



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

ENLACE CON FIBRA ÓPTICA ENTRE LAS
CENTRALES DE TRANSMISIÓN UBICADAS EN
PUEBLA Y CHALCO

T E S I S A

PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciada en Electrónica

PRESENTA:

Yazmin Olivares Portugal



Asesora:

Dra. Susana Sánchez Urrieta

Coasesor:

Dr. Mario López López

Diciembre, 2017

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios (Padre, Hijo y Espíritu Santo), por todo lo que me ha dado, familia, amigos, salud, la fortaleza en los momentos difíciles, porque nunca me ha dejado, porque me ha dado los ánimos de seguir adelante con mis sueños a pesar de los obstáculos que se han presentado y me ha permitido estudiar la licenciatura, así como titularme.

A mi padre David Jacob Olivares Trinidad, a mi madre Esperanza Portugal Soto (†) y a mi hermana Areli Shaddai Olivares Portugal por todo su amor, por el apoyo que me brindaron y me siguen brindando; a mis sobrinos Bruno y Elías por su amor y porque su presencia es motivo de alegría.

A mi esposo Osvaldo Márquez Rosano, por su amor, sus cuidados, por no dejar que me rindiera, por el apoyo incondicional para seguir adelante con mis sueños y a mi hijo Caleb porque es nuestro motor cada día.

A mis amigas y amigos por su apoyo, confianza y por tantos años de vivencias.

A la Dra. Susana Sánchez Urrieta, agradezco su apoyo por aceptar ser asesora de esta tesina también por su paciencia y sus consejos, los cuales valoro mucho y me han servido para aplicarlos en la vida diaria.

Al Dr. Mario López López, agradezco que haya aceptado ser coasesor de este proyecto; así también por su apoyo y orientación en el desarrollo del documento.

A cada uno de los ingenieros que me apoyaron con información para elaborar éste documento.

A todos les agradezco su valioso apoyo.

Yazmin Olivares Portugal

RESUMEN

En este trabajo se presentan los pasos necesarios para llevar a cabo el diseño de un enlace de fibra óptica. Se inicia abordando el tema de los conceptos básicos de propagación de la luz, las propiedades de la fibra y los componentes de un sistema de comunicación óptico con el fin de que el lector se familiarizarse con estos fenómenos.

Debido a la importancia que tiene el plano de ruta en la instalación del enlace, se da a conocer la simbología, los tipos de canalización y pozos para que se pueda interpretar éste en la inmersión de la fibra.

Normalmente la longitud de un enlace es mayor que la dimensión de fibra óptica contenida en una bobina, lo que hace necesario que una vez sumergidas éstas, sea necesario realizar empalmes de las fibras, por lo que se da a conocer el proceso de empalmes, la forma de protegerlos, las pruebas que se les realizan con el OTDR así como el código de colores necesarios para realizar este proceso.

Con los conceptos básicos, el entendimiento de plano de ruta y el proceso de empalmes se tiene un panorama general que permite presentar un diseño de enlace de fibra óptica, iniciando con los recursos humanos involucrados, así como los requerimientos solicitados por el cliente. Se dan a conocer los parámetros que se utilizan para elegir la ruta del enlace, el material y el equipo. Ya elegida la ruta y con el plano se calculan los requerimientos y costos de insumos, servicios y personal durante el tiempo de ejecución de la obra.

También se detalla el proceso de la inmersión de fibra óptica, empalmes, pruebas así como el documento que se entrega para validar el enlace entre las centrales de Puebla y Chalco.

Finalmente se presentan las conclusiones y el posible trabajo a futuro.

Índice general

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
Índice de figuras	VI
Índice de tablas	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONCEPTOS BÁSICOS	3
2.1. LUZ	3
2.2. PRINCIPIOS DE PROPAGACIÓN DE LA LUZ	3
2.2.1. Refracción	3
2.2.2. Dispersión	4
2.2.3. Reflexión	5
2.2.4. Difracción	5
2.3. PROPIEDADES DE LA FIBRA ÓPTICA	6
2.3.1. Modos de propagación	6
2.3.1.1. Frecuencia normalizada	7
2.3.2. Apertura numérica	7
2.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA	9
2.4.1. Fuentes ópticas	9
2.4.2. Fibra óptica	9
2.4.3. Detectores	12
3. INFRAESTRUCTURA PARA INSTALAR UN SISTEMA DE CO-	
MUNICACIÓN ÓPTICA	14
3.1. PLANO	14
3.1.1. Simbología	14
3.1.2. Interpretación	16
3.2. INSTALACIÓN DE LA FIBRA	20
3.2.1. Instalación aérea	20

3.2.2.	Instalación subterránea	21
3.2.2.1.	Canalización	22
3.2.3.	Tipos de canalización	22
3.2.3.1.	Construcción de la canalización	25
3.2.4.	Normatividad	26
3.2.5.	Tipos de pozos	29
4.	EMPALMES EN FIBRA ÓPTICA	31
4.1.	Código de colores para empalmes	31
4.2.	Proceso de empalme	34
4.3.	TIPOS DE CIERRES	36
4.4.	Pruebas a la fibra con el OTDR	37
5.	DISEÑO DE ENLACE	39
5.1.	DIAGRAMA A BLOQUES PARA REALIZAR UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA	39
5.2.	RECURSOS HUMANOS	39
5.3.	REQUERIMIENTOS DE ENLACE	42
5.4.	ESTABLECIMIENTO DE RUTA	42
5.5.	RECONOCIMIENTO DE RUTA DEL ENLACE	44
5.5.1.	Plano de ruta	45
5.6.	CÁLCULO DE REQUERIMIENTO	45
5.7.	SELECCIÓN DE MATERIAL Y EQUIPO	46
5.8.	COSTOS	47
5.8.1.	Tiempo de entrega	49
5.9.	FORMA DE SUMERGIR FIBRA	50
5.9.1.	Empalmes	54
5.10.	PRUEBAS CON EL OTDR	59
5.10.1.	Colocación de identificadores	62
5.10.2.	Documento de validación del enlace	64
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	67
	Bibliografía	69

Índice de figuras

2.1. Refracción de la luz, tomada de (4), editada.	4
2.2. Dispersión, tomada de (9), editada.	4
2.3. Reflexión, tomada de (4), editada.	5
2.4. Difracción.	6
2.5. Partes de una fibra óptica, imagen tomada de (12), editada.	6
2.6. Modo de propagación de la luz en la fibra monomodo y multimodo, imagen tomada de (13), editada.	7
2.7. Ángulo crítico, tomada de (4), editada.	8
2.8. Apertura numérica	8
2.9. Emisión del laser y del led.	10
2.10. Modo de transmisión de la fibra tomada de (9), editada.	11
2.11. Estructura de cables de fibras aéreas y subterráneas, tomada de (12), editada.	12
2.12. Estructura de un diodo PIN de silicio.	13
2.13. Estructura de un fotodetector de avalancha.	13
3.1. Secciones que incluye el plano de ruta.	16
3.2. Observaciones que se indican en el plano de ruta.	17
3.3. Sección dos del plano de ruta.	18
3.4. Sección 3 trabajos a realizar con fibra óptica y sección 4 trabajos de obra civil.	19
3.5. Obra civil	19
3.6. Canalizaciones aligeradas de 5 tubos con diámetro de 45 mm, tomada de (20).	23
3.7. Canalizaciones encofradas tipo A y tipo C, tomada de (20).	24
3.8. A. Flexoducto, B, Polietileno de alta densidad y C Tubos de PVC.	25
3.9. Poste que indica la ruta de construcción del enlace, tomada de (12), editada.	26
3.10. Instalación del ducto de polietileno dentro del límite del D.D.V de las carreteras, tomada de (15), editada.	27
3.11. Instalación del ducto de polietileno de alta densidad cuando existen árboles dentro del límite del D.D.V de las carreteras, tomada de (15), editada.	27

3.12. Instalación del ducto de polietileno de alta densidad cuando existen postes telefónicos, postes de alumbrado o torres de alta tensión dentro del límite del D.D.V.de las carreteras, tomada de (15), editada.	28
3.13. Instalación del ducto de polietileno de alta densidad en la cuneta de las carreteras, tomada de (15), editada.	28
3.14. Instalación del ducto de polietileno de alta densidad dentro del límite del D:D:V de las carreteras cuando los cortes en balcón y/o cajón son \leq a 3.0 m, tomada de (15), editada.	29
3.15. Tipos de pozos, tomada de (20), editada.	29
4.1. Código de colores para cables con 6 fibras ópticas.	32
4.2. Código de colores para cables con 12 fibras ópticas.	33
4.3. Partes de una cortadora de fibra óptica.	34
4.4. Partes que conforman una empalmadora.	34
4.5. Alineación de la fibra óptica en la empalmadora, tomada de (13), editada.	35
4.6. A fibra con impurezas, B fibra sin impurezas después de la prefusión, tomada de (13), editada.	35
4.7. Cierre FOSC 450 BS, con sus componentes, tomada de (12), editada. . .	36
4.8. Cierre FOSC 350C.	36
4.9. Diagrama a bloques de un OTDR, tomada de (21), editada.	37
4.10. Eventos que identifica el OTDR, tomada de (22), editada.	38
5.1. Diagrama de flujo del proceso para generar enlace de fibra óptica.	40
5.2. Continuación del diagrama de flujo del proceso para generar enlace de fibra óptica.	41
5.3. Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por carretera internacional.	43
5.4. Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por carretera federal México - Cuautla.	43
5.5. Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por autopista.	44
5.6. Plano a mano alzada.	44
5.7. Plano en AutoCAD.	45
5.8. Características del equipo.	46
5.9. Pozo con agua.	51
5.10. a)Fibra guía (cobra). b) Rafia.	51
5.11. Inmersión de rafia para ayudar a jalar el cable de fibra óptica.	52
5.12. Ventana, vías dañadas y reparación de éstas.	52
5.13. a) Muestra el ducto cortado que facilitó el seguir sumergiendo el cable. b) se coloca cople en el ducto entre los tramos para proteger el cable. c) Cable ya protegido con ducto.	53
5.14. Forma correcta para sumergir la fibra óptica en los pozos, tomada de (12).	53
5.15. Colocación del cierre y empalmadora en un lugar firme.	54

5.16. Gráfica con el OTDR a 1550 <i>nm</i>	60
5.17. Gráfica de OTDR que representa inicio de fibra óptica y un conector. . .	60
5.18. Ampliación del evento 3 que representan una pérdida.	61
5.19. Ampliación del evento 9 que indica una ganancia.	61
5.20. Evento de fin de fibra o corte.	62
5.21. Gráficas obtenidas a 1310 <i>nm</i> y a 1550 <i>nm</i>	62
5.22. Gráfica de un empalme mecánico.	63
5.23. Placa	63
5.24. Colocación de placas y etiquetado del cierre.	63
5.25. Acomodo de gazas en pozos ubicados en zona urbana y zona rural. . . .	64
5.26. Protocolo	65

Índice de tablas

2.1. Diferencias entre el led y laser, tomada de (4) y (5).	10
2.2. Tipos de cables que se utilizan en la construcción de enlaces de fibra óptica, tomada de (12), editada.	12
3.2. Clasificación de cables por cantidad de pares.	20
3.3. Alturas de instalación de cables, tomada de (12).	21
3.4. Profundidad a la que deben ir instalados los postes.	21
3.5. Profundidad mínima de ductos o bancos de ductos (20).	22
3.6. Canalizaciones encofradas, tomada de (20).	24
3.7. Significado de franjas en los postes, se tomó de (12).	26
3.8. Tipo de pozos, con número de tapas y sus dimensiones interiores (20).	30
5.1. Costo de equipo.	47
5.2. Costos de servicios.	48
5.3. Costos de recursos humanos, al mes.	49
5.4. Costo total del enlace.	50
5.5. Proceso de empalme de fibra óptica.	58
5.6. Valores a considerar para el cálculo del presupuesto de pérdida.	59

INTRODUCCIÓN

El primer sistema de comunicaciones ópticas que se puede considerar se sitúa en Francia en el año 1792, cuando Claude Chappe propone su telégrafo o semáforo óptico. En 1880 Alexander Graham Bell ayudado por Charles Summer Tainter, proponen la idea del fonógrafo como comunicaciones. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas de comunicaciones ópticas tal como se conocen hoy, se tuvo que esperar hasta la segunda mitad del siglo *XX* principalmente por dos factores, el primero era la necesidad de disponer de fuentes de luz y de medios de transmisión adecuados y el segundo fue la necesidad de una mayor capacidad de red (1).

Los sistemas ópticos de comunicación han encontrado en los últimos años aceptación dentro de la industria, servicios públicos y comercio, debido principalmente a la versatilidad que tienen para el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades de transmisión (2).

Debido al crecimiento en la demanda de sistemas de comunicación ha surgido la necesidad de crear empresas dedicadas a este ramo. En México y específicamente en Puebla, en 2006 se inicia una asociación dedicada al ramo de las telecomunicaciones, llamada Transmisiones A Fondo S.A de C.V (TAF). Su misión es “ofrecer servicios de instalación y puesta en servicio de equipos de telecomunicación con tecnología de punta, para contribuir al desarrollo de la comunicación y mejorar el nivel competitivo del país”. Sus clientes principales son NEC de México (Telcel y Telmex) Región 7 (Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz) y Región 8 (Campeche, Tabasco, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán), Cisco, Huawei, Ceragon (Telcel y Telefónica), Tellabs (Telefónica), Iusacell y Procisa. Para realizar trabajos de instalación y puesta en servicio de enlaces han adquirido certificaciones en construcción y configuración con los siguientes clientes: microondas (NEC, IUSACELL, CERAGON), Carrier Ethernet a nivel óptico (CISCO), nivel SDH (NEC FOTS), Ethernet a nivel eléctrico (TELLABS) y enlaces de fibra óptica (PROCISA). Entre los trabajos que se realizan en TAF se encuentra la comunicación entre centrales . Uno de los trabajos realizados es el enlace con fibra óptica entre las centrales de transmisión ubicadas en Puebla y en Chalco, el cual es motivo de esta tesina.

Objetivo general

Descripción del proceso de diseño, construcción, puesta en operación y pruebas de aceptación de un enlace con fibra óptica entre las centrales de transmisión ubicadas en Puebla y en Chalco.

Objetivos particulares

1. Seleccionar la ruta que seguirá el enlace.
2. Realizar cálculos para el diseño de enlace.
3. Describir el proceso de inmersión de la fibra.
4. Describir las pruebas que se realizan para entrega del enlace al cliente.

Estructura de la tesina

Este documento se compone de 5 capítulos en donde se aborda el diseño de enlace de fibra óptica. El cual está organizado de la siguiente manera:

El **Capítulo 1** trata sobre los fenómenos físicos de la luz (reflexión, refracción y difracción), las propiedades de la fibra óptica y los componentes que conforman el enlace, como los emisores y detectores.

En el **Capítulo 2** se presenta la infraestructura necesaria para construir un enlace, iniciando con la simbología del plano de ruta, el cual indica las calles y carreteras que debe seguir la fibra. Este trabajo se enfoca a un enlace subterráneo por lo que se muestran las características de infraestructura para realizar dicha construcción.

En el **Capítulo 3** se expone el método de empalme para fibras ópticas, así como el código de colores de los cables. Las características de los componentes que sirven para proteger dichos empalmes; también sobre las gráficas que muestra el OTDR.

En el **Capítulo 4** se da a conocer el proceso de diseño del enlace por fibra óptica, el personal involucrado en cada etapa y los costos que implica el proceso.

Finalmente en el **Capítulo 5** se dan las conclusiones y se proponen trabajos futuros.

CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo se presenta una breve descripción del comportamiento de la luz, la estructura de la fibra óptica, así como los emisores y detectores.

2.1. LUZ

La luz se compone de ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío a una velocidad v del orden de 300000 Km/s . Estas ondas transportan energía y se caracterizan por sus frecuencias de oscilación f (de 10^4 Hz a 10^{20} Hz), o por su longitud de onda λ (de 10^{-15} m a 10^7 m), que se define como la relación entre su velocidad de propagación y su frecuencia.

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{2.1}$$

Las propiedades de la luz se estudian en la parte de la física llamada óptica, pero si sólo se tienen en cuenta las trayectorias seguidas por la luz (rayos), sin considerar la naturaleza física de las ondas electromagnéticas, entonces su estudio pertenece al campo de la óptica geométrica, como se presenta a continuación.

2.2. PRINCIPIOS DE PROPAGACIÓN DE LA LUZ

2.2.1. Refracción

Es el cambio de dirección que experimenta un haz al cambiar de un medio a otro, como se muestra en la Figura 2.1, donde se puede observar que en el plano se tiene un rayo incidente con ángulo θ_i ; un refractado con ángulo θ_t y n_1 y n_2 son los índices de refracción de ambos medios (4). El índice de refracción n de un medio es la razón entre la velocidad de la luz c en el vacío y la velocidad v en dicho medio, por lo que este índice varía con la longitud de onda de la luz.

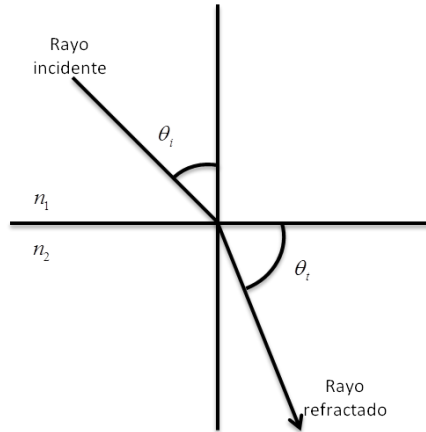


Figura 2.1: Refracción de la luz, tomada de (4), editada.

El rayo incidente y el refractado están en el mismo plano. El ángulo de incidencia θ_i , y el ángulo de refracción θ_t , están relacionados por la ley de Snell que establece:

$$n_1 \text{sen}(\theta_i) = n_2 \text{sen}(\theta_t) \quad (2.2)$$

2.2.2. Dispersión

La refracción sirve para dividir un haz luminoso en sus longitudes de onda constitutivas, como sucede en el arco iris o en un prisma de vidrio; a este efecto se le llama dispersión (6).

Cuando una onda de luz incide sobre un átomo aislado o una molécula pequeña, interacciona con una nube de electrones enlazados, comunicando energía al átomo. Esto hace que el nivel más bajo de energía del átomo se ponga en vibración, como se muestra en la Figura 2.2, a lo que se le llama dispersión de Rayleigh.

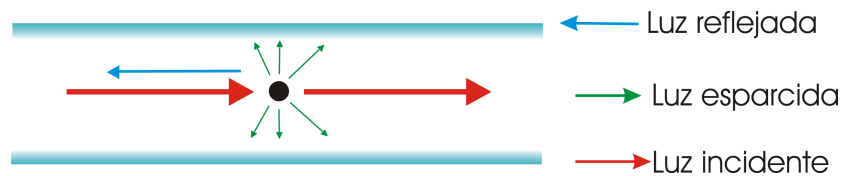


Figura 2.2: Dispersión, tomada de (9), editada.

