



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Infraestructura carretera compartida
para redes de telecomunicaciones**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Luis Roberto Flores Flores

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Aida Huerta Barrientos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Agradecimientos:

Quiero dedicar este escrito a mis padres Ángel e Inés, quien con su fortaleza y apoyo, fueron partícipes de este viaje tan maravilloso. Celebro con gozo este logro, en su compañía.

A mi hijo Santiago, quien me enseñó a vivir la vida de una manera distinta, que con sus sonrisas me impulsó a querer ser una mejor persona. Todo el esfuerzo y resultados son con el fin de que él siga sonriendo.

A mi hermana Angélica, quien ha sido parte fundamental para mi desarrollo personal, le agradezco estar presente cuando más lo he necesitado.

A Gabriela, quién ha formado parte de este viaje lleno de obstáculos, risas y amor. Le agradezco el amor y la felicidad de mostrarme lo que es ser padre.

A mi abuelita María, quien me enseñó a ser persistente y conseguir mis objetivos, por ser tan amable y cariñosa conmigo, allá donde te encuentras, te dedico este logro tan importante para ambos.

A la Dra. Aida Huerta, quien con sus enseñanzas me abrió el panorama de la ingeniería. Por su paciencia y dedicación para que yo pudiera lograr este objetivo, le agradezco por mi formación académica.

A mis tíos, primos, suegros y familiares que estuvieron presentes en este camino, les agradezco las acciones e intenciones para que mi crecimiento personal y profesional se viera favorecido.

Finalmente a la UNAM, por permitirme experimentar el deseo de aprendizaje. Le agradezco las vivencias dentro de sus instalaciones, a sus profesores, a los amigos que conocí ahí. Llevaré un recuerdo bonito de todo lo que me dio la mejor universidad de mi país.

Índice General	3
Índice de Figuras.....	6
Índice de Tablas.....	10
Índice de Ecuaciones.....	12
Introducción.....	13
CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA EN EL APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA PASIVA PARA REDES DE TELECOMUNICACIONES.	15
1.1. Uso de la Fibra Óptica en las Telecomunicaciones.....	15
1.1.1. La Fibra Óptica y sus Propiedades Físicas.....	17
1.1.2. Fenómeno de Refracción en la Fibra Óptica y Propagación de Modos.	20
1.1.3. Atenuación y Dispersión de la Fibra Óptica.....	35
1.1.4. Dispositivos Ópticos y su Aplicación a los Sistemas de Comunicación Óptica.	42
1.1.5. Redes de Transporte de Fibra Óptica.	64
1.2. Infraestructura Carretera en México con Instalación de Fibra Óptica.....	66
1.2.1. Carretera Ozuluama-Tampico-Ébano.....	72
1.2.2. Carretera México-Acapulco.....	76
1.2.3. Carretera México-Veracruz.	79
1.2.4. Carretera México-Irapuato.....	81
1.2.5. Carretera Arco Norte.....	87
1.2.6. Circuito Exterior Mexiquense.....	89
1.2.7. Carretera Monterrey-Saltillo.....	91
1.2.8. Carretera San Luis Río Colorado-Sonoyta.....	94
1.2.9. Carretera México-Toluca.....	97
1.2.10. Carretera Chamapa-Lechería.	99
1.2.11. Carretera-Salamanca León.....	101
1.2.12. Carretera Mazatlán-Culiacán.....	102
1.2.13. Carretera Reynosa-Matamoros.....	107
1.3. Infraestructura Carretera a Nivel Global con Instalación de Fibra Óptica.....	110
1.3.1. Tecnologías Actuales de Despliegue de Fibra Óptica.....	110

1.3.2. Chile.....	111
1.3.3. Perú.....	112
1.3.4. Costa Rica.....	113
1.3.5. Estados Unidos.....	114
1.3.6. China.....	115
1.3.7. Corea del Sur.....	116
1.3.8. India.....	117
1.3.9. Japón.....	118
1.3.10. Inglaterra.....	120
1.3.11. Francia.....	120
1.3.12. Alemania.....	122
1.4. Definición del Problema.....	125
1.5. Objetivo General.....	125
1.6. Objetivos Específicos.....	125
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.....	126
2.1. Esquemas de Compartición de Infraestructura Carretera para Servicios de Telecomunicaciones.....	127
2.2. Normas Mexicanas y Especificaciones Técnicas Utilizadas en la Instalación de Fibra Óptica en Infraestructura Carretera Compartida.....	130
2.2.1. Objeto.....	130
2.2.2. Campo de Aplicación.....	131
2.2.3. Documentos de Consulta.....	132
2.2.4. Materiales para la Canalización.....	133
2.2.5. Materiales.....	133
2.2.6. Maquinaria, Herramientas y Equipos.....	134
2.2.7. Maquinaria de Tendido de la Fibra Óptica.....	134
2.2.8. Equipos de Comunicación.....	137
2.2.9. Transporte y Almacenamiento.....	137
2.2.10. Instalación del Ducto.....	138
2.2.11. Prueba de Vía para la Instalación de Ductos.....	138
2.2.12. Prueba de Hermeticidad para la Instalación de Ductos.....	138

2.2.13. Tendido e Instalación del Cable de Fibra Óptica.	139
2.2.14. Supervisión del Tendido e Instalación del Cable de Fibra Óptica.	140
2.2.15. Medidas Finales en el Cable de Fibra Óptica.	141
2.2.16. Aceptación de la Instalación de los Empalmes.	141
2.2.17. Documentación.	141
CAPÍTULO 3. RECOMENDACIONES Y MEJORAS PRÁCTICAS INTERNACIONALES PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN INFRAESTRUCTURA CARRETERA COMPARTIDA PARA USO EN LAS TELECOMUNICACIONES.	
3.1. Chile.	144
3.2. Perú.	145
3.3. Costa Rica.	146
3.4. Estados Unidos.	147
3.5. China.	148
3.6. Corea del Sur.	149
3.7. India.	150
3.8. Japón.	151
3.9. Inglaterra.	152
3.10. Francia.	153
3.11. Alemania.	154
CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO TÉCNICAMENTE FACTIBLE PARA INSTALAR FIBRA ÓPTICA Y SER UTILIZADA PARA TELECOMUNICACIONES.	
4.1. Infraestructura Carretera de Peaje Requerida y Técnicamente Factible	156
4.2. Costo Estimado de la Infraestructura Requerida.	164
Conclusiones Generales.	169
Bibliografía.	172

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de la fibra óptica.	18
Figura 2. Medidas de los núcleos de las fibras SMF y MMF.	20
Figura 3. Ley de la reflexión en la fibra óptica.	20
Figura 4. Cono de admisión y ángulo máximo de entrada.	23
Figura 5. Reflexión Total Interna.	25
Figura 6. Modos de propagación en la fibra óptica a través de su frecuencia normalizada.	26
Figura 7. Ecuaciones de Maxwell para un medio no conductor y sin cargas libres.	27
Figura 8. Relaciones constitutivas.	29
Figura 9. Modos linealmente polarizados azimutales y radiales.	32
Figura 10. Dos posibles no-linealidades de la fibra que dan lugar a acoplamiento entre modos (a) Irregularidad en la intercara entre núcleo y recubrimiento; (b) Curvatura en la fibra.	33
Figura 11. Perfiles de índice escalonado para fibras multimodo y monomodo.	34
Figura 12. Fibra óptica de tipo multimodo con perfil de índice gradual.	35
Figura 13. Atenuación en la fibra óptica.	38
Figura 14. Dispersión en la fibra óptica.	42
Figura 15. Sistema de comunicaciones ópticas.	43
Figura 16. Sistema de comunicaciones ópticas analógicas.	44
Figura 17. Sistema de comunicaciones ópticas digital.	45
Figura 18. Bandas de valencia y conducción, representando la generación de fotones en el diodo.	48
Figura 19. Representación de un led.	50
Figura 20. Diodo láser.	51
Figura 21. Transmisor óptico con led y diodo laser.	51
Figura 22. Representación del fotodiodo.	52
Figura 23. Diodo PIN.	53
Figura 24. Receptor óptico con sus elementos.	54
Figura 25. Funcionamiento del amplificador EDFA.	56
Figura 26. Amplificador óptico de semiconductor.	57
Figura 27. Ubicación del amplificador Raman en el Sistema de Comunicaciones Ópticas.	58
Figura 28. Acoplador direccional tipo Y.	59

