tensores. Regula la tensión mecánica del tendido del conductor y posibilita el alargamiento de la cadena de herrajes. Esta segunda función es prioritaria en la utilización e introducción o no en la cadena de este elemento. Se ubicara entre los herrajes de unión al apoyo y los herrajes para la fijación al cable.

3.1.1.2 Herraje de amarre. Es el único sistema que cumple con los criterios de retención preformada junto con la varilla de refuerzo, va en el extremo de la cadena del lado del cable.

3.1.1.3 Herrajes De Suspensión. El sistema de fijación o grapa única establecido para estos tipos de cable, es la grapa de suspensión preformada, que irá colocada en el extremo de la cadena, utilizada indistintamente para los cables OPGW y ADSS, deberán soportar esfuerzos estáticos como concentraciones de fuerzas del herraje sobre el cable, y debe tener una tolerancia en el angulo de la grapa de 30°. Si se llegan a descompensar cargas deberá permitir un deslizamiento hasta compensar las mismas.

²⁰ HidroCantábrico Distribucion Electrica S.A.U. Herrajes y accesorios para el tendido aéreo de cables de tierra y/o fibras ópticas.2005. p. 4

²¹ HidroCantábrico Distribucion Electrica S.A.U. Op. Cit. p. 24

3.1.2 Accesorios componentes de cadenas de herraje

3.1.2.1 Varillas De Protección. Evitan las concentraciones de fuerzas que se puedan producir por la instalación de los distintos accesorios que amordazan al cable puntualmente y que pudieran dañar este. Será obligatorio para los cables de fibra óptica autosoportados (ADSS).

La naturaleza del material de estas varillas se adaptará al tipo de cubierta plástica indicada para los cables tipo ADSS normalizados²².

3.1.2.2 Antivibradores o Amortiguadores. Limitan las vibraciones eólicas hasta niveles aceptables especificado por los fabricantes del cable. También debe soportar el galope sin perder su efectividad o causar daño al cable. Deberán tenerse en cuenta los posibles efectos del amortiguador sobre los cables de fibra óptica.

Dado el comportamiento distinto de los cables OPGW y ADSS al fenómeno vibratorio, que se evidencia por sus diferencias en las características de naturaleza y físicas, el antivibrador se adaptará al tipo de cable, para el OPGW se recomienda únicamente el de tipo Stockbridge. Para los amortiguadores de ADSS se debe soportar un régimen de vibración permanente, por lo que se debe proteger permanentemente la fibra.

3.1.2.3 Protecciones y Balizamientos contra Choques. Solo es aplicable para el cable de fibra OPGW; colocar al menos sobre el cable de tierra y no en los conductores de transmisión, por ser el elemento más elevado de la línea y el de menor sección, a fin de evitar el impacto o choque contra el cable y conductores de la línea de las aves o de otros objetos volantes (helicópteros, avionetas, alas delta, etc).

3.1.2.4 Grapas de conexión. Se aplica únicamente al cable OPGW, tiene aplicaciones para unión directa o por derivación, a través del apoyo o para fijación y guía del cable en la bajada por el apoyo hasta la caja de empalme. Se utilizan dos tipos principales:

Grapa sencilla de conexión. Ideal para la unión del cable con el apoyo para su puesta a tierra. También se utiliza como opción en la bajada por el apoyo hasta la caja de empalme. Esta grapa de tornillería es para uso sin casquillo de aluminio complementario²³.

²² HidroCantábrico Distribucion Electrica S.A.U. Op. Cit. p. 36

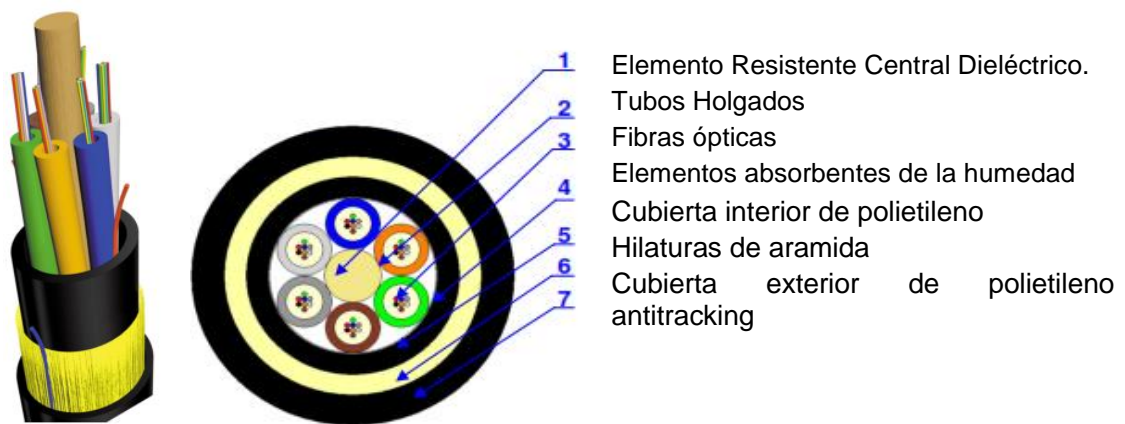
²³ HidroCantábrico Distribucion Electrica S.A.U. Op. Cit. p. 44

Grapa paralela de conexión. Útil en la bajada por el apoyo hasta la caja de empalme. Esta grapa, para uso con casquillo de aluminio complementario, prescindirá de tornillo y accesorios de apriete.

3.2 CABLE AUTOSOPORTADO COMPLETAMENTE DIELECTRICO

Se desean cables dieléctricos para eliminar cualquier problema de inducción y producir una aislación galvánica entre el transmisor y receptor. Sin embargo, los cables dieléctricos tienen un problema de diseño debido a la diferente contracción y expansión térmica de las FO y los plásticos (éstos lo hacen 400 veces más fácil), lo cual obliga al uso de recubrimiento suelto para que la FO esté en exceso dentro del cable... vea la Figura 3...

Figura 3. Estructura del cable ADSS



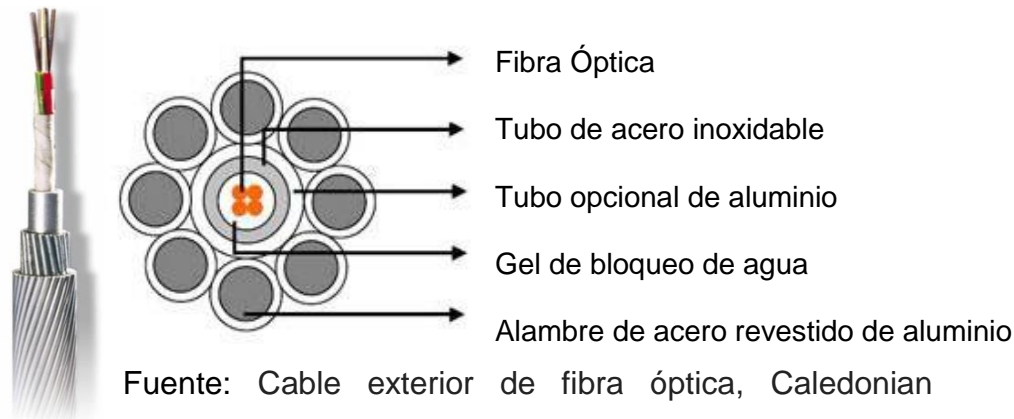
Fuente: Draka Comteq Iberica S.L.

3.3 CABLE DE FIBRA ÓPTICA DE HILO DE GUARDA

Considerando que la instalación del cable OPGW...ver Figura 4... es distinta de la de otros tipos de cables, se recomienda que se consideren los siguientes factores para determinar el tipo de cable, la tensión máxima que debe soportar y el proyecto de instalación:

- corriente máxima de cortocircuito a través del cable
- tiempo de desconexión de un cortocircuito a tierra
- flecha de los conductores de fase
- vanos

Figura 4. Estructura cable OPGW



Teniendo en cuenta lo nombrado anteriormente, se establecen a continuación unas consideraciones a la hora de realizar tendido de fibra óptica, dirigidas a los contratistas de EBSA, así:

3.4 RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ S.A. E.S.P.

3.4.1 Objeto La Empresa de Energía de Boyacá S.A. ESP cuando requiera realizar contrataciones para instalación de tramos de fibra óptica, o ampliación de la red con la que ya cuenta busca: Establecer los requisitos mínimos para obtener una instalación que cumpla con los estándares de la empresa y suministre una velocidad mínima de 10 Gbps.

3.4.2 Alcance El alcance comprenderá: instalación de enlaces de fibra óptica propiedad de la EBSA en la infraestructura de transporte de energía eléctrica de baja, media y alta tensión en el departamento de Boyacá, de tipo ADSS (cable dieléctrico autosoportado del inglés all dielectric self supporting) y OPGW (cable óptico con hilo de guarda del inglés optical ground wire) verificando la correcta selección de vanos, herrajes, amortiguadores, fijadores, con el fin de prevenir el estrés de la fibra, disminuyendo los niveles de pérdidas y atenuaciones en la fibra, con el fin de transmitir a una velocidad de 10 Gbps.

3.4.3 Especificaciones Técnicas. El proceso de instalación será programado (incluye cronograma de actividades) y solicitado por el coordinador del grupo gestión telemática, y se refiere a mejoras o ampliación del sistema.

El contratista deberá tener en cuenta todos los aspectos logísticos y elementos necesarios para la realización de la instalación, cumpliendo con las especificaciones técnicas relacionadas a continuación y de acuerdo a los requerimientos de Seguridad para el desarrollo de las actividades en postes de EBSA según la norma 1409 de 2012 de Trabajo seguro en Alturas.

La mayoría de las recomendaciones hechas en este documento se basan en las normas expedidas por el UIT-T que es, como la T lo indica, la rama del Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones); Las principales normas que acoge este documento son las presentes en la Tabla 5.

Tabla 9. Normas relacionadas de la ITU-T

Numero	A partir del 15/02/16	Descripción
L.25 (01/15)	L.300	Mantenimiento del cable de la red de fibra óptica
L.26	L.102	Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas
L.34	L.151	Instalación de cables de fibra óptica de hilo de guarda
L.35 (10/98)	L.150	Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso
L.31 (10/96)	L.401	Atenuadores de fibra óptica
L.36 (01/15)	L.402	Conectores de fibra óptica monomodo
L.40 (10/00)	L.302	Sistema de soporte de mantenimiento monitoreo y pruebas de la planta exterior de fibra óptica
L.42 (05/03)	L.90	Soluciones de la fibra óptica ampliadas en la red de acceso
L.58 (03/04)	L.106	Cables de fibra ópticas: necesidades específicas de las redes de acceso
L.59 (01/08)	L.103	Cables de fibra óptica para aplicaciones en interiores

Fuente: La Autora.

Antes de realizar cualquier proceso de tendido de la Fibra Optica (FO) se debe presentar un informe con los estudios y cálculos, enfocados a determinar la carga y esfuerzos mecánicos a los que será sometida la infraestructura eléctrica. Estos estudios deben ser respaldados por el modelamiento con software especializado (PLS-CADD) de los apoyos con las características definidas por el contratista.

3.4.4 Recomendaciones de Manipulación de la Fibra Óptica. El contratista deberá hacer una verificación previa de las condiciones de las bobinas del cable de FO, dado que la carga y transporte hasta los puntos en que será tendido el

cable estarán a su cargo, cuidando que en todo el proceso de transporte y tendido, las mismas se encuentren protegidas, no presenten alguna irregularidad en su forma. Si se llegase a presentar algún daño en la fibra mientras se realizan estos procedimientos, es responsabilidad del contratista responder por los mismos.

Todo el equipo y los cables deben ser almacenados en un lugar limpio y seco, protegidos de ambientes hostiles como el frío o el calor extremos²⁴.

El cable de FO es sensible a tensiones de halado, doblado y fuerzas de compresión excesivas. Cualquier daño puede alterar sus características hasta llegar al caso de que la sección del cable deba ser reemplazada. Debe tenerse cuidado para evitar daños del cable durante su manejo e instalación. Deben cumplirse las especificaciones de tendido dadas por las norma ITU-T L.34 y L.35.

Dentro de las recomendaciones importantes que hace la ITU-T L.34 para la manipulación de las bobinas están:

- Usar el devanador de bobina con freno en el eje de giro, logrando mantener una cierta tensión en el cable a instalar.
- Mantener las bobinas siempre en posición vertical con los extremos fijados.
- Evitar los golpes y las caídas de bobinas.
- Girarlas siempre en la dirección indicada en la bobina;
- Vigilar que los extremos del cable disponen del sellado necesario para evitar la entrada de humedad.

3.4.5 Recomendaciones de Tendido de Fibra Verifique la longitud del cable y asegure que el cable que está siendo halado es lo suficientemente largo para la ruta de fibra planeada. Si es posible, trate de completar la instalación con un solo segmento de fibra. Antes de cualquier instalación, evalúe la ruta cuidadosamente para determinar los métodos de instalación, los empalmes que se y los obstáculos que puedan surgir.

Si se produce mucho estrés mecánico durante la instalación, se excede la tensión de tiro máxima permisible o el radio mínimo de curvatura especificado por el fabricante, se puede deteriorar el cable, para evitarlo maneje valores de tensión mecánica menores a los establecidos en el anexo B (tensión máxima en kN)²⁵

Se debe contar con un equipo certificado para medir la fuerza de tensión ejercida sobre el cable de fibra óptica.

²⁴ La Asociación de fibra óptica (the FOA). Reference Guide To Fiber Optics. Instalación de la red de fibra óptica, 2014. [en línea] < <http://www.thefoa.org/ESP/Instalacion.htm> > [Citado el 11 de abril de 2015]

²⁵ ETB, Criterios De Instalación Cable ADSS, Políticas Para Red De Fibra Óptica Aérea, Bogotá, 2007, p. 4.

Los conectores para fibras monomodo deben ser de color azul. De acuerdo al estándar ANSI/TIA/EIA 568-B.3.

El radio de curvatura debe ser verificado constantemente al tender un cable de instalación. Evite tender el cable sobre los bordes de los conductos, usar guías de cable estrechas y retorcer el cable tirando de él.²⁶

En caso que se haga necesario tender los cables sobre bordes, asegure que la camisa exterior del cable no sufra daños por abrasión o tracción.

El número de empalmes debe ser minimizado para disminuir las pérdidas de transmisión, en caso de no ser posible evitarlos se deberá justificar cualquier empalme que se adicione a la red de fibra, además de ser realizado por fusión.

3.4.5.1 Cable Exterior. Los cables para exterior deben tener protección contra el agua, por lo que se recomiendan que sean de estructura holgada, con geles internos, que impidan su acceso, además deben soportar una tensión mecánica de tenido mínima de 2670 N (600 lbf). Todos los cables de exterior deben soportar un radio de curvatura de 10 veces el diámetro externo del cable sin tensión y 20 veces el diámetro externo bajo la tensión de tendido²⁷.

Se deben tener en cuenta las variaciones de temperatura y las sobrecargas que puedan presentarse debidas a la acción del viento, para que en todo momento se cumplan los valores de tensión máxima admisible, flechas, distancias de seguridad, etc. Implementar fusibles mecánicos u otra protección equivalente en los tendidos de cable de fibra óptica asegurará que no se supere la carga de tracción máxima establecida por el fabricante del cable²⁸.

En cada poste, el cable formará una vuelta de expansión para permitir la dilatación del fijador.

Las reservas de cable se deben dejar en forma de ocho o circular.

Se deben usar herrajes de anclaje o de suspensión para que soporten las tensiones de la instalación aún en malas condiciones de trabajo previstas como vientos muy fuertes, sin dañar los cables o afectar a la vida útil de los mismos.²⁹

Se debe instalar un herraje de suspensión en cada poste donde no haya cambio de ruta.

²⁶ R&mfreenet, Instrucciones de instalación y pruebas. Cableado genérico versión 5.2, Suiza, 2011. P. 11.

²⁷ R&mfreenet, Op. Cit. p. 16-17

²⁸ L. M. Checa. Líneas de transporte de energía. España, Marcombo, Tercera Edición, 2004.p. 225

²⁹ L. M. Checa. Líneas de transporte de energía. España, Marcombo, Tercera Edición, 2004.p. 225

Los herrajes a usar serán determinados según el diámetro de cable y el spam que deben soportar. En vanos grandes las varillas de retención son más largas dado que necesita más agarre.