2.2.3. Reflexión

Este fenómeno ocurre cuando un haz de luz cambia de trayectoria al incidir en una superficie reflectora, como se muestra en la Figura 2.3, donde se puede observar que en el plano se tiene un rayo incidente con ángulo θ_i ; un rayo reflejado con ángulo θ_r (4).

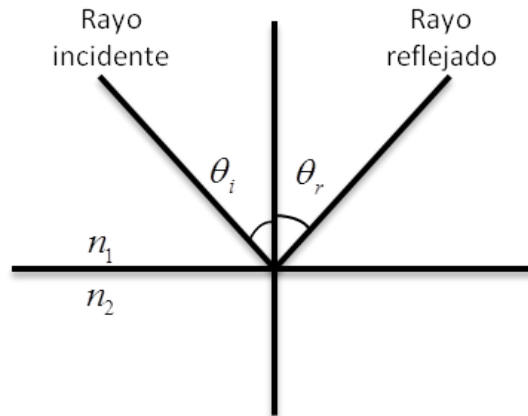


Figura 2.3: Reflexión, tomada de (4), editada.

El rayo incidente y el rayo reflejado, están en el mismo plano. El ángulo de incidencia θ_i , y el ángulo de reflexión θ_r , están relacionados por la ley de Snell.

El ángulo de incidencia, θ_i , es igual al ángulo de reflexión θ_r , debido a que n_1 es igual a n_2 .

2.2.4. Difracción

La difracción es un fenómeno característico del movimiento ondulatorio que se presenta cuando una onda es distorsionada por un obstáculo, como una pantalla con una pequeña abertura, una rendija o un objeto pequeño.

Difracción de Fresnel: Cada punto en el frente de onda primario se visualiza como emisor continuo de trenes de onda esféricos secundarios. Pero si cada onda se radiara uniformemente en todas las direcciones, además de generarse una onda que viaja hacia adelante, aparecería también una onda que viajaría hacia atrás hacia la fuente (8).

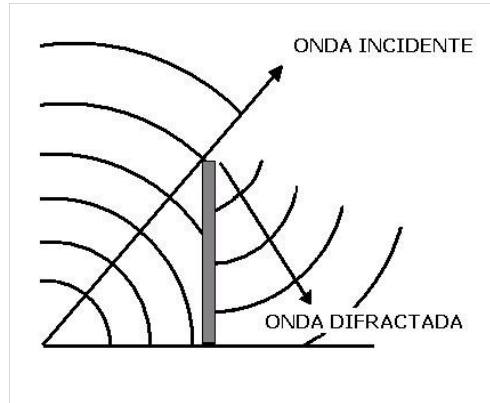


Figura 2.4: Difracción.

2.3. PROPIEDADES DE LA FIBRA ÓPTICA

Una fibra está constituida por un núcleo y revestimiento, los cuales tienen un índice de refracción diferente, como se muestra en la Figura 2.5, (12), el revestimiento tiene un índice de refracción n_2 y el núcleo n_1 . Al transmitir luz a través de la fibra óptica se presentan diversos fenómenos, lo que permite definir características importantes de la fibra, como los modos de propagación(3).

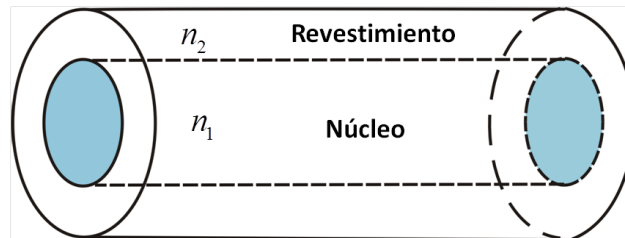


Figura 2.5: Partes de una fibra óptica, imagen tomada de (12), editada.

2.3.1. Modos de propagación

El modo de propagación se refiere en esencia a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra. Éste es determinado de acuerdo a la frecuencia, el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción (4).

Debido a la naturaleza ondulatoria de la luz existen interferencias entre diversas ondas en el interior de la fibra. Para que exista propagación de energía, estas interferencias deben ser constructivas, es decir, que no provoquen la anulación del campo eléctrico (o magnético) y por consecuencia de la energía, por lo que las variaciones en el tiempo en los campos debe estar en fase (3).

La forma en que se propaga la luz en la fibra es lo que define el nombre de ésta, si la luz viaja con una sola trayectoria se llama monomodo, y si viajan en varias trayectorias se llama multimodo (13).

En la Figura 2.6, se puede observar la forma en que se propaga la luz dependiendo del tipo de fibra.

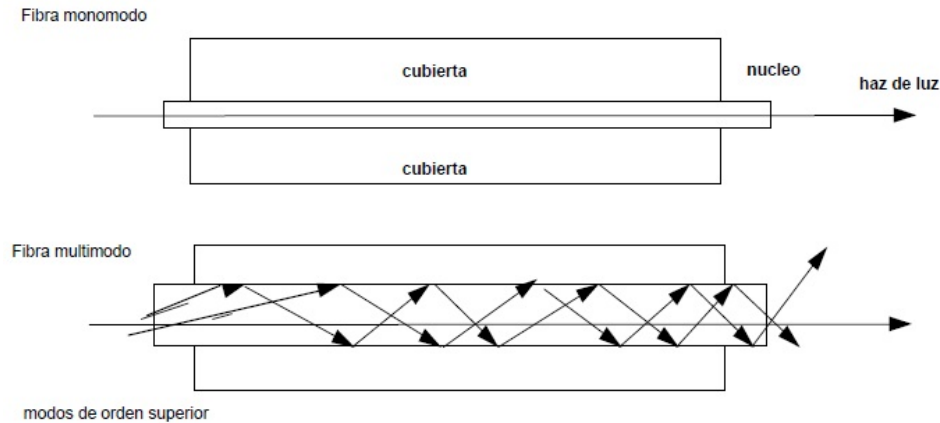


Figura 2.6: Modo de propagación de la luz en la fibra monomodo y multimodo, imagen tomada de (13), editada.

2.3.1.1. Frecuencia normalizada

Este parámetro ayuda a generalizar y comparar los fenómenos de propagación en las fibras que tienen radio de núcleo a diferentes, e índices de núcleo n_1 y de cubierta n_2 ; se define como sigue (3).

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Si $V < 2.405$, la fibra óptica es de tipo monomodo, de otra manera es multimodo y el número aproximado de modos de propagación se da como se muestra en la siguiente ecuación (11):

$$N = \frac{V^2}{2}$$

2.3.2. Apertura numérica

La apertura numérica es la propiedad de la fibra para recolectar la luz y propagarla (3). La luz será aceptada y propagada si entra al núcleo en un ángulo mayor al ángulo crítico (4).

Siempre que un rayo viaje de un medio con un índice de refracción mayor a uno con un índice de refracción menor, es importante que el rayo no entre al medio con un ángulo cercano a los 90° o a 0° , ya que este no se reflejará o no se refractará y por lo tanto se perderá en la superficie del material o se saldrá de este. Al ángulo límite de entrada del rayo, se le conoce como ángulo crítico de incidencia (12). Como se muestra en la Figura 2.7 el rayo incidente no se refleja o se refracta por lo que se sale del medio.

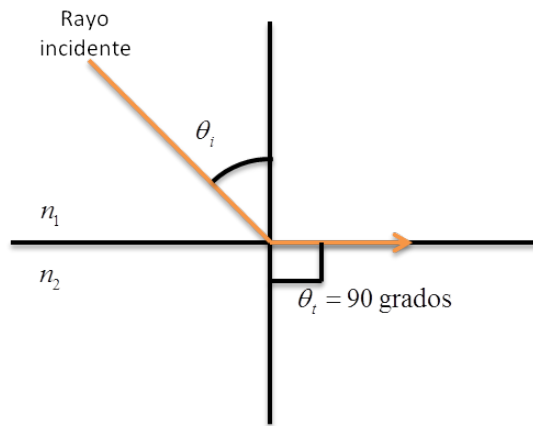


Figura 2.7: Ángulo crítico, tomada de (4), editada.

Al fenómeno en el cual la luz incide en la superficie de separación entre dos medios (n_1, n_2) y no da lugar a la refracción, se le denomina reflexión total interna (7) y (3).

$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Cuanto mayor sea la diferencia entre el índice del núcleo y el de la cubierta, mayor será la apertura numérica por lo que aumentará el número de ángulos de entrada que permiten la propagación de la luz.

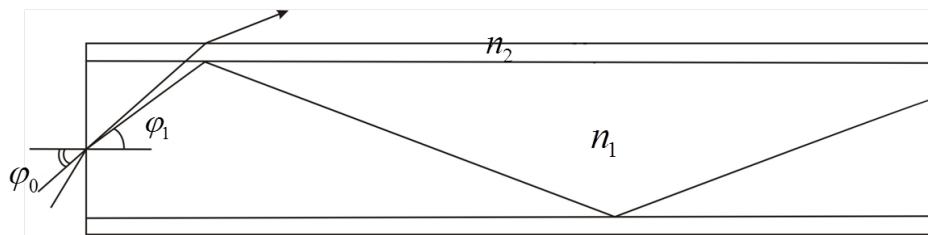


Figura 2.8: Apertura numérica

La apertura numérica (NA), mostrada en la Figura 2.8, se obtiene de la siguiente manera:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} = \sin\varphi_0 = n_1 \sin\varphi_1 \quad (2.3)$$

Donde:

NA = apertura numérica

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del recubrimiento

$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$ = diferencia relativa del índice de refracción

φ_0 = tamaño del ángulo de incidencia en la interface aire-fibra, para el modo de propagación de la fibra.

φ_1 = tamaño del ángulo entre el rayo de propagación y el eje central de la fibra.

2.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA

2.4.1. Fuentes ópticas

Existen dos tipos de dispositivos usados para transmitir la luz por una fibra óptica, los LED's y los Láseres.

- El LED emite luz incoherente (en todas direcciones), y tiene un espectro en forma de campana.
- El laser emite luz coherente ; transmite mucha más energía que los LED's y tienen un espectro estrecho en forma de peine (18).

Ambos espectros se muestran en la Figura 2.9.

Una comparación entre las características de estos componentes se muestran en la Tabla 2.1.

2.4.2. Fibra óptica

La UIT-T especifica que la fibra multimodo es utilizada en longitudes de onda de 850 nm a 1300 nm; mientras que la fibra monomodo es utilizada en el rango de 1300 nm a 1500 nm.

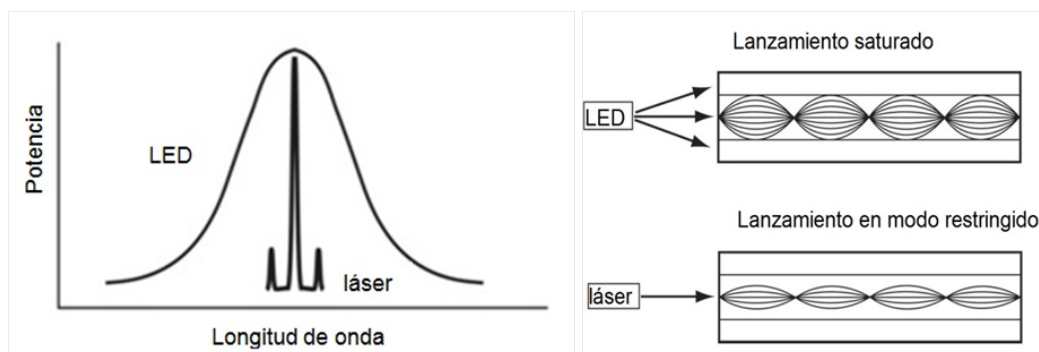


Figura 2.9: Emisión del laser y del led.

LASER	LED
Emisión coherente de luz	Emisión incoherente de luz
Actúa como fuentes adecuadas en sistemas de telecomunicaciones	Se acopla a fibras ópticas en distancias cortas de transmisión
Modulación hasta 100 Ghz	Modulación hasta 200 Mhz
Potencia de salida, 1 mW a 10 mW	Potencia de salida, 1 mW a 100 mW
Potencia de entrada de la fibra 0.0005 a 0.5 mW	Potencia de entrada de la fibra 0.5 a 5 mW
Frecuencia de respuesta a -3 db, menor a 500 Mhz	Frecuencia de respuesta a -3 db, mayor a 500 Mhz

Tabla 2.1: Diferencias entre el led y laser, tomada de (4) y (5).

Las fibras multimodo pueden ser de índice gradiente (o graduado) o escalonado, como se muestra en la Figura 2.10, la cual se ha dividido en las secciones a, b, c, d y e. En la sección **a** se muestran los diámetros del recubrimiento y del núcleo de la fibra óptica, en donde se puede observar que el recubrimiento de la fibra graduada tiene el mismo diámetro que una fibra monomodo, también se puede observar que el diámetro del núcleo de la fibra graduada es la mitad del diámetro que tiene el núcleo de una fibra escalonada.

En la sección **b** se muestra el índice de refracción que tiene el recubrimiento y el núcleo de la fibra óptica, en donde se puede observar que la fibra escalonada tiene un índice de refracción en el recubrimiento menor que el índice de refracción que el núcleo, mientras que en la fibra de índice graduada el índice de refracción en el núcleo cambia a lo largo

de la fibra; en la fibra monomodo ocurre lo mismo que en la fibra de índice escalonado solo que el núcleo es de menor diámetro.

En la sección **c** se muestra el impulso de entrada que se inyecta a la fibra óptica; en la sección **d** la forma en que se propaga el impulso a través de la fibra, esto dependiendo del índice de refracción y en la sección **e** se muestra la forma del pulso cuando sale de la fibra óptica. En la fibra de índice escalonado se puede observar que el pulso se deformó, en la fibra de índice graduado el impulso se ensanchó y se atenuó, mientras que en la fibra monomodo el impulso sale sin cambios.

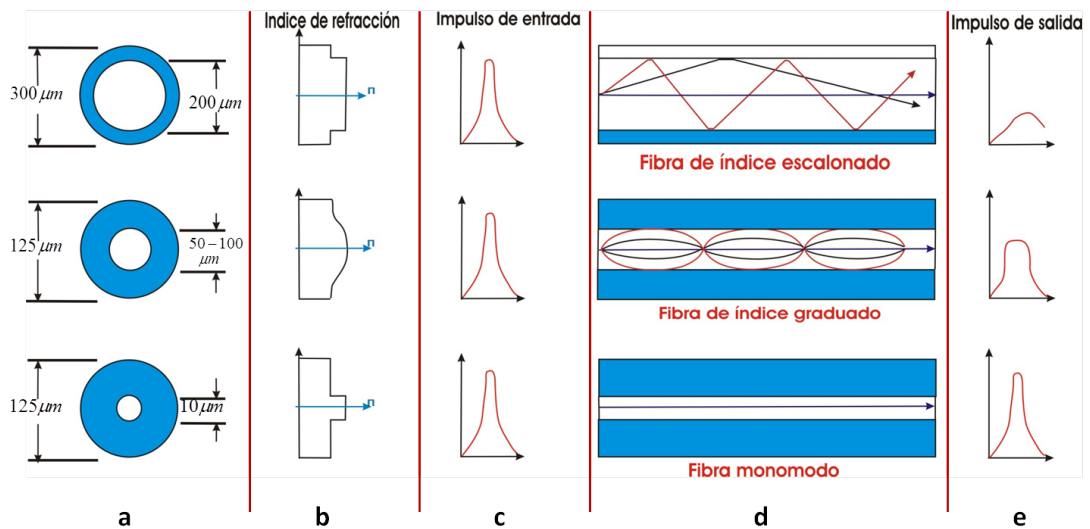


Figura 2.10: Modo de transmisión de la fibra tomada de (9), editada.

Las fibras también se clasifican por su estructura y lugar de instalación. En la Figura 2.11 se muestra la estructura de cables aéreos y subterráneos, donde se puede observar que el cable aéreo cuenta con cable de acero galvanizado (mensajero) el cual ayuda a instalarlo evitando daños en las fibras, este cable tiene menos recubrimientos que el cable subterráneo; el cable subterráneo cuenta con más recubrimientos ya que debe ser protegido del tráfico, de roedores e inundaciones.

En la tabla 2.2 se muestran los tipos de cables que se utilizan en la instalación aérea y en instalación subterránea, así como el número de fibras que pueden contener y el metraje del carrete.

2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA

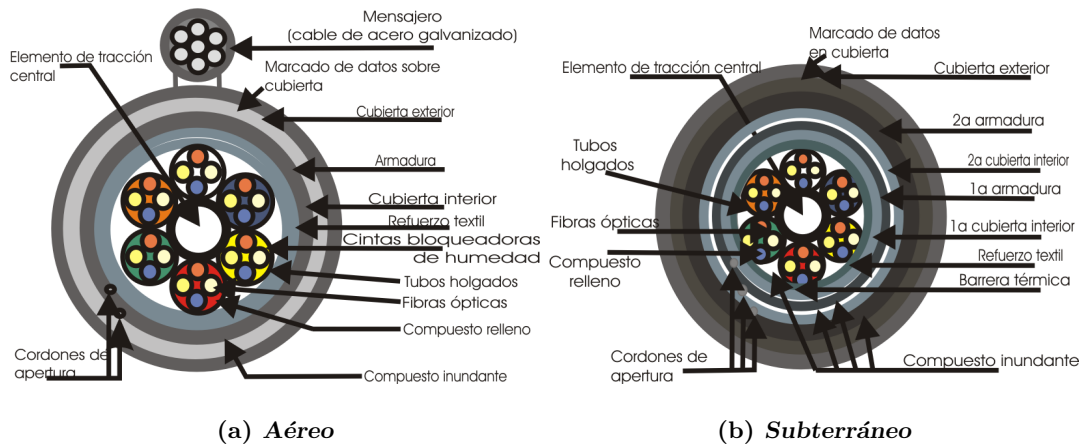


Figura 2.11: Estructura de cables de fibras aéreas y subterráneas, tomada de (12), editada.

Tipo	No de fibras	Uso	Long. carrete (m)
$TM - 1$	06, 12, 24, 36, 48, 72	Subterránea	$1950 \pm 5 \%$
$TM - 5$	12, 24	Aéreo	$1950 \pm 5 \%$
$TM - 6$	06, 12, 24	Aéreo	$1950 \pm 5 \%$
$TM - 7$	06, 12, 18, 24, 36	Subterránea	$4600 - 0 + 5 \%$
$TM - 11$	12, 18, 24, 36, 48	Subterránea	$4600 - 0 + 5 \%$
$TM - 13$	12, 18, 24, 36, 48, 72	Subterránea	$4600 - 0 + 5 \%$
$TM - 15$	12, 24	Aéreo	$1950 \pm 5 \%$

Tabla 2.2: Tipos de cables que se utilizan en la construcción de enlaces de fibra óptica, tomada de (12), editada.

2.4.3. Detectores

El detector es un dispositivo que convierte fotones en electrones (fotodetector), el cual es un componente del cualquier sistema de comunicaciones por fibra óptica.

En las comunicaciones ópticas se utilizan como fotodetectores los fotodiodos, los que se clasifican en función de su construcción en: Fotodiodos PN, PIN, Schottky y de Avalancha. Como la mayor parte de sistemas de fibra óptica instalados usan fotodiodos PIN y los fotodiodos de avalancha (APD), éstos se describen a continuación.