Figura 29. Divisor de potencia óptico tipo Y.....	60
Figura 30. Circulador óptico.	61
Figura 31. Funcionamiento del circulador óptico.....	62
Figura 32. Representación de un multiplexor óptico.....	63
Figura 33. Demultiplexor óptico.....	64
Figura 34. Mapa de despliegue de fibra óptica.	67
Figura 35. Corredores más importantes que conectan las principales ciudades en México	70
Figura 36. Trazo de la carretera Ozuluama-Tampico.	73
Figura 37. Trazo de la carretera Tampico-Ebano.	74
Figura 38. Carretera México-Acapulco.....	77
Figura 39. Trazo de la carretera México-Veracruz.	81
Figura 40. Carretera México-Irapuato.....	82
Figura 41. Objetivos del PMT en el corredor México-Irapuato.....	83
Figura 42. Modos de atestiguamiento para el tramo México-Irapuato.....	84
Figura 43. Testimonio y reporte de actividades del tramo carretero México-Irapuato.	85
Figura 44. Carretera Arco Norte.....	87
Figura 45. Circuito Exterior Mexiquense.....	90
Figura 46. Carretera Monterrey-Saltillo.....	92
Figura 47. Documento que otorga la concesión y la operación de la carretera Monterrey-Saltillo.....	93
Figura 48. Carretera de San Luis Río Colorado a Sonoyta.....	94
Figura 49. Trazo carretera México-Toluca.....	98
Figura 50. Carretera Chamapa-Lechería.....	99
Figura 51. Participantes del proyecto de modernización del tramo cerrado Chamapa-Lechería.....	100
Figura 52. Empresas participantes en el estudio de mercado para el despliegue de fibra óptica en la carretera Chamapa-Lechería	100
Figura 53. Carretera Salamanca-León.....	102
Figura 54. Trazo de la vía de Mazatlán a Culiacán.....	104
Figura 55. Carretera Reynosa-Matamoros.....	108
Figura 56. RDNF en Perú.....	112
Figura 57. Red de carretera en Corea del Sur.....	116
Figura 58. Red de carretera en Japón.....	119

Figura 59. Red de carreteras en Francia.....	121
Figura 60. Convenio celebrado para compartición de infraestructura de telecomunicaciones por parte de TELMEX y ALESTRA.....	128
Figura 61. Lista de convenios celebrados por parte de TELMEX y sus filiales con otras empresas de telecomunicaciones para compartición de infraestructura.	129
Figura 62. Cabrestante de tiro.....	135
Figura 63. Oruga de impulsión mecánica.	135
Figura 64. Alza bobinas con freno.	136
Figura 65. Caja de almacenamiento.	136
Figura 66. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales.	156
Figura 67. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos.	157
Figura 68. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras de peaje con fibra óptica.	158
Figura 69. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras federales.	158
Figura 70. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras estatales.....	159
Figura 71. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras de peaje con fibra óptica.....	159
Figura 72. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras federales.....	160
Figura 73. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras estatales.	160
Figura 74. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura carretera de peaje con fibra óptica y federal, para su uso en telecomunicaciones.....	161
Figura 75. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura de la CFE y la infraestructura carretera (peaje con fibra óptica y federal), para su uso en telecomunicaciones.	162

Figura 76. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura de la CFE y la infraestructura carretera (peaje con fibra óptica y federal), para su uso en telecomunicaciones con las cabeceras municipales..... 163

Figura 77. Organización principal de las matrices para costos directos unitarios 2018. 166

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativa de los medios guiados: fibra óptica y cable de cobre.	16
Tabla 2. Correspondencia entre los modos linealmente polarizados y los modos que los forman.	31
Tabla 3. Comparativo internacional de densidad carretera.....	68
Tabla 4. Trabajos realizados para la construcción y mejoramiento de las vías carreteras del país 1995-2000.	69
Tabla 5. Características generales de los corredores carreteros.	71
Tabla 6. Coordenadas del tramo Ozuluama-Tampico.	73
Tabla 7. Coordenadas del tramo de Tampico-Ebano.	74
Tabla 8. Indicador de instalación de fibra óptica del proyecto México-Acapulco.	78
Tabla 9. Trazo de la carretera México-Veracruz.....	80
Tabla 10. Actividad para la vía carretera México-Irapuato.	86
Tabla 11. Puntos de la carretera Arco Norte.....	88
Tabla 12. Inversión requerida para la instalación de fibra en la vía San Luis Río Colorado a Sonoyta.....	96
Tabla 13. Inversión para despliegue de fibra óptica de la carretera Mazatlán-Culiacán.....	105
Tabla 14. Tipo de materiales usados para el despliegue.....	106
Tabla 15. Resumen de carreteras con kms de fibra óptica instalados 2019.	109
Tabla 16. Comparativo de tecnologías de despliegue de fibra óptica.	124
Tabla 17. Chile- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	144
Tabla 18. Perú- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	145
Tabla 19. Costa Rica- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	146
Tabla 20. Estados Unidos- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	147
Tabla 21. China- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	148

Tabla 22. Corea del Sur- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	149
Tabla 23. India- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	150
Tabla 24. Japón- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	151
Tabla 25. Inglaterra- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	152
Tabla 26. Francia- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	153
Tabla 27. Alemania- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.	154
Tabla 28. Costo estimado de instalación de fibra óptica en carreteras para el cierre de anillos.....	165
Tabla 29. Costo de los recursos necesarios para el despliegue de fibra óptica en vías carreteras 2018.	167

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Coeficiente de refracción.	21
Ecuación 2. Ley de Snell.....	22
Ecuación 3. Apertura numérica.	23
Ecuación 4. Frecuencia normalizada.	25
Ecuación 5. Rotacional del campo eléctrico.....	27
Ecuación 6. Rotacional del campo magnético.....	28
Ecuación 7. Gradiente del flujo de campo eléctrico.....	28
Ecuación 8. Gradiente del flujo de campo magnético.	29
Ecuación 9. Densidad de flujo de campo eléctrico.....	29
Ecuación 10. Densidad de flujo de campo magnético.	30
Ecuación 11. Formula de dispersión total en la fibra óptica.	41
Ecuación 12. Energía de un fotón.....	46
Ecuación 13. Energía de un fotón ecuación simplificada.	48
Ecuación 14. Ecuación de cálculo para el costeo.	165

Introducción

La red carretera nacional en México, desarrollada de manera gradual con mejoras continuas y con una extensión de más de 582,175 kilómetros de caminos, es considerada la red más importante del país, ya que gracias a ella se ha podido establecer comunicación entre ciudades y municipios. Por su importancia, se pueden clasificar en tres diferentes tipos: la *red federal*: la cual se centra en la gestión por parte del gobierno federal; en este tipo de red se presenta un mayor tráfico por parte de pasajeros, aunque también desarrolla las principales vías por las cuales se establece el comercio exterior, es decir, por este tipo de red se transportan productos que son de primera necesidad y los que no lo son tanto. Principalmente los relacionados con los sectores más dinámicos de la economía nacional. La *red estatal*: son aquellas en las que no se presenta una carga tan grande de trabajo, aunque si son de suma importancia para poder enlazar las zonas de producción agrícola y ganadera, y para asegurar la integración de extensas áreas en diversas regiones del país. Y los *caminos rurales*: estos son aquellos caminos que no están pavimentados y que sobre todo no dependen de un mantenimiento como tal. Es decir, que los habitantes que se encuentran en las cercanías de esta vía son quienes les dan un mantenimiento constante, siendo ellos los principales beneficiados de este tipo de vía.

A pesar de la existencia de la infraestructura carretera mencionada, escasos cientos de kilómetros ya han sido compartidos para la instalación de fibra óptica, y esto ha sido en carreteras de peaje y en algunos casos mediante programas estatales, en carreteras de la red estatal. En el caso de la fibra óptica instalada en carreteras de peaje se utiliza principalmente para el monitoreo de las vías, y no se aprovecha para el transporte de servicios de telecomunicaciones, como sí se hace en otros países, tales como Chile, Perú, Costa Rica, Estados Unidos, China, Corea del Sur, India, Japón, Inglaterra, Francia y Alemania, entre otros. El objetivo general de esta tesis es analizar y determinar la infraestructura carretera de peaje en México que sea técnicamente factible a ser compartida para el transporte de servicios de telecomunicaciones mediante la instalación de fibra óptica. Se considera que el uso de infraestructura compartida, cuyo uso inicial no fueron las telecomunicaciones, actualmente cobra gran relevancia y sobre

todo en proyectos de conectividad y accesibilidad al servicio de Internet que propone la actual administración federal mediante el proyecto *Internet para Todos*.

Esta tesis está conformada por cuatro capítulos. En el Capítulo 1, se describen los sistemas de comunicaciones ópticas y la problemática que existe en México respecto al aprovechamiento de la infraestructura carretera para redes de telecomunicaciones. Se indican los tramos carreteros en donde ya se ha instalado fibra óptica en México, pero sin embargo, tienen su uso limitado a servicios de tránsito. Además, se presenta la infraestructura carretera a nivel global que si es utilizada para propósitos de telecomunicaciones.

En el Capítulo 2, se hace una revisión de la literatura acerca de los esquemas que comparten infraestructura carretera para servicios de telecomunicaciones. Se presentan las normas mexicanas y las especificaciones técnicas utilizadas en la instalación de fibra óptica en infraestructura carretera.

En el Capítulo 3, se incluye una revisión de las mejores prácticas internacionales para la instalación de fibra óptica en infraestructura carretera compartida para su uso en las telecomunicaciones. Se presentan los casos de Chile, Perú, Costa Rica, Estados Unidos, China, Corea del Sur, India, Japón, Inglaterra, Francia y Alemania.

En el Capítulo 4, se presentan el análisis de la infraestructura carretera de peaje, técnicamente factible a ser compartida para el transporte de servicios de telecomunicaciones mediante la instalación de fibra óptica, a fin de apoyar el Programa Gubernamental *Internet para Todos* y se presenta su costo estimado de instalación.

Al final se presentan las conclusiones generales de este trabajo de tesis y se lista la bibliografía consultada en la investigación.

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA EN EL APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA PASIVA PARA REDES DE TELECOMUNICACIONES.