Los tipos de herrajes y amortiguadores se elegirán de acuerdo a las prestaciones que ofrece cada uno, en el anexo 7 se encuentran los diferentes tipos y usos más habituales.

Entre mayor sea la tensión mecánica de un cable, más elevada será la probabilidad de que se produzca el fenómeno de las vibraciones (roturas), se debe mantener la tensión dentro de ciertos límites para evitarlas³⁰.

Estos límites hacen referencia a la tensión de cada día, es decir, la tensión a la que es sometido un cable la mayor parte del tiempo correspondiente a la temperatura media, sin que exista sobrecarga alguna.

Se deberán realizar los cálculos de tensión de cada día y según estos adquirir los supresores de vibración adecuados, en caso de que sea necesaria su utilización³¹.

Se debe verificar la estabilidad de los postes, observando que los cables de soporte se encuentren tensionados, así como los extremos de terminales estén instalados.

Al finalizar el tendido de la FO se debe recoger el cable y etiquetar el carrete con el cable sobrante, así como realizar la identificación adecuada a cada poste portador de cable óptico. Las fibras ópticas deben tener un marquillado con información de: Fabricante del cable, año de fabricación, número de fibras, etc. El diseño de las mismas debe ser acordado con la EBSA.

Los herrajes sometidos a tensión mecánica por la fibra y cables de tierra, deberán tener un coeficiente de seguridad mecánica no inferior a tres, respecto a su carga mínima de rotura³².

- **Especificaciones para Cable OPGW**

Una vez los estudios certifiquen el tendido de la fibra óptica sin que se generen daños a la infraestructura se procederá a tender el cable, la norma UIT- T L.34 recomienda el método de tensión³³.

³⁰ L. M. Checa. *Ibíd.*, p. 248

³¹ L. M. Checa. *Ibíd.*, p. 232

³² L. M. Checa. *Ibíd.*, p. 545

³³ UIT-T, Recomendación UIT-T L.34 Instalación de cables de fibra óptica de hilo de guarda, **En:** Serie L: construcción, instalación y Protección de los cables y otros Elementos de planta exterior, 2003, p. 6-7

Este método es general y se puede utilizar en todos los casos y se procederá del siguiente modo:

El cable OPGW debe ser instalado sobre las líneas de energía.

Tras seleccionar el tramo a tender, se situarán los equipos de tendido de modo que el ángulo de salida del cable sea el menor posible con respecto al suelo.

Se situarán las poleas de tendido en los postes para guiar la cuerda de tiro y el cable durante el procedimiento de instalación a efectos de evitar daños tales como el aplastamiento o doblado del tubo metálico que protege a las fibras ópticas.

Para evitar que el cable resulte dañado durante la instalación es necesario que la polea tenga un diámetro mínimo. Éste depende del tipo de cable, de la tensión que se le aplique y del grado de deflexión (normalmente el diámetro del cable multiplicado por 25, o lo recomendado por el fabricante del cable).

Si no se encuentra instalado el cable de tiro, se instalará de la forma habitual. El cable de tiro tendrá una carga de rotura superior a la tensión máxima de tendido. Si se utiliza un antiguo cable de guarda, su peso debe ser menor que el peso del nuevo cable. En cualquier caso el sentido de cableado del cable de tiro será el mismo que el del cable a tender.

Se deberán usar mangas de tiro con nudo giratorio para fijar el cable OPGW a la cuerda de tiro.

Entre el cable de tiro y el OPGW se situará la manga de tiro con el nudo giratorio. Si fuese necesario, según las instrucciones del fabricante del cable, se posicionará un dispositivo anti torsión en el cable. Se situará el cable de tiro en el cabrestante y se comenzará a tirar del mismo.

Durante el tendido se mantendrá la tensión mecánica suficiente para evitar que el cable roce el suelo o cualquier otro obstáculo. Se controlará la velocidad y la máxima tensión del tendido, evitando que supere los valores recomendados.

Una vez tendido el cable, se amarrará a la primera torre, cuidando que se deje la longitud de cable necesaria para realizar los empalmes.

Se tensará el cable y continuarán ubicando los sistemas de suspensión o amarre de modo que el cable quede con la tensión de tendido correspondiente. En todas estas operaciones se respetarán los radios de curvatura mínimos recomendados.

Colocados todos los amarres, se sujetarán las colas en los postes del principio y final del tramo utilizando los elementos de sujeción.

El resto de tramos se tenderá del mismo modo, hasta completar toda la ruta.

En cuanto a esfuerzos estáticos el sistema de fijación deberá soportar: Para el cable OPGW, cargas mecánicas del 70-95 % de la carga de rotura nominal del cable³⁴.

El cable OPGW debe soportar las condiciones de cortocircuito previstas en el proyecto de la línea.

Para los cables OPGW el amortiguador utilizado será únicamente del tipo Stokcbridge.

El sentido de cableado de la retención, será el mismo que el de la capa exterior del cable. El sentido de las varillas de refuerzo estará en sentido contrario al de la retención.

- **Especificaciones para Cable ADSS**

Una vez los estudios avalen el tendido de la fibra óptica, sin que se generen daños a la infraestructura se procederá a tender el cable, la norma UIT- T L.26 recomienda el método de tensión:

Este deberá ser instalado debajo de las líneas de energía.

Se recomienda un cable ADSS holgado para evitar problemas de contracción y expansión térmica. Las varillas de protección serán obligatorias para todos los cables de fibra óptica auto soportados ADSS, el amortiguador autorizado debe incluir varillas de fijación.

Se deben usar varillas de retención y dos herrajes de retención por poste en rutas de cable donde hay cambios de dirección y/o existen vanos considerablemente largos (mayor a 100 metros)³⁵.

Las varillas de protección serán obligatorias para todos los cables de fibra óptica auto soportados ADSS, el amortiguador autorizado debe incluir varillas de fijación (acero recubierto de aluminio) y varillas de protección (aleación de aluminio), el sentido del cableado deberá ser el mismo que el de la capa externa del conductor sobre el que vaya a ser aplicado.

³⁴ HidroCantabrico., Herrajes Y Accesorios Para El Tendido Aéreo De Cables De Tierra Y/O De Fibras Ópticas Et/5067. 2005

³⁵ ETB, Criterios De Instalación Cable ADSS, Políticas Para Red De Fibra Óptica Aérea, Bogotá, 2007, p. 6.

En cuanto a esfuerzos estáticos el sistema de fijación deberá soportar para el cable ADSS, cargas mecánicas de hasta el 100 % de la tensión máxima del cable (T_{mn}) a elevadas temperaturas (60°).

En los cables ADSS el sentido de cableado de las varillas de refuerzo es a izquierdas y el de la retención a derechas.

El cable debe anclarse (fijarse al poste) para que la mayor parte de su peso recaiga sobre el en caso que los postes tengan empalme, final de la ruta, hayan cruces de río y carreteras o final de la ruta y cada cierto número de postes.

3.4.5.2 Cable Interior. Los cables para interiores deben soportar un radio de curvatura de 25 mm, que por lo general es de 10 veces el diámetro externo del cable sin tensión y 15 veces el diámetro externo bajo la tensión de tendido.

Debe emplearse la gravedad para tender cables de instalación en conductos verticales o ascendentes. En lugar de tirar de los cables para que asciendan por el conducto, hágalos bajar. Esto evita someterlos a fuerzas de tracción innecesarias³⁶.

Si se requiere tirar de los cables hacia arriba, los cables deben ser sujetados, preferiblemente con velcro y evitar las bridas de plástico³⁷.

Para pasar el cable dentro de una tubería se recomienda usar eslabones giratorios para enganchar la cuerda o cinta de tracción al cable, evitando que el cable se retuerza durante su arrastre o ingrese agua u otros contaminantes en el proceso de instalación³⁸. La cinta debe ser plana y de un material resistente para soportar toda la tensión mecánica.

Para facilitar el arrastre del cable dentro del conducto se deben usar cajas de tracción o tendido, preferentemente en largos tramos rectos y en curvas. Se utiliza al menos una caja de tracción tras la segunda curva a 90 grados. Los dos tipos de cajas se observan en la ...**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**..., donde R representa el radio de curvatura mínimo de la fibra óptica³⁹.

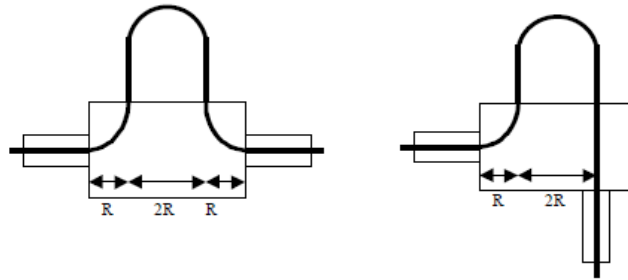
³⁶ R&mfreenet, Instrucciones de instalación y pruebas. Cableado genérico versión 5.2, Suiza, 2011. P. 15.

³⁷ R&mfreenet, Instrucciones de instalación y pruebas. Cableado genérico versión 5.2, Suiza, 2011. P. 13.

³⁸ Ibid. P. 15

³⁹ HERRIZAINGO Saila . tendido de cable de fibra óptica para la red de telecomunicaciones del departamento de interior. Bizkaia

Figura 5. Caja de tracción en línea recta y en empalme



Fuente: Tendido de cable de fibra óptica para la red de telecomunicaciones del departamento de interior

Los cableados en planta interna requieren sistemas corta fuegos en cada uno de los ingresos de los cables, en las paredes y techos⁴⁰.

Al canalizar la fibra se recomienda no retorcer el cable, no apilar cables de fibra, uno encima del otro. Si se requieren apilar, utilizar un tipo de fibra que tenga un recubrimiento con gran resistencia al aplastamiento. Usar canalizaciones amplias (mínimo 2 veces el radio de la fibra).

En tendidos verticales, soportar el cable a la pared D con una malla, para repartir la tensión en la fibra. No colocar bridas ni elementos de sujeción que aprieten el cable, pueden dañarlo⁴¹.

3.4.6 Generalidades Certificación de Fibra Óptica El contratista deberá al finalizar las visitas e inspecciones hacer entrega de una carpeta tipo Informe con todos los archivos impresos y en medio magnéticos, con los siguientes requerimientos:

- 1) Carpeta debidamente marcada con letra imprenta en caratula y lomo con los siguientes datos de identificación: Número de contrato, empresa que realiza el contrato, periodo del informe, año de ejecución, las carpetas deben entregarse foliadas con índice y clasificadas por zona, seccional o cabecera de zona.
- 2) Inventario de Equipos instalados indicando claramente en letra imprenta los siguientes datos: Marca, Modelo, Serial de Equipo, Estado, Descripción; para

⁴⁰ La Asociación de fibra óptica (the FOA). Reference Guide To Fiber Optics. Instalación de la red de fibra óptica, 2014. [en línea] < <http://www.thefoa.org/ESP/Instalacion.htm> > [Citado el 11 de abril de 2015]

⁴¹ Carmelo Fernández García, José Antonio Barbado santana instalaciones de telefonía. Prácticas. Editorial Paraninfo, 2008. P. 309

los Switch y transceivers potencia de emisión del láser, valores mínimos de recepción de señal, velocidad que manejan

- 3) Cada equipo debe tener una hoja de seguimiento, donde se especifique brevemente las condiciones de instalación del equipo, recomendaciones de cuidado, tiempo óptimo de operación. La Hoja de seguimiento debe quedar con el espacio para registrar futuros mantenimientos o cambios del mismo y contener un campo al final para diligenciar con el nombre claro, Firma y código EBSA del Jefe o Coordinador, o auditor del proyecto quien recibió a satisfacción el equipo, verifico su funcionamiento y correcto enlace con las subestaciones requeridas.
- 4) Cada subestación debe tener un registro fotográfico con fechador (dd-mm-año) del antes y del después de la instalación de los equipos, adicional las condiciones de tendido de cada enlace, registrando la presencia de reservas, herrajes, amortiguadores, cambios de sentido de la fibra, y demás accesorios dispuestos para su instalación. El registro Fotográfico debe ser entregado en medio magnético organizado por zonas.
- 5) Debe entregarse al finalizar un diagrama de enlaces entre subestaciones con información de conexión de cada uno de los hilos, indicando el código de colores utilizado, los puntos de interconexión, los empalmes de fusión y las secciones de la fibra resultantes, además de los planos con un software CAD del tendido de la red de fibra implementada, debido a que será necesario para referencias futuras y procesos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

Los documentos solicitados anteriormente debe ser entregados en un plazo máximo de diez (10) días hábiles, posterior a finalizada la instalación.

Al finalizar la instalación se deberá probar en la red cada hilo de fibra óptica, se debe comprobar la continuidad y polaridad, la pérdida de inserción y reflectancia en conectores y adaptadores, las pérdidas del enlace, la atenuación del enlace, las mediciones de ORL (perdidas ópticas de retorno) y las condiciones de tendido de la fibra, verificando que al instalación no haya quedado con macro o microcurvaturas.

Las recomendaciones para medir los hilos con el OTDR u OLTS se encuentran en... el capítulo 4...; los valores tolerables de pérdidas, atenuaciones, reflexiones, etc; se encuentran en... el anexo B...

3.4.7 Perfiles y Equipo de Trabajo

Una vez impartida la orden de inicio del contrato, se entregará oficialmente al interventor del contrato las hojas de vida de los trabajadores propuestos para ser validadas y aprobadas por EBSA, y dar inicio a la conformación de la totalidad del equipo de trabajo requerido.

EBSA podrá realizar una evaluación al equipo de trabajo vinculado por el contratista para la ejecución del contrato basada principalmente en el perfil, experiencia, el dominio y manejo de los conocimientos técnicos para la realización de las actividades que contempla cada servicio requerido por EBSA.

Experiencia del equipo de trabajo: El contratista debe acreditar que el equipo de trabajo de las cuadrillas que participarán en la ejecución del contrato, han participado en los últimos tres (3) años, contados hasta la fecha límite de entrega de la oferta, en mínimo dos (2) proyectos de este tipo, demostrando experiencia en:

- a) Redes de fibra óptica canalizada y aérea ó
- b) En empalmes de cables de fibra óptica y las pruebas ópticas relacionadas

4. CERTIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA

La medición de cada una de las variables para determinar si la red de fibra óptica cumple o no las especificaciones establecidas para manejar una velocidad de 10Gbps, debe ser realizada con equipos y técnicas que se encuentren avaladas por normas internacionales, actualmente hay tres organismos que rigen los procedimientos, técnicas y estándares para las telecomunicaciones, en primera instancia se encuentran las normas americanas, que son las normas y publicaciones de ingeniería de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA, del inglés Telecommunications Industry Association) en conjunto con la Alianza de Industrias Electrónica (Electronics Industry Association, de sus siglas en inglés EIA), que buscan eliminar malos entendidos entre fabricantes y compradores, estas normas se adoptan de acuerdo a las políticas de patentes del *Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute de sus siglas en inglés, ANSI*.

Como segundo regulador esta la Comisión Electrotécnica Internacional, por sus siglas en inglés: IEC (International Electrotechnical Commission), que es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas, pertinente al estándar europeo.

Finalmente, está el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T) de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones en el que se reúnen expertos de todo el mundo para elaborar normas internacionales, que actúan como elementos definitorios de a infraestructura mundial de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

De cada uno de los organismos nombrados anteriormente hay unos apartados específicos que definen los tipos de pruebas que requiere la fibra óptica monomodo, estos son: el EIA/TIA-455 FOTP, el IEC-607931 y el ITU-T G.650.1, G.650.2 y G.651, entre otros.

La fibra adquirida por la EBSA está reglamentada según la norma ITU-T, específicamente por la ITU-T G.652.D, por lo cual será referenciada en todos los procedimientos que establece la misma, para evitar contradicciones o confusiones con las otras normas.

Estas normas brindan información de los métodos para medir variables importantes que permiten identificar la correcta construcción por parte de los fabricantes de dicha fibra, así como medidas que se pueden realizar una vez es instalada la fibra en una red, estos últimos valores son los que se analizaran en

este capítulo, para verificar la correcta instalación de la red, y la ejecución de procesos de mantenimiento de manera adecuada.

La mayoría de las normas presentan un método de referencia principal, con el que se deberán hacer las medidas y el que tendremos en cuenta en el presente documento, sin embargo, cada norma también presenta métodos de medición alternativos, que pueden no ser igual de precisos como el principal o se harán con otras herramientas, pero su resultado también es avalado.