- Fotodiodo PIN. Es el detector más utilizado en los sistemas de comunicaciones ópticas, se compone básicamente de una zonas p y n altamente conductoras junto

con una zona intrínseca poco conductiva. Se trata de una unión $p-n$, entre la zona p (huecos) y n (electrones) se intercala una zona intrínseca, el cual tiene como material absorbente de luz un compuesto de InGaAs, en la Figura 2.12 se muestra la estructura de un diodo PIN.

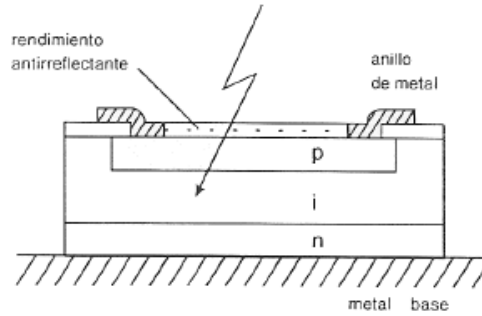


Figura 2.12: Estructura de un diodo PIN de silicio.

- Fotodiodo de Avalancha. El efecto de avalancha en los fotodiodos puede entenderse como una amplificación de la corriente generada por los fotones que inciden en el dispositivo. Pero tiene que ser polarizados a un alto voltaje ($150 - 300 V$) para conseguir éste efecto. El efecto de avalancha se alcanza cuando el campo eléctrico creado por la elevada tensión acelera fuertemente los portadores, presentes en la zona intrínseca, de manera que colisionan con átomos que componen la estructura cristalina del semiconductor (18). En la Figura 2.13 se presenta la estructura de un fotodiodo de avalancha.

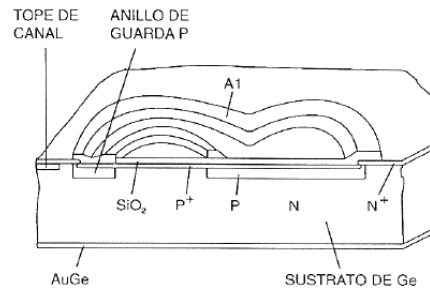


Figura 2.13: Estructura de un fotodetector de avalancha.




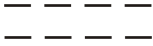
INFRAESTRUCTURA PARA INSTALAR UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICA

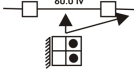








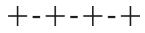
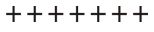
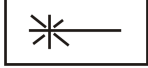
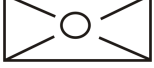







En este capítulo se presenta la simbología que se puede encontrar en los planos para construcción (obra civil) y trabajos con fibra óptica; también se describen las partes que conforman el plano y la información que se puede encontrar. Con respecto a la obra civil, se consideran los tipos de canalización y pozos que se pueden encontrar en la ruta.


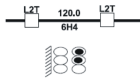


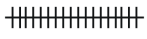
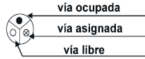


3.1. PLANO

3.1.1. Simbología

Para iniciar con la construcción del enlace es necesario contar con el plano de ruta, en el que se indica la información de la obra civil y el trabajo a realizar con la fibra óptica, en donde se indican los lugares por donde se debe sumergir la fibra y también los pozos en donde se necesita el empalme. A continuación se presenta la simbología que se encuentra en un plano de ruta (12):

	Aeropuerto		Árboles
	Calle o carretera		Camino o Sendero

	Canalización en ductos de concreto, distancia entre pozos y vías ocupadas.		Canalización proyectada
	Canal		Conexión a tierra
	Central		Cerca
	Cerro		Depresiones
	Gaza, G= Longitud de la gaza		Línea divisora entre estados
	Línea divisora con otro país		Iglesia
	Jardín público		Cable excedente (Loop) m= metros.
	Panteón		Paso a desnivel en carretera
	Poste existente		Poste proyectado
	Pozo prefabricado		Representación de boquilla y plantilla de pozo con canalización de PVC.

 <p>Río o Arroyo</p>	 <p>Sección de canalización en PVC (Si el primer caracter es un dígito es aligerada si es letra es encofrada).</p>
 <p>Tierra física</p>	 <p>Tope</p>
 <p>Vía de ferrocarril</p>	 <p>Tubos de canalización detalle de sub-división de vías.</p>
 <p>Vía ocupada</p>	 <p>Vía indicada para la inmersión de cable</p>

3.1.2. Interpretación

La figura 3.1 muestra un plano de ruta, en éste se indica el lugar en donde se debe instalar la fibra óptica, ya sea de forma aérea o subterránea. Así, también muestra en que tramo es necesario derramar árboles, destapar o desaguar pozos, instalar postes o colocar protección al cable de la fibra. Para familiarizarse con el plano, se dividió en secciones que lo conforman y se explicará cada una de ellas.

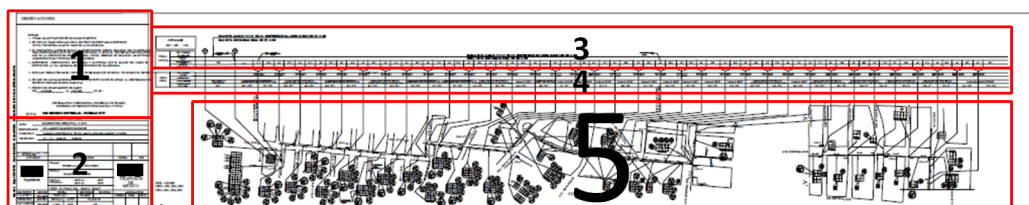


Figura 3.1: Secciones que incluye el plano de ruta.

- **Notas de proyectistas.** Esta sección en el plano se indica con el número 1 y en la Figura 3.2 se hace una ampliación. Aquí se encuentran observaciones del

trabajo a realizar, la fecha de elaboración, el nombre de la ruta y el nombre del tramo.

OBSERVACIONES:
<p>NOTAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. TODAS LAS ACOTACIONES ESTÁN DADAS EN METROS. 2. EN TODO EL TRAMO SEÑALADO EN EL PROYECTO SE EFECTUARÁ SUBDIVISIÓN DE VÍA Y SE DEBERÁ JALAR EL CABLE EN LA VÍA INDICADA. 3. EL CONTRATISTA ANTES DE INICIAR LA CONSTRUCCIÓN DEBERÁ REALIZAR UNA PLANIFICACIÓN PARA VERIFICAR EN EL SITIO DE LA OBRA, CHECANDO A DETALLE LOS OBSTÁCULOS QUE INTERFERIRAN EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO, PARA LO CUAL DEBERÁ DE REALIZAR LAS ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS Y TÉCNICAS QUE SE REQUIERAN. 4. SUPERVISIÓN CONSTRUCCIÓN RECTIFICARÁ O RATIFICARÁ QUE EL JALADO DEL CABLE SE EFECTUE POR LA VÍA ASIGNADA, EN LA SUBDIVISIÓN DE VÍA ASIGNADA. 5. INSTALAR TIERRAS FÍSICAS EN LOS POZOS DE EMPALME QUE SE INDICA COOLOCANDO EL DISPOSITIVO 6. EN CASO DE ALGUNA MODIFICACIÓN A ESTE PROYECTO FAVOR DE AVISAR AL RESPONSABLE DEL PROYECTO INDICADO EN ESTA CARÁTULA. 7. PERIODO DE LEVANTAMIENTO EN CAMPO. DEL _____ AL _____ DE _____ <p>RUTA: _____ TRAMO: _____</p>

Figura 3.2: Observaciones que se indican en el plano de ruta.

- **Responsables del proyecto.** Esta sección se muestra con el número 2 y se amplía en la Figura 3.3. Aquí se encontrará el nombre del responsable del proyecto, el área al que pertenece, dirección, teléfono para contactar, mismos datos para la persona que autorizó el proyecto y en caso de existir alguna modificación del proyecto se debe colocar nombre de quien hizo la modificación y fecha de esta. También se coloca el nombre del tramo que se muestra en el plano, título del plano, PEP del proyecto (es el número de proyecto que identifica este trabajo); nombre del proyectista, del supervisor, nombre de la empresa que revisó y aprobó el proyecto. Además se muestra la fecha de elaboración, escala, acotaciones, edición, número de plano y logos de las empresas tanto del cliente como de la empresa proyectista.
- **Características de instalación.** En la sección 3 y 4 se muestra el trabajo que se va a realizar en fibra óptica y en la obra civil, en la Figura 3.4 se muestra una ampliación de estas, en donde se ha agregado flechas y a continuación se describe cada una de ellas.
 - El número uno muestra los datos del trabajo con fibra óptica: tipo y número de empalme, longitud total de fibra óptica, longitud parcial y raqueo (inmersión de rafia en el ducto), así como poste de señalamiento, en este caso

ÁREA: _____											
RESPONSABLE: _____											
DOMICILIO: _____											
TELEFONO: _____											
AUTORIZÓ			MODIFICACIÓN				FECHA		POR		
Logo de empresa proyectista			TRAMO:				Logo del cliente				
			TITULO:								
			KM F.O. =		MTS AL					MTS	
			KM REAL =		MTS AL					MTS	
PEP:											
PROYECTO		REVISÓ	FECHA		REVISIÓN	EDICIÓN		APROBACIÓN			
SUPERVISÓ		APROBO	ESCALA	ACOT.	PLANO N°		NOMBRE	FIRMA	FECHA		

Figura 3.3: Sección dos del plano de ruta.

se hizo la obra de forma subterránea por lo que no se muestra número de postes.

- El número dos se indica el trabajo de obra civil: tipo y número de pozo, profundidad, tipo de terreno y longitud real de la obra.
 - El número tres indica la realización de un empalme recto dentro de la central (CTL), esto significa que las fibras a empalmar se van a unir color con color, de esto se hablará en las sección 4.1.
 - El número cuatro se indica que en el pozo de visita, el cual se encuentra fuera de la central, se debe realizar el segundo empalme recto y se debe dejar 7 m. de gaza, entre el número tres y cuatro existen 83.0 m. de distancia y se indica que hay escalerilla en el que se montará el cable fibra óptica.
 - El número cinco muestra el primer pozo que se encuentra en la calle y nos indica que no hay empalme pero se debe dejar 7 m. de gaza, también nos dice que es un pozo P16-existente y que ya se tiene canalización existente con subdivisión de vías, de estos términos se hablará en la sección 3.2.2.1.
 - El número seis muestra el pozo número dos tipo G1 existente, no se deja gaza y tampoco se realiza empalme.
 - El número siete indica que se instalará dentro de la central el cable de 72 fibras ópticas del tipo TM – 14 con empalme recto y la distancia entre empalmes será de 83.0 m.
- **Ruta del enlace.** En la sección 5 del plano se indican las calles en donde es necesario instalar fibra óptica, los tipos de pozo que se pueden encontrar, los tipos de canalización, la vía por donde se tiene que sumergir la fibra y la distancia que existe entre los pozos.

Una parte de la sección 5 se amplía en la Figura 3.5, en donde se muestran las vías que tiene el pozo, los círculos indican los tubos que hay en cada hueco dentro del pozo y los puntos dentro de los círculos indica que esa vía ya está ocupada.

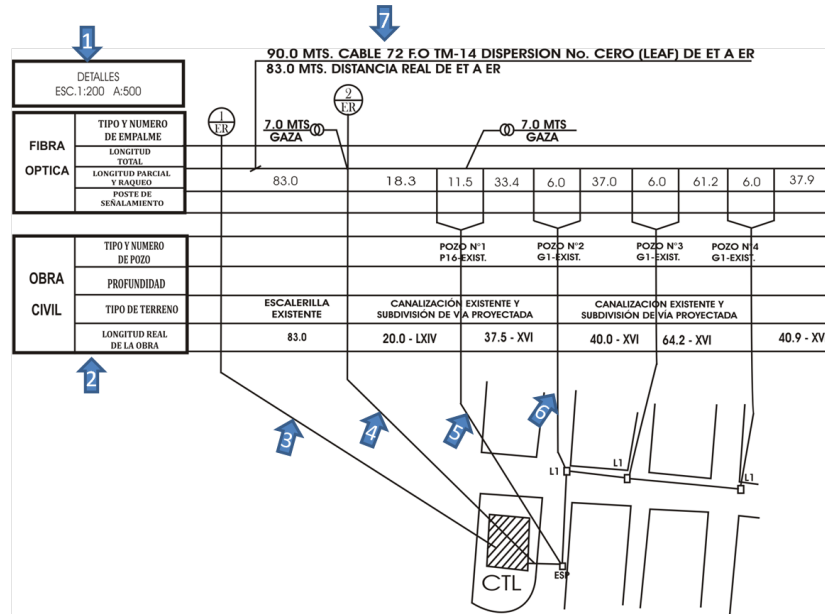


Figura 3.4: Sección 3 trabajos a realizar con fibra óptica y sección 4 trabajos de obra civil.

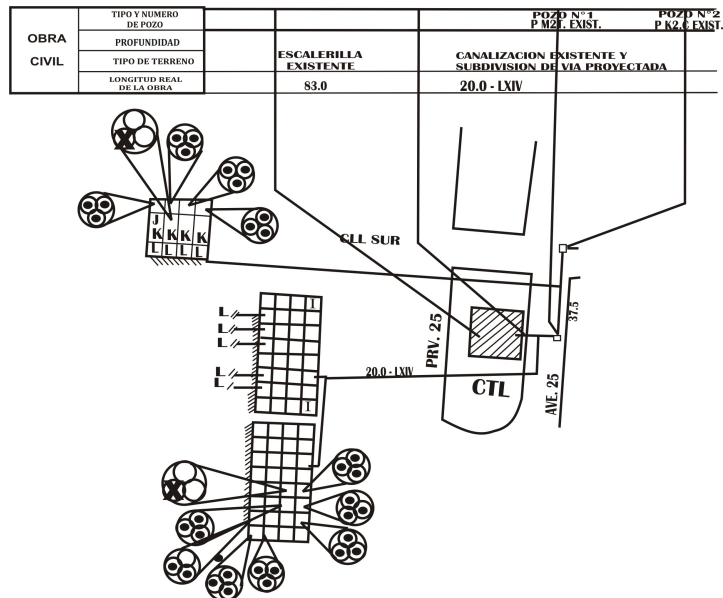


Figura 3.5: Obra civil

Las letras, hacen referencia a los tipos de cables de cobre que se sumergen en esas vías, en la Tabla 3.2 se muestran los pares que tiene cada cable respecto a la letra, por ejemplo K significa que tiene capacidad de 900 pares.

Tipo	Capacidad	Tipo	Capacidad
A	10 pares	K	900 pares
B	20 pares	L	1200 pares
C	30 pares	M	1800 pares
D	50 pares	N	2400 pares
E	70 pares	T	Troncal
F	100 pares	Z	Fibra óptica
G	150 pares	X	Cable coaxial
H	200 pares	V	Video
I	300 pares	R	Cable para tierra física
J	600 pares	S	Tubo poliflo
		W	CFE

Tabla 3.2: Clasificación de cables por cantidad de pares.

3.2. INSTALACIÓN DE LA FIBRA

La fibra se puede instalar de manera aérea o subterránea, por lo que a continuación se presentan los trabajos que se deben realizar dependiendo del lugar de instalación. Como este trabajo consistió en sumergir fibra, se abordará de una manera más amplia la instalación subterránea.

3.2.1. Instalación aérea

Las alturas mínimas de los cables aéreos están establecidas por la Norma Oficial Mexicana (NOM 001SEDE-1999, Instalaciones eléctricas) y en esta se dan a conocer las alturas mínimas a las que debe ir instalada la fibra, dependiendo de la ubicación, en la Tabla 3.3, se muestran estas medidas (12), donde se puede observar por ejemplo que para espacios no transitados por vehículos, se debe tener una altura mínima de 2.9 m.

Superficie	Altura (m)
Vías ferreas	7.2
Cruces de carreteras, calles, callejones y caminos	4.7
Cruces de entradas a cocheras o estacionamientos	4.5
A lo largo de carreteras, calles, callejones y caminos vecinales	4.1
Espacios no transitados por vehículos	2.9

Tabla 3.3: Alturas de instalación de cables, tomada de (12).

Con respecto a los postes existen diferentes medidas y su instalación varía de acuerdo a las condiciones del terreno donde se vayan a colocar, a la tensión y peso de los cables a soportar. La tabla 3.4 muestra la longitud de los postes y la profundidad de empotramiento (14):

Longitud de poste (m)	Profundidad de empotramiento	
	Terreno blando (m)	Terreno duro (m)
6.70	1.10	0.90 o 1.00
7.60	1.20	1.10
9.20	1.30	1.20
10.70	1.40	1.30
12.20	1.50	1.40
13.70	1.60	1.50

Tabla 3.4: Profundidad a la que deben ir instalados los postes.

3.2.2. Instalación subterránea

Para poder instalar la fibra de manera subterránea es necesario hacer la canalización correspondiente en la ruta, a continuación se describe la canalización y los tipos que existen.

3.2.2.1. Canalización

La canalización está diseñada para alojar cables (15) cuya finalidad es permitir ampliar la red telefónica por etapas; permitir instalaciones ocultas para evitar daños al tener los cables expuestos; facilitar el acceso a los cables y empalmes para mantenimiento o ampliación de la planta externa así como prever y plantear a largo plazo (15 años) con base a la demanda de servicio, la necesidad de nuevas excavaciones, reduciendo el costo, la inversión, tiempo de construcción y molestia al público (20).

Antes de iniciar la inmersión del flexoducto se realiza un trabajo de sondeo por excavación (calas) en el eje predeterminado donde se va a instalar el ducto, esto permite conocer las características físicas del subsuelo tales como el tipo y dureza del terreno. El número total de calas se determina considerando cinco calas por cada kilómetro, siempre y cuando las condiciones del terreno lo permitan (19).

3.2.3. Tipos de canalización

Se tienen canalizaciones aligeradas y encofradas.

- **Canalizaciones aligeradas.** Están constituidas por un conjunto de tubos de PVC semi-rigidos colocados en una cepa, con un recubrimiento normalizado de arena (20). La norma oficial Mexicana *NOM – 001 – SEMP – 1994*, relativa a las instalaciones destinadas al suministro de la energía eléctrica, establece los requerimientos técnicos mínimos para las instalaciones subterráneas, las cuales se indican en la Tabla 3.5, donde se puede observar por ejemplo que para el caso de lugares no transitados por vehículos, la norma establece que la profundidad debe ser de 0.5 m.

Localización	Profundidad mínima (m)
En lugares no transitados por vehículos	0.3
En lugares transitados por vehículos	0.5
Bajo carreteras	1.0
Bajo vías de ferrocarril en calles pavimentadas	0.9
Bajo vías de ferrocarril en caminos no pavimentados	1.27

Tabla 3.5: Profundidad mínima de ductos o bancos de ductos (20).

Estas canalizaciones se subdividen en: Vertical y Horizontal. Dependiendo si los demás servicios lo permiten, es decir si en la ruta no se encuentran ductos de drenaje, agua potable, luz, gas. Por lo general se proyectan canalizaciones verticales en las zonas rurales o semi-urbanas (20).