Las comunicaciones en el país se hacen cada vez más necesarias conforme transcurre el tiempo. Día a día el índice de usuarios que requieren de servicios de telecomunicaciones asciende de forma exponencial. Por ello es importante establecer redes de telecomunicaciones en infraestructura carretera, capaces de transportar el gran tráfico que se genera de la demanda de dichos servicios. Una de las virtudes de las telecomunicaciones es conectar localidades que se encuentran a cientos de kilómetros, enviando grandes cantidades de datos sin presentarse pérdidas significativas. Desde el punto de vista técnico, en este caso se opta por utilizar enlaces de fibra óptica [1].

1.1. Uso de la Fibra Óptica en las Telecomunicaciones.

La fibra óptica constituye un elemento de transmisión guiado de gran importancia en la industria de las telecomunicaciones hoy en día, ya que gracias a sus propiedades físicas se pueden establecer enlaces de cientos de kilómetros, para transportar una gran cantidad de información. Posee un mayor ancho de banda en comparación con otros medios de transmisión guiados tales como el cobre. Adicionalmente, las pérdidas de la señal óptica van desde los 0.1 dB/km, en comparación con las pérdidas de la señal radioeléctrica en un enlace de microondas que pueden llegar a ser de hasta de 3 dB/m. En la Tabla 1, se presenta un comparativo de dos medios guiados, el cobre y la fibra óptica [2].

Parámetros	Fibra Óptica (Dieléctrico)	Cable de Cobre (Conductor)
Interferencia con campos electromagnéticos exteriores	NO	SI
Pérdidas(atenuación)	0.1 dB/km	1.3 dB/m
Frecuencia o ancho de banda (BW)	Luz visible: 0.43 THz Infrarrojos: 2 THz-3.7 THz	100 MHz 250 MHz
Capacidad	1 par de hilos: 1.6 Tbps 100 hilos para redundancia	1-100 Gbps
Resistencia a condiciones ambientales	-Trabajan en ambientes robustos -Robustos a efectos de radiación nuclear	-Se corroen -Afecta el ruido térmico
Peso	Ligera	Pesado
Flexible	SI	NO

Tabla 1. Comparativa de los medios guiados: fibra óptica y cable de cobre.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/622/A5.pdf?sequence=5>.

El escenario que se tiene actualmente en México para la tecnología de fibra óptica ha permitido revolucionar los servicios de telecomunicaciones, los cuales se hacen de mayor demanda día a día. Una de las cualidades destacadas de este medio de transmisión, es que ha permitido establecer sistemas de monitoreo en tiempo real, ya que la tasa de transmisión de la señal óptica en la fibra no presenta retardos considerables en los enlaces ópticos. Por otro lado, también ya se han desarrollado propuestas para establecer una red que sea capaz de proveer los servicios fundamentales actualmente demandados por los usuarios, entre los que se encuentran los servicios de voz, datos y vídeo, bajo un esquema convergente, denominada red de servicios convergentes.

En este caso, utilizando un solo medio de transmisión, se pueden proveer diferentes servicios y en consecuencia se puede generar un mercado para las empresas, que ofrezca como base un paquete estándar de servicios de telecomunicaciones para hacer crecer su organización. Aunque, no solo se orientaría al esquema empresarial, sino también el esquema personal, en el que los usuarios sean capaces de acceder a diferentes servicios teniendo una tarifa preferencial y competitiva en el mercado debido a la demanda.

Algunas empresas como TELMEX/TELNOR, BESTEL, ALESTRA/AXTEL, GTAC, MARCATEL, TOTAL PLAY, CENTURY LINK, y EVEN TELECOM ya se han colocado en el mercado mexicano con la finalidad de incrementar la cobertura de usuarios finales utilizando la tecnología de fibra óptica.

1.1.1. La Fibra Óptica y sus Propiedades Físicas.

Entre las cualidades que presenta la fibra óptica, se pueden destacar sus elementos principales, mismos que se listan a continuación: (ver Figura 1).

- Núcleo de la fibra óptica hecho de cuarzo fundido, vidrio o plástico transparente; este elemento es de suma importancia, ya que es por este medio donde se transporta la luz de una fuente que típicamente es proveniente de un láser o un diodo.
- Recubrimiento, el cual está hecho de los mismos elementos mencionados para el núcleo, pasa a ser el elemento secundario, el cual gracias a su coeficiente de refracción más bajo que el del núcleo, permite confinar la luz dentro del mismo por medio de la reflexión total interna.
- Capa de amortiguamiento hecha de un plástico suave que rodea a la fibra; este sirve para disminuir las pérdidas de luz en la fibra provocadas por microcurvaturas.
- Revestimiento o capa protectora hecha de un plástico más duro, sirve para proteger a la fibra de los factores externos mecánicos.

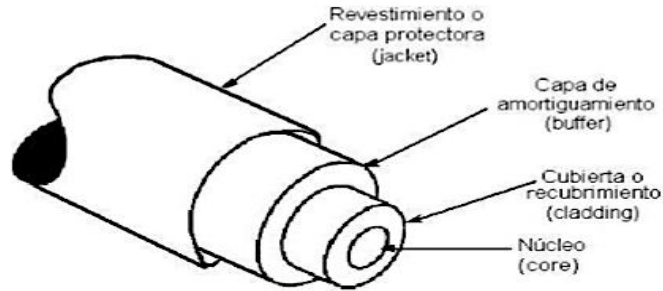


Figura 1. Esquema de la fibra óptica.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/622/A5.pdf?sequence=5>

Desde la perspectiva técnica de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la fibra óptica constituye un medio de transmisión guiado, el cual gracias a los coeficientes de refracción del núcleo y el revestimiento, permiten establecer enlaces de cientos de kilómetros con pérdidas muy bajas. Por otro lado, el conocimiento de las medidas del diámetro de la fibra es de gran importancia, ya que los parámetros de un enlace de comunicaciones ópticas dependen en gran parte de las dimensiones de dicha fibra. La propagación de un haz de luz coherente entrante en una fibra óptica no cumple con las ecuaciones de Maxwell como en el espacio libre al ser un medio limitado. Es por ello que las componentes de campo eléctrico y magnético (E , H) no establecen las posiciones relativas y perpendiculares. Sino que las propaga de una forma especial conocida como distintos modos transversales electromagnéticos. Debido a esto, se presenta un fenómeno conocido como dispersión por modo de polarización, causante de que una de las componentes del campo electromagnético se propague más rápido que la otra, siendo uno de los factores la geometría y composición de la fibra [3].

La fibra óptica dependiendo de las características, se puede clasificar en:

- *Fibra tipo monomodo o SMF*: este tipo de fibra es capaz de transportar solo un modo de propagación debido a sus dimensiones en el diámetro. Se usa en la implementación de enlaces de cientos de kilómetros, ya que presenta pérdidas considerablemente bajas.
- *Fibra tipo multimodo o MMF*: este tipo de fibra es capaz de transportar múltiples modos de propagación. Debido a sus cualidades geométricas e intrínsecas, tiene más pérdidas que la SMF, debido al traslape de los modos y las correspondientes dispersiones: intermodal, intramodal(cromática) y por modos de polarización.

A partir de esta clasificación, se identifican diferentes tipos de fibras, teniendo en cuenta otros criterios, tales como el tipo de material del cual están hechas y sus propiedades intrínsecas (ver Figura 2).

Los valores típicos de los diámetros del núcleo y la cubierta para fibras ópticas de cuarzo utilizadas para las comunicaciones ópticas son los siguientes:

- Para fibras multimodo de índice escalonado, el diámetro del núcleo oscila entre los 50 y 200 μm ., mientras que para el recubrimiento varía entre los 125 y 250 μm .
- Para fibras multimodo de índice gradual (parabólico u óptimo), el diámetro del núcleo es generalmente de 50, 62.5 o 100 μm , y el de el recubrimiento de 125 o 150 μm .
- Para fibras monomodo, el diámetro del núcleo varía entre los 6 y 9 μm , mientras que el diámetro del recubrimiento es de 125 μm .



Figura 2. Medidas de los núcleos de las fibras SMF y MMF.

Fuente: Recuperado el 26 de octubre de 2018 de: <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/10/relaciones-de-nucleo-en-fibras-opticas.html>.

1.1.2. Fenómeno de Refracción en la Fibra Óptica y Propagación de Modos.

Para poder comprender el concepto de propagación de un haz de luz a través de una fibra óptica, es importante definir algunos conceptos, así como fenómenos físicos presentados en dicha propagación. Primeramente, hay que describir a qué se refiere la ley de la reflexión aplicada a la fibra (ver Figura 3).

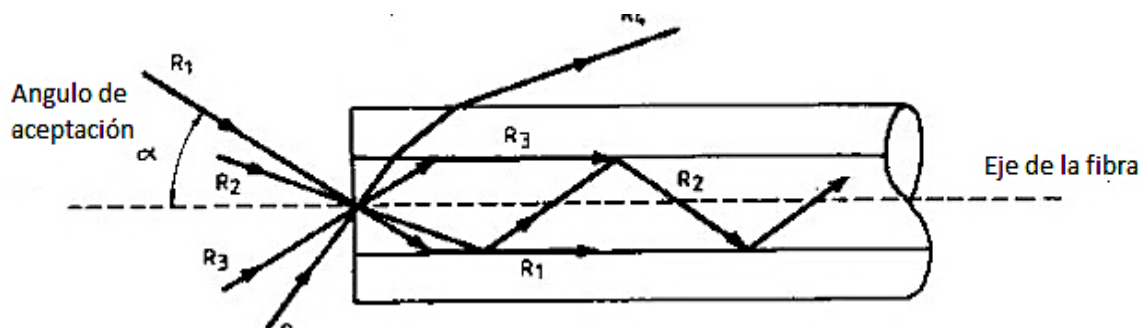


Figura 3. Ley de la reflexión en la fibra óptica.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://elmolinerodemontilla.blogspot.com/2010/11/la-fibra-optica-que-es.html>.