Las mediciones mínimas necesarias en las que se enfoca la EBSA, para comprobar sus enlaces de fibra incluyen: Pérdidas de potencia óptica en el enlace, Pérdidas en cada evento, inserción en empalmes y conectores, Reflectancia en adaptadores y conectores, Pérdida de retorno o potencia reflejada en conectores y adaptadores. (ORL del inglés Optical Return Loss), Atenuación (pérdidas por kilómetro), longitud del enlace, dispersión cromática, Polaridad, Macro y microcurvaturas. Para las mediciones mínimas necesarias se usará en la mayoría de casos un OTDR y en caso que este equipo no realice las medidas necesarias se especificará el equipo que recomienda la EBSA para dicha medición.

4.1 CERTIFICADOS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

El OTDR por ser un equipo electrónico, está sujeto a unas normas internacionales, y los fabricantes deben registrarse a por lo menos una a las diferentes organizaciones que se encuentran a nivel global donde se destacan:

- la F.C.C. que es el Instituto De Información De La Comisión Federal De Comunicaciones, no tiene alguna consideración importante para equipos electrónicos.
- el CE o de Conformidad Europea, establece que los equipos se deben registrar por la norma EN61326 perteneciente a la directiva CEM de la Unión Europea que dispone tanto los requisitos de emisión como de inmunidad para equipos de laboratorio, medida y control.

Otras normas importantes que debe cumplir el OTDR y hacen parte del CE:

- EN 61010-1: 2001 Requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio, Parte 1: Requisitos generales.
- EN 55022: 1998/A2: 2003 Límites y métodos de medición de las características de alteraciones de radio de equipos de tecnología informática.

- EN 60825-1: 1994 / A2: 2001 Seguridad de los productos láser - Parte 1: Clasificación de equipos, requisitos y guía de usuario
 - EN 61326: 1997/A1: 1998 + A2: 2001 + A3: 2003 Equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio - Requisitos EMC
- La CSA (asociación canadiense), donde el equipo debe solicitar su certificación y presentar el número de certificación ante la EBSA para corroborar la calidad del equipo.

Adicional a lo anterior el laboratorio que emite la certificación también debe cumplir una norma que lo acredite, la norma es la ISO/IEC 17025.

4.2 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA CALIBRACIÓN ADECUADA DEL OTDR FTB-200 V2

El OTDR proporciona una caracterización de segmentos de fibra óptica, permitiendo detectar longitud óptica, atenuación, roturas, pérdidas de retorno total, perdidas por empalme, por conector y total.

Figura 6. OTDR de la EBSA

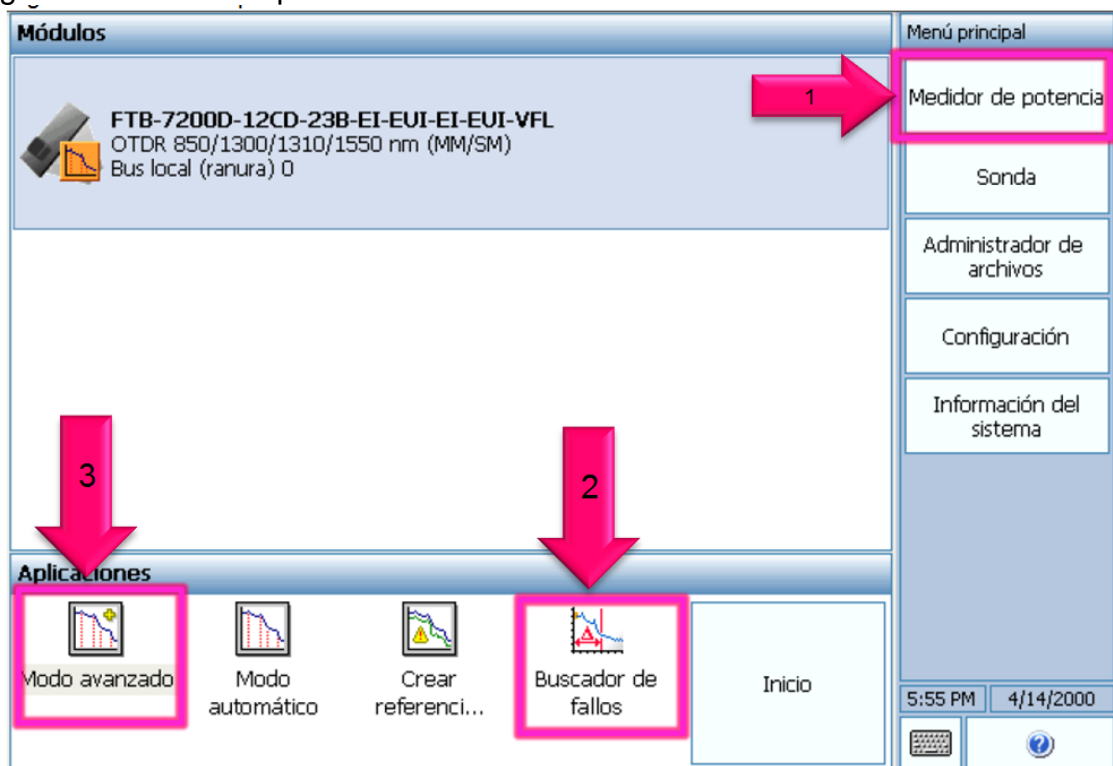


Fuente: La autora.

Antes de realizar cualquier tipo de medición con el OTDR, o con un medidor de potencia, se debe asegurar que los extremos de las fibras a medir estén en perfectas condiciones de limpieza y que el OTDR se encuentra calibrado.

La EBSA cuenta con un OTDR de la marca EXFO, referencia FTB-200 con módulo VFL (Localizador visual de fallos) como el que se observa en la Figura 6, es un equipo muy completo, además de hacer las pruebas reflectométricas de manera manual o automática, proporciona un módulo de medida de potencia, y un módulo de inspección visual de la fibra, permitiendo con el mismo equipo realizar la mayoría de las medidas necesarias para conocer la calidad de un enlace de fibra.

Figura 7. Menú Principal OTDR



Fuente: Guía de usuario OTDR para FTB-200 serie FTB 7000

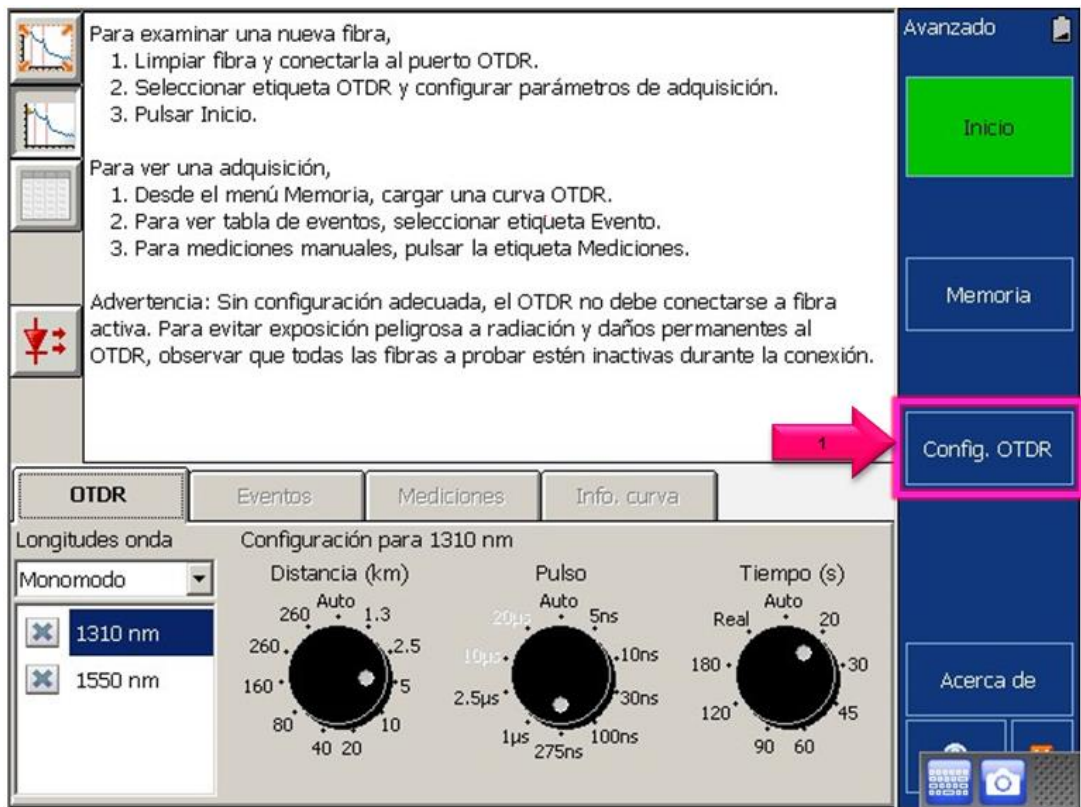
Lo primero que se recomienda es ajustar diversas configuraciones que ofrece el OTDR para hacer un posterior análisis de una manera más rápida y eficiente. Para las mediciones se ingresó al modo avanzado del OTDR (ítem 3 de la Figura 7), este modo permite seleccionar si se trabajará con fibra monomodo o multimodo (si se tiene los módulos de longitudes de onda multimodo) y la longitud de onda que se manejará, en el caso de la EBSA el modulo es únicamente monomodo, permitiendo seleccionar entre la segunda y tercera ventana, 1310 y 1550, respectivamente, luego se selecciona la distancia del enlace, el ancho del pulso, y el tiempo de muestreo. Antes de ajustar estos valores para cada fibra, se deberá ir

a la configuración del OTDR (ítem 1 de la Figura 8), donde se configuraran 4 pestañas, en la pestaña general (ítem 1 de la Figura 9) se cambian valores de forma de visualización de las mediciones, los ítems importantes de esta sección son: la opción de comprobación del primer conector (ítem 2 de la Figura 9) y la opción de mostrar macro curvaturas (ítem 3 de la Figura 9).

Las dos configuraciones nombradas solo se realizan sobre fibras ópticas monomodo. La comprobación del primer conector es útil para verificar que las fibras a probar estén bien conectadas al módulo del OTDR, comprobando el nivel de inyección del mismo. La comprobación de macrocurvaturas se realizará comparando los valores de pérdida de la misma fibra, trabajando a longitudes diferentes (1310 y 1550). Al realizar la comparación si los valores de pérdida se produjeron con la longitud de onda mayor, o la diferencia de pérdida entre las dos mediciones es mayor al definido por defecto (0.5dB) se tratará de una macrocurvatura. Para obtener mejores resultados el par de longitudes de onda debe ser el de menor y mayor longitud de onda, por ejemplo entre 1310/1550 y 1310/1625, escoger el último par de longitudes⁴².

Figura 8. Menú OTDR Avanzado

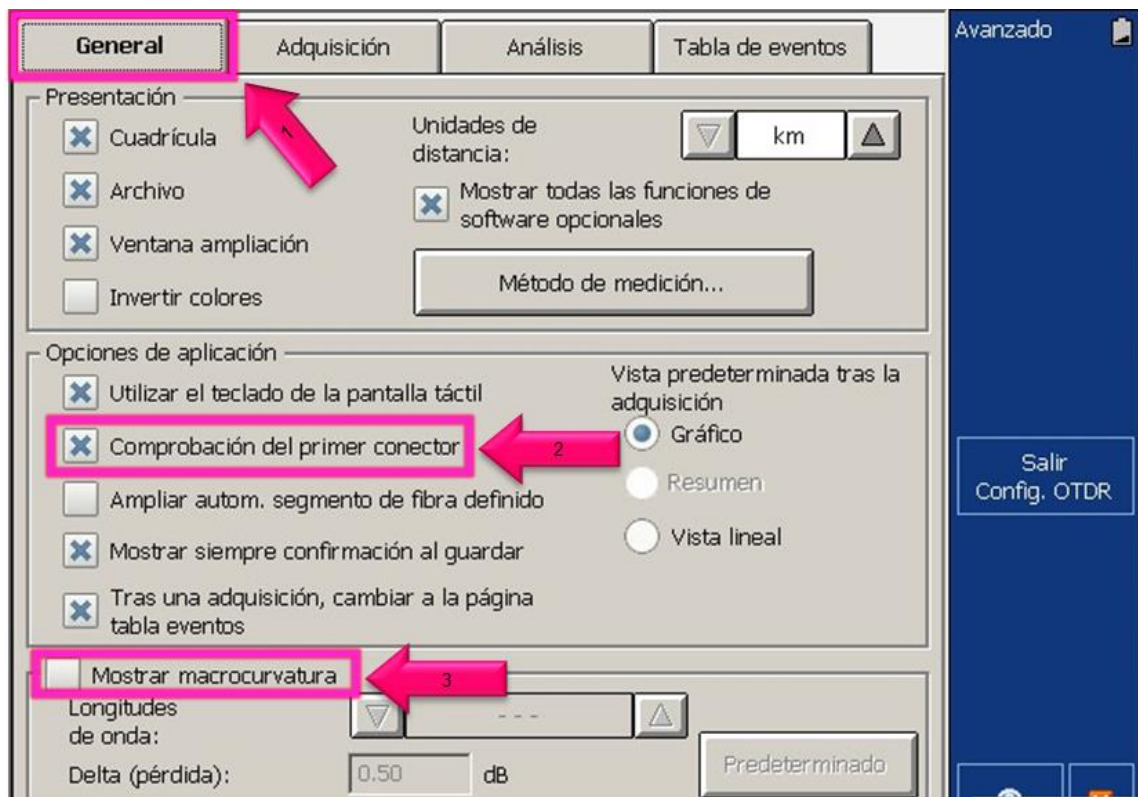
⁴² EXFO Electro-Optical Engineering .Inc. Uso del OTDR como una fuente de luz o VFL **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 44



Fuente: La autora.

La siguiente recomendación es configurar los parámetros de adquisición de la traza, como primer parámetro se encuentra el tiempo de muestreo, que se puede configurar tanto en el ítem 1 de la Figura 10, como al realizar cada una de las mediciones con las perillas del entorno grafico de la Figura 8. Los fabricantes recomiendan hacer pruebas con muestras mínimo de 3 minutos, el cual se considera el lapso para la toma de datos con suficientes puntos para obtener promedios representativos, y eliminar la mayor cantidad posible de ruido.

Figura 9. Menú Configuración OTDR Pestaña General



Fuente: La autora.

Se recomienda seleccionar la opción de adquisición de alta resolución, y según el instrumentador lo requiera, aplicar la configuración a todas las longitudes de onda.

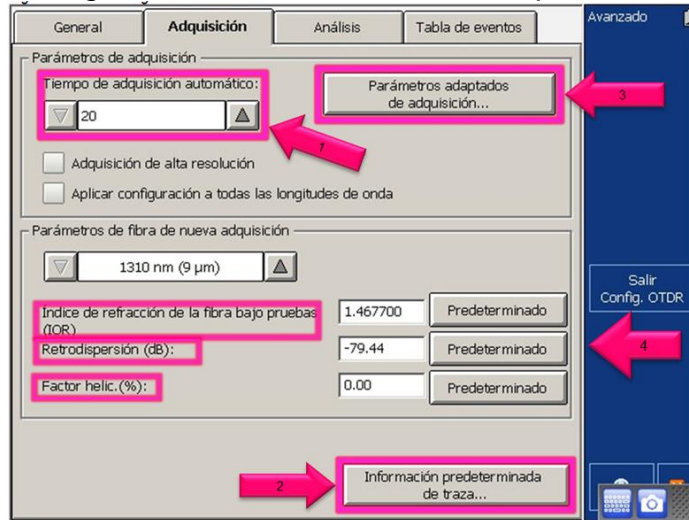
Los parámetros de IOR, Retrodispersion y factor helicoidal (ítem 4 de la Figura 10), generalmente los suministra el fabricante; el índice de refracción es útil para convertir el tiempo de vuelo en distancia, si este tiempo no es configurado adecuadamente, las longitudes no serán lo suficientemente precisas.

El valor de Retrodifusión o coeficiente de Retrodifusión de Rayleigh (RBS) representa la cantidad de retrodifusión en una fibra, y es útil para calcular pérdidas de eventos y reflectancia.

Finalmente el valor del factor helicoidal establece una diferencia entre la longitud del cable y la longitud de la fibra dentro del cable, es decir, el valor de paso de la espiral que realiza la fibra óptica alrededor del núcleo del cable. Al establecer este valor, la longitud del OTDR será la longitud física del cable y no la de la fibra; la Tabla 10. Valores de Fabricante de IOR y RBS. , tiene los valores de IOR, RBS y factor helicoidal establecidos por el fabricante para la fibra a 1310 nm y 1550nm⁴³.