En la Figura 3.6 se muestran los dos tipos de canalizaciones, en A se puede observar la canalización 5V4 que significa que cuenta con 5 tubos con diámetro de 45 mm acomodados en forma vertical; en B la canalización 5H4 que es de tipo horizontal, con 5 tubos y diámetro de 45 mm.

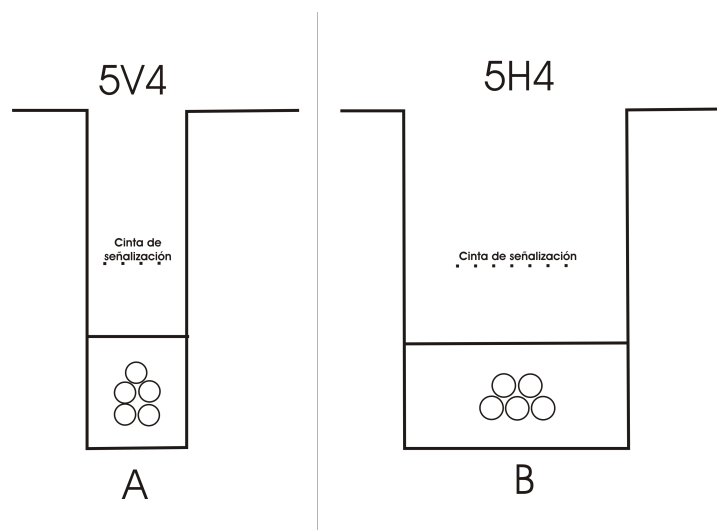


Figura 3.6: Canalizaciones aligeradas de 5 tubos con diámetro de 45 mm, tomada de (20).

- **Canalizaciones Encofradas.** Están constituidas por un conjunto de tubos de PVC semi-rígidos, colocados en una cepa, con un recubrimiento normalizado de concreto, las hay tipo A o tipo C. En la Tabla 3.6 se muestran los tipos de canalización encofradas que podemos encontrar, estos dependiendo si existe separación entre los tubos de PVC o no la hay (20), donde se puede observar por ejemplo que el tipo de canalización A06 significa que se colocarán 6 tubos con diámetro interior de 75 mm y exterior de 80 mm en camas horizontales sin separación.

Acomodo en cepa	Canalización tipo	Cantidad de tubos ϕ interior X ϕ exterior (mm)
Camas horizontales sin separación	A06	6/75x80
	A09	9/75x80
	A12	12/75x80
	A16	16/75x80
Camas horizontales con separación	C06	6/75X80
	C09	9/75X80
	C12	12/75X80
	C16	16/75X80

Tabla 3.6: Canalizaciones encofradas, tomada de (20).

En la Figura 3.7, se muestran las canalizaciones encofradas en 3.7 A se muestra canalización de 6 tubos con 80 mm de diámetro (A06) y en la 3.7 B se muestra una canalización de 6 tubos con 80 mm de diámetro (C06).

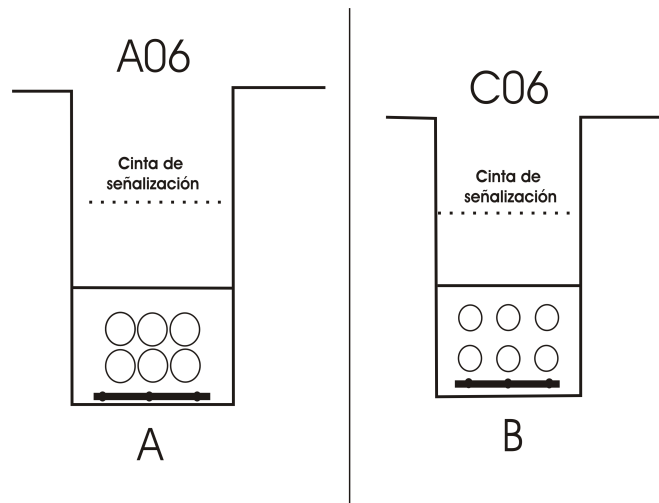


Figura 3.7: Canalizaciones encofradas tipo A y tipo C, tomada de (20).

3.2.3.1. Construcción de la canalización

Para la construcción de la canalización se utiliza flexoducto, polietileno de alta densidad o tubos de PVC, los que se muestran en la Figura 3.8.

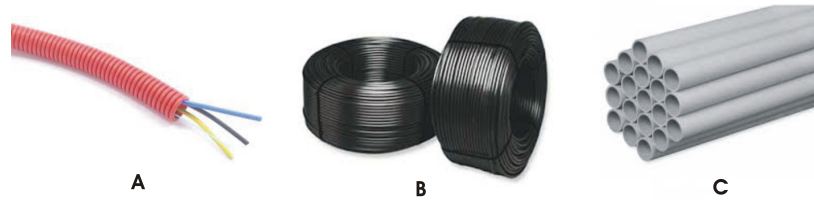


Figura 3.8: A. Flexoducto, B, Polietileno de alta densidad y C Tubos de PVC.

Para poder realizar el sembrado del flexoducto, se deben considerar los puntos enlistados abajo (15).

1. Se necesitan los planos de ruta.
2. Se debe realizar una planificación del enlace con las empresas involucradas.
3. Verificar que se cuente con los permisos federales, estatales o municipales de la SCT, F.F.C.C., PEMEX, CFE, AGUA Y DRENAJE, esto para evitar la suspensión de trabajos y retraso de entrega de la obra. Por ejemplo, los permisos para la SCT consisten en entregar una solicitud con nombre o razón social del interesado, nombre de la calle, tramo y kilómetro en donde se llevará a cabo la obra o instalación, indicar si la solicitud es urbana, suburbana o rústica así como describir la obra o instalación que se pretende realizar, también se debe entregar el croquis de localización de la obra (10).
4. Contar con el programa de obra para la supervisión.
5. El contratista debe contar con los dispositivos de protección y señalización ya que durante la ejecución de la obra, el personal está obligado a utilizar su equipo de seguridad así como indicar al tránsito vial y peatonal la ruta que deben seguir para evitar accidentes.
6. Se debe marcar con estacas cada 100 m. la ruta que seguirá la maquinaria para el enterrado del ducto, esto con el fin de respetar las normas de la SCT.
7. Una vez sembrado el flexoducto se procede a instalar los pozos.
8. Se sumerge el cable.
9. Se señala la ruta con postes. En la Figura 3.9 se muestra el poste de plástico, instalado en la construcción de rutas, enlaces de larga distancia y zonas de trabajo.

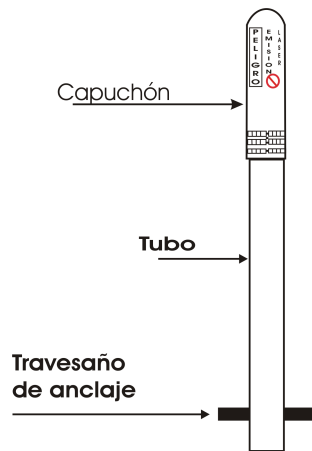


Figura 3.9: Poste que indica la ruta de construcción del enlace, tomada de (12), editada.

La instalación de estos postes debe ser dentro de los 50 *cm* aledaños al cable y no deben de colocarse sobre la trayectoria. En el caso que las condiciones del terreno no permita la instalación dentro de este límite, se deben situar en el lugar más cercano (12).

El poste contiene una cuadrícula, en donde se debe colocar el nombre de la ruta, nombre del tramo, kilometraje topográfico y número de poste, esto con etiquetas adheribles que son resistentes al medio ambiente en condiciones extremas de frío, calor, humedad, salinidad (12).

En la Tabla 3.7, se muestra el significado de las franjas en los postes, donde por ejemplo se pueden observar que una franja significa cambio de trayectoria.

No de franjas en poste	Indica
Sin franjas	Trayectoria sin cambios
Una	Cambio de trayectoria
Dos	Ubicación de pozo de empalme
Tres	Derivación de cables

Tabla 3.7: Significado de franjas en los postes, se tomó de (12).

3.2.4. Normatividad

La SCT en su norma 3.01.02.044 – *F* – 02 establece que:

1. La inmersión del ducto de polietileno de alta densidad dentro de los límites del derecho de vía (D.D.V), en donde no existan obstáculos, deberá realizarse a una

distancia máxima de 2.5 m. En la Figura 3.10, se muestra la imagen de una carretera, en donde nos indica la distancia en la que se puede instalar el ducto de ambos lados de la carretera.

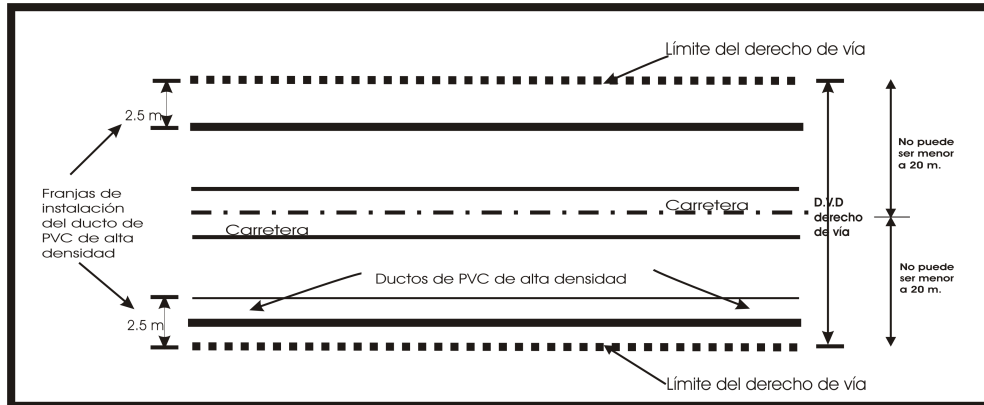


Figura 3.10: Instalación del ducto de polietileno dentro del límite del D.D.V. de las carreteras, tomada de (15), editada.

- Si existe algún obstáculo cerca del derecho de vía, se podrá permitir la inmersión del ducto de polietileno de alta densidad a una distancia no menor a 1 m, del pie del talud de los terraplenes, de esta manera se evitan deslaves al terraplén. Las Figuras 3.11 y 3.12, muestran la posición en donde se debe instalar el flexoducto en caso de existir obstáculos, como árboles y postes telefónicos dentro del derecho de vía.

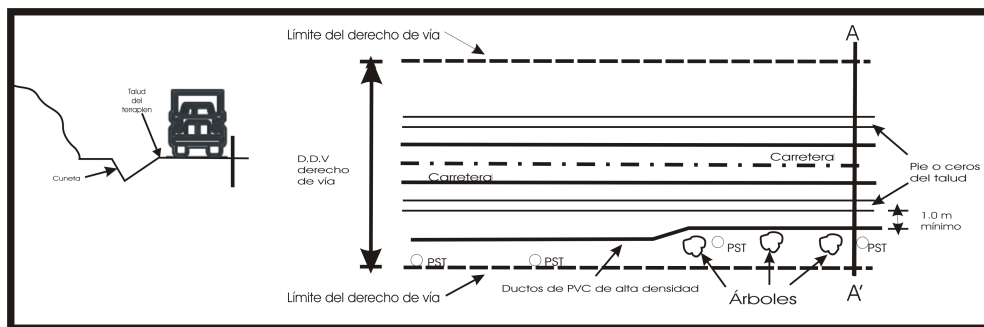


Figura 3.11: Instalación del ducto de polietileno de alta densidad cuando existen árboles dentro del límite del D.D.V. de las carreteras, tomada de (15), editada.

- Si existen obstáculos superiores a 3 m de altura se permitirá el tendido de cable de fibra óptica en la cuneta, como se muestra en la Figura 3.13, teniendo especial cuidado en la excavación, de que si existe material de filtro graduado al hacer el relleno, debe de reponerse en la misma forma. La longitud de cuneta en que sea

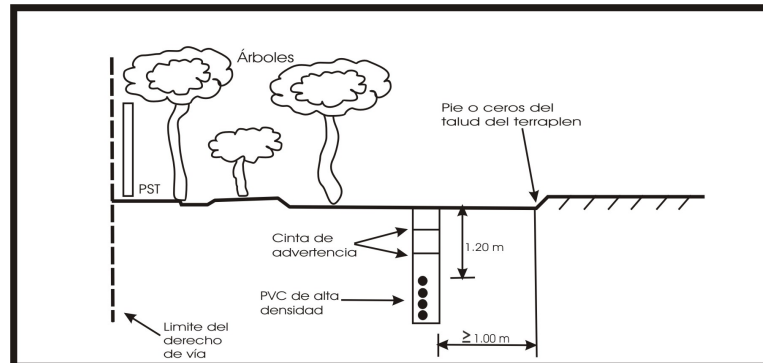


Figura 3.12: Instalación del ducto de polietileno de alta densidad cuando existen postes telefónicos, postes de alumbrado o torres de alta tensión dentro del límite del D.D.V. de las carreteras, tomada de (15), editada.

tendido el cable de fibra óptica deberá ser zampeada por el contratista, aunque esta originalmente no haya estado zampeada.

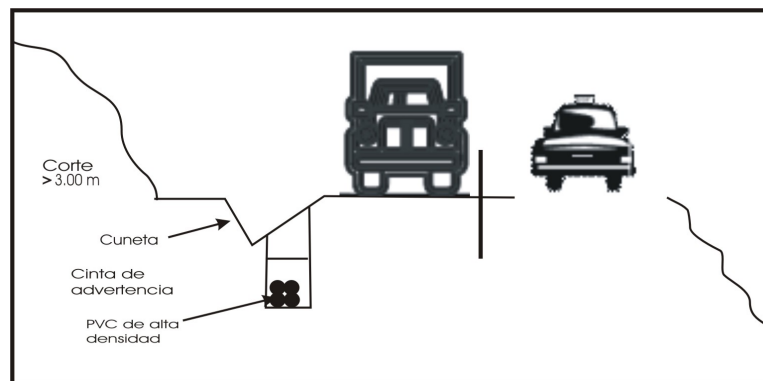


Figura 3.13: Instalación del ducto de polietileno de alta densidad en la cuneta de las carreteras, tomada de (15), editada.

4. En los cortes en balcón y/o cajón, inferiores o iguales a los 3 m el tendido del ducto de polietileno de alta densidad deberá hacerse dentro de los límites del derecho de vía en la franja de 2.50 m y en la parte exterior de la contracuneta. La Figura 3.14, muestra en donde se debe instalar el flexoducto en caso de tener en el terreno cortes en balcón.
5. Por ningún motivo se permitirá el tendido del ducto de polietileno de alta densidad en los acotamientos de la carretera, debajo de la carpeta de esta, ni en el talud de la carretera.

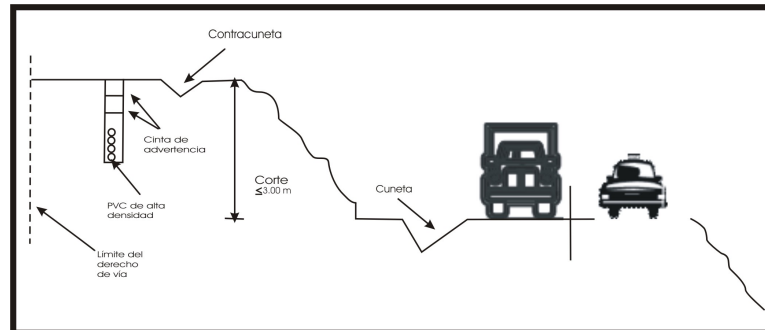


Figura 3.14: Instalación del ducto de polietileno de alta densidad dentro del límite del D:D:V de las carreteras cuando los cortes en balcón y/o cajón son \leq a 3.0 m, tomada de (15), editada.

3.2.5. Tipos de pozos

Los pozos son obras subterráneas que sirven en la instalación de cables, para distribuir la red telefónica y proteger los cierres para empalmes. En 3.15 se muestran los distintos tipos de pozos como son los de tapas removibles, semitechados, etc., los cuales se pueden encontrar en banquetas o en la calle.

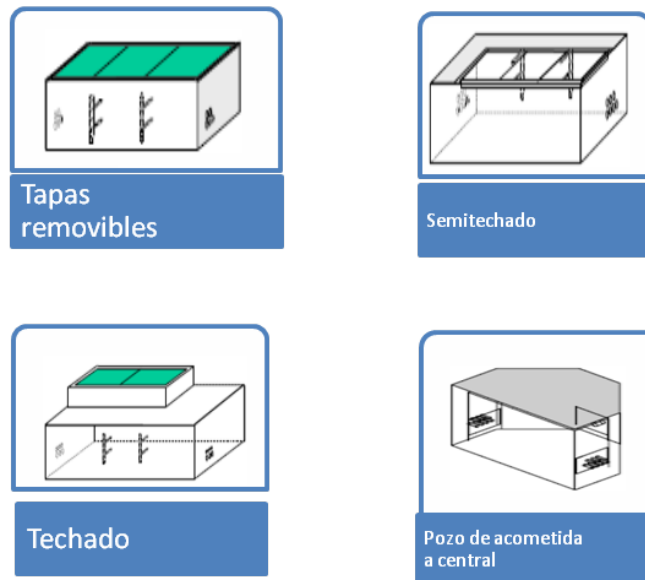


Figura 3.15: Tipos de pozos, tomada de (20), editada.

La Tabla 3.8 muestra los tipos de pozos clasificados según su ubicación, cantidad de tapas y dimensiones, donde por ejemplo se puede ver que el tipo de pozo *L1T* significa

que tiene acceso en banqueta con una tapa y dimensiones de 606 *cm* * 506 *cm*.

	Tipo de pozo	Número de tapas	Dimensiones interiores (cm)
Acceso en banquetas	<i>L1T</i>	1	606 * 506
	<i>L2T</i>	2	1207 * 506
	<i>L3T</i>	3	1508 * 606
	<i>L4T</i>	4	2009 * 606
	<i>L5T</i>	4	2009 * 986
	<i>L6T</i>	5	2510 * 986
	<i>M2T</i>	6	3011 * 986
	<i>P2T, C1T, C2T Y C3T</i>	3	1508 * 986
Acceso en la calle	<i>K2C, M1C, P1C, P2C, C1C, C2C Y C3C</i>	2	1500 * 852
	<i>K3CYM3C</i>	3	2250 * 850

Tabla 3.8: Tipo de pozos, con número de tapas y sus dimensiones interiores (20).

EMPALMES EN FIBRA ÓPTICA

En este capítulo se describen los pasos que se realizan para fusionar fibras ópticas, las pruebas con el OTDR y los tipos de cierres que se utilizan para resguardar los empalmes y protegerlos del medio ambiente. Para poder realizar empalmes, se debe de considerar el código de colores que tiene cada fibra óptica y cada tubo holgado, en la sección siguiente se mencionan dos códigos de colores.

4.1. Código de colores para empalmes

Como ya se mencionó los cables de fibra óptica, cuentan con tubos holgados y dentro de ellos fibras ópticas, ambos cuentan con colores para su identificación, en las Figuras 4.1 y 4.2 se muestra el código de colores internacional y un ejemplo que emplea una empresa en particular, tanto para cables con 6 fibras ópticas como para los que tienen 12 por cada tubo holgado.