En la figura 3, se observa la forma considerada en la que incide el haz de luz de la fuente sobre la fibra óptica, misma que puede ser un láser o un diodo. El modo en el cual la fibra propaga la luz se debe principalmente a sus coeficientes de refracción, tanto del núcleo como del recubrimiento. Cabe mencionar que, si se quiere citar matemáticamente el coeficiente de refracción, se puede describir como la razón de velocidades entre la velocidad de la luz y la velocidad de fase del haz de luz en el medio. La expresión siguiente se utiliza para calcular el coeficiente de refracción:

$$\eta = \frac{c}{Vp}$$

Ecuación 1. Coeficiente de refracción.

donde:

η : coeficiente de refracción [1]

c: velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \frac{m}{s}$)

Vp: velocidad de fase $\frac{m}{s}$

Si bien, se quiere mostrar el fenómeno de propagación a través de la fibra óptica, debemos comprender el concepto de la *Ley de Snell*, misma que enuncia de la siguiente manera: “La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda, cuando pasa de un medio a otro” [4].

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$

Ecuación 2. Ley de Snell.

donde:

n_1 : Coeficiente de refracción en el medio 1.

n_2 : Coeficiente de refracción en el medio 2.

θ_1 : Ángulo incidente.

θ_2 : Ángulo refractado.

El haz a su vez, dependiendo del ángulo de inclinación responde a un haz reflejado considerado como pérdida; mientras que otro haz de luz se refracta dentro del núcleo de la fibra. Se busca que las pérdidas por reflexión sean mínimas, de modo que toda la energía se concentre en el núcleo permitiendo así múltiples reflexiones de los modos a propagarse dentro de la fibra.

A su vez, la forma en que la fibra captura el haz de luz y su energía viene dado por parámetros de suma importancia que se citan a continuación:

- *Apertura numérica*: se conoce como la capacidad de la fibra de recolectar luz y propagarla dentro de la fibra. Este parámetro depende de los coeficientes de refracción del núcleo y el recubrimiento, pero no de sus dimensiones. Si se realiza una analogía con estos datos, se concluye que se puede aumentar la cantidad de energía que capta una fibra si se eligen los dos índices con mayor diferencia en su proceso de fabricación. Su expresión matemática viene dada de la siguiente forma:

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \text{sen}\alpha_{0m}$$

Ecuación 3. Apertura numérica.

donde:

AN: Apertura Numérica.

n_1 : Coeficiente de refracción en el medio 1.

n_2 : Coeficiente de refracción en el medio 2.

α_{0m} : Ángulo máximo de entrada.

- *Cono de admisión y ángulo máximo de entrada:* estos parámetros están relacionados directamente con la apertura numérica, ya que el cono de admisión es el doble del ángulo máximo de entrada, el cual a su vez está explícito dentro de la apertura numérica. Si lo queremos esquematizar, podemos mostrarlo en la Figura 4 [3]:

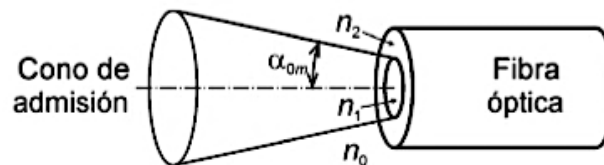


Figura 4. Cono de admisión y ángulo máximo de entrada.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 del manual de prácticas del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas.

Una de las cualidades generales de la apertura numérica, es que no puede exceder 1, por lo que el ángulo de mayor incidencia se consideraría como 90° . En este escenario se puede asegurar que la fibra refleja interna y totalmente la luz que entra por uno de sus extremos. Entre los valores comerciales de apertura numérica se considera que van de 0.1 a 0.6. Para las fibras de tipo monomodo, tenemos una apertura numérica de 0.11; mientras que para la fibra multimodo se considera de 0.2.

Por otro lado, cuando se habla de propagación de modos en la fibra, se deben considerar ciertos conceptos llevados a cabo dentro de la fibra. Se sabe que, para fibra multimodo el proceso de propagación se hace a través de múltiples reflexiones a través de la fibra como si fuera una guía de onda común utilizada en microondas. Para poder realizar lo anterior, se ha buscado que las pérdidas de energía a lo largo del enlace tengan el menor valor posible, conduciendo a la fabricación de fibras con coeficientes de refracción específicos para la disminución de las pérdidas.

- *Ángulo crítico*: básicamente es el ángulo en el que se posiciona la fuente y que puede generar múltiples reflexiones en los modos sin presentarse atenuación, por lo cual está delimitado a calcularse en la ecuación de la Ley de Snell. Considerando claro para el ángulo de refracción un valor de 90° , el cual mostrará la inclinación bajo la cual se debe de colocar la fuente para tener el fenómeno de reflexión total interna.
- *Reflexión total interna*: cuando la luz incide sobre un medio de menor índice de refracción, el rayo se desvía de la normal, de tal manera que el ángulo de salida es mayor que el ángulo incidente. El ángulo de salida alcanzará los 90° , para algún ángulo de incidencia crítico, y para todos los ángulos de incidencia mayor que éste ángulo crítico, la reflexión interna será total (ver Figura 5) [5].

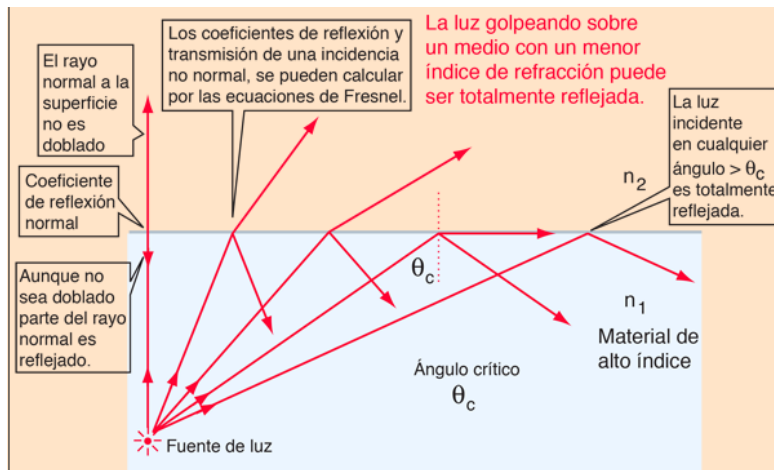


Figura 5. Reflexión Total Interna.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/totint.html>

- *Frecuencia normalizada:* está relacionado con la condición de corte de la fibra y define cuantos modos diferentes puede haber en la fibra simultáneamente a una determinada frecuencia. Este es un parámetro que se incluye con el fin de generalizar y poder comparar los fenómenos de propagación en las fibras que tienen radios de núcleo diferentes e índices de núcleo y recubrimiento diferentes. Se expresa matemáticamente en la siguiente forma:

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

Ecuación 4. Frecuencia normalizada.

donde:

V: frecuencia normalizada.

λ : longitud de onda.

n_1 : Coeficiente de refracción en el medio 1.

n_2 : Coeficiente de refracción en el medio 2.

Dentro de esta ecuación hay un régimen, el cual viene delimitado de la siguiente manera:

- Para $V \leq 2.405$ se considera que sólo hay un solo modo de propagación, el cual es cualidad de las fibras SMF.
- Para $V > 2.405$ se considera que se propagan más de dos modos. El cual es cualidad de las fibras de tipo multimodo MMF.

Atendiendo a lo anterior, y con los conceptos ya planteados, se visualiza la forma en la que se propagan los modos a través de la fibra, mostrando así los diferentes tipos de fibra para optimizar el transporte de estos modos, que a su vez llevan información. Se observa la Figura 6, donde los modos que se propagan dentro de la fibra dependen de su frecuencia normalizada y constante de propagación normalizada, y las variables independientes entran a ser la longitud de onda y coeficientes de refracción.