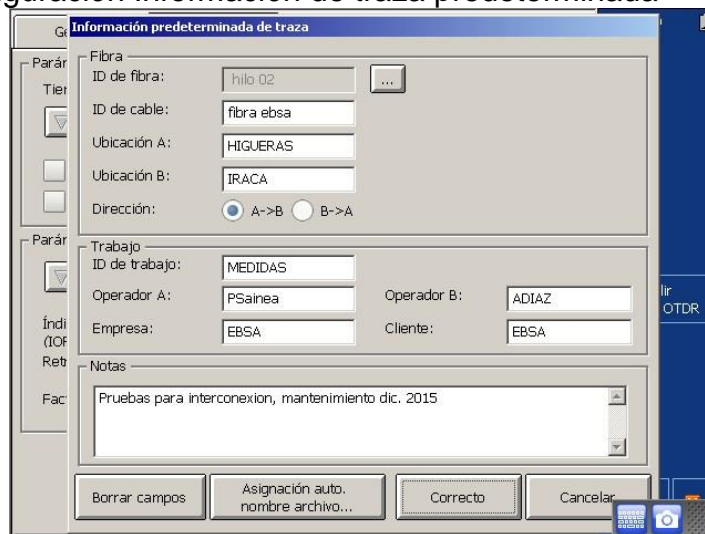
⁴³ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Pruebas de fibras en modo Avanzado **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 48

Figura 10. Menú Configuración OTDR Pestaña de Adquisición



Fuente: La autora..

Figura 11. Configuración Información de traza predeterminada



Fuente: La autora.

Otra consideración importante es configurar la información predeterminada de la traza, accediendo al ítem 2 de la Figura 10, para facilitar la organización de las medidas, en esta ventana (vea Figura 11) podrá agregar el nombre de los responsables de las mediciones, así como el nombre de los puntos en que inicia y termina el enlace, así como su dirección, lo anterior es muy útil para generar el informe final.

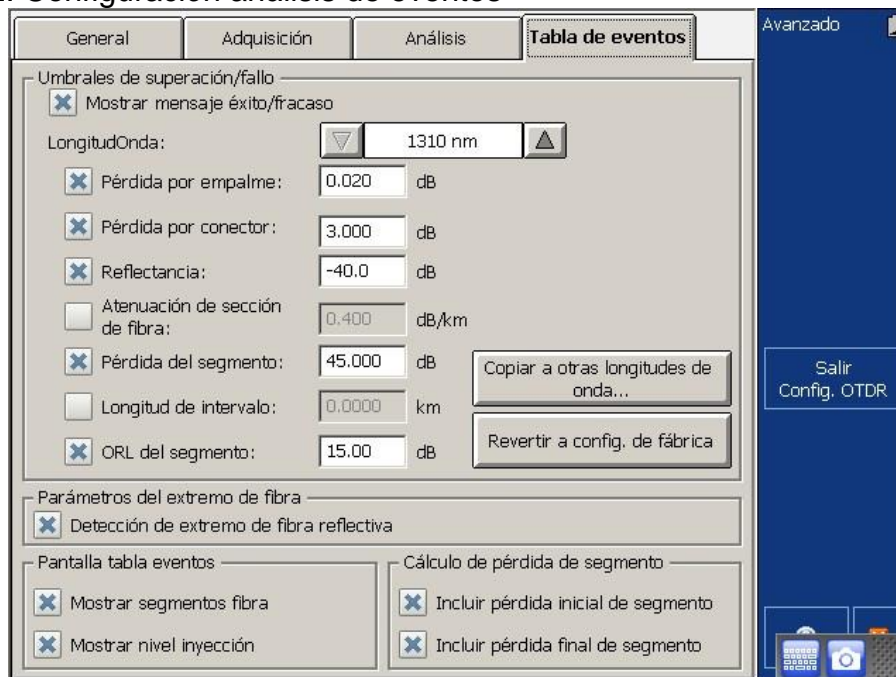
Tabla 10. Valores de Fabricante de IOR y RBS.

Índice Efectivo Grupal de Refracción:

1310 nm	1,466
1550 nm	1,467
Parámetro Dinámico de Fatiga (Nd):	> 20
Coeficiente Rayleigh de Retrodispersión (pulsos de 1 µs de ancho)	
1310 Nm	- 79,6 dB
1550 nm	- 82,1 dB
Peso por unidad de Longitud:	64 gramos/km

Fuente: Datasheet Fibra Optica AllWave Pico de agua Cero de Furukawa

Figura 12. Configuración análisis de eventos



Fuente: La autora.

La Figura 12, presenta una de las principales secciones de configuración del OTDR, que permitirá agilizar el proceso de análisis de los enlaces de fibra, basándose en la fibra seleccionada para el tendido, la longitud de onda con la que se trabajará y los valores umbrales establecidos en los términos de referencia de mantenimiento... vea el capítulo 5... se podrán configurar los valores de pérdidas de empalme, conector, reflectancia, atenuación, ORL, además de seleccionar si se desea o no que se muestre en el análisis los segmentos de la fibra, el nivel de inyección, y las pérdidas iniciales u finales del segmento. Si se logran tener claros

estos valores umbrales, el proceso de análisis con el software que trae el OTDR de EXFO, será mucho más práctico y lo verídico⁴⁴.

Adicional al mensaje de aprobación/no aprobación, el OTDR cuenta con un led indicador, el cuarto de izquierda a derecha del OTDR, verde para aprobado, rojo para no aprobado.

Luego de calibrar el equipo de la manera correcta, realizar la conexión del latiguillo a la fibra, asegurando que el conector y el puerto del OTDR queden bien enfrentados, para evitar pérdidas de gran magnitud y reflexión.

Las potencias de entrada entre -65dBm y -40dBm, afectaran la adquisición del OTDR, según el ancho de pulso seleccionado, si la potencia de entrada es mayor a -20dBm el OTDR puede dañarse permanentemente, por lo cual no se deben medir fibras activas o iluminadas⁴⁵.

4.2.1 Medición de Potencia

Para obtener los niveles de potencia con que se está trabajando, se debe acceder al menú principal del OTDR, ingresando al Compact Toolbox, posteriormente a la opción de “Medidor de Potencia” ubicada en la zona superior derecha de la pantalla, como se observa en el ítem 1 de la Figura 7, al ingresar debe seleccionar la longitud de onda a la que trabaja el enlace, 1310 nm para distancias menores a 40 km, generalmente se usa con distancias menores a 20km, y 1550nm para distancias de 20 km con longitudes máximas de 100 km.

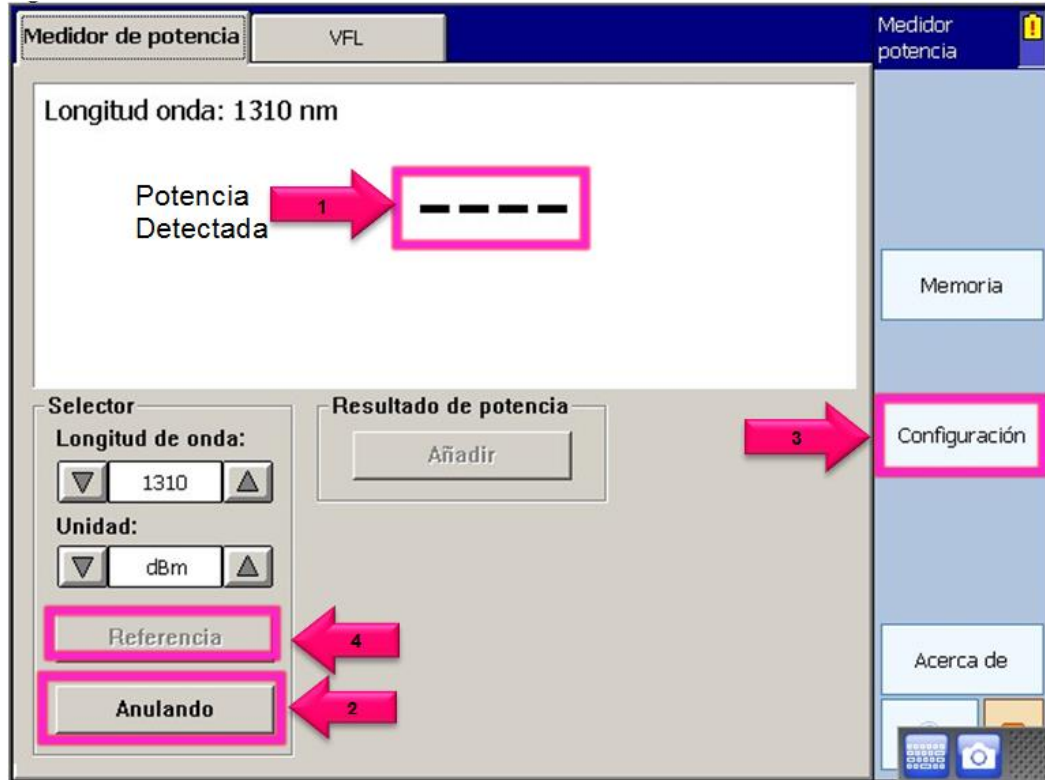
El módulo medidor de potencia permite medir potencia absoluta (en dBm o W) o pérdida de inserción (en dB), detectando señales moduladas de 1kHz, 2kHz y 270Hz. Una característica importante a tener en cuenta al realizar la medición de potencia son las condiciones medio ambientales, cuando el ambiente sea muy húmedo, o el equipo haya experimentado cambios de temperatura muy abruptos, los circuitos electrónicos pueden disminuir su rendimiento y generar desfases en los resultados de la medición, si se presenta alguno de estos cambios ambientales, o requiere medir niveles de potencia muy bajos deberá usar la opción de “Anulando”, como se ve en el ítem 2 de la Figura 13, no sin antes haber asegurado completamente la tapa de protección (que deberá ser roscada y no de goma blanda) al módulo medidor de potencia, presione anular, aceptar y espere 5

⁴⁴ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Pruebas de fibras en modo Avanzado **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 61-65

⁴⁵ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Pruebas de fibras en modo Modelo **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 75

segundos con la tapa de protección ajustada, después de este tiempo el equipo habrá compensado el desfase y podrá seguir con sus mediciones normalmente⁴⁶.

Figura 13. Menú de Medidor de Potencia en OTDR



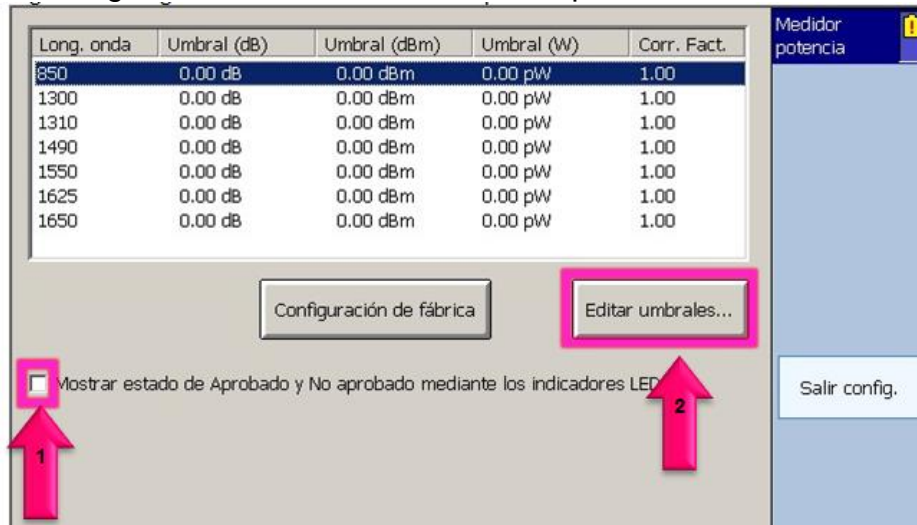
Fuente: La autora.

El OTDR tiene la opción de establecer unos valores umbrales según la longitud de onda a manejar, facilitando el posterior análisis de dichas mediciones, por ejemplo, en caso de que la potencia detectada este muy por debajo de los valores aparecerá al lado derecho de la medida el símbolo: ∇ ; Para establecer estos valores umbrales diríjase a la opción de configuración, ítem 3 de la Figura 13; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que lo direccionará a la ventana de la Figura 14, Se recomienda seleccionar la opción de mostrar estado aprobado y no aprobado, para facilitar los análisis de las medidas. Al seleccionar la opción “Editar Umbrales” (ítem 2 de la Figura 14) aparecerá una ventana emergente como la que aparece en la Figura 15, donde se podrán ajustar los valores en magnitudes de dB, W y dBm, los cuales serán cambiados a valores negativos, en caso que los ingrese como positivos. Adicionalmente si el instrumentador cuenta con una fibra que cumpla con las características deseadas, esta se puede dejar como referencia, o puede usar la fuente de luz para establecer la referencia y ser comparada con otras fibras, para lo anterior

⁴⁶ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Uso del OTDR como una fuente de luz o VFL **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 209

simplemente debe conectar la fibra, seleccionar la opción “referencia” (ítem 4 de la Figura 13) y realizar la medición, después de establecer el valor de referencia, el valor de potencia detectada representara únicamente el valor de pérdidas de desfase respecto al valor de referencia. Después de establecer valores umbrales y niveles de pérdidas de referencia, puede proceder a hacer la medición⁴⁷.

Figura 14. Configuración del Módulo medidor de potencia.



Fuente: La autora.

4.2.2 LOCALIZADOR VISUAL DE FALLOS (VFL)

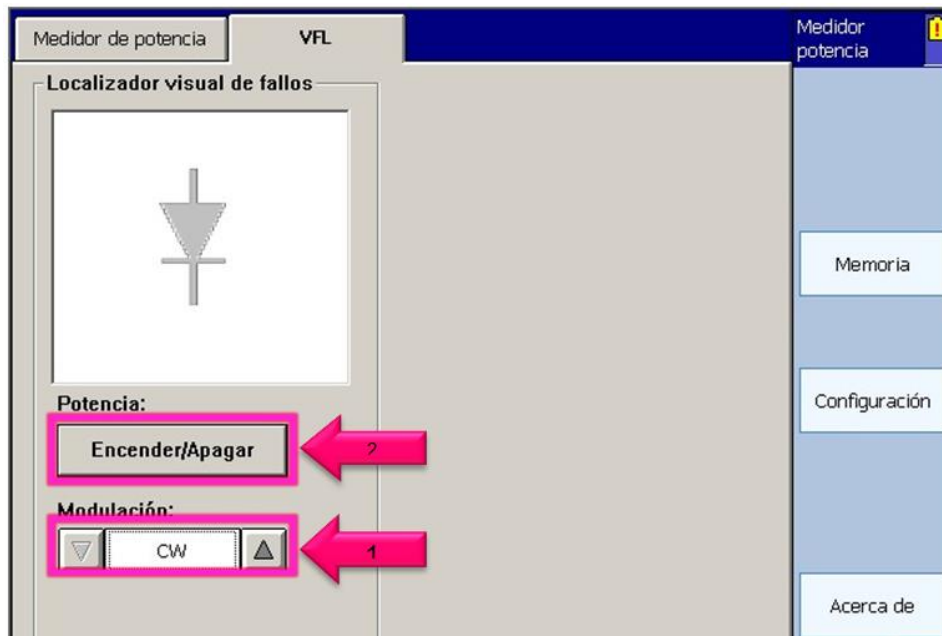
El VFL es muy útil para identificar curvas en la fibra, así como conectores defectuosos, empalmes y otras causas de pérdida de señal. Como se observa en la Figura 15, puede modular en señal continua (CW) o en señal parpadeante a 1Hz.

Solo debe conectar la fibra a probar en el puerto VFL (ítem 4 de la Figura 17) y encender el probador (ítem 2 de la Figura 15), el VFL activara una luz roja que emite el láser, y el instrumentador deberá inspeccionar minuciosamente la fibra, si se observa que sale luz por la envoltura de la fibra la fibra esta defectuosa.

Por recomendaciones de seguridad la luz emitida por el puerto VFL, no debe ser en ningún caso vista directamente, debido a que su radiación laser que emite puede ser muy peligrosa para el ojo humano.