Éstos códigos sirven para saber la numeración de las fibras, primero se debe identificar si los cables que se van a empalmar pertenecen al código internacional o al de la empresa. Por ejemplo si en el plano se indica realizar un empalme recto de la fibra 6 de un cable con 12 fibras ópticas a otro con 48 fibras se debe considerar:

1. Identificar si los cables son código internacional o de la empresa. En éste caso el de 12 fibras debe tener dos tubos holgados, si uno de ellos es azul y otro naranja entonces pertenece al código internacional, si son blanco y azul siguen el código de la empresa, como se observa en la Figura 4.1 columna tipo de cables sección 2X6; el de 48 fibras puede tener 8 tubos holgados o 4, dependiendo si cada tubo tiene 6 o 12 fibras. Si tiene 8 tubos entonces cada uno de ellos tiene 6 fibras y si tiene 4, cada uno de ellos tiene 12 fibras. Para este ejercicio vamos a suponer que se tienen 4 tubos, si se identifican los colores azul, naranja, verde y café entonces es de código internacional, si son blanco, azul, amarillo y rojo siguen el código de la empresa, como se observa en la Figura 4.2 columna tipo de cables sección 4THX12FO.

- Identificar en que tubo holgado está la fibra. Para este caso se considera un cable con dos tubos holgados con 6 fibras por cable y código internacional, por lo que la fibra 6 se encuentra en el tubo azul y es de color blanco como se puede observar en la Figura 4.1. Para el cable con 4 tubos holgados y 12 fibras por cada tubo código de la empresa la fibra 6 está en el tubo blanco y fibra naranja.

		Color de FO (Código internacional)						
		Azul	Naranja	Verde	Café	Gris	Blanco	
Tipos de cables	Tubo holgado	Código internacional	Código de FO para una empresa					
		Código para una empresa	Natural	Azul	Amarillo	Rojo	Verde	Naranja
	1x6	Azul	1	2	3	4	5	6
	2x6	Naranja	7	8	9	10	11	12
	4Tx6 FO	Verde	13	14	15	16	17	18
		Café	19	20	21	22	23	24
	6Tx6 FO	Gris	25	26	27	28	29	30
		Blanco	31	32	33	34	35	36
	8Tx6 FO	Rojo	37	38	39	40	41	42
		Negro	43	44	45	46	47	48

Figura 4.1: Código de colores para cables con 6 fibras ópticas.

Tipos de cables		Color de FO (Código internacional)															
Código internacional	Tubo holgado	Código FO para una empresa												Código FO para una empresa			
		Azul	Naranja	Verde	Café	Gris	Blanco	Rojo	Negro	Amarillo	Violeta	Rosa	Aqua				
8 TH X 12 FO 6 TH X 12 FO 4 TH X 12 FO	Código para una empresa	Natural	Azul	Amarillo	Rojo	Verde	Naranja	Violeta	Café	Gris	Blanco	Rojo	Negro	Amarillo	Violeta	Rosa	Aqua
	Azul	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	Naranja	Azul	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
	Verde	Amarillo	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
	Café	Rojo	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48			
	Gris	Verde	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60			
	Blanco	Naranja	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72			
	Rojo	Violeta	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84			
	Negro	Café	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96			

Figura 4.2: Código de colores para cables con 12 fibras ópticas.

4.2. Proceso de empalme

En los enlaces con cable de fibra óptica se realizan empalmes usando la máquina empalmadora de fusión, para unir los tramos de cable que conforman el enlace. Antes de colocar las fibras en la empalmadora se deben cortar las puntas, con una máquina cortadora. En la Figura 4.3 se muestra la cortadora a utilizar, ésta cuenta con un diamante el cual realiza un corte de 90° .

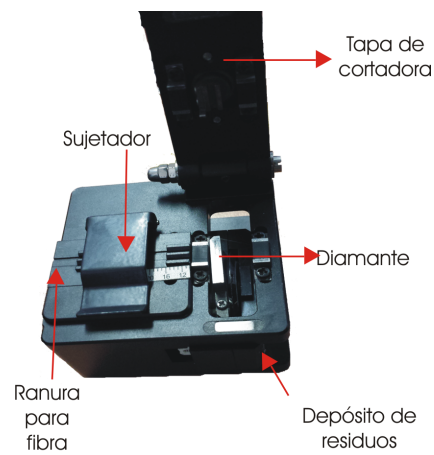


Figura 4.3: Partes de una cortadora de fibra óptica.

Las empalmadoras constan fundamentalmente de tres partes: horno para manga termocontráctil, fusionadora y pantalla que se usan en el procedimiento para empalmar, el cual consta de cuatro pasos: posicionamiento de las fibras en la máquina empalmadora, prefusión, fusión y protección del empalme (13). En la Figura 4.4 se muestran las partes que conforman esta máquina.



Figura 4.4: Partes que conforman una empalmadora.

- Alineamiento. Una vez pelada, cortada y limpiada la fibra, se monta en los sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, los cuales se mueven en tres direcciones, como se muestra en la Figura 4.5. Con este proceso se lleva a cabo el alineamiento el cual se logra cuando el núcleo de ambas puntas coincidan el uno con el otro (13).

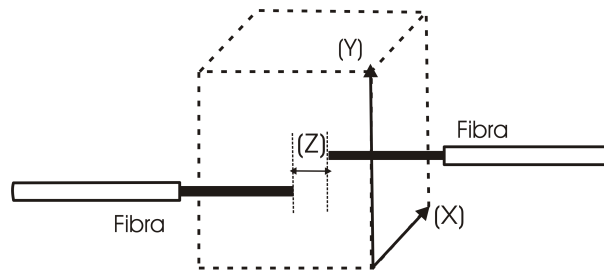


Figura 4.5: Alineación de la fibra óptica en la empalmadora, tomada de (13), editada.

- Monitoreo. Se utiliza para poder alinear las fibras, preparar la fusión y evaluar el empalme. Esto se logra a través de un juego de espejos y lentes cuya señal se amplifica por un microscopio, o se presenta en una pantalla (13).
- Prefusión. Sirve para eliminar las impurezas o burbujas de aire que deforman el núcleo durante la elaboración del empalme, este procedimiento consiste en aplicar calor a la fibra, con lo que se redondean los extremos suavizando la superficie (13), como se muestra en la Figura 4.6.



Figura 4.6: A fibra con impurezas, B fibra sin impurezas después de la prefusión, tomada de (13), editada.

- Fusión. Para realizarla, las empalmadoras utilizan fuentes de calor ya sea por arco eléctrico, por gas o por laser. El tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente (12).
- Protección del empalme. Ya realizado el empalme, éste se debe almacenar de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión y disminuir la resistencia mecánica del punto de unión de las fibras. La protección se hace con una cubierta (mangas termocontráctiles) que sustituya las cubiertas de la fibra.

4.3. TIPOS DE CIERRES

Una vez empalmadas las fibras se hace necesario protegerlos mecánicamente a través de cierres de empalme, los cuales facilitan su acomodo y resguardo, además de ser accesibles en el caso de que se necesite afectar alguna intervención debido a algún daño en la fibra (13). Existen diversos tipos de cierres y aquí presentamos los que aplican en larga distancia.

- Cierre FOSC 450 BS. La Figura 4.7 muestra este tipo de cierre, donde se puede observar que tiene una base y un domo. En su base contiene charolas en donde se colocarán los empalmes, gel y un tornillo compresor que sella y protege del medio ambiente a los puertos de entrada. Cada cierre puede alojar hasta 6 charolas, cada una con 24 empalmes, por lo tanto, la capacidad máxima del cierre es 144 (12). El domo es una cubierta que protege del medio ambiente.

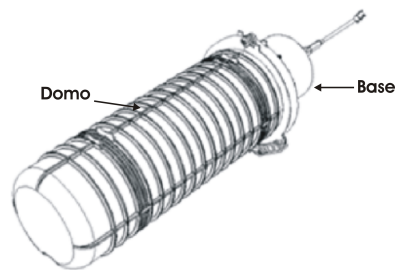


Figura 4.7: Cierre FOSC 450 BS, con sus componentes, tomada de (12), editada.

- Cierre FOSC 350C
- Al igual que el cierre FOSC 450 este tiene charolas en su interior en donde se colocaran los empalmes, en este caso puede alojar hasta 4 charolas, cada una con 24 empalmes; por lo que la capacidad máxima es de 96. La figura 4.8 muestra este tipo de cierre.

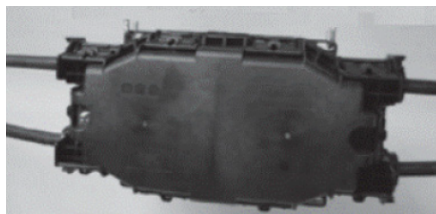


Figura 4.8: Cierre FOSC 350C.

4.4. Pruebas a la fibra con el OTDR

El OTDR (REFLECTOR ÓPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO) es un instrumento que envía un pulso de luz al dispositivo bajo prueba y mide en función del tiempo, la señal óptica retrodispersada. El funcionamiento del OTDR tiene dos láseres, uno de 1310 nm y otro de 1550 nm , con los que inyecta un pulso a una fibra, con una duración entre 5 ns y $10\text{ }\mu\text{s}$ (18).

Mientras la luz viaja dentro de la fibra sufre reflexiones de Fresnel y de Rayleigh, estas pueden indicar distintos eventos como son: cambios en el índice de refracción, empalmes, fisuras, cortes, dobleces, inicio o final de la fibra. En la Figura 4.9 se muestra el diagrama a bloques del OTDR donde se puede observar que al llegar el rayo de luz al final de la fibra o en donde se encuentre un corte, éste regresará (retrodispersión) incidiendo sobre el acoplador direccional, que lo encamina hacia el fotodetector (evitando interferencia con el emisor láser), en donde se convertirá en una señal eléctrica, para ser amplificada y procesada. Finalmente los eventos se muestran de manera gráfica en una pantalla (12).

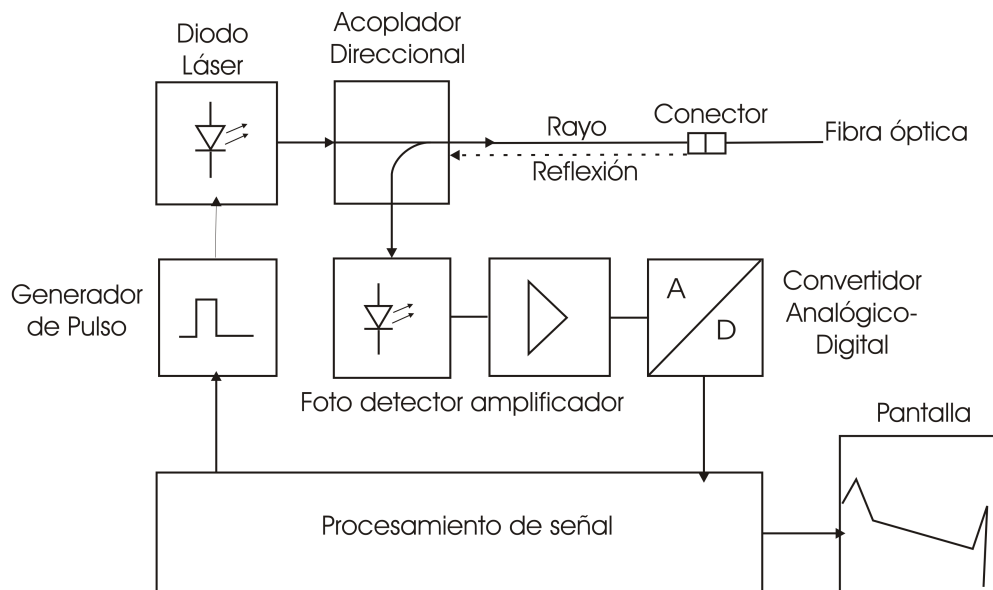
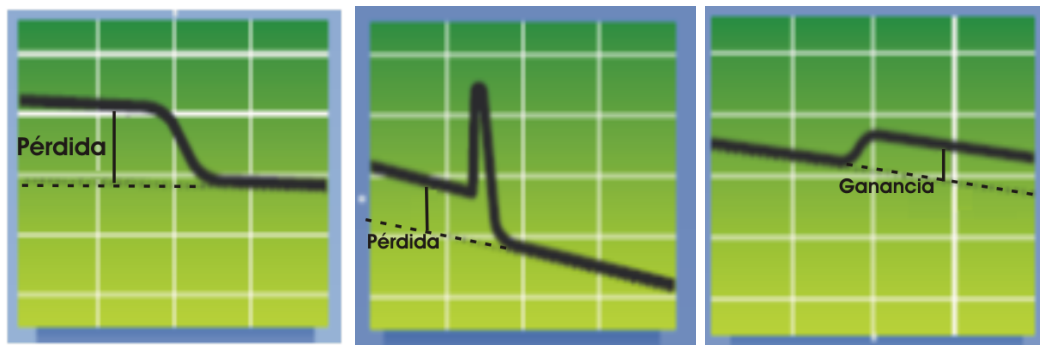
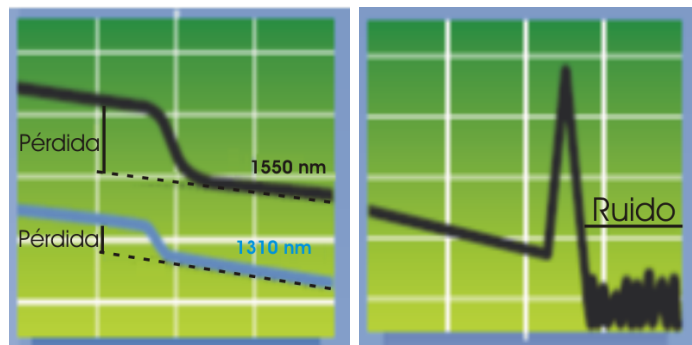


Figura 4.9: Diagrama a bloques de un OTDR, tomada de (21), editada.

En la Figura 4.10 se muestran los eventos que puede identificar el OTDR. En el inciso e) se puede observar la gráfica correspondiente para dos eventos, tanto para el corte de fibra como el fin de esta; se detecta con un gran pico y después de éste se muestra ruido.



(a) *Empalme de fusión* (b) *Conector o empalme mecánico* (c) *Ganancia*



(d) *Macrodoblez* (e) *Fin de fibra o corte*

Figura 4.10: Eventos que identifica el OTDR, tomada de (22), editada.

DISEÑO DE ENLACE

En este capítulo se describe el procedimiento para realizar un enlace con fibra óptica en planta externa, es decir el trabajo que se lleva a cabo fuera de la central de transmisión. Se inicia con un diagrama, en el que se pueden observar los pasos a seguir para obtener como resultado un enlace de fibra óptica así como los recursos humanos involucrados en este proceso. También se presentan los costos de equipo, personal y servicios, así como el procedimiento de inmersión de fibra óptica, de empalme, pruebas con el OTDR y reporte de entrega.

En este trabajo el cliente ya contaba con la canalización, por lo que no se aborda el trabajo realizado en dicho proceso.

5.1. DIAGRAMA A BLOQUES PARA REALIZAR UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA

En la Figura 5.1 y 5.2 se muestran las tareas a realizar para construir un enlace entre dos centrales, así como el personal que ejecuta cada tarea.

En las secciones siguientes se hablará de manera detallada de cada una de las etapas mencionadas.

5.2. RECURSOS HUMANOS

Para el enlace se necesitan los siguientes recursos humanos:

- **Proyectista.** Se encarga de establecer los requerimientos del enlace, hace el plano de ruta, realiza los cálculos de requerimientos, selecciona materiales y equipo, también realiza el cálculo de costos. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita tener el grado mínimo de licenciatura.

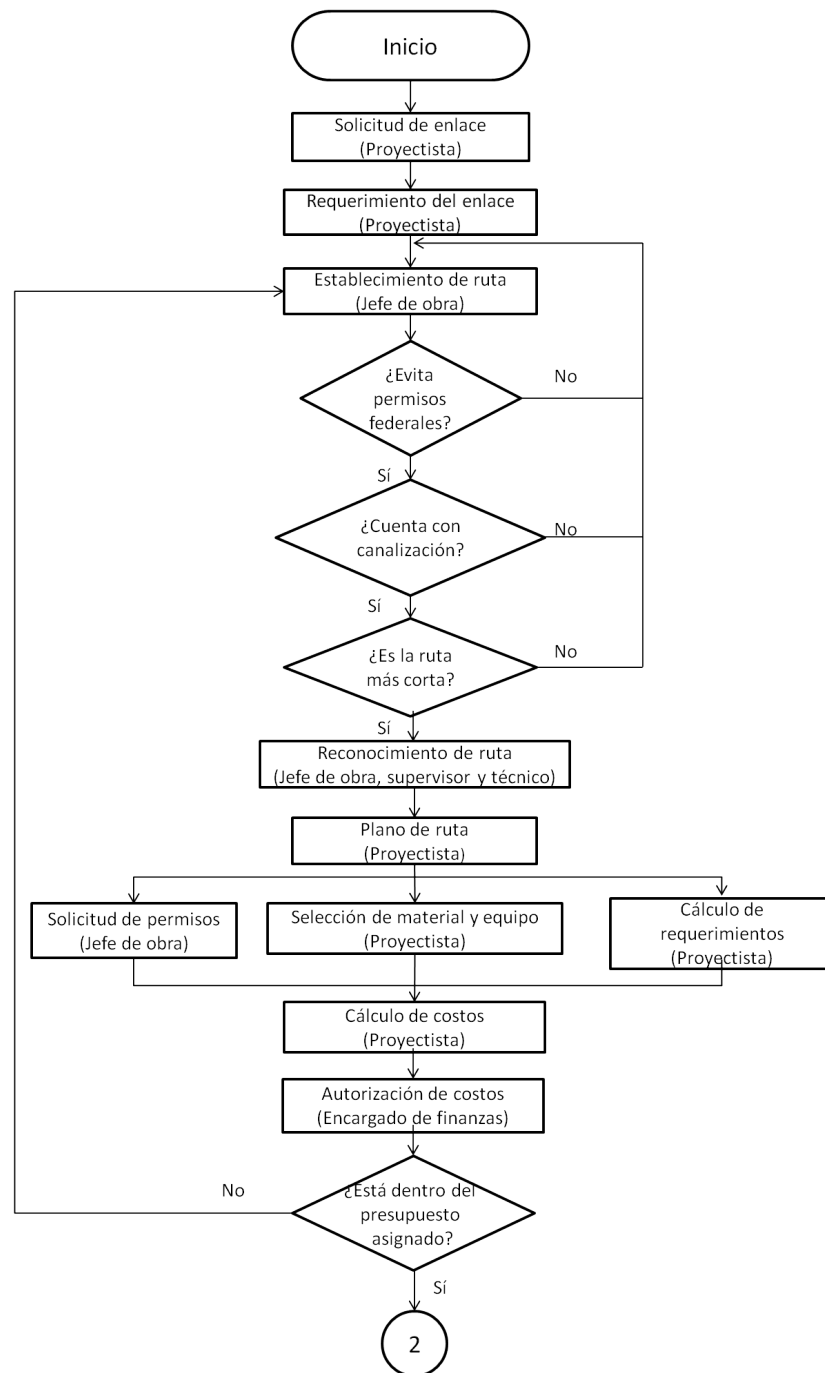


Figura 5.1: Diagrama de flujo del proceso para generar enlace de fibra óptica.