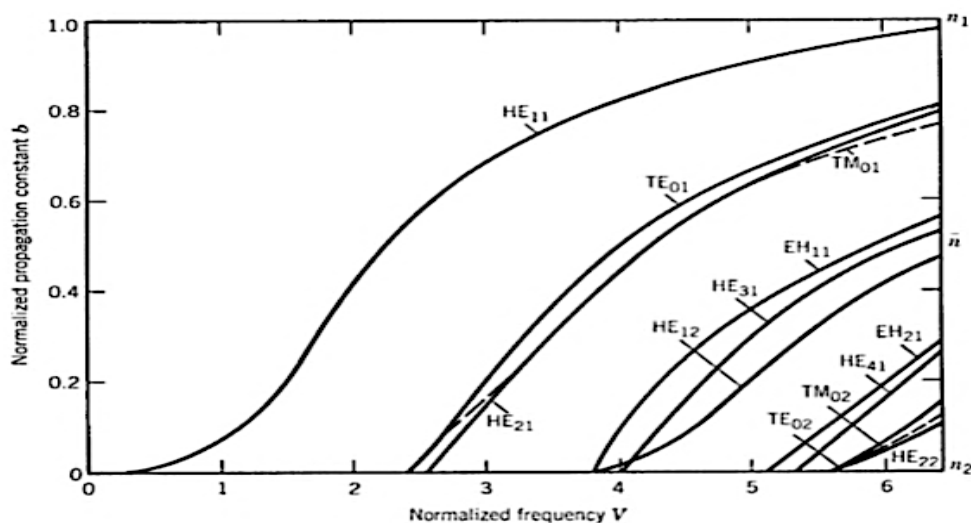


Figura 6. Modos de propagación en la fibra óptica a través de su frecuencia normalizada.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: "Fiber-Optic Communication Systems by Govind P. Agrawal"

Como todos los fenómenos electromagnéticos, la propagación de los campos ópticos obedece a las Ecuaciones de Maxwell. En un medio sin cargas libres, las ecuaciones pueden tomar la siguiente forma:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot D = 0$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

Figura 7. Ecuaciones de Maxwell para un medio no conductor y sin cargas libres.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: "Fiber-Optic Communications Systems", Third edition, 2002 John Wiley & Sons Inc. By Govind P. Agrawal.

Si se hace un énfasis detallado de cada una de ellas, se tiene lo siguiente:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Ecuación 5. Rotacional del campo eléctrico.

donde:

∇ : Operador Nabbla.

E: Vector de Campo eléctrico.

∂ : Símbolo de derivada parcial.

B: Vector de flujo de campo magnético.

t: tiempo.

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t}$$

Ecuación 6. Rotacional del campo magnético.

donde:

∇ : Operador Nabbla.

H: Vector de Campo magnético.

∂ : Símbolo de derivada parcial.

D: Vector de flujo de campo eléctrico.

t: tiempo

$$\nabla \cdot D = 0$$

Ecuación 7. Gradiente del flujo de campo eléctrico.

donde:

∇ : Operador Nabbla.

D: Vector de flujo de campo eléctrico.

$$\nabla * B = 0$$

Ecuación 8. Gradiente del flujo de campo magnético.

donde:

∇ : Operador Nabbla.

B: Vector de flujo de campo magnético.

Hay que considerar que E y H son los vectores de los campos eléctrico y magnético, D y B corresponden a sus densidades de flujo, las cuales son relacionadas con los vectores de campo magnético y eléctrico. Se expresan mediante las relaciones constitutivas, dadas por:

$$|D| = \epsilon_0 E + P$$

$$B = \mu_0 H + P$$

Figura 8. Relaciones constitutivas.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: "Fiber-Optic Communications Systems", Third edition, 2002 John Wiley & Sons Inc. By Govind P. Agrawal.

Ampliando:

$$|D| = \epsilon_0 E + P$$

Ecuación 9. Densidad de flujo de campo eléctrico.

donde:

D: Vector de flujo de campo eléctrico.

ϵ_0 : Permitividad eléctrica del vacío ($8.854 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$)

E: Vector de campo eléctrico

P: polarización inducida eléctrica.

$$B = \mu_0 H + P$$

Ecuación 10. Densidad de flujo de campo magnético.

donde:

B: Vector de flujo de campo magnético.

μ_0 : Permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$).

H: Vector de campo magnético.

M: Polarización inducida magnética.

Donde ϵ_0 es la permitividad del vacío, μ_0 permeabilidad del vacío, P y M son las polarizaciones eléctrica y magnética inducidas. Para las fibras ópticas el parámetro $M = 0$ ya que no se presenta la naturaleza magnética en el vidrio de silicio. El concepto de modo es un concepto general, utilizado en el área de microondas para transmisión a través de guías de onda (rectangular, circular, etc.), teniendo el mismo significado en la óptica. Un modo óptico se refiere a una solución específica de la ecuación de onda que satisface las condiciones de frontera apropiadas para una distribución espacial que no cambia con la propagación. Los modos en una fibra resultan ser complejos, ahora bien, se tiene la certeza que las fibras usadas para comunicaciones

ópticas satisfacen la condición de guiado débil, el cual implica que los ángulos de aceptación máximo de entrada α_{0m} sean pequeños y por lo tanto los rayos en el interior de la fibra tendrán un ángulo pequeño respecto al eje de la fibra. Esto hace que haya modos que tengan constantes de propagación tan próximas que podamos considerarlos casi iguales, en lenguaje técnico se habla de modos degenerados. La superposición de modos degenerados corresponde con modos linealmente polarizados *LP* (*Linear Polarization*). En la tabla 2 se muestra esta correspondencia para cada modo LP [6].

Linealmente polarizados	Exactos
LP_{01}	HE_{11}
LP_{11}	$HE_{21}, TE_{01}, TM_{01}$
LP_{21}	HE_{31}, EH_{11}
LP_{02}	HE_{12}
LP_{31}	HE_{41}, EH_{21}
LP_{12}	$HE_{22}, TE_{02}, TM_{02}$
LP_{lm}	$HE_{2m}, TE_{0m}, TM_{0m}$
$LP_{lm} (l \neq 0 \text{ o } 1)$	$HE_{l+1,m}, EH_{l-1,m}$ Linealmente polarizados

Tabla 2. Correspondencia entre los modos linealmente polarizados y los modos que los forman.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/fibras.pdf

Para una comprensión más específica, se puede ver en la figura 9 los tipos de modos LP azimutales y radiales que se presentan en las fibras, tanto en su simulación vectorial, como en la aplicación real de un haz de luz incidido en una fibra.

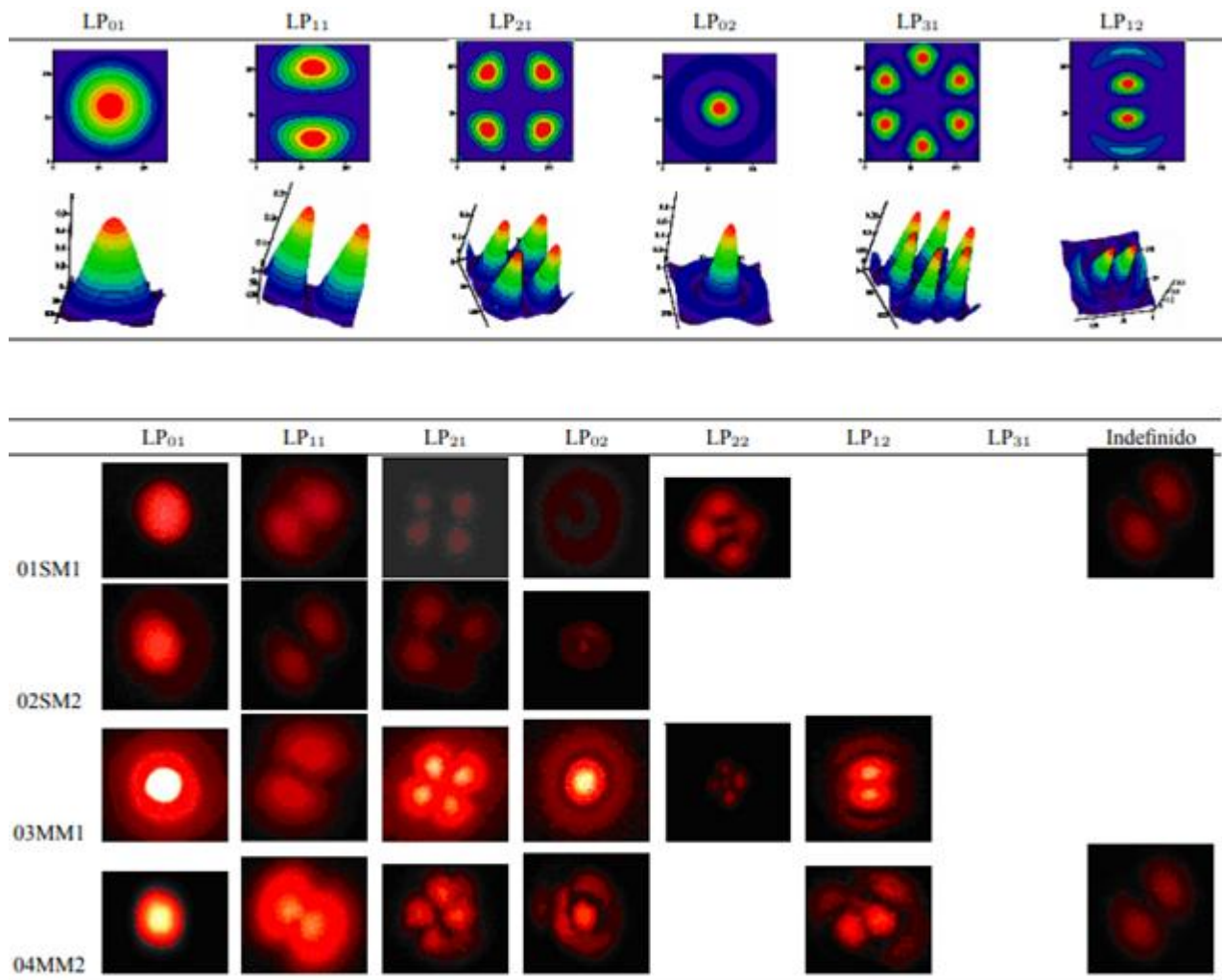


Figura 9. Modos linealmente polarizados azimutales y radiales.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://www.scielo.org.mx>