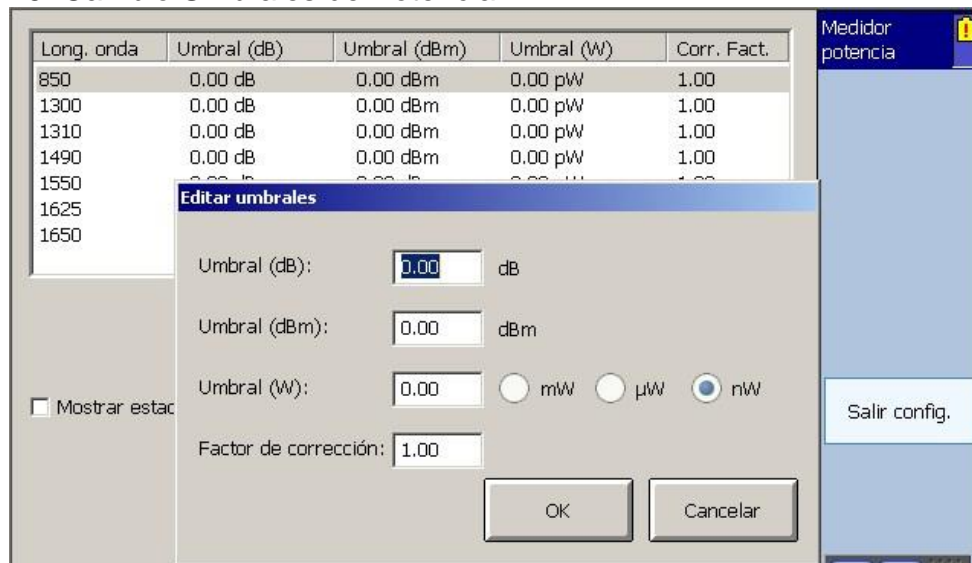
Figura 15. Interfaz gráfica del localizador visual de fallos

⁴⁷ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Uso del medidor de potencia integrado y de VFL **En:** Guía del Usuario FTB 200 Plataforma Compacta Modular. 2006-2008. p. 33-41



Fuente: La autora.

Figura 16. Cambio Umbrales de Potencia



Fuente: La autora.

Así mismo se puede usar el módulo VFL como fuente de luz, esto se hará seleccionando el ítem 2 de la Figura 7, después seleccione la longitud de onda y el tipo de modulación como lo permite el dial de la Figura 18; Se recomienda que sea continua para mediciones de perdida de potencia, en caso de que un instrumentador en otra subestación requiera identificar una fibra, se recomienda una frecuencia de 1kHz o 2kHz; Las opciones de 1kHz o 2kHz +parpadeo, hacen referencia a que un segundo enviaran la señal a esa frecuencia, y el segundo

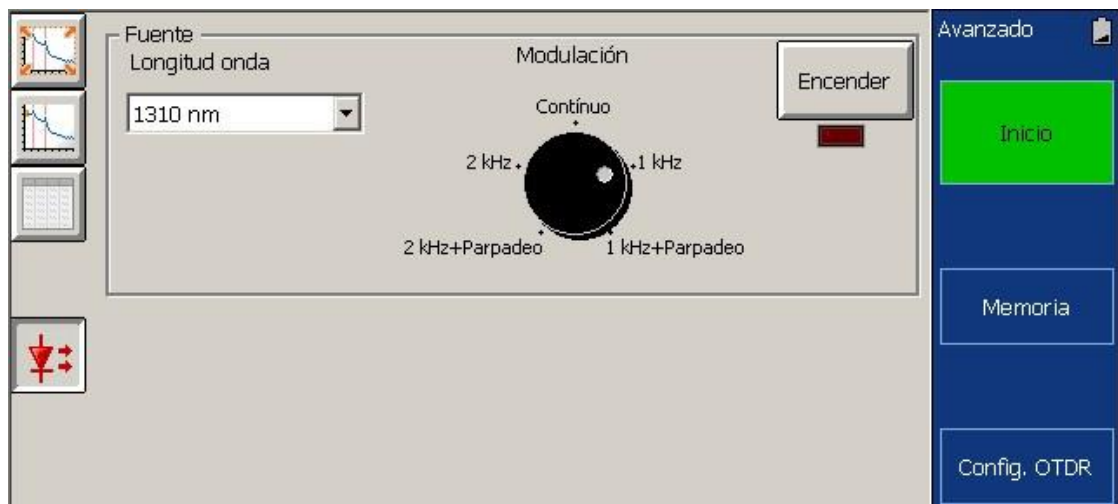
siguiente no enviará señal alguna. Después de seleccionar longitud de onda y tipo de modulación, simplemente encienda la fuente y realice sus pruebas⁴⁸.

Figura 17. Vista Superior Modulo FTB-200



Fuente: Spec sheet de FTB-200 v2

Figura 18. Configuración VFL como fuente de Luz



Fuente: La autora.

4.2.3 Medidas Reflectométricas El OTDR proporciona una caracterización de segmentos de fibra óptica, permitiendo detectar longitud óptica, atenuación, roturas, pérdidas de retorno total, perdidas por empalme, por conector y total.

Antes de iniciar a realizar las medidas se debe configurar el equipo adecuadamente para facilitar la interpretación de los resultados, además de evitar fallas de medición.

⁴⁸ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Uso del OTDR como una fuente de luz o VFL **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 212

Posterior a la calibración y configuración de las trazas como lo especifica el inicio de este apartado, se iniciara con la medida de cada una de las fibras, para lo cual se sugiere ingresar por el modo Avanzado (ítem 3 de la Figura 7), que permite hacer más configuraciones según lo requiera cada fibra.

El modelo FTB-7200 presenta un evento de zona muerta al metro de la emisión, esta zona muerta fue hallada con una señal de 5ns de pulso y una reflectancia menor a -45 dB.

Figura 19. Error OTDR, Fibra Activa



Fuente: La autora.

Seleccione la longitud de onda con la que trabajará, si el enlace es mayor de 20km se recomienda configurar el equipo a 1550nm, seleccione la longitud del enlace, el OTDR FTB-7200 cuenta con un máximo de 256000 muestras y una zona muerta de un metro, según la longitud que seleccione, cambiaran los valores que están disponibles en el dial de ancho de pulso y de tiempo de muestreo.

Al insertar la fibra e iniciar la adquisición, el OTDR mostrara mensajes de alerta si la fibra que se quiere medir se encuentra iluminada (Figura 19) o tienen índices muy altos de reflectancia (Figura 20); Si la fibra esta iluminada no se podrá medir,

en cambio si la fibra se encuentra con alta reflectancia, que se puede deber a alta suciedad en los conectores, o una falla en el conector, se podrá medir, pero esto irá deteriorando el modulo del OTDR.

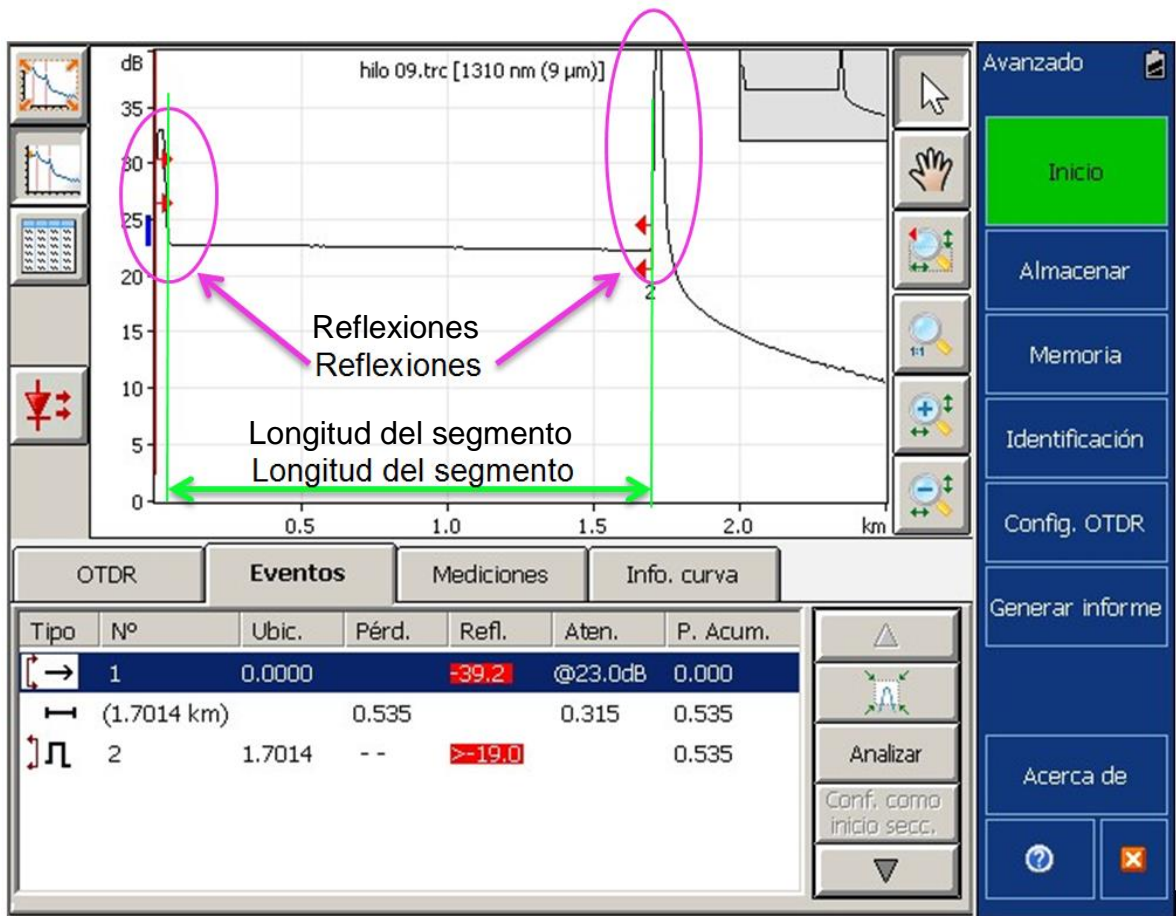
Figura 20. Warning de OTDR, reflectancia alta



Fuente: La autora.

Al iniciar la medición, el OTDR desplegará la gráfica del OTDR junto con la información de pérdidas, atenuación, reflectancia en los conectores, y diversos eventos que se presenten en la fibra, como se observa en la Figura 21, los principales eventos que se presentan en una fibra, son las reflexiones al inicio y al final del segmento, debido a fallas o suciedad en los conectores, otro factor que se observa en la gráfica es la pendiente de la traza, a mayor pendiente, mayores serán los niveles de atenuación, y cuando se termine el segmento de fibra, decaerá considerablemente la traza hasta alcanzar valores de potencia muy cercanos a cero.

Figura 21. Hilo 09 Maranta-Duitama



Fuente: La autora.

La gráfica del OTDR, y la habilitación del análisis de las fibras, permitirá hacer una comparación de cada uno de los eventos, con los valores medidos, para lo cual es importante tener claro que tipos de eventos se pueden presentar, cual es el símbolo con el que lo caracterizan en los equipos, y en la gráfica como se puede diferenciar.

Tabla 11. Símbolos de eventos del OTDR

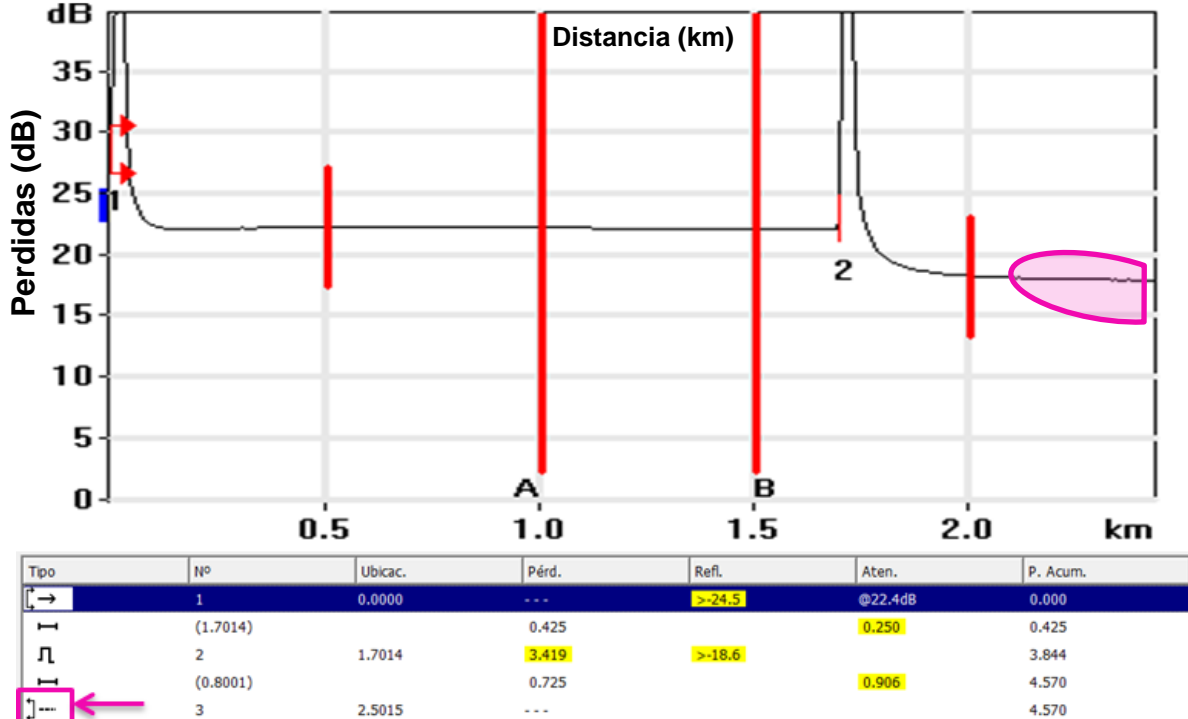
Símbolo	Tipo de Evento	Símbolo	Tipo de Evento
	Inicio del Segmento		Fin del Segmento
	Fibra Continua		Fin de análisis
	Evento no reflectivo		Evento reflectivo
	Evento positivo		Nivel de emisión
	Sección de fibra		Evento combinado reflectivo

	Eco		Eco reflectivo (eco posible)
---	-----	---	------------------------------

Fuente: La autora⁴⁹.

4.2.3.1 Evento de Fibra continúa.

Figura 22. Fibra 11 Continúa de Ed. Duitama a Maranta



Fuente: La Autora.

Cuando la medición de un enlace se ha realizado seleccionando la longitud correcta deben aparecer los símbolos de inicio y fin de segmento, en caso negativo no saldrá el símbolo de fin de segmento como se observa en la Figura 22.

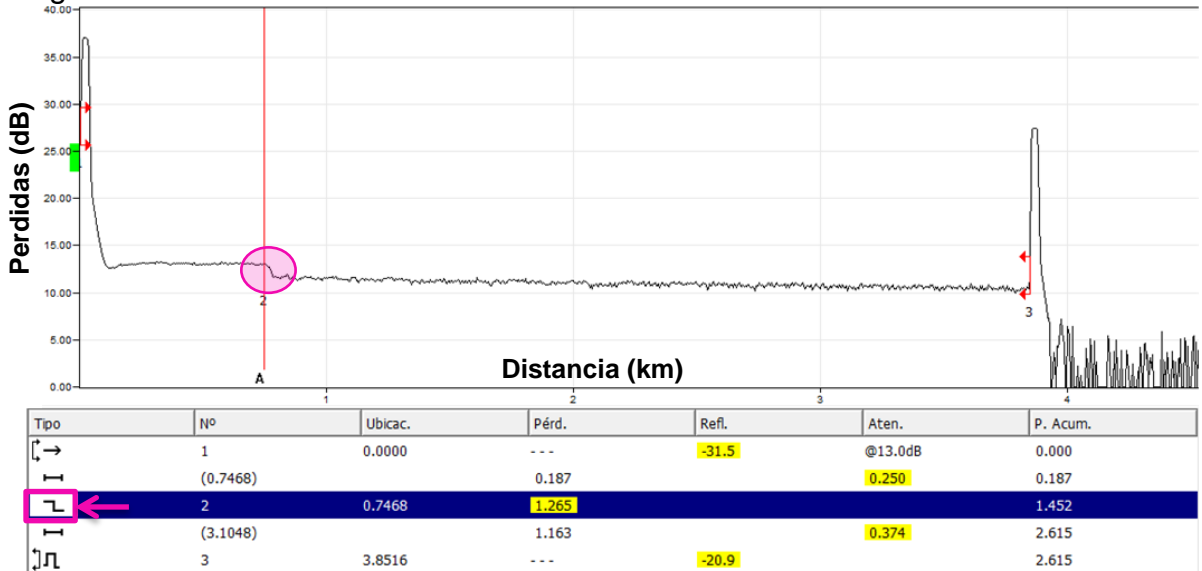
Así mismo, en la tabla de eventos aparecerá el símbolo de que la fibra es continua, y esto se corrobora, con la longitud detectada por el OTDR, en este caso muestra que tiene un máximo de 2502 m y se seleccionó una longitud de 2500m.