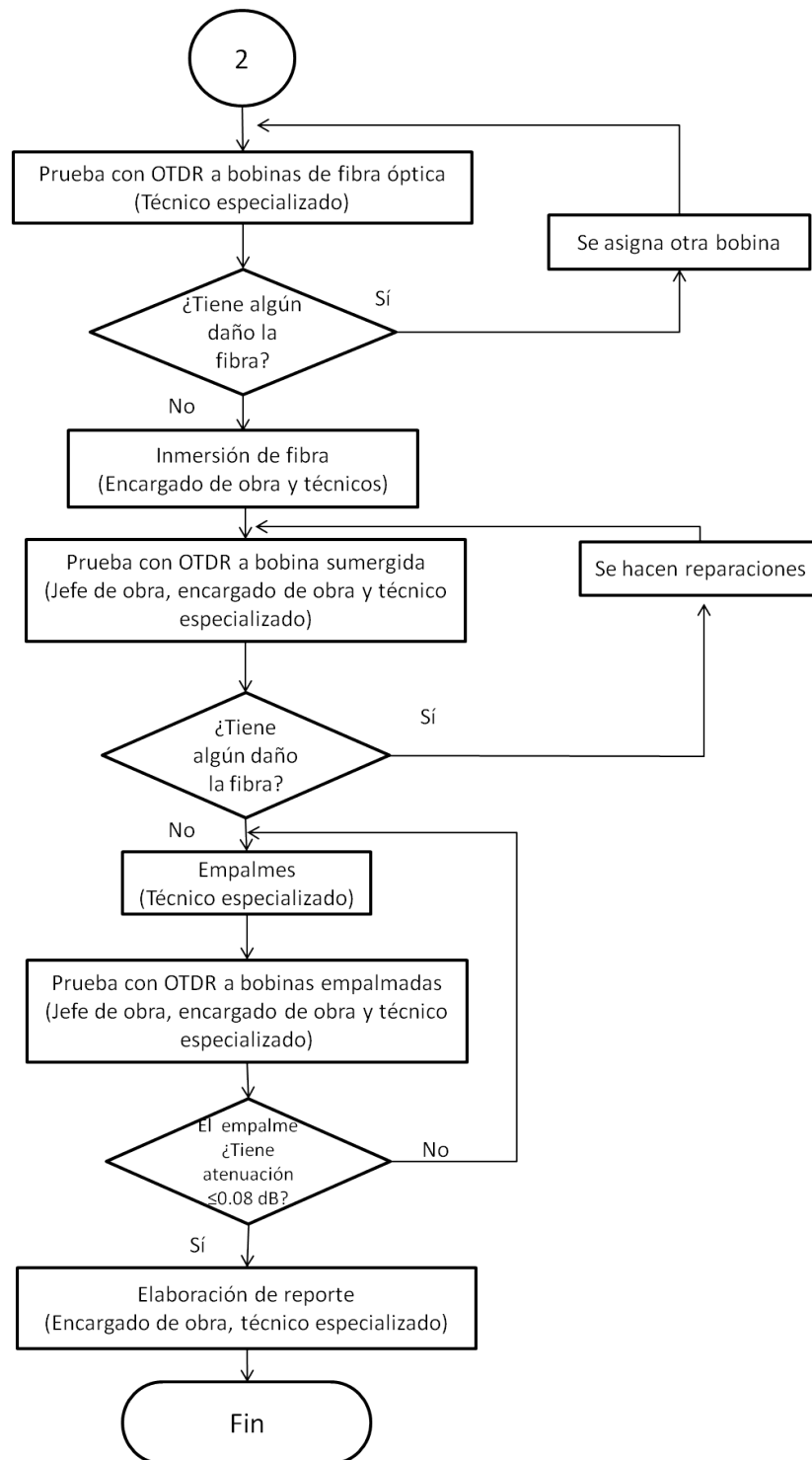


Figura 5.2: Continuación del diagrama de flujo del proceso para generar enlace de fibra óptica.

- Jefe de obra. Se encarga de establecer la ruta, solicita los permisos; está presente en las pruebas para validar el enlace y autoriza avances. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita tener el grado mínimo de licenciatura.
- Supervisor. Es responsable del reconocimiento de ruta, realiza el plano a mano alzada, autoriza trabajos no considerados en el plano y da el visto bueno a las pruebas del enlace. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita tener el grado mínimo de licenciatura o pasante de licenciatura.
- Encargado de obra. Coordina el proceso de inmersión de fibra, elaboración de empalmes, realización de pruebas al enlace, actualiza el plano, reporta avances e inconvenientes al supervisor y elabora el reporte. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita ser pasante o tener carrera trunca.
- Técnico especializado. Realiza empalmes, pruebas con el OTDR y participa en la elaboración del reporte. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita tener un título de técnico superior universitario o pasante de licenciatura.
- Técnico. Acompaña en el reconocimiento de la ruta, hace inmersión de la fibra, recupera vías dañadas y da mantenimiento a pozos. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita haber terminado mínimo la secundaria.
- Encargado de finanzas. Analiza y autoriza los recursos para los proyectos. A la persona que desempeña esta función normalmente se le solicita tener el grado mínimo de licenciatura.

5.3. REQUERIMIENTOS DE ENLACE

Para poder realizar un enlace se necesitan conocer los puntos origen y destino del mismo, los servicios que se van a ofrecer así como la velocidad de transmisión.

En este proyecto, el cliente solicitó un enlace de fibra óptica entre las centrales de transmisión ubicadas en Puebla y Chalco para transmitir voz, datos y video a una velocidad de 10 *Gbps*.

5.4. ESTABLECIMIENTO DE RUTA

Para elegir la ruta más viable se debe considerar el trámite de permisos, que sea una ruta corta y de preferencia que cuente con canalización. En este caso se cuenta con tres posibles rutas entre los puntos origen - destino que nos interesa comunicar, en la Figura 5.3 se muestra la ruta que tiene una distancia de 107 *Km* y pasa por la carretera internacional, en la Figura 5.4 se muestra la ruta que tiene una distancia de

104 Km la cual pasa por la carretera federal México - Cuautla y en la Figura 5.5 se tiene una distancia de 100 Km, va por autopista.

Para seleccionar la ruta, se considera que sea la más corta, en este caso es la ruta de la Figura 5.5 por autopista, sin embargo el inconveniente que se tiene es el trámite de permisos ya que se deben solicitar permisos federales, los cuales requieren tiempo y podría implicar retrasar el inicio de la obra por el tiempo de liberación de éstos. La ruta de la Figura 5.4 es la segunda más corta entre estos puntos, el inconveniente de ésta es que no cuenta con canalización hasta la central en Chalco. Por último la ruta de la Figura 5.3 es la ruta más larga de estas tres, los puntos a favor es que cuenta con canalización y el trámite de permisos para trabajar en esta ruta se liberan de manera más rápida que los permisos para trabajar en autopista.

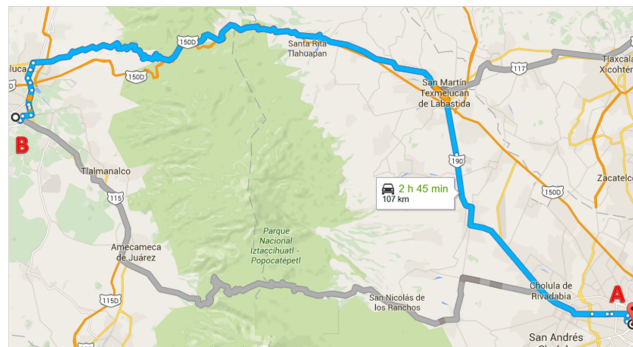


Figura 5.3: Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por carretera internacional.

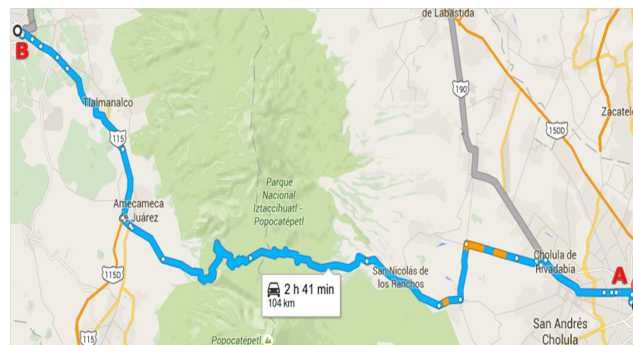


Figura 5.4: Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por carretera federal México - Cuautla.

5.5 RECONOCIMIENTO DE RUTA DEL ENLACE

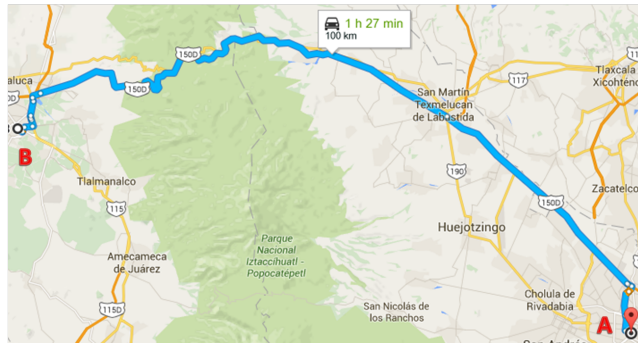


Figura 5.5: Rutas en googlemaps. A, muestra la ubicación de la central en Puebla; B, muestra la ubicación de la central en Chalco, por autopista.

5.5. RECONOCIMIENTO DE RUTA DEL ENLACE

Este recorrido lo realizan tres personas, el jefe de obra, el supervisor y el técnico, los cuales realizan el levantamiento en campo de la información necesaria para el plano como es la distancia, número, tipo y estado físico de los pozos. Como resultado de este recorrido el supervisor realiza el plano a mano alzada, el que servirá de base para elaborar el plano final. La Figura 5.6 muestra una porción del plano a mano alzada.

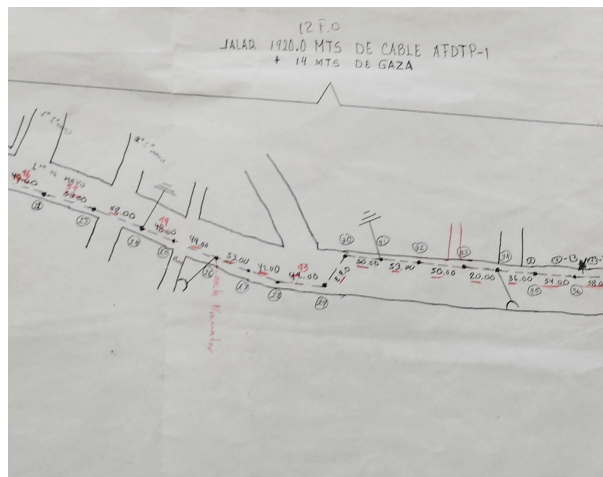


Figura 5.6: Plano a mano alzada.

5.5.1. Plano de ruta

Este es realizado por el proyectista, normalmente en el software AutoCAD, los elementos que los constituyen fueron descritos en la sección de infraestructura 3.1.2, del capítulo 3. La Figura 5.7, muestra el plano de un segmento del enlace.

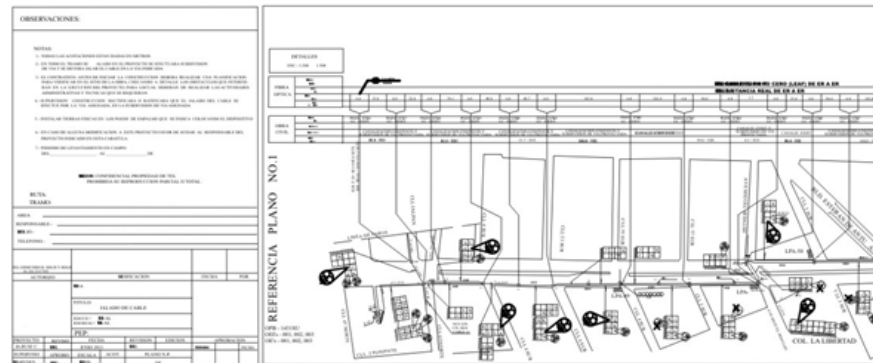


Figura 5.7: Plano en AutoCAD.

En el plano de este enlace se indicó que la distancia que hay entre las centrales a comunicar es de 107 Km ; que existen 528 pozos de los cuales la mayoría son tipo $L1T$, también hay del tipo $M3C$, $M2T$ y dos de tipo $C3C$ ubicados fuera de la central (pozo de visita). También se indica el tipo de canalización que se tiene a lo largo de la ruta, en su mayoría es de tipo $4H8$, aunque se tienen al menos una de cada tipo de canalización. Dentro de las representaciones de canalización se indican las vías que están ocupadas, el tipo de cable que tienen y la vía por la cual se tiene que sumergir el cable. También se indican en el plano, el pozo en donde se debe realizar empalmes y donde se deben dejar gazas, así como los metros de éstas.

5.6. CÁLCULO DE REQUERIMIENTO

En este enlace se utilizaron dos equipos uno de transmisión y otro de recepción, uno en cada central de transmisión, estos equipos deben alcanzar distancias mayores de 100 Km de ser posible sin usar repetidor.

Para enlaces de larga distancia, y trabajos de planta externa se utiliza la fibra $TM - 13$, la cual en la sección 2.4.2 se muestra que esta bobina es de 4.6 Km , y puede tener 12, 18, 24, 36, 48 y 72 fibras ópticas. Para cumplir con los requisitos que solicitó el cliente, en este caso se utilizó el cable con 72 fibras ópticas, 36 para transmisión y 36 para recepción.

Debido a que la ruta tiene una distancia de 107 Km , cuenta con 528 pozos y en 152 se dejarán gazas, se utilizaron 27 bobinas ya que cada una de ellas está constituida por 4.6 Km de cable. Éstas se tienen que empalmar por lo tanto se utilizarán 28 cierres para

proteger empalmes y 2016 mangas termocontráctiles para proteger cada empalme. También es necesario utilizar un lubricante para facilitar la inmersión en los tubos de la canalización. La cantidad de lubricante a utilizar en ductos de PVC es de 3 litros, mientras que para flexoducto se utilizan 2.5 litros por cada 100 *m* respectivamente (13). En esta ruta se tienen 12 *Km* de canalización por PVC y lo demás con flexoducto, por lo que se utilizaron 161 cubetas de 20 litros cada una.

Se deben identificar el cable inmersado con placas, en total se colocaron 556 que cubren los 528 pozos (una placa por pozo que no tiene empalme y dos en las que sí se tiene) y 473 postes que indicarán la ruta del enlace (uno cada 250 *m*), los cambios de trayectorias y los pozos de empalmes.

5.7. SELECCIÓN DE MATERIAL Y EQUIPO

- **Equipo de transmisión y recepción.** Existen en el mercado distintos tipos de equipos, para enlaces de larga distancia se utilizan los mostrados en la Figura 5.8, éstos alcanzan distancias entre 100 *Km* y 130 *Km* sin repetidor (23), por lo que cualquiera de ellos cubre nuestro enlace que es de 107 *Km*. Las principales características de los equipos se muestran en la Figura 5.8.

	ALCATEL-LUCENT	CIENA	HUAWEI		NEC
			OSN 1800	OSN 1600G	
MEDIDAS	8.9 cm	57.8 cm	22.1 cm	62.5 cm	13.3 cm
PUERTOS DE 1Gbps	12	--	--	--	20
PUERTOS DE 10Gbps	2	64	40	160	8
PUERTOS DE 100Gbps	--	--	40	--	--
CONFIGURACIÓN	Complicada	Complicada	Sencilla	Sencilla	Sencilla
TIEMPO DE ENTREGA	20 días	MES Y MEDIO	20 días	20 días	20 días

Figura 5.8: Características del equipo.

Por las características de los equipos y solicitudes del enlace se seleccionó el equipo Huawei OSN1800.

- **Tipo de fibra.** Se utilizó el cable *TM* – 13 con 72 fibras.
- **Cierres.** Para empalmes rectos se utiliza el cierre FOSC 350.

El código de colores para empalmes que se uso para este trabajo fue el código de la empresa.

5.8. COSTOS

Los costos se dividieron en tres rubros: insumos, servicios y personal, para finalmente tener un costo total. Cabe señalar que los costos que se presentan son aproximados en este año, no se presenta como una fuente de información.

En la Tabla 5.1 se muestran los costos del equipo e insumos a utilizar:

Insumos	Precio unitario (dólares americanos)	Cantidad	Precio total (dólares americanos)
Bobina (4.6Km)	33,120.00	27	894,240.00
Equipo de TX-RX	20,000.00	2	40,000.00
Fuente óptica/Detector	800.00	2	1,600.00
Manga termocontractil	1.05	1800	1,890.00
Cierre para empalme	90.00	28	2,520.00
Placas	1.05	1800	1,890.00
Total			942,140.00

Tabla 5.1: Costo de equipo.

En la tabla 5.2 se muestran los costos de servicios:

Servicios	Precio unitario (dólares americanos)	Cantidad	Precio total (dólares americanos)
Colocar placas	0.15	2125	318.75
Colocar cierres	9.91	25	247.75
Colocar soportes	1.13	100	113.00
Fusiones	0.23	1800	414.00
Desagüe de pozo	9.36	14	131.04
Desenzolve y limpieza de pozo tipo P,C,G	11.31	14	158.34
Desoldar tapas de pozo, soldadura continua	3.13	7	21.96
Reparación de una vía, canalización aligerada	14.41	2	28.82
Reparación de una vía, canalización encofrada	16.79	2	33.58
Total			1,467.24

Tabla 5.2: Costos de servicios.

En la tabla 5.3 se muestran los costos generados por salario de personal:

Recursos Humanos	Salario por mes (dólares americanos)	Cantidad	Costo total (dólares americanos)
Proyectista	1,708.42	1	1,708.42
Jefe de obra	431.03	1	431.03
Supervisor	431.03	2	862.06
Encargado de obra	341.68	1	341.68
Técnico especialista	341.68	1	341.68
Técnico	216.40	9	1,947.60
Encargado de finanzas	1,708.42	1	1,708.42
Total			7,340.89

Tabla 5.3: Costos de recursos humanos, al mes.

5.8.1. Tiempo de entrega

En el tiempo de entrega se deben considerar:

- Permisos. Los permisos varían en cuanto a la liberación, un tiempo estimado son 3 meses.
- Canalización. El tiempo estimado para este proceso es de 2 meses.
- Inmersión de hilo de encarrilamiento. Éste ayudará en la inmersión del cable de fibra óptica, en esta etapa se puede detectar si existen problemas en las vías, en caso de necesitar reparación de éstas se retrasa aproximadamente 3 o 4 días, el proceso de inmersión del hilo es rápido debido a que es delgado, en este caso la ruta tiene 107 *Km* por lo que se puede sumergir en un mes.
- Inmersión de fibra. En cuanto a la inmersión del cable de fibra óptica, ésta empresa sumerge 1 *Km* por día, considerando que son 107 *Km* de distancia, se tardarían tres meses y medio aproximadamente en terminar de instalar el cable en la ruta, este tiempo aplica siempre y cuando no se tenga problemas en las vías.
- Pruebas. Una vez sumergida la fibra se hacen pruebas con el OTDR para detectar si hubiera ocurrido algún daño en el cable durante la inmersión, se prueban 4 bobinas por día y en caso de detectar daños, se evalúa si es posible librar este daño jalando nuevamente la fibra para cortar el tramo dañado, aquí se compensa el kilometraje dañado con las gazas que se dejan en los pozos.