Cuando la luz ha sido introducida en la fibra, la energía transmitida pertenecerá a alguno de los modos guiados, aunque en un principio no se sabe, la configuración inicial de modos cambia por el acoplamiento. Considerando la propagación de los modos vistos, se concluye que están bajo la teoría de un funcionamiento ideal de la fibra para el primer apartado de la figura 9, donde está su representación vectorial. Comparado con el segundo apartado, donde la fibra muestra de manera real los modos propagados teniendo perturbaciones externas como las irregularidades de la fibra [2]:

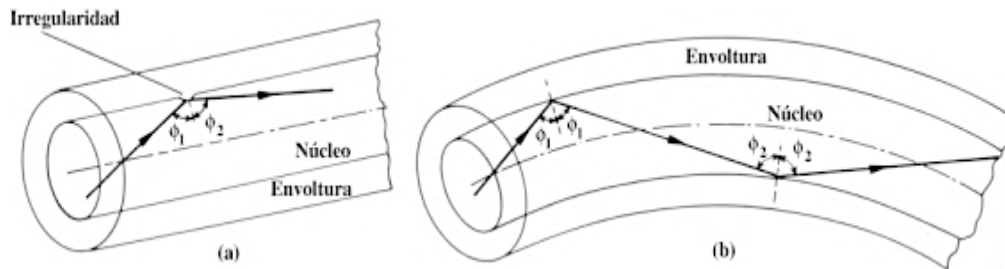


Figura 10. Dos posibles no-linealidades de la fibra que dan lugar a acoplamiento entre modos (a) Irregularidad en la intercara entre núcleo y recubrimiento; (b) Curvatura en la fibra.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/fibras.pdf

Como se mencionó en el apartado anterior, la propagación de los modos también depende del tipo de fibra que estemos usando, para lo cual los modos se comportan respecto a sus índices de refracción y a la longitud de onda bajo la cual se propaga la luz. Entre las dos clasificaciones importantes tenemos el caso para:

- *Fibra óptica con perfil de índice escalonado:* en este tipo de fibras el número de modos permitidos es dependiente de algunos parámetros físicos (índices de refracción y el diámetro del núcleo) así como la longitud de la onda transmitida. Se puede ver en la figura 11 cómo es que se manifiesta en fibras multimodo y monomodo [2].

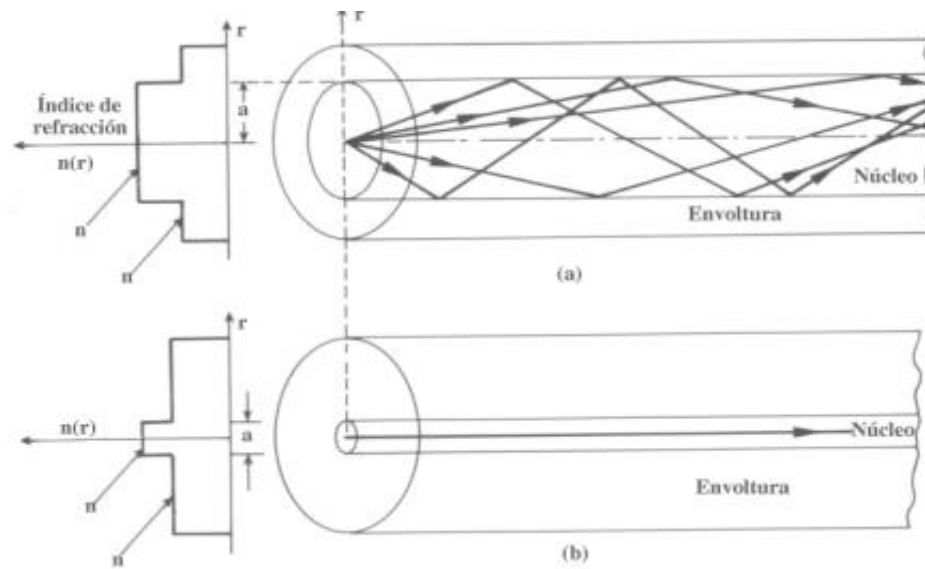


Figura 11. Perfiles de índice escalonado para fibras multimodo y monomodo.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_1/download/Com_Opt_1/Temario/fibras.pdf

- *Fibra óptica con perfil de índice gradual:* este tipo de fibras no tienen un índice de refracción en el núcleo constante, sino que se presenta más denso cercano al núcleo y menos denso conforme se acerca al recubrimiento. Esto ayuda a que la dispersión intermodal por la llegada en diferentes tiempos de los modos al final de la fibra se vea compensada y se presente un valor de dispersión para este caso muy bajo. Como se muestra en la figura 12, se pueden propagar los modos como si formaran una sinusoidal, sin tocar el recubrimiento evitando así los retrasos presentados en los modos. Cabe mencionar que este tipo de fibras se presenta mayormente en las fibras de tipo multimodo [2].

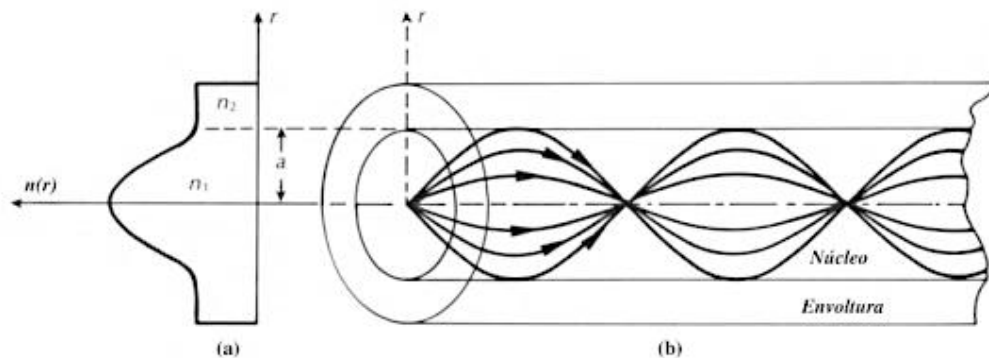


Figura 12. Fibra óptica de tipo multimodo con perfil de índice gradual.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/fibras.pdf

1.1.3. Atenuación y Dispersión de la Fibra Óptica.

Anteriormente ya se había hablado de los fenómenos que se presentan en la fibra y sus afectaciones para realizar un enlace. Entre los cuales están estos dos parámetros, ya que si no estuvieran presentes (y siendo intrínsecos), los enlaces de fibra podrían realizarse a lo largo de cientos de kilómetros e inclusive miles.

La atenuación en la fibra óptica significa la pérdida de potencia de la señal óptica debido a un fenómeno de propagación, en proporción inversa a la longitud de fibra. La unidad utilizada para medir la atenuación en una fibra óptica es el *decibel (dB)*. La atenuación de la fibra se expresa en *dB/Km*. Este valor significa la pérdida de luz en un kilómetro.

Los factores que influyen en la atenuación se pueden agrupar de forma general como sigue:

Factores propios

De los cuales se destacan dos en forma general:

- Las pérdidas por absorción del material de la fibra, presentadas como impurezas tales como iones metálicos. Su principal cualidad se debe a su absorción de luz, la cual a su vez convierten en calor. Un ejemplo de material con el que se fabrica la fibra óptica y presenta este tipo de pérdidas sería el vidrio ultra puro, el cual es aproximadamente 99.9999% puro. Aun así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000 *dB/Km* son típicas.
- Las pérdidas por dispersión (esparcimiento) se manifiestan como reflexiones del material, debido a las irregularidades microscópicas ocasionadas durante el proceso de fabricación. Por lo que cuando un rayo de luz se está propagando y choca contra estas impurezas se dispersa y/o se refleja [7].

Dentro de estas pérdidas tenemos a su vez:

- Pérdidas por difusión debido a fluctuaciones térmicas del índice de refracción.
- Imperfecciones de la fibra, particularmente en la unión núcleo-revestimiento, variaciones geométricas del núcleo en el diámetro.
- Impurezas y burbujas en el núcleo.
- Impurezas de materiales fluorescentes.
- Pérdidas de radiación debido a micro curvaturas, cambios repetitivos en el radio de curvatura del eje de la fibra [7].

Factores externos

El principal factor que afecta son las deformaciones mecánicas. Dentro de estas las más importantes son las curvaturas. Esto conduce a la pérdida de luz dado que algunos rayos no sufren la reflexión total y se escapan del núcleo. Las curvas a las que son sometidas las fibras ópticas se pueden clasificar en macro curvaturas (radio del orden de 1 centímetro o mayores) y micro curvaturas (el eje de la fibra se desplaza unas decenas de micra sobre una longitud de unos pocos milímetros).

Para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra óptica a lo largo de toda su longitud se utiliza un reflectómetro óptico en el dominio en tiempo (*OTDR*). El *OTDR* dibuja esta característica en su pantalla de forma gráfica, mostrando las distancias sobre el eje X y la atenuación sobre el eje Y. A través de esta pantalla se puede determinar información tal como la atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de las anomalías [7].