Cuando la longitud no se haya seleccionado correctamente mediante Fast Reporter, el software adicional que trae el OTDR de EXFO, se puede volver a configurar, y generar un nuevo informe con una mayor longitud.

⁴⁹ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Descripción de los tipos de eventos **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 320-332

4.2.3.2 Evento no Reflectivo

Figura 23. Evento no reflectivo en Hilo 11 de Sirata a Centro de Control



Fuente: La autora.

Teniendo en cuenta que la pendiente de la gráfica del OTDR es debida a la retrodifusión de Rayleigh, es decir, pequeñas cantidades de luz que se reflejan directamente en el transmisor, cuando se presentan variaciones en el material, esto se reflejara en pérdidas o discontinuidades en la pendiente de la gráfica, como se observa en la Figura 23.

Las variaciones en el material pueden ser debidas a empalmes, o macro y micro curvaturas. Estos eventos no tendrán valores de reflectancia.

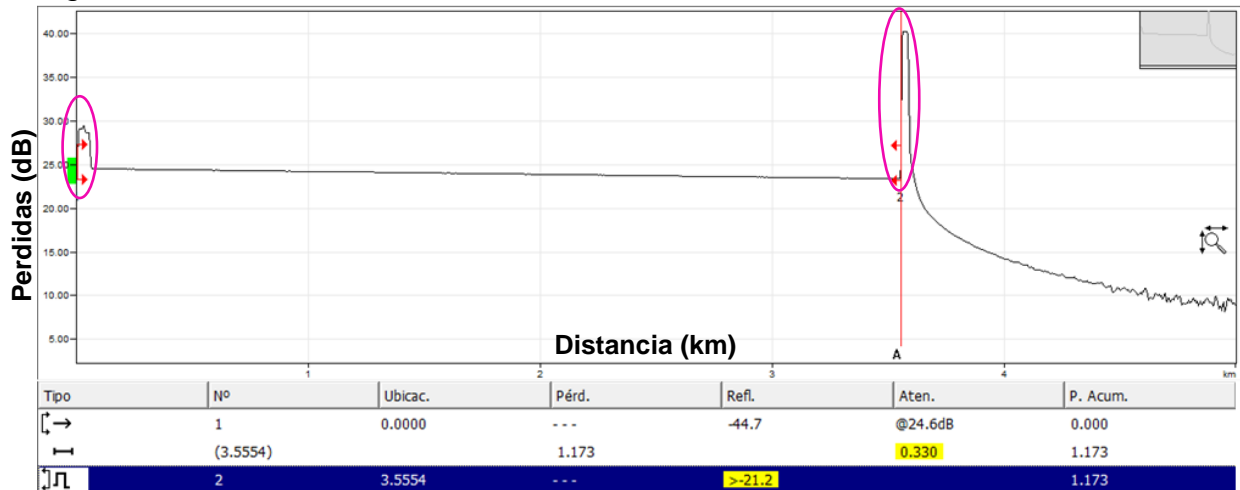
4.2.3.3 Evento Reflectivo

La grafica de la Figura 24, representa una fibra típica, con baja atenuación y bajos niveles de perdidas dada la pendiente cercana a cero, sin embargo, presenta reflexiones al inicio y fin de la fibra causadas por un cambio brusco en el índice de refracción, generando que se refleje gran cantidad de luz hacia el origen, lo que puede ocasionar daños en el equipo, y una mala transmisión de la información.

Se puede detallar la altura de los dos picos producidos por los eventos reflectivos, el primer evento tiene una reflectancia de -44.7 dB, valor que está dentro del umbral permitido; a diferencia del tercer evento, que cuenta con una reflectancia

mayor de -21.2 dB, debido principalmente a conectores en mal estado, empalmes mecánicos, empalmes con baja calidad de fusión o grietas⁵⁰.

Figura 24. Eventos reflectivos en la fibra 12 de La Ramada a San Antonio.



Fuente: La autora.

4.2.3.4 Evento Positivo

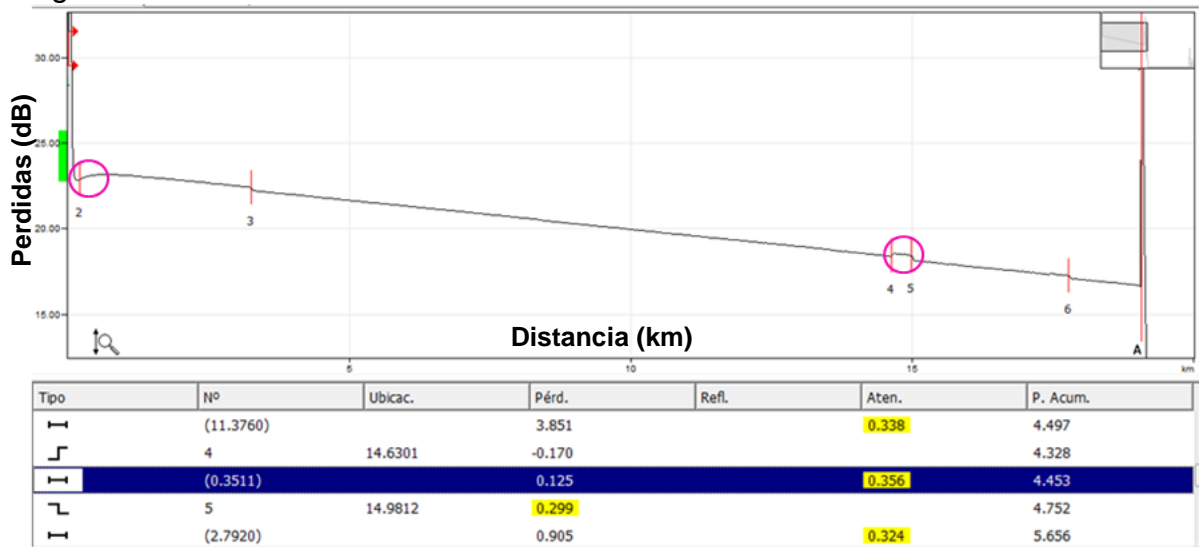
La

Figura 25, Muestra la curva del OTDR de la fibra 6 que conecta Iraca con La Ramada, este tramo presenta numerosos eventos, entre ellos dos eventos positivos, que son el segundo y cuarto, estos eventos simulan una ganancia en la pendiente debido a un cambio en el material con unas supuestas mejores cualidades, esos niveles de ganancia no son reales, y solo representan que en ese punto se ha hecho un empalme, generalmente por fusión con buenas cualidades.

Para hallar lo niveles de pérdidas reales se debe comparar este punto con su medida bidireccional, y realizar un promedio de pérdidas.

⁵⁰ EXFO Electro-Optical Engineering Inc. Descripción de los tipos de eventos **En:** Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009. p. 324

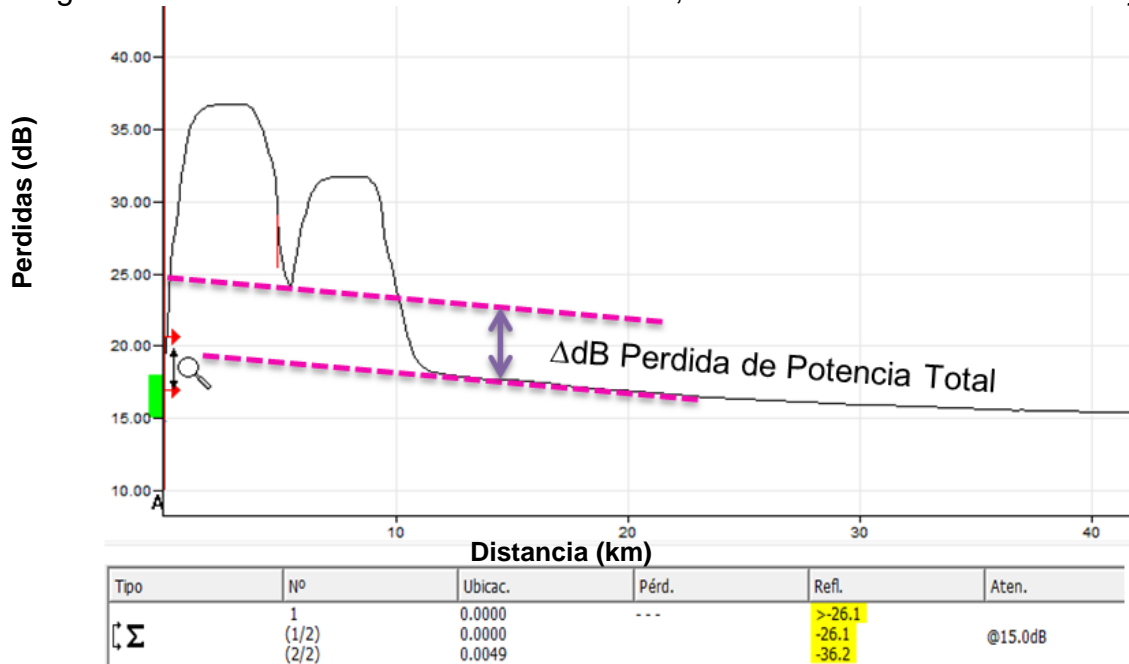
Figura 25. Hilo 06 de Iraca a la Ramada con diferentes eventos



Fuente: La autora.

4.2.3.5 Evento Reflectivo combinado

Figura 26. Evento reflectivo al inicio de la fibra, hilo 9 de Donato a Edificio Tunja.



Fuente: La autora

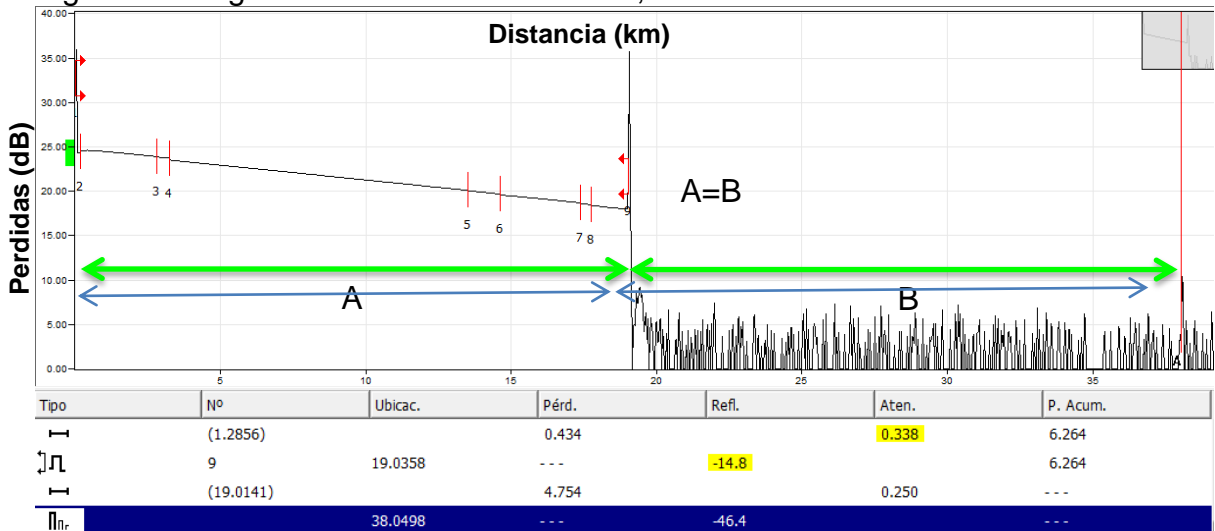
Los eventos reflectivos combinados de fibra pueden incluir dos o más reflexiones, como se observa en la Figura 26, donde se generan dos pulsos sucesivos, a diferencia de la Figura 24, que representa un evento reflectivo común (solo un pulso con una gran magnitud en dB).

La tabla de eventos arroja la reflectancia total del evento combinado, en este caso >-26.1 dB, así como la reflectancia de cada evento independiente, siendo -26.1 dB y -36.2 dB respectivamente. El cálculo de la potencia total se halla estableciendo la diferencia entre el valle de la primera reflectancia con el valle de la segunda reflectancia, en este caso, la pérdida es de 5dB aproximadamente.

Estos eventos se presentan porque hay conectores con mala calidad, empalmes mecánicos, empalmes por fusión de baja calidad, o grietas en la fibra.

4.2.3.6 Eco

Figura 27. Segmento final medido con eco, hilo 08 de Iraca a la Ramada



Fuente: La autora.

En algunos casos, el pulso emitido alcanza el último conector y se devuelve la luz hacia el OTDR, sin embargo, antes de llegar al equipo encuentra otro conector y la luz vuelve a ser reflejada hacia el conector final y otra vez al OTDR. Estas reflexiones ...ver Figura 27... generan picos después del extremo de la fibra; esta distancia entre conectores, es la distancia que generalmente hay en los ecos desde los conectores finales, lo cual no es más que un evento reflectivo. Para que se produzcan los ecos debe haber mínimo dos eventos reflexivos anteriores. Este evento no tiene pérdidas de potencia.

4.2.3.7 Evento Reflectivo (Eco posible)

En ciertas ocasiones se presentan eventos reflectivos a una distancia múltiplo del tercer conector, pero en secciones de la fibra donde aún el enlace no ha terminado, más cercano a la fuente, y no presenta valores de pérdidas considerables, cuando esto se presenta, esos eventos reflectivos son tomados como ecos.

4.2.3.8 Eventos Fantasma

Cuando se confrontan las medidas bidireccionales, y en uno de los análisis del enlace se presenta el evento, y en su archivo de dirección opuesta este no aparece, se puede afirmar que se trata de un evento fantasma; los fantasmas se deben a una selección incorrecta de los parámetros de medida, generalmente a una frecuencia de repetición del pulso demasiado alta. La reflexión al final de la línea de un pulso no ha llegado al final, cuando ya se está enviando la otra señal, solapándose la reflexión del final con la retrodispersión del segundo pulso, generando un evento reflexivo falso.

Sin embargo, cuando se cambia el ancho de pulso el evento desaparece o cambia su posición, lo que confirma que se trata de un evento fantasma⁵¹.

⁵¹ Departamento de Tecnología fotónica y bioingeniería. Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo **En:** Laboratorio de Comunicaciones Ópticas. Universidad Politécnica de Madrid. P. VIII- 19

5. MANTENIMIENTO DE REDES DE FIBRA ÓPTICA

Como todas las redes de comunicaciones, con el paso del tiempo, los equipos van perdiendo cualidades, disminuyendo sus prestaciones de transmisión, específicamente la fibra óptica por estar compuesta de vidrio de sílice y transmitir luz, es muy frágil y se ve afectada por diversos cambios medioambientales, movimientos, presiones, suciedad, etc.

Teniendo en cuenta lo anterior, y conociendo el estado de la fibra óptica de la EBSA, como se explica en ...el capítulo 4... y en los ...anexos desde el ítem G en adelante, referente a los análisis de las subestaciones, se plantea posterior a eso, unos términos de referencia de mantenimiento preventivo y correctivo, como el que se presenta a continuación:

5.1 TÉRMINOS DE REFERENCIA MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DE FIBRA OPTICA DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ S.A. E.S.P

5.1.1 Objeto La Empresa de Energía de Boyacá S.A. ESP solicita ofertas para la siguiente propuesta de servicios en telecomunicaciones: **Mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica de la EBSA E.S.P ubicada en el departamento de Boyacá.**

5.1.2 Alcance El alcance comprenderá: Mantenimiento preventivo de la red de fibra óptica de la EBSA y las subestaciones que conecta, especificadas en el ...anexo A...