- Empalmes. También se debe considerar el tiempo para realizar los empalmes, los cuales se deben de realizar en un día o día y medio por cierre, esto depende del medio ambiente, ya que si se tiene lluvia o viento impide que se avance de forma constante.
- Pruebas finales. Otro tiempo que se debe considerar son las pruebas con el OTDR de origen - destino, plaqueo y acomodo de gazas, las cuales se realizan de forma paralela, las pruebas se realizan en dos días, un día desde la central en Puebla y al otro día desde la central de Chalco, en cuanto al plaqueo y acomodo de gazas se distribuyen personas a lo largo de la ruta y en este caso el tiempo que debe de quedar el enlace es de 1 semana.
- Reporte. Finalmente el reporte se debe entregar en los siguientes 5 días hábiles después de las pruebas origen - destino, en éste reporte se presentan fotografías del trabajo realizado y adjunto una tabla en donde se reporten las atenuaciones por fibra que se obtuvieron con el OTDR, esto de forma digital y física, para cobro se adjuntan 5 copias de los planos con la información rectificada o ratificada.

Sin considerar el trámite de permisos y la canalización, el total de la obra tardó aproximadamente 6 meses. Considerando este tiempo, el costo total de la obra se resume en la Tabla 5.4.

	Gasto por mes (dolares americanos)	Costo total (dolares americanos)
Insumos	-	942,140.00
Servicios	-	1467.24
Recursos Humanos	7,340.89	44045.34
Total		987,652.58

Tabla 5.4: Costo total del enlace.

5.9. FORMA DE SUMERGIR FIBRA

Antes de sumergir la fibra el contratista debe de hacer un recorrido con el jefe de obra para reconocer la ruta e identificar los pozos en donde se requieran trabajos como destaparlos, desaguar, desensolvar, etc; durante el trabajo se debe marcar en el plano con color rojo, la información que indica el plano, ya sea para ratificar o rectificar, por ejemplo en el plano no se presentan muchas de las veces los pozos que se encontraron con agua, o tapados, esto se debe indicar en el plano para poder cobrar los trabajos extras. También se debe ratificar la distancia entre pozos, los metros de gazas, la vía

por donde se sumergió el cable e indicar si se restauraron vías.

El personal que sumergirá la fibra debe de estar equipado con casco y botas, antes de ingresar al pozo se debe dejar ventilar de 5 a 10 minutos esto por posibles gases que puedan existir en él (12).

En caso de encontrar pozos con agua, con tapas soldadas, bajo concreto, o vías dañadas se debe solicitar permiso al cliente para realizar con el mantenimiento de éstos. En la figura 5.9 se muestra la imagen de un pozo con agua y la bomba que se utiliza para realizar el desagüe en este pozo. En caso de encontrar pozos con agua, con tapas soldadas, bajo concreto, o vías dañadas se debe solicitar permiso al cliente para realizar con el mantenimiento de éstos. En la figura 5.9 se muestra la imagen de un pozo con agua y la bomba que se utiliza para realizar el desagüe en este pozo.



Figura 5.9: Pozo con agua.

Para poder sumergir el cable de fibra óptica, primero se sumerge un hilo de encarrilamiento (rafia) en las vías, el cual ayudará a jalar el cable evitando daños en el interior de éste, para poder meter el hilo de encarrilamiento en las vías correspondientes se amarra a una fibra de vidrio (cobra). En la Figura 5.10 se muestra la rafia y la cobra que se utilizan.



Figura 5.10: a)Fibra guía (cobra). b) Rafia.

En la Figura 5.11 se puede observar el proceso que se sigue para sumergir la rafia en las vías, la rafia se amarra en la punta de la cobra, como se muestra en la imagen una persona va jalando la cobra de su base y el personal que se encuentra en los pozos va metiendo la cobra en la vía que le corresponda, la persona que se encuentra en el último pozo desamarra la rafia de la cobra y mediante radios se comunican para que se vaya retirando la cobra de las vías y pozos; en la imagen, se muestra con a) el sentido en el que se inmersa la rafia y con b) el sentido en el que se retira la cobra.

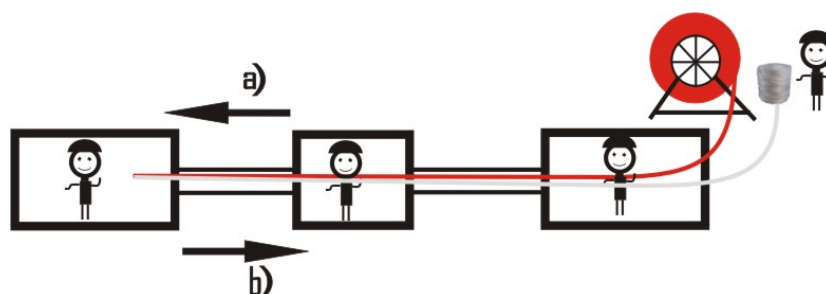
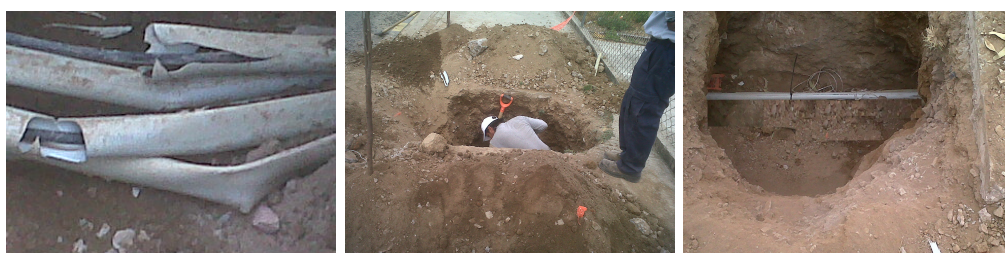


Figura 5.11: Inmersión de rafia para ayudar a jalar el cable de fibra óptica.

Durante la inmersión de la rafia se pueden detectar vías dañadas o con obstrucciones como lodo, residuo de cemento o basura. En la Figura 5.12 (a) se muestra la imagen de unas vías dañadas, una vez detectado el daño, se solicita la autorización del supervisor de la obra para realizar una ventana 5.12 (b), esto consiste en rascar un orificio en banqueta, concreto o tierra para detectar el motivo de la obstrucción. Estos daños pueden ser por obras realizadas en la superficie del terreno, al no soportar el peso en la superficie se pueden dañar los tubos de canalización. En la Figura 5.12 (c) se muestra la vía ya reparada. Una vez reparada la vía, se procede a tapar la ventana.



(a) *Vía dañada*

(b) *Ventana*

(c) *Vía reparada*

Figura 5.12: Ventana, vías dañadas y reparación de éstas.

En los tramos de ruta en zona rural, la canalización debe ser lo más recto posible, mientras el terreno lo permita, en ocasiones por lo difícil del terreo se tienen que abrir ventanas, cortar los ductos y jalar la fibra, posteriormente se ponen coples para sellar

el ducto y proteger el cable. En la Figura 5.13 se muestra la colocación del cople.

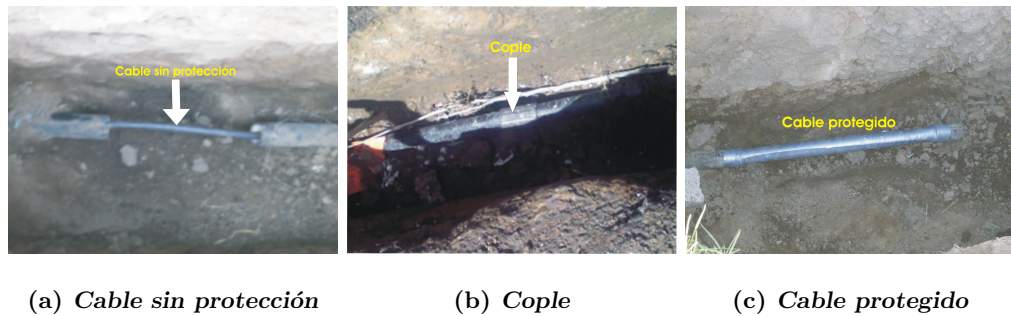


Figura 5.13: a) Muestra el ducto cortado que facilitó el seguir sumergiendo el cable. b) se coloca cople en el ducto entre los tramos para proteger el cable. c) Cable ya protegido con ducto.

Cabe mencionar que se realiza pruebas con el OTDR a la bobina a la par que se instala la rafia. Una vez sumergida la rafia en toda la ruta se procede a sumergir el cable de fibra óptica. Para facilitar ésta tarea se utiliza un lubricante, el cual se vierte en la cubierta de éste. Para evitar tensiones en el cable que puedan dañar la fibra, se sumerge de manera manual, es decir sin ayuda de algún vehículo que haga una tensión fuerte.

Como se muestra en la Figura 5.14 el personal debe de colocar la bobina a la mitad del tramo en el que se va a sumergir.

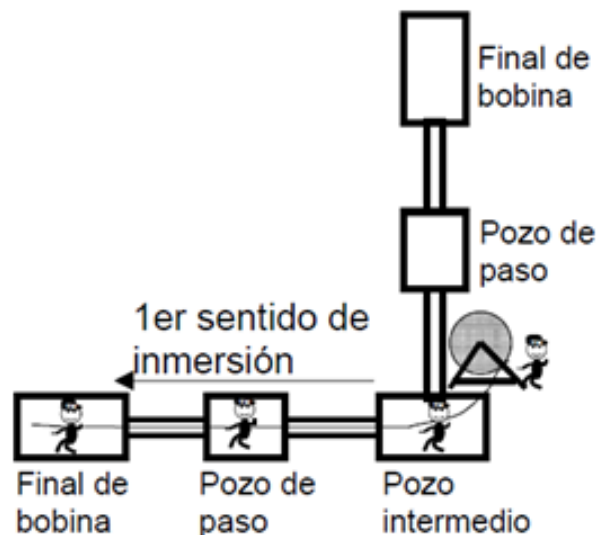


Figura 5.14: Forma correcta para sumergir la fibra óptica en los pozos, tomada de (12).

En este caso el personal se debe colocar en el pozo que esté más cercano a los 2 Km esto es porque la bobina tiene una longitud de 4.6 Km . Se debe de ir retirando la fibra del carrete y colocándola sobre el piso en forma de 8, considerando retirar del carrete solo la cantidad a sumergir por día; se sumergirá en dos direcciones. Para sumergir se debe de posicionar personal en cada pozo, los cuales jalarán el cable de manera coordinada y lo colocarán en la vía que indica el plano, sin olvidar ir colocando el lubricante para facilitar el desplazamiento en las vías; para evitar que la fibra se enrede y que el jalado sea coordinado el personal en cada pozo debe contar con radios de comunicación (12).

Una vez sumergida la fibra se realizan nuevamente pruebas con el OTDR, para detectar si hubo algún daño al jalar la fibra, puede ser provocado por dobles o machucón. En caso de que la fibra óptica tuviera un daño en algún lugar intermedio de la ruta, las gazas ayudan, porque sólo se realiza el jalado del cable y se corta el tramo dañado. De esta manera se evita sacar toda la bobina de cable nuevamente. En caso de no poder librar el daño aún jalando cable de las gazas, se tendrá que retirar la bobina completa.

5.9.1. Empalmes

Para realizar los empalmes es necesario abrir nuevamente los pozos y sacar las dos puntas de las bobinas, los empalmes se realizan fuera del pozo, en una área de trabajo segura, se puede realizar sobre una mesa como se muestra en la figura 5.15, en la cual se observa el cierre, el cable de fibra y la empalmadora.

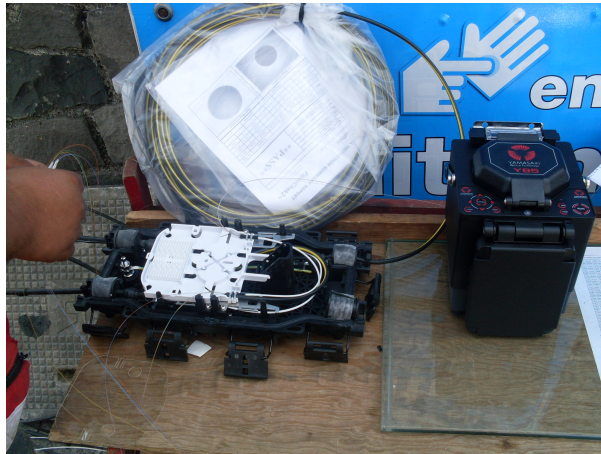


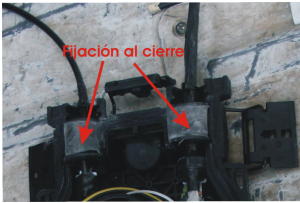
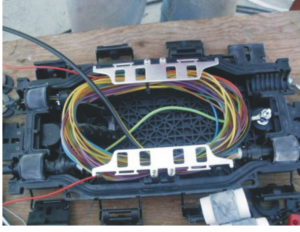
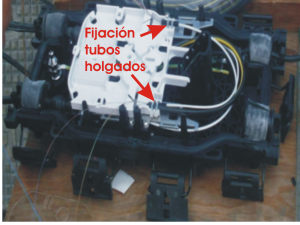


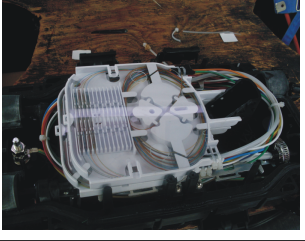
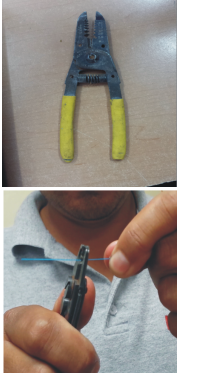


Figura 5.15: Colocación del cierre y empalmadora en un lugar firme.

En la Tabla 5.5, se presenta el proceso para realizar empalmes y acomodar las fibras en los cierres.

Pelado de cable de fibra óptica	
<p>Se muestra el instrumental que se utiliza para retirar el recubrimiento exterior del cable de fibra óptica, así como la manera en que se tiene que cortar éste.</p>	
<p>Cable sin recubrimiento</p>	
Colocación de cable en el cierre	
<p>Una vez retirada la cubierta externa se procede a sujetar los cables que se van a empalmar, junto con la sujeción se coloca la cinta aislante de agua. Ya fijado se cortan los tubos de relleno y protecciones.</p>	
<p>En caso de no utilizar todos los tubos holgados, se procede a acomodar en el cierre los que no se van a utilizar, dejando sueltos los que contienen las fibras a empalmar.</p>	
<p>Se coloca la charola y se sujetan los tubos holgados que se van a utilizar, como se muestra en la imagen.</p>	
Retiro de recubrimiento del tubo holgado	

<p>Una vez sujetos los tubos holgados, se retira el recubrimiento del tubo holgado a empalmar. Se muestra el instrumental para retirar el recubrimiento, se debe tener mucho cuidado de no cortar las fibras que éste contenga.</p>	
<p>Al retirar el recubrimiento las fibras quedan con lubricante el cual se retira con toallas.</p>	
<p>Acomodo de fibras en la charola del cierre.</p>	
<p>Ya limpias las fibras, las que no se vayan a empalmar se deben acomodar en la charola, como se muestra en la imagen.</p>	
<p>Retiro de recubrimiento de fibra óptica.</p>	
<p>Se muestra la pinza con la que se debe retirar el recubrimiento de la fibra óptica; tener precaución de no dañar la fibra óptica. Se limpian las fibras con una toalla que contenga alcohol isopropílico, se retira el recubrimiento y nuevamente se limpia con alcohol isopropílico.</p>	
<p>Cortadora</p>	

<p>Se coloca la fibra óptica en la cortadora,</p>	<p>Sentido en el que se desplaza el diamante para cortar la fibra</p> 
<p>El diamante se desliza como se muestra en la imagen.</p>	<p>Sentido en el que se desplaza el diamante para cortar la fibra</p> 
<p>Empalmadoras</p>	
<p>Se coloca la manga termocontráctil a la fibra y se sujeta la fibra cortada en la empalmadora; se cierra la tapa para evitar que caiga polvo mientras se corta la otra fibra.</p>	<p>Fibra óptica en ranura Sujetador de fibra</p> 
<p>Se inicia el proceso de empalme, en este paso la empalmadora hace el proceso de alineación de los núcleos.</p>	
<p>La empalmadora evalúa si las fibras tienen cortes de 90° de no ser así envía un mensaje indicando que la fibra no cumple con dicho requisito.</p>	


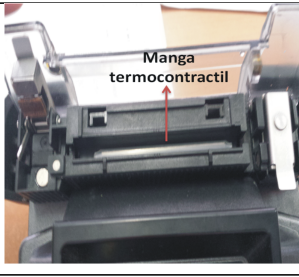
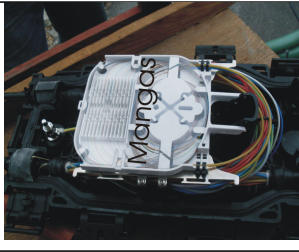
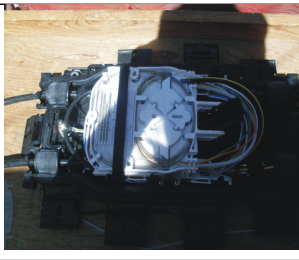

<p>En caso de que ambas fibras cumplan con el corte necesario, se realiza el empalme y se despliega en la pantalla la atenuación que tiene el empalme.</p>	
<p>Protección de empalme</p>	
<p>Se posiciona la manga termocontráctil en el horno.</p>	
<p>Acomodo de empalme en charola de cierre</p>	
<p>Una vez terminado este proceso se coloca en la charola del cierre y así sucesivamente hasta concluir todos los empalmes solicitados.</p>	
<p>Sujeción de charolas al cierre y sellado de éste.</p>	
<p>Se sujetan las charolas utilizadas con velcro al cierre.</p>	
<p>Se sella el cierre.</p>	

Tabla 5.5: Proceso de empalme de fibra óptica.

5.10. PRUEBAS CON EL OTDR

Antes de realizar las pruebas se debe contar con un cálculo de presupuesto de atenuación del enlace, el cual sirve como referencia al jefe de obra para validarlo.

Este presupuesto lo realiza el proyectista en donde se deben tener en cuenta la atenuación del cable, conectores y empalmes. El presupuesto de pérdida (α_c) se calcula como lo muestra la Ecuación 5.1 y los valores a considerar son los que se muestran en la Tabla 5.6.