Este es un método disponible para determinar la localización exacta de las roturas de la fibra óptica en una instalación de cable óptico ya instalado y cuyo recubrimiento externo no presenta anomalías visibles. Es el mejor método para localizar pérdidas motivadas por empalmes individuales, por conectores, o por cualquier anomalía en puntos concretos de la instalación de un sistema. Permite determinar si un empalme está dentro de las especificaciones o si se requiere rehacerla. La forma general de explicar su funcionamiento es que el *OTDR* envía un corto impulso de luz a través de la fibra y mide el tiempo requerido para que los impulsos reflejados retornen de nuevo al *OTDR* [7].

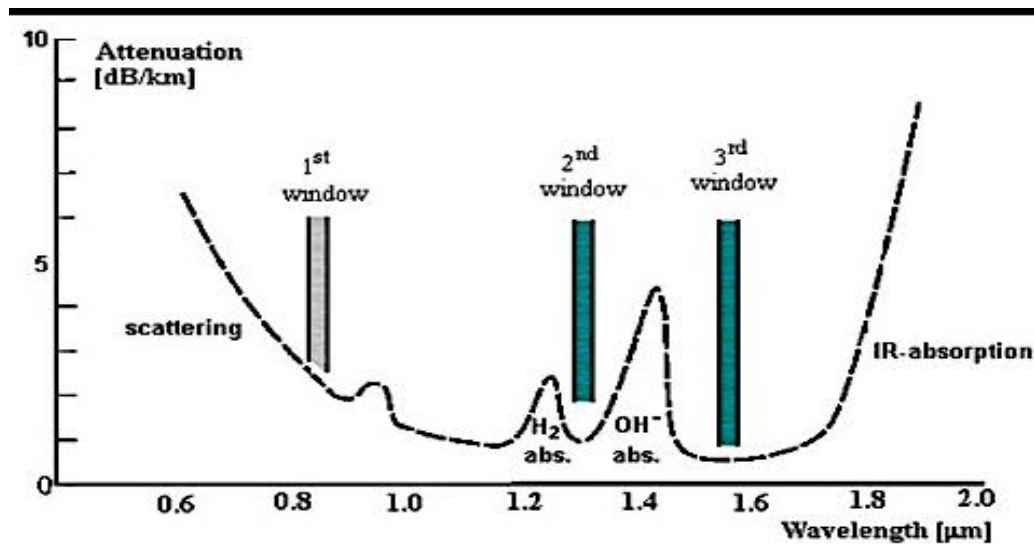


Figura 13. Atenuación en la fibra óptica.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://plantaexternatelefonica.blogspot.com/2013/06/transmision-de-senales-por-medio-de-luz.html>

La Figura 13, muestra los puntos en los cuales se presenta la atenuación. En el eje de las abscisas se encuentra la longitud de onda en la que se está operando; muestra inclusive las 3 ventanas (850 nm., 1310 nm. y 1550 nm.), expresadas como longitud de onda, las cuales son los valores en los que la longitud de onda transmitida en la fibra presenta menor atenuación que en otros lugares donde la longitud de onda es menor o mayor. Por ello es de suma importancia tener esta gráfica destacando estos puntos como referencia al momento de realizar un enlace. Por otro lado, los dos factores que se presentan como atenuación son principalmente la absorción y la dispersión. Este último punto de la dispersión es un tema que debe tomarse muy en cuenta al momento de hacer un análisis más específico de los enlaces. Por ello es que se encuentra también una subclasificación la cual ayudará a entender a fondo este fenómeno [2].

La dispersión es un fenómeno presentado en los enlaces de fibra óptica, que al igual que la atenuación, son causantes de que la información transmitida a través de la fibra se degrade, ocasionando ensanchamientos en los pulsos recibidos.

Se puede presentar por diferentes causas, entre las cuales encontramos:

Dispersión óptica

Ocurre debido a que la velocidad de la luz a través de la fibra depende de su longitud de onda y del modo de propagación. Las diferencias en la velocidad son pequeñas, pero de manera similar a la atenuación, ésta aumenta con la longitud del enlace.

Dispersión intermodal

La dispersión modal es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra, es decir, que unos modos llegan antes que otros, lo que ocasiona a su vez un ensanchamiento en el pulso. La dispersión modal puede ocurrir sólo en las fibras multimodo debido al número de modos que puede transmitir. Esto se puede reducir considerablemente usando las fibras de índice gradual, sus características de este tipo de fibras se mostraron en la sección 1.1.2. La dispersión intermodal puede causar que un pulso de energía de luz se disperse conforme se propaga por una fibra. Si el pulso que está esparciéndose es lo suficientemente ancho o esparcido, puede sobreponerse en el próximo pulso, lo daría ISI (Interferencia Inter Símbolo), teniendo una afectación al momento de querer descifrar la información transmitida [2].

Dispersión intramodal o cromática

Todos los transmisores que trabajan con LD (diodos láser) o LED (light emitting diode) producen un rango de longitudes de onda (las cuales conforman en sí el haz de luz), en lugar de una sola longitud de onda. Como la fibra tiene diferentes índices refractivos para diferentes longitudes de onda, cada una de ellas viaja a diferente velocidad. Esto da como resultado que algunas longitudes de onda lleguen antes que otras. Se compensa mediante el uso de una DCF (dispersion compensating fiber). Esto nos ayudaría a reducir la dispersión cromática a lo largo del trayecto,

colocándose en un tramo final del enlace, es decir, que se colocaría antes de pasar por un amplificador o regenerador de señal [2].

Dispersión por el Modo de Polarización (PMD: Polarization Mode Dispersion)

Otro tipo de Dispersión es del modo de Polarización PMD, la cual depende de la polarización de las componentes en las que se propaga la luz. Las componentes de la luz representados por E (campo eléctrico) y H (campo magnético) en una fibra típica viajan en dos componentes de polarización perpendiculares. La causa de este tipo de dispersión es debido a que la componente en el eje X es arbitrariamente etiquetado con una componente lenta, mientras que en el eje Y es etiquetado como la componente rápida. La diferencia en los tiempos de llegada en las componentes de dispersión por polarización (*PMD*), son típicamente medida en picosegundos. Debe de compensarse este tipo de dispersión ya que puede presentarse *BER (Bit Error Rate)* en los sistemas digitales [2].

De manera similar a la atenuación, la dispersión puede limitar la distancia a la que una señal puede llegar a través de una fibra óptica. La dispersión no debilita la señal, sino que la vuelve borrosa. Si se envía una señal cada ns (nanosegundo) y si el pulso se dispersa a 10 ns al final de la fibra, las señales se solaparan. La señal estará presente, pero estará tan distorsionada que no será posible recuperarla [2].

De una manera simple, la dispersión mide el ensanchamiento del pulso por unidad de distancia en nanosegundo o picosegundo por kilómetro. Tanto la dispersión cromática como *PMD* dependen del rango de longitudes de onda en la señal. Se miden apropiadamente en unidades de picosegundos por kilómetro (de longitud de fibra) por nanómetro (de ancho espectral de la fuente de luz) [2].

Esto significa que la dispersión cromática es una característica de la fuente de luz usada. La dispersión intermodal ocurre porque diferentes modos siguen diferentes caminos en una fibra multimodo. En la fibra multimodo, la dispersión intermodal normalmente es mayor que la dispersión cromática, pero se tiene que considerar las dos juntas. La dispersión PMD también es un efecto que debe considerarse, aunque puede ser solo observable en las fibras monomodo. En el análisis más detallado debe de considerarse una dispersión total, que nos permita observar los puntos en los cuales se debe compensar para reducir al mínimo si es posible este parámetro. La ecuación que describe este proceso es la siguiente (ver Ecuación 11) [2]:

$$\Delta t_{total} = \sqrt{t_{intermodal}^2 + t_{intramodal\ o\ cromática}^2 + t_{PMD}^2}$$

Ecuación 11. Formula de dispersión total en la fibra óptica.

donde:

Δt_{total} : Dispersión total en la fibra óptica.

$t_{intermodal}^2$: Dispersión ocasionada por los múltiples modos a través de la fibra, se presenta en MMF.

$t_{intramodal\ o\ cromática}^2$: Dispersión debida a la fuente de luz, misma que está compuesta por varias longitudes de onda.

t_{PMD}^2 : Dispersión ocasionada por los modos de polarización, es decir las componentes de E y H que llegan primero al final de la fibra.

En la práctica, la dispersión por el modo de polarización es un asunto de los sistemas de alta velocidad, donde la dispersión cromática se reduce por el uso de fuentes de bajo ancho espectral y cables de baja dispersión. La dispersión de polarización depende del acoplamiento entre los

modos de polarización, así como de la longitud total de la fibra por lo que se expresa en unidades de *picosegundos/√Km*. (Ver Figura 14).

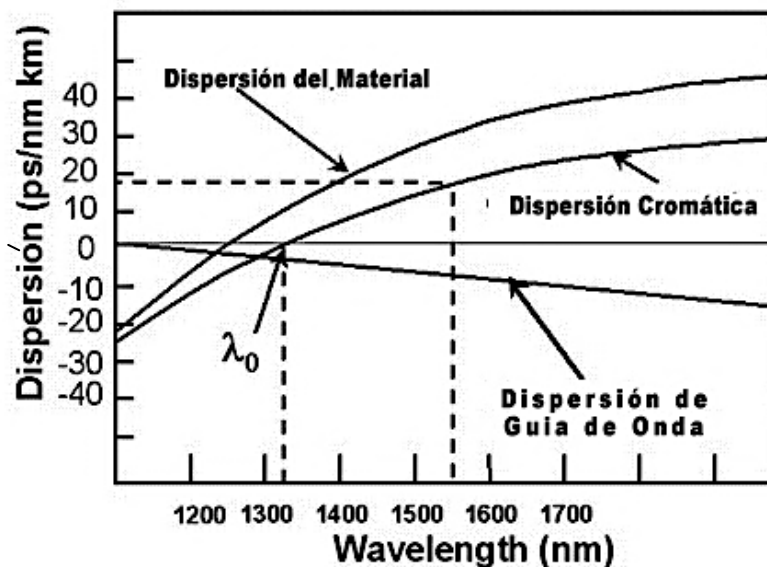


Figura 14. Dispersión en la fibra óptica.