El mantenimiento deberá incluir: pruebas de operatividad, conexión y limpieza tanto en los racks de comunicaciones, como en puntos iniciales, intermedios y finales de la red de fibra óptica; pruebas y análisis de pérdidas de los enlaces, niveles de reflectancia en conectores, atenuaciones, fracturas, macro y micro curvaturas y calidad del tendido de fibra, lo anterior contrastado con la norma ITU-T G.652D, identificando posibles puntos de falla que puedan deteriorar e interrumpir el servicio, y a fin de evitarlo generar el mantenimiento correctivo, que se orientara a condiciones de tendido de la fibra, empalmes en caso de fracturas, cambio de conectores, o enfrentadores, según se requiera.

5.1.3 Especificaciones Técnicas. El contratista deberá cumplir con las siguientes especificaciones técnicas para realizar el mantenimiento preventivo de la fibra óptica, y deberá incluir todos los elementos adicionales de marquillado y amarres necesarios para la ejecución del mismo, al igual que todos los elementos de protección personal para los trabajadores que realizaran maniobras.

El proponente deberá tener en cuenta todos los aspectos logísticos y elementos necesarios para la realización del objeto del presente contrato a implementar, cumpliendo con las especificaciones técnicas relacionadas a continuación.

5.1.4 Generalidades del Mantenimiento Preventivo El contratista al inspeccionar los parámetros ópticos y físicos la red de fibra óptica así como la infraestructura involucrada deberá realizar mínimo las mediciones de las variables que se encuentran en el ...anexo B... del presente documento. De acuerdo con el resultado de dichas mediciones y su comparación con los valores tolerables que la Empresa ha establecido...Ver el anexo B... se determinará conjuntamente con el coordinador las acciones a tomar y si es el caso realizar la programación del servicio de mantenimiento de tipo correctivo.

El contratista debe disponer de los equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, como mínimo debe contar con un Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo u OTDR (del inglés: Optical Time Domain Reflectometer), Así mismo deberá contar con el módulo de sonda de inspección video del OTDR, o un microscopio de FO (min. 200 aumentos para verificar la correcta limpieza de fibras), y una fusionadora de buenas prestaciones que genere fusiones de 0.1dB para el caso de fibras fracturadas.

El OTDR u OLTS debe contar con certificado de calibración vigente, que debe ser entregado a la EBSA para su verificación; con fecha no mayor a seis meses, cumpliendo con la norma EN61326 de la directiva de la unión europea para la comprobación de equipos electrónicos, incluyendo requisitos de emisiones, inmunidad de equipos, medición y control de fibras monomodo proveniente de un laboratorio que cumpla la norma ISO/IEC 17025.

Debido a que la EBSA cuenta con fibras oscuras e iluminadas, a las fibras oscuras se podrá realizar el mantenimiento en cualquier horario, pero a las fibras iluminadas la EBSA generará las ventanas de mantenimiento en el horario que ellos consideren conveniente, según el impacto que genera la suspensión del servicio para realizar las mediciones necesarias.

Una vez determinado por el coordinador del área el servicio de mantenimiento correctivo derivado de la prestación del servicio de mantenimiento preventivo, el contratista debe tomar las medidas necesarias para corregir la deficiencia

encontrada y con ello prevenir problemas mayores; en cualquier caso una vez avalada la labor, el contratista debe responder por la integridad y correcto funcionamiento del enlace de fibra óptica a intervenir.

Para intervenciones por parte del contratista sobre la infraestructura, se debe contar con las respectivas autorizaciones por parte de EBSA cumpliendo con los protocolos, normas de procedimientos y trabajo seguro establecidos para la ejecución del mismo. Para esto, el contratista tramitará ante EBSA E.S.P. las respectivas autorizaciones y permisos de ingreso a los lugares donde se requiera.

Si las labores de mantenimiento preventivo o correctivo implican suspensión del servicio, se deberá autorizar por el coordinador del área de telemática, al cual se le debe informar con 72 horas de anticipación.

El contratista debe al final de toda intervención sobre la fibra (mantenimiento e instalación), actualizar los planos y documentación referente con la información de las labores ejecutadas, para esta actividad se tiene un plazo no mayor a 8 días hábiles luego de la culminación de la obra. Realizando una caracterización total del enlace que incluya los puntos de interconexión, empalmes, conectores, secciones de la fibra, debido a que será necesario para referencias futuras en otros procesos de mantenimiento preventivo, correctivo, ampliaciones o modificaciones.

Una vez finalizado el proceso de mantenimiento, se deberán realizar pruebas para certificar la calidad del servicio, las pruebas mínimas incluyen evaluación de pérdida de enlace, longitud, verificación de polaridad del enlace, uniformidad de atenuación, pérdida de inserción de cada conector, y pérdida de inserción de los empalmes, el formato del protocolo de pruebas será realizado por la EBSA, y se firmara junto con el acta de aceptación del servicio por las partes.

NOTA: Tenga en cuenta que las recomendaciones hechas acá son muy generales y se deberán hacer análisis en cada uno de los puntos de tendido de fibra óptica, para evaluar cuales recomendaciones se ajustan según el tipo de fibra a la que se le realizara mantenimiento (ADSS u OPGW).

Las normas en las que se puede basar el contratista, y seguirá la EBSA como referencia para mantenimiento e instalación son los que expide el ITU-T, que es el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones; el contratista deberá prestar principal atención a las siguientes normas:

Tabla 12. Normas de la ITU-T a tener en cuenta para el mantenimiento preventivo y correctivo

Numero	Descripción
SERIE G. SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISION, SISTEMAS Y REDES DIGITALES	
G.650.1	DEFINICIONES Y METODOS de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo
G.650.2	Definición y métodos de prueba para atributos estáticos no lineales de fibras y cables monomodo.
G.652	CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO
G.657	Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdidas por flexión para la red de acceso
SERIE L: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR	
L.25	Mantenimiento de redes de cables de fibra óptica
L.26	Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas
L.31	Atenuadores de fibra óptica
L.34	Instalación de cables de fibra óptica de hilo de guarda
L.35	Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso
L.36	Conectores de fibra óptica monomodo
L.40	Sistema de soporte de mantenimiento supervisión y pruebas de la planta exterior de fibra óptica

Fuente: La autora.

5.1.5 Mantenimiento Preventivo En este mantenimiento se debe hacer una inspección detallada a cada uno de los hilos de la fibra, con el fin de conocer las condiciones de los mismos, se podrán basar en análisis anteriores, o ser respaldado con información de los miembros del grupo de gestión telemática que conozcan de alguna irregularidad de la red, sin embargo, a cada uno de los hilos sin pretexto alguno se les deberán realizar las mismas medidas, y deberán cumplir los mismos estándares de calidad.

El protocolo a seguir para hacer dicha inspección será:

- 1) Sin importar las condiciones en que se encuentren los racks de telecomunicaciones de cada una de las subestaciones y edificios que posean equipos de fibra óptica, el primer procedimiento a realizar será la limpieza total de los mismos. En primera instancia soplar con aire a presión el rack y cada uno de los equipos que lo contengan.

- 2) Inspeccionar detenidamente que las conexiones, conectores y patch cords, de los Switch de fibra óptica se encuentren en buen estado y conectado como es debido, sin sobrepasar los radios de curvatura, o con conectores sueltos, en dado caso, deberán repararse inmediatamente.
- 3) Asegurar que las fibras y los patch cords que entran y salen de los ODF's no sobrepasen el radio de curvatura especificado, que los enfrentadores de la fibra óptica o conectores no se encuentren sueltos, si se observan daños o conexiones débiles, se deberán reparar o sustituir.
- 4) Verificar que los puertos no utilizados en el ODF cuentan con los tapones contra acumulación de polvo
- 5) Limpiar los conectores SC y LC que se insertan a los porta modulos Mini GBIC de los Switch de fibra, así como las fibras que ingresan al ODF y sus puertos. Se debe efectuar la limpieza hibrida, en la primera etapa se debe limpiar el extremo del conector utilizando un disolvente especializado, e inmediatamente secar los residuos con un paño o bastoncillo adecuado según el tipo de conector. La limpieza hibrida previene y elimina la acumulación de cargas electrostáticas sobre la ferule y elimina los inconvenientes de los dos tipos de limpieza cuando se realizan individualmente.⁵²
- 6) Nunca utilice el alcohol o la limpieza húmeda sin una manera de asegurarse de que no deja el residuo en el endface. Puede causar daño en la fibra.
- 7) Posterior a la limpieza alinee el conector y el puerto para evitar que el extremo de la fibra entre en contacto con la parte exterior del puerto o pueda rozarse con otras superficies. Si el cable de fibra no está correctamente alineado o conectado, sufrirá pérdidas de gran magnitud y reflexión.
- 8) Inspeccionar la limpieza de la fibra con equipos especializados como microscopios o sondas de inspección de video (min. 200 aumentos). Al realizar dicho análisis no se debe evidenciar ningún rastro de partículas de polvo o suciedad, si es el caso se deberá volver a limpiar minuciosamente las fibras que presenten suciedad hasta que se evidencie la total limpieza de la fibra⁵³.
- 9) Después de realizar la limpieza a los racks, equipos y fibras, se procederá a realizar mediciones de diferentes parámetros de la fibra óptica.

⁵² EXFO, Boletín técnico N° 191, Inspección y mantenimiento de conectores ópticos, 2011. p. 7-12

⁵³ Fluke Networks, Cableado de Fibra Óptica para Comunicaciones de datos, Manual de Comprobación y Solución de Problemas, U.S.A. 11/2009 3584157A. [En línea] <http://www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf > [Citado en 2015-08-14] p. 24

- 10) Para realizar la comprobación de pérdida en la fibra con un set de pruebas de pérdidas ópticas (OLTS, del inglés Optical Loss Test Sets) se deberá primero establecer el punto de referencia a 0 dB, para lo cual solo se aceptara el método de calibración de un latiguillo o cable de acuerdo al estándar FOTP-171, ya que este método al realizar las medidas solo arrojará las pérdidas del cable medido directamente, con los otros métodos deberá restarse las pérdidas de los otros cables de referencia.
- 11) La fibra de lanzamiento o latiguillo debe tener las mismas características que la fibra a probar, además de ser más larga que la zona de atenuación y zona muerta dinámica del OTDR.
- 12) Posterior a establecer la referencia se deberá realizar la comprobación de los niveles de pérdida de inserción de cables de interconexión, con el método de un cable, donde la medición no incluye el extremo del conector en el medidor de potencia, lo que hace necesario que se haga bidireccional, o con el método de pérdida de dos extremos, que mide la pérdida de los conectores en ambos extremos del cable bajo prueba.
- 13) Si se elige un Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR del inglés Optical Time Domain Reflectometer), para realizar las mediciones se debe usar un cable de referencia de lanzamiento en extremo cercano y en el receptor con una longitud mínima de 250m. Si el cable de lanzamiento de referencia es demasiado corto la luz se refleja en ambos lados del cable y produce falsos eventos en la gráfica de OTDR, se debe realizar un acondicionamiento de modo con un bucle en la fibra de entre 0,07 y 0,1 m, en caso contrario el latiguillo o cable debe estar completamente desenrollado, para evitar eventos fantasmas.
- 14) El cable receptor permite la comprobación del conector en el extremo lejano del enlace de fibra a prueba. En caso que no se use el cable en el receptor las mediciones deberán ser bidireccionales.
- 15) Antes de realizar las medidas se deberá configurar el ancho del pulso, el tiempo de muestreo que será de 3 min, la longitud, el IOR o índice de refracción de la fibra bajo pruebas, la retrodispersión, el factor helicoidal que será suministrado por el fabricante de la fibra, la configuración de la fuente de luz, su frecuencia de modulación y todos los demás valores necesarios para que el OTDR, realice mediciones acertadas.
- 16) Los marcadores del OTDR se deben ubicar después del cable de lanzamiento del extremo cercano y antes del cable de lanzamiento del extremo lejano. Y se deberá realizar la medición bidireccional, el promedio de los dos valores se considera la pérdida de inserción del empalme.

- 17) Realizar las mediciones de:
- Pérdidas de potencia óptica en el enlace
 - Pérdidas en cada evento.
 - Pérdida de inserción en conectores.
 - Reflectancia en adaptadores y conectores.
 - Pérdida de retorno o potencia reflejada en conectores y adaptadores. (ORL)
 - Atenuación (pérdidas por kilómetro).
 - Longitud del enlace.
 - Polaridad.
 - Macro y microcurvaturas.
- 18) Realice el análisis de las medidas bidireccionales, si alguna de las medidas es significativamente mayor, el conector puede estar sucio o la terminación de la fibra en el acoplamiento puede ser mala. Limpie o vuelva a realizar la terminación de fibra en el conector y vuelva a medir. Si las medidas bidireccionalmente arrojan valores muy altos se puede deber a conectores sucios, un cable de referencia defectuoso, un mal empalme o malas terminaciones en ambos extremos del cable. Inspeccione todos los conectores, limpie o sustituya si fuera necesario. Si los altos valores medidos persisten, reemplace el cable de referencia, reajuste la referencia y vuelva a comprobar.
- 19) Posterior a verificar que las mediciones fueron realizadas correctamente se deberá presentar un informe con el análisis de la gráfica de eventos del enlace de fibra del OTDR, o con los valores de pérdida de potencia obtenidos con el OLTS según sea el caso, debe incluir información de los siguientes ítems: Subestaciones del enlace, fecha, integrantes de cuadrilla, equipo utilizado, certificación del equipo y vigencia, registros de pruebas realizadas, registro de ruta inspeccionada con notas sobre las condiciones del cable y su infraestructura, distancias donde se encuentran empalmes, notas detalladas de problemas encontrados, distancia a la que se encuentra la falla, el tipo de evento que se presenta en ese punto, bien sea: macro o micro curvaturas, conector o empalme en malas condiciones o fracturado, doblez, acción correctiva necesaria.
- 20) En cada actividad de mantenimiento por subestación o edificio se deberá entregar un documento con información del rack encontrado, dimensiones, especificaciones técnicas, disponibilidad, equipos que contiene, marca y características técnicas de los equipos, observaciones que el contratista considere importantes, se podrán basar en el formato del anexo D, y realizar modificaciones siempre y cuando sea para agregar campos con más información, no para omitirla.

21) Se debe revisar los márgenes de pérdidas ópticas que aceptan los dispositivos adquiridos por la EBSA en cada punto y confrontarlos con los valores obtenidos en las mediciones, el respectivo análisis y solución debe quedar documentado y entregado al final de las labores junto con los demás informes exigidos.

Recuerde que la pérdida del enlace será:

Pérdida del enlace = pérdida de la fibra (dB/ km) + pérdida en la conexión (panel de distribución) + pérdida en el empalme (por fusión).

22) Las pérdidas en los patch cord entre equipos no se añaden a la evaluación del enlace dado que son muy cortos, sus niveles de atenuación es mínima y por ende despreciable.

23) En caso que se presenten fibras rotas, solo se aceptaran empalmes por fusión, debido a que el empalme mecánico genera pérdidas muy altas, que no aseguran los 10Gbps.

24) El mismo procedimiento de limpieza y revisión que se realiza en los racks de telecomunicaciones debe ser realizado en las cajas de empalme de las torres, torrecillas, postes y subestaciones de propiedad de EBSA.

25) Se debe verificar la estabilidad de los postes, observando que los cables de soporte se encuentren tensionados, así como los extremos de terminales estén instalados.

26) Verificar el estado del cable de fibra óptica entre cada una de las torres, torrecillas, postes y subestaciones.

27) Para verificar el estado del cable de fibra óptica tendida se deberá revisar el radio de doblado del cable que debe cumplir mínimo 20 veces el diámetro del recubrimiento exterior del cable y los valores límites de tensión del cable.

28) Para evitar pérdidas por microcurvaturas se deberán minimizar los efectos de las tensiones, usando amortiguadores sobre el cable de fibra.

29) Se debe revisar que todos los equipos, armarios y estructuras metálicas se encuentren conectadas a sistemas de puesta a tierra por seguridad. Los Racks deben cumplir con norma IP 43 o superior, según las necesidades en cada subestación, y la norma de fibras ópticas.

30) Los sistemas de bandeja y armarios distribuidores deben poder asegurar el radio de curvatura de los enlaces ópticos.