Elemento		1310 <i>nm</i>	1550 <i>nm</i>
Atenuación de la Fibra óptica por Km	α_{fo}	0.34 <i>dB</i>	0.25 <i>dB</i>
Longitud de la fibra en Km	L	107	107
Número de empalmes en el enlace o sección	Ne	28	28
Pérdida máxima por empalme	Pe	0.08 <i>dB</i>	0.08 <i>dB</i>
Número de conectores terminales por enlace o sección	Nc	2	2
Pérdida por conector terminal	Pc	0.25 <i>dB</i>	0.25 <i>dB</i>

Tabla 5.6: Valores a considerar para el cálculo del presupuesto de pérdida.

$$\alpha_c = (\alpha_{fo} \times L) + (Ne \times Pe + (Nc \times Pc)) \quad (5.1)$$

Tomando la ecuación 5.1, para 1310 *nm* se obtiene:

$$\alpha_c = \{0.34dB/km \times 107Km\} + (28 \times 0.08dB) + (2 \times 0.25dB) = 39.12dB$$

De la misma manera, considerando la ecuación 5.1 a 1550 *nm* se tiene un presupuesto de atenuación de:

$$\alpha_c = (0.25dB/km \times 107Km) + (28 \times 0.08dB) + (2 \times 0.25dB) = 29.49dB$$

Por lo que la potencia medida al final del enlace debe ser menor a 39.12 *dB* para 1310 *nm* y de 29.49 *dB* para 1500 *nm*.

Las pruebas que se realizan con el OTDR se hacen a 1310 nm y a 1550 nm, de estas pruebas se obtiene una gráfica como la que se muestra en la Figura 5.16, en la cual se pueden observar números en la parte superior los que indican los eventos detectados por el equipo. El eje horizontal indica los kilómetros, pies o millas según se seleccione y el eje vertical la potencia recibida en dB.

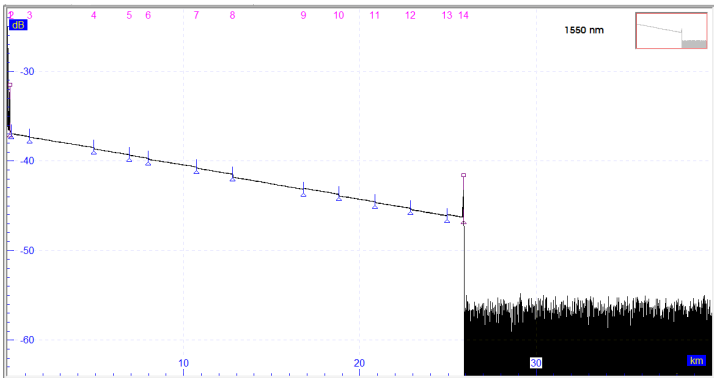


Figura 5.16: Gráfica con el OTDR a 1550 nm.

En la Figura 5.16 se pueden observar los eventos mencionados en la sección 4.4 del capítulo 4.

- Los eventos que se detectan como 1 y 2 hacen referencia al inicio de la fibra y al conector del origen. En la Figura 5.17 se muestra la forma en que se ve un conector.



Figura 5.17: Gráfica de OTDR que representa inicio de fibra óptica y un conector.

- En la Figura 5.16 también podemos observar pérdidas, éstas representadas con los números de eventos del 3 al 8 y del 10 al 12. Para saber si ésta pérdida

hace referencia a un empalme por fusión o un macrodoblez tenemos que tomar como guía el plano, si el evento coincide con un empalme marcado en el plano lo consideramos como tal, de no ser así entonces nos indica un macrodoblez. En la Figura 5.18 se muestra una ampliación del evento 3, donde se puede observar como la señal pierde potencia.

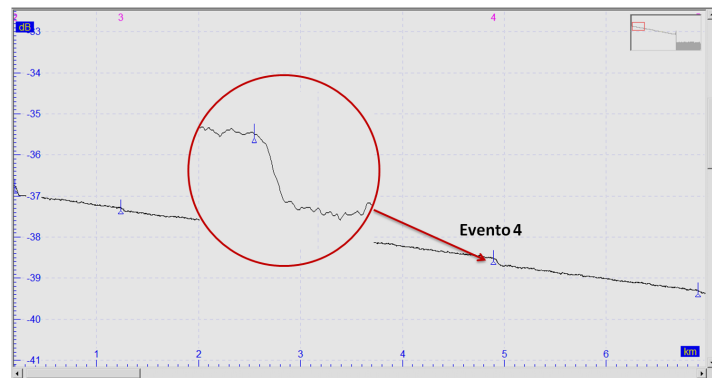


Figura 5.18: Ampliación del evento 3 que representan una pérdida.

- En la Figura 5.19 se pudo observar una ampliación del evento 9, el cual representa una ganancia ya que la señal aumenta en potencia.

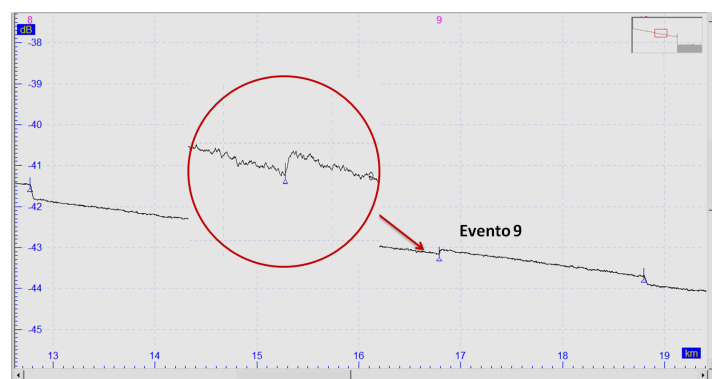


Figura 5.19: Ampliación del evento 9 que indica una ganancia.

- Finalmente se observa en el evento 14 el fin de fibra o corte, esto dependiendo del kilometraje, si no corresponde con la cantidad de cable a prueba entonces lo tomamos como corte de fibra. En la Figura 5.20 se observa este evento.
- Como se hicieron dos pruebas con diferentes longitudes de ondas, se obtienen dos gráficas que hacen referencia a la misma fibra. En la Figura 5.21, se pueden observar ambas gráficas; a 1550 nm el OTDR detecta mayor numero de eventos

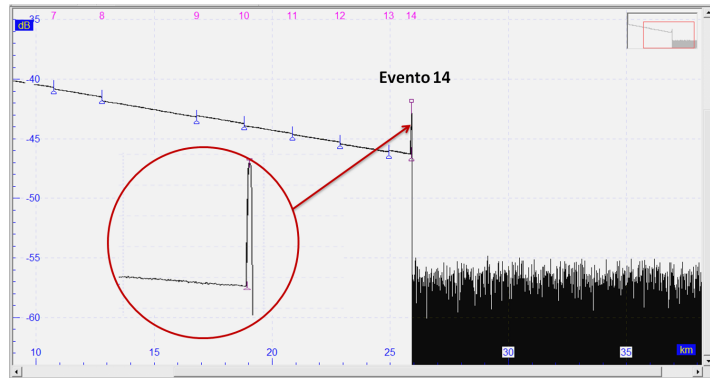


Figura 5.20: Evento de fin de fibra o corte.

y también se puede observar que a 1310 nm la onda sufre mayor atenuación, es por eso que se encuentra abajo de la gráfica de 1550 nm .

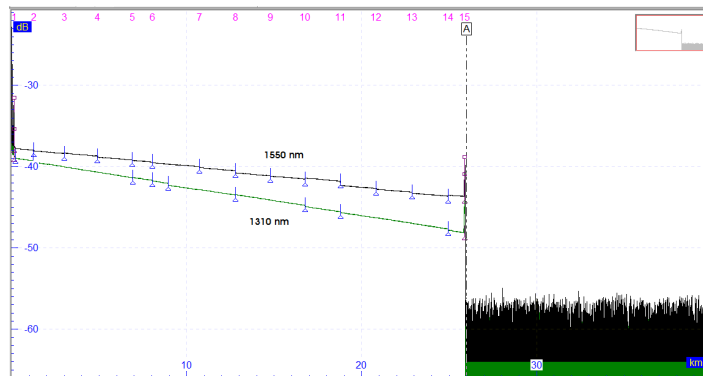


Figura 5.21: Gráficas obtenidas a 1310 nm y a 1550 nm .

En este enlace no hubo empalmes mecánicos, pero en Figura 5.22 se muestra como se vería una gráfica con dicho evento.

Los resultados de estas pruebas se tienen que guardar para posteriormente entregarse al jefe de obra en forma impresa y electrónica, esto para respaldar el trabajo del contratista, si posteriormente ocurre algún problema con el enlace ya no es responsabilidad de él. Y se tendría que generar una nueva orden de trabajo.

5.10.1. Colocación de identificadores

Para finalmente ser validado el enlace por el jefe de obra, se debe identificar toda la ruta esto se hace colocando placas y etiquetando los cierres de empalme, durante este proceso de deben ir acomodando las gazas en los pozos. En la Figura 5.23 se muestra la imagen de una placa, en donde se puede ver que los datos que lleva, los que se graban

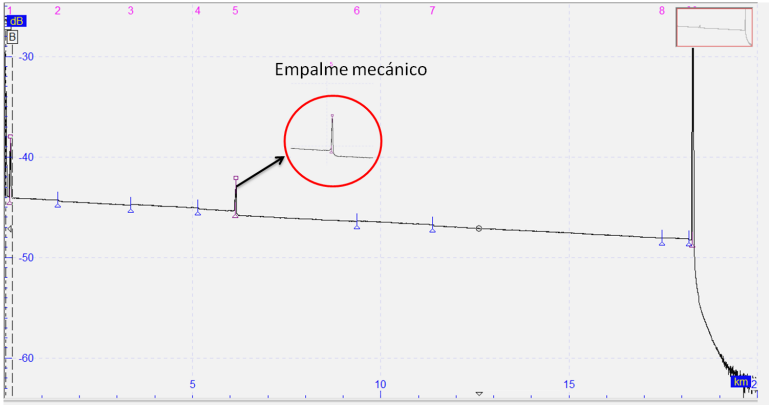


Figura 5.22: Gráfica de un empalme mecánico.

con letra de golpe. Los datos son: nombre de la ruta, tramo, pozo, empalme, longitud origen - destino y longitud destino - origen. Deben colocarse una por pozo, dos en donde haya gazas, una al principio y otra al final; también deben colocarse dos placas en los pozos con cierres, una a la entrada y otra a la salida de éste.



Figura 5.23: Placa

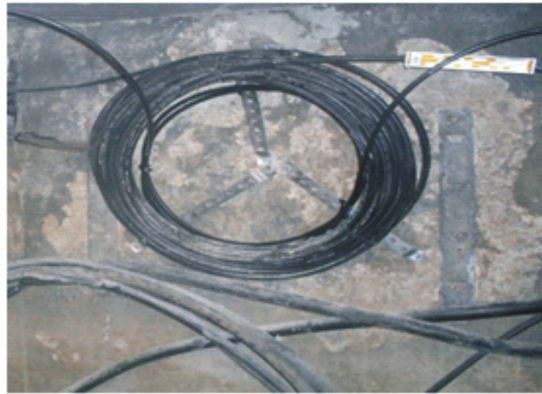
En la Figura 5.24 se muestra la colocación de las placas y etiquetado del cierre, la placa debe ir con los datos requeridos y el cierre se etiqueta con las letras que identifican el enlace.



Figura 5.24: Colocación de placas y etiquetado del cierre.

Para acomodar las gazas depende del tipo de pozo en el que se dejaron, en los

pozos de zona urbana se deben sujetar a las paredes con la ayuda de unos soportes galvanizados, en el caso de dejar gazas en pozos en zona rurales entonces se dejan acomodadas sin sujetarse a las paredes. En la Figura 5.25 se muestran ambos casos.



(a) *Soporte para gaza*



(b) *Gaza en pozo rural*

Figura 5.25: Acomodo de gazas en pozos ubicados en zona urbana y zona rural.

5.10.2. Documento de validación del enlace

En la Figura 5.26 se muestra el documento que se debe entregar al jefe de obra, en este se registran la potencia recibida en dB obtenidos por cada fibra óptica y por cada longitud de onda.

Ésta figura se encuentra dividida en secciones, en la sección 1 se anota nombre del enlace, del origen, del destino y el número de fibras que lleva la obra. En la sección 2 se registra el fabricante del cable, tipo y número de carrete. En la sección 3 se indica el tipo de empalme, si es por fusión o es mecánico. En la sección 4 se señala la marca y

PRUEBAS PUNTO A PUNTO. MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA EN CONECTORES Y EMPALMES.

1

RUTA / ENLACE
ORIGEN / DESTINO
NÚMERO DE FIBRAS

FABRICANTE DE FIBRAS
TIPO Y FABRICANTE DEL CABLE
NÚMERO DEL CARRETE

2

MARCA
MODELO

4

EQUIPO

5

LONGITUD DE ONDA
DEL EQUIPO: MEDICIÓN
nm

3

TIPO DE EMPALME
FUSIÓN
MECÁNICO

8

FIBRA	CONECTOR ORIGEN		EMPALME 1		EMPALME 2		EMPALME 3		EMPALME 4		EMPALME 5		EMPALME 6		CONECTOR DESTINO	
	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.	O-D	PROM.
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

6

FECHA

CONSTRUCTOR

HOJA DE

RESPONSABLES: JEFE DE OBRA

CONSTRUCTOR

10

Figura 5.26: Protocolo

modelo del OTDR. En la sección 5 se indica la longitud de onda en la que se realizaron las pruebas para las mediciones presentadas en esa hoja. La sección 6 hace referencia

al número de fibra. En la sección 7 se indica la potencia recibida en dB obtenidos por conector desde el origen al destino y viceversa. En la sección 8 se indica la potencia recibida en dB por empalme. En la sección 9 se anota la fecha, nombre del constructor, el número de hoja y en la sección 10 se anota el nombre del jefe de obra y del constructor.

Este documento se debe entregar de manera impresa y electrónica junto con 5 planos ratificados.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones

En este documento de tesina se presentaron:

- Los principios de propagación de la luz así como los fenómenos que ocurren con ésta dentro de la fibra óptica.
- La infraestructura para realizar un enlace por fibra óptica.
- La simbología que se puede encontrar en el plano de ruta.
- La canalización, tipos de esta y las normas bajo las cuales se debe construir.
- El código de colores así como el proceso para realizar empalmes.
- Los eventos que un OTDR puede detectar al realizar pruebas en un enlace de fibra óptica.
- El proceso que se sigue para elaborar un enlace de fibra óptica, así como los recursos humanos que están involucrados.
- Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el OTDR al enlace.
- El documento que se entrega al finalizar el enlace.

Con lo puntualizado anteriormente, se cubren tanto el objetivo particular como los objetivos específicos planteados para este trabajo de tesina.

Trabajo futuro

Puede servir de base para futuros trabajos de diseño de enlaces de fibra óptica no sólo de larga distancia. En este documento se presentó el trabajo que se realiza al sumergir fibra óptica, pero se podría hablar de otros temas como se menciona a continuación:

- Podría hablarse de la instalación aérea así como hablar de una manera más extensa de la canalización, ya que es un tema muy amplio, se podría presentar las normas específicas de cómo construir los pozos y todo el proceso que se realiza para poder construir las vías en donde se instalará fibra de manera subterránea.
- También se podría hablar de la instalación interna, ya que en este trabajo sólo se habló sobre la instalación en planta externa.

Bibliografía

- [1] Carballar Alejandro. *Introducción a las comunicaciones ópticas*. Universidad de Sevilla. España, 2002. [1](#)
- [2] Heredia Ruiz Antonio. *Construcción de un enlace telefónico con fibras ópticas*. Instituto tecnológico de la construcción. 1996. [1](#)
- [3] Pierre Nérou Jean. *Introducción a las telecomunicaciones por fibras ópticas*. Trillas. México, 1991. [6](#), [7](#), [8](#)
- [4] González Rojas Claudio Randhu. *La tecnología de los sensores de fibra óptica*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2001. [VI](#), [VI](#), [VI](#), [IX](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [10](#)
- [5] García Miranda Agustín Sebastian, Reyes Ramírez Ignacio, Salgado Ortiz Diego Antonio y Alexandre Michtchenko. *Sistema de comunicación con la tecnología láser*. 2011. [IX](#), [10](#)
- [6] Resnick Robert, Halliday David y S. Krane Kenneth. *7 FÍSICA*. Grupo editorial patria. México, 2013. [4](#)
- [7] Alvarado Lemus José Alberto, Valdes Castro Pablo y Varela Nájera José Bibiano. *Óptica*. Once Rios Editores. México, 2012. [8](#)
- [8] Hecht Eugene. *Óptica*. Pearson Addison Wesley. Tercera edición. España, 2000. [5](#)
- [9] Colombo Juan C. *Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo- OTDR*. Universidad tecnológica nacional. 2011. [VI](#), [VI](#), [4](#), [11](#)
- [10] SCT *Manual de procedimientos para el aprovechamiento del derecho de vía en caminos y puentes de cuota*. México, 1997. [25](#)
- [11] Documento confidencial *Taller OPTICAL FIBRE SYSTEM*. 1991. [7](#)
- [12] Documento confidencial. *Taller 101934*. México, D.F., 2011. [VI](#), [VI](#), [VI](#), [VII](#), [VII](#), [IX](#), [IX](#), [IX](#), [6](#), [8](#), [12](#), [14](#), [20](#), [21](#), [26](#), [35](#), [36](#), [37](#), [51](#), [53](#), [54](#)

- [13] Documento confidencial. *Taller 102659*. México, 2013. [VI](#), [VII](#), [VII](#), [7](#), [34](#), [35](#), [36](#), [46](#)
- [14] Documento confidencial. *Taller Planta Exterior*. México, 2002. [21](#)
- [15] Godoy Rojas Rodolfo. *Diseño, control y monitoreo de un enlace óptico para la migración de los sistemas de comunicación de Nogales a Ciudad Juárez*. IPN, 2009. [VI](#), [VI](#), [VII](#), [VII](#), [VII](#), [22](#), [25](#), [27](#), [28](#), [29](#)
- [16] SCT *Construcción de canalización con ductos de PVC*. México, 2015.
- [17] Documento confidencial. *Taller 102659*. México, 2013.
- [18] López Ruano Eduardo y González García José Enrique. *Estudio teórico y simulación de un OTDR para sistemas de comunicaciones por fibra óptica*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. 2013. [9](#), [13](#), [37](#)
- [19] Documento confidencial *Norma N/03/027/01*. México, 2009. [22](#)
- [20] Rodríguez Ortega Carlos. *Norma ingeniería de canalización multitubular*. México, 2004. [VI](#), [VI](#), [VII](#), [IX](#), [IX](#), [IX](#), [22](#), [23](#), [24](#), [29](#), [30](#)
- [21] Eduardo López Ruano. *Estudio teórico y simulación de un OTDR para sistemas de comunicaciones por fibra óptica*. EUITT. [VII](#), [37](#)
España, 2013.
- [22] Documento confidencial. *Taller Caracterización de fibra óptica*. México, 2010. [VII](#), [38](#)
- [23] Documento confidencial. *Norma N/05/029*. México, 2012. [46](#)
- [24] Documento confidencial. *Norma R/03/006/02*. México, 2002.