- 31) Como los conectores de fibra pueden tener distintas formas de férulas o terminaciones, la tecnología evoluciona orientada a disminuir los espacios de aire entre fibras al enfrentarlas, reduciendo así la pérdida y reflexión, concluyendo que los conectores con pulido APC (Contacto físico angular), es el que mejor se ajusta a sistemas monomodo que requieren una alta transferencia de tasa de bits.
- 32) Los fabricantes recomiendan hacer pruebas con el OTDR, con muestras mínimo de 3 minutos, el cual se considera el lapso para la toma de datos con suficientes puntos para obtener promedios representativos, y eliminar la mayor cantidad posible de ruido.
- 33) Para medir las pérdidas de retorno óptico u ORL se deberá calibrar en el instrumento (OTDR) el índice de refracción según los valores arrojados por el fabricante, en el caso del uso de la fibra óptica cero pico de agua AllWave® que es la usada mayoritariamente en la red de fibra de la EBSA se tiene para 1310 nm un índice de 1,466 y para 1550 nm un índice de 1,467.
- 34) El proceso de mantenimiento finalizara con la verificación del marquillado y si es necesario se volverá a marquillar o corregirá.

5.1.6 Mantenimiento Correctivo Las acciones de mantenimiento correctivo serán programadas con el coordinador del grupo de gestión telemática, el proveedor debe tener contemplados equipos de respaldo en caso de alguna falla.

Se debe inspeccionar la cubierta de cable de la fibra óptica y los empalmes, si están deteriorados se deberá reparar para evitar principalmente la penetración longitudinal del agua.

El uso de adaptadores o enfrentadores de fibra óptica solo será aceptado en caso extremo, para soluciones temporales de máximo 48h.

Solo se aceptaran conectores con pulido APC y pérdidas menores a 0,1dB.

En caso de fractura de fibra se deberán realizar empalmes por fusión, con pérdidas máximas permisibles de 0,01dB. Al instalar tramos nuevos de fibra para corrección de alguna falla se deberán dejar reservas de cable, en forma de ocho o circular.

El número de conector que se utilice debe ser minimizado para disminuir las pérdidas de transmisión, se debe justificar cada conector nuevo que se adicione, y verificar que la pérdida del enlace no pase los límites especificados.

Para las recomendaciones a tener en cuenta sobre infraestructura se deben seguir las recomendaciones de instalación y revisar los tipos de herrajes y amortiguadores,... ver capítulo 3...

5.1.7 Perfiles y Equipo de Trabajo Dado que el OTDR presenta mayores posibilidades de configuración y realiza la medición de las pérdidas de manera indirecta, contrario al set de comprobación de pérdidas OLTS, si el contratista decide usar el OTDR, este debe comprobar que el personal instrumentador cuenta con la formación y certificación necesaria para operar estos equipos, la certificación debe ser realizada en un centro de entrenamiento aprobado por los fabricantes del equipo, todo con el fin de evitar problemas de precisión debidas al instrumentador.

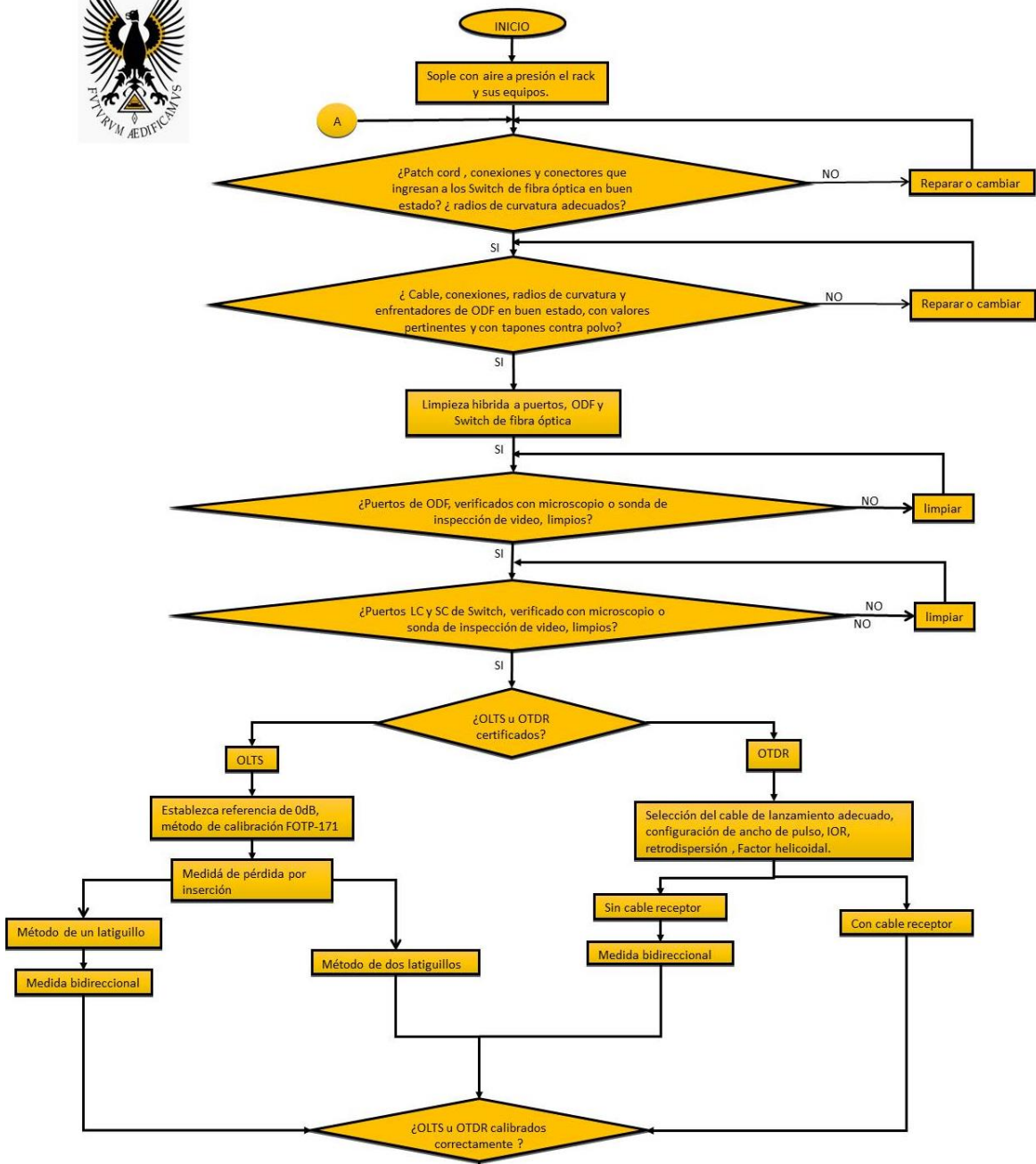
Por lo anterior, Una vez impartida la orden de inicio del contrato, se entregará oficialmente al interventor del contrato las hojas de vida de los trabajadores propuestos para ser validadas y aprobadas por EBSA, y dar inicio a la conformación de la totalidad del equipo de trabajo requerido.

EBSA podrá realizar una evaluación al equipo de trabajo vinculado por el contratista para la ejecución del contrato basada principalmente en el perfil, experiencia, el dominio y manejo de los conocimientos técnicos para la realización de las actividades que contempla cada servicio requerido por EBSA.

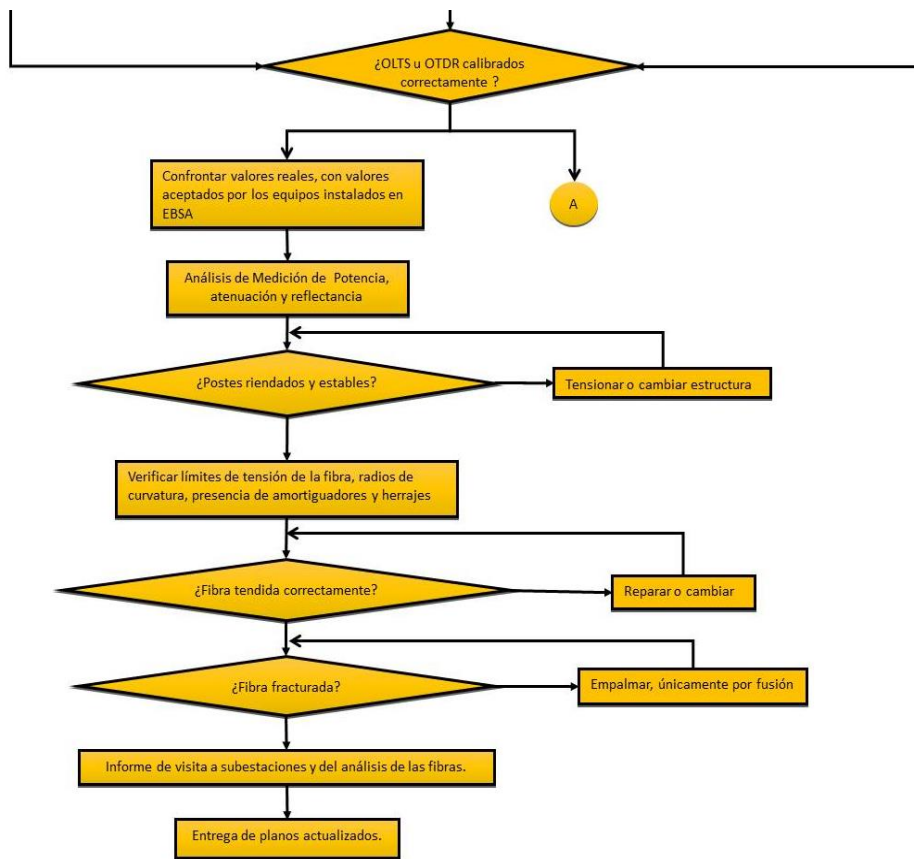
El contratista debe acreditar que el equipo de trabajo de las cuadrillas que participarán en la ejecución del contrato, han participado en los últimos tres (3) años, contados hasta la fecha límite de entrega de la oferta, en mínimo dos (2) proyectos de este tipo, demostrando experiencia en:

- a) Redes de fibra óptica canalizada y aérea ó
- b) En empalmes de cables de fibra óptica y las pruebas ópticas relacionadas.

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DE FIBRA OPTICA DE LA EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A. E.S.P



Continuación del diagrama de flujo en la siguiente página.



6. TRABAJOS POSTERIORES

El uso de la fibra óptica como medio de transmisión, genera menos pérdidas a largas distancias frente a las redes de cobre, así como es más liviana y proporciona mayores velocidades de transmisión. Actualmente la limitación de velocidad depende de la tecnología de los equipos que generan las señales de transmisión, o iluminan las fibras, realizado principalmente con tecnología láser; sin embargo esta proporciona una velocidad limitada por lo cual, se debe incentivar en investigación y desarrollo de tecnología que permita enviar información con mayores tasas de bits, además de implementar tecnologías de multiplexación como CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), con lo que se disminuirán los costos de instalación, e impulsará el trabajo con redes de fibra óptica en diferentes ámbitos.

CONCLUSIONES

Al realizar ampliación del sistema de la red de fibra óptica de la EBSA por ser instalada en una región montañosa como es el altiplano Cundiboyacense, se deberá tener especial cuidado a las condiciones climáticas a que será expuesta, principalmente los cambios de temperatura con heladas a las madrugadas y olas de calor al medio día, lo que genera una dilatación de los materiales del vidrio y formando microcurvaturas, así mismo, por los fuertes vientos se generará deterioro de los hilos de fibra a largo plazo, para lo cual se deberán instalar la mayor cantidad de amortiguadores posibles, según se requiera, por condiciones geográficas, recomendando los de tipo stockbridge para cable OPGW y ADSS.

Al realizar el mantenimiento predictivo de diferentes subestaciones de la EBSA, se reconoce que uno de los aspectos más importantes para que se mantengan los niveles de calidad y velocidad de transmisión por largo tiempo, será el cuidado que se le tenga a la fibra óptica, principalmente relacionado con la limpieza, por lo cual, el mantenimiento preventivo se orientó procesos y técnicas de limpieza adecuados, recomendando el método híbrido (limpieza húmeda y luego seca) y corroborando con equipos especializados como microscopios o sondas de inspección de fibra. Adicionalmente los racks deberán cumplir norma IP (Grado de Protección) mínimo de IP 43, y en subestaciones como San Antonio se recomendará un IP 53.

La fibra óptica AllWave cero pico de agua que cumple con norma ITU-T G.652.D es capaz de transmitir a 10 Gbps, siempre que se sigan las recomendaciones de tendido y mantenimiento de la fibra, además de las prestaciones de los equipos con los que se trabaje para la transmisión, distribución y conversión, si no se cuenta con buenos equipos podrán aumentar los efectos de dispersión cromática, sin embargo, tenga en cuenta que la fibra cero pico de agua reduce dicho efecto en la ventana de 1550 nm, pero si no se usa esta fibra óptica de Furukawa, deberán tenerse en cuenta estos tipos de pérdidas.

Como características principales del mantenimiento correctivo, al momento de realizar empalmes solo se aceptaran los realizados por fusión, con pérdidas menores a 0,01 dB, en cuanto a los conectores y enfrentadores, no podrán tener pérdidas superiores a 0,1 dB y solo se aceptara el pulido de tipo angular o APC.

BIBLIOGRAFÍA

CAPMANY, José; Redes ópticas. México: Limusa: Universidad Politécnica de Valencia, 2007. 201 p. ISBN-13:978-968-18-7063-8.

SAMPIERI, Roberto Hernández, Metodología de la investigación, Quinta edición. México. McGRAW-HILL/interamericana editores S.A. DE C.V. 2010. Cap 5 y 6. ISBN: 978-607-15-0291-9.

Carmelo Fernández García, José Antonio Barbado santana instalaciones de telefonía. Prácticas. Editorial Paraninfo, 2008.

Comisión de Estudio 6 (1997-2000) del UIT-T, Instalación De Cables De Fibra Óptica De Hilo De Guarda, Ginebra, 1998.

Departamento de Tecnología fotónica y bioingeniería. Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo En: Laboratorio de Comunicaciones Ópticas. Universidad Politecnica de Madrid. P. VIII- 19

DOMINGO, Alfredo Abad. McGraw-Hill Interamericana de España, SL. 2005. [En línea]
<https://www.mhe.es/cf/ciclos_informatica/844819974X/archivos/unidad2_recurso2.pdf> Consultada el 3 de diciembre de 2015.

ETB, Criterios De Instalación Cable ADSS, Políticas Para Red De Fibra Óptica Aérea, Bogotá, 2007.

EXFO Electro-Optical Engineering .Inc. Uso del OTDR como una fuente de luz o VFL En: Guía del Usuario OTDR para FTB 200 Serie 7000. 2006-2009.

EXFO, Boletín técnico N° 191, Inspección y mantenimiento de conectores ópticos, 2011.

Fluke Networks, Cableado de Fibra Óptica para Comunicaciones de datos, Manual de Comprobación y Solución de Problemas, U.S.A. 11/2009 3584157A. [En línea] <http://www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf > [Citado en 2015-08-14]

GOVIND P. Agrawal, Sistemas De Comunicaciones Con Fibras Ópticas. Tercera Edición . New York. Wiley Interscience, 2002.

HERRIZAINGO Saila. Tendido de cable de fibra óptica para la red de telecomunicaciones del departamento de interior. Bizkaia.

HidroCantábrico Distribucion Electrica S.A.U. Herrajes y accesorios para el tendido aéreo de cables de tierra y/o fibras ópticas.2005.

L. M. Checa. Líneas de transporte de energía. España, Marcombo, Tercera Edicion, 2004.

La Asociación de fibra óptica (the FOA). Reference Guide To Fiber Optics. Cable de fibra óptica ,2014. [en línea] <<http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>> [Citado el 8 de octubre de 2015]

La Asociación de fibra óptica (the FOA). Reference Guide To Fiber Optics. Instalación de la red de fibra óptica, 2014. [en línea] < <http://www.thefoa.org/ESP/Instalacion.htm>> [Citado el 11 de abril de 2015]

ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). Desarrollo de la energía para satisfacer las necesidades del desarrollo. En:Parte III: retos para la vida y el bienestar [En línea] <http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap10_es.pdf.> Consultado el 3/12/15

R&mfreenet, Instrucciones de instalación y pruebas. Cableado genérico versión 5.2, Suiza, 2011.

Tomasi Wayne. En:Sistemas de Comunicaciones Electronicas. Cuarta Edicion. México. 2003. Pearson Educación (EDUCACIÓN P, ed.). México; 2003.

UIT-T, Recomendación UIT-T L.26 Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas, En: Serie L: construcción, instalación y Protección de los cables y otros Elementos de planta exterior, 2003.

UIT-T, Recomendación UIT-T L.34 Instalación de cables de fibra óptica de hilo de guarda, En: Serie L: construcción, instalación y Protección de los cables y otros Elementos de planta exterior, 2003.