Fuente: Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://lafibraoptica peru.com/la-dispersion-cromatica-en-la-fibra-optica/>

1.1.4. Dispositivos Ópticos y su Aplicación a los Sistemas de Comunicación Óptica.

A grandes rasgos ya se conocen las características de la fibra óptica, que nos hacen optar por ella al momento de implementar un enlace de larga distancia, teniendo una transmisión de datos veloz, y sobre todo teniendo pérdidas en el enlace reducidas. Pero cómo es que la fibra puede aplicarse a un sistema de comunicaciones donde se envíe y reciba información de modo que el usuario pueda traducirla a los formatos en los que actualmente se acostumbra, como lo puede ser audio, imágenes o simplemente texto. Para ello es que se utilizan los dispositivos ópticos, los cuales van a tener la facultad de compensar aquellos desperfectos que se puedan presentar en el enlace debido a las propiedades físicas de la fibra, las cuales pueden ir desde transmitir, recibir, amplificar, filtrar, compensar, repetir, modular, entre otras funcionalidades, los datos que se

mandan a través de este medio. En la siguiente sección, se muestran los dispositivos ópticos de mayor importancia, así como los de aplicaciones específicas para un sistema de comunicaciones ópticas.

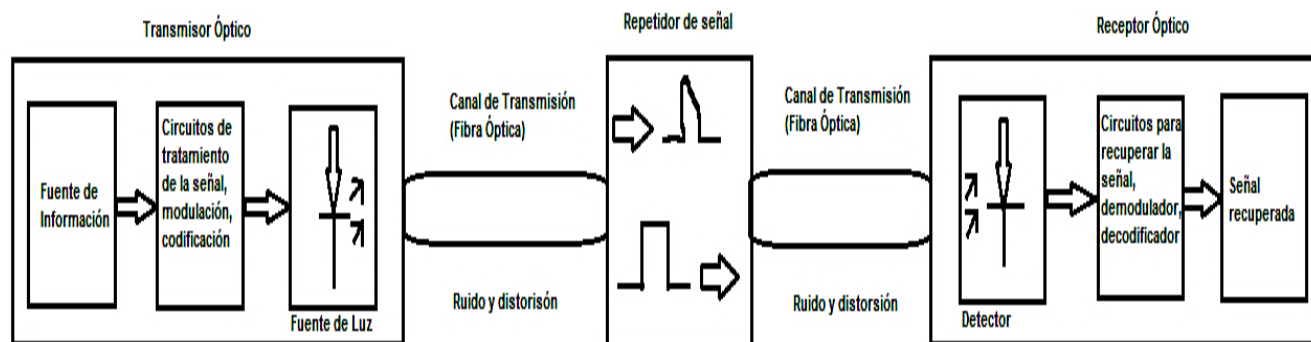


Figura 15. Sistema de comunicaciones ópticas.

Fuente: Adaptado el 17 de octubre de 2018 de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22787/capitulo2.pdf>

Como se observa en la Figura 15, pareciera no tener mayor complejidad el sistema, sin olvidar que cada uno de éstos bloques tiene sus modos de operación, mismos que obedecen a recomendaciones internacionales proporcionadas por la UIT, y no solo eso, sino que deben estar evaluados, acreditados y normalizados como estándar internacional para no afectar al usuario por la tecnología que se está ocupando y que se tenga certeza de la funcionalidad del enlace. Regresando al tema, es importante recalcar que no se tiene mayor visibilidad en los bloques, los cuales básicamente están constituidos por un transmisor óptico (T_x), un receptor óptico (R_x) y un canal, el cual es el cable de fibra misma. Sin embargo, si se hace énfasis en cada uno de estos bloques se tendrían en composición subestaciones encargadas de realizar las funciones de modulación, filtrado, codificación, compensación, amplificación, demodulación, conversión, entre otras funciones que no sólo involucran a la óptica como tal, sino que también a la electrónica. De hecho, se debe de considerar que la electrónica para un sistema de comunicaciones ópticas va implícita, desde la alimentación que se debe tener para poder operar las fuentes de luz, los detectores, amplificadores, filtros, ente otros. Estos a su vez están

compuestos por circuitos integrados que componen un bloque alimentado por corriente. Por ende, se muestran a grandes rasgos los dispositivos que componen al sistema y sus características principales.

Para ello debe de hacerse una subclasificación de los sistemas que se pueden operar, para el caso de un enlace de comunicación y sobre todo hacer una comparativa de los apartados que incluye.

- *Sistema de comunicaciones ópticas analógico:* su cualidad principal es que la señal de entrada es una función continua del tiempo y puede ser generalmente de audio, video o variaciones continuas de algún proceso físico (presión, temperatura, entre otros). Para el caso de las señales de audio o video, generalmente modulan una portadora de *RF* en *amplitud (AM)*, *frecuencia (FM)* o *fase (PM)*. Las señales modulan la intensidad luminosa de la fuente, ya sea teniendo ligeras variaciones en la corriente que las alimenta o inclusive usando un modulador externo. Es similar al sistema de comunicaciones que se tiene en *RF*, utiliza un receptor (en este caso detector), un filtro que solo ocupa las frecuencias útiles de la señal. (Ver figura 16).

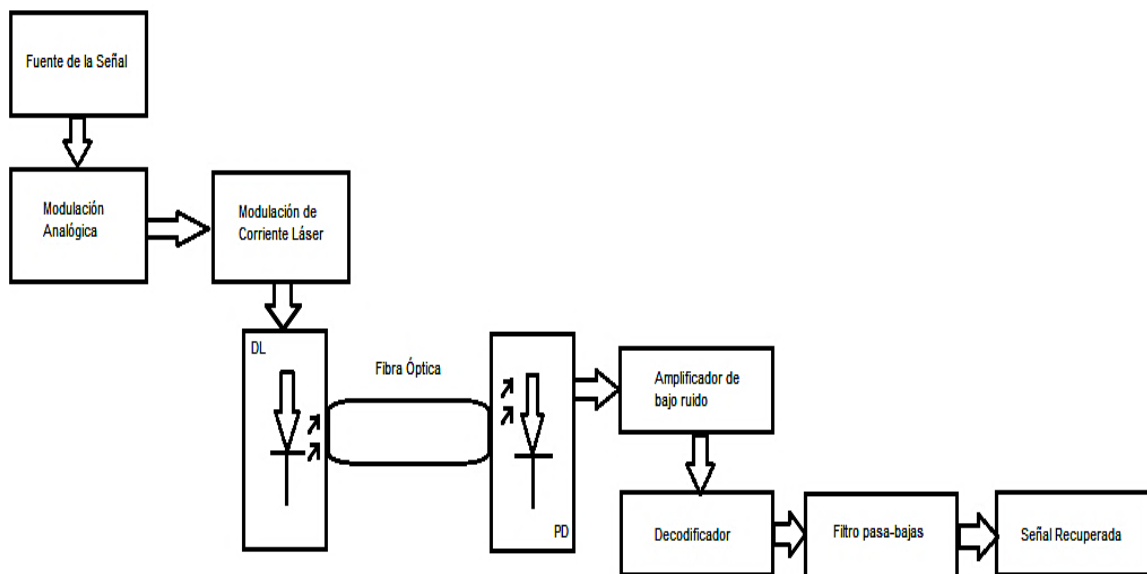


Figura 16. Sistema de comunicaciones ópticas analógicas.

Fuente: Adaptado el 11 de octubre de 2018 de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22787>

Entre las ventajas que destacan de este tipo de sistemas es que ocupan un ancho de banda reducido, son accesibles por un bajo costo para los enlaces cortos, aunque por sus características también son susceptibles a la distorsión y al ruido. Entre otros factores que la afectan, por ejemplo, la dispersión generada en la fibra ocasionando una limitación en el ancho de banda que se ve reflejada en la alta atenuación de las frecuencias altas. Esto ocasiona mucha distorsión. Un sistema de este tipo debe diseñarse de manera que tenga la mejor relación señal a ruido, deben de tener además alta linealidad, tanto la fuente luminosa como el detector a fin de poder usarse factores altos de modulación. Actualmente se ha incluido como sustituto del cable de cobre a la fibra, dando como resultado una menor atenuación y reduciendo así el número de repetidores en la trayectoria del enlace.

- *Sistema de comunicaciones ópticas digital*: este tipo de sistemas, como se ve en la figura 17, debe estar constituido por una fuente que emita un tipo de codificación por pulso, ya sea *NRZ* ó *RZ*. Como es de mencionarse, se debe de llevar a cabo el proceso de muestreo, una cuantificación y codificación para el caso de las señales analógicas, aunque puede que ya estén discretizadas; la fuente emisora debe de llevar a cabo este proceso modulando la intensidad luminosa acorde a las variaciones de la señal [2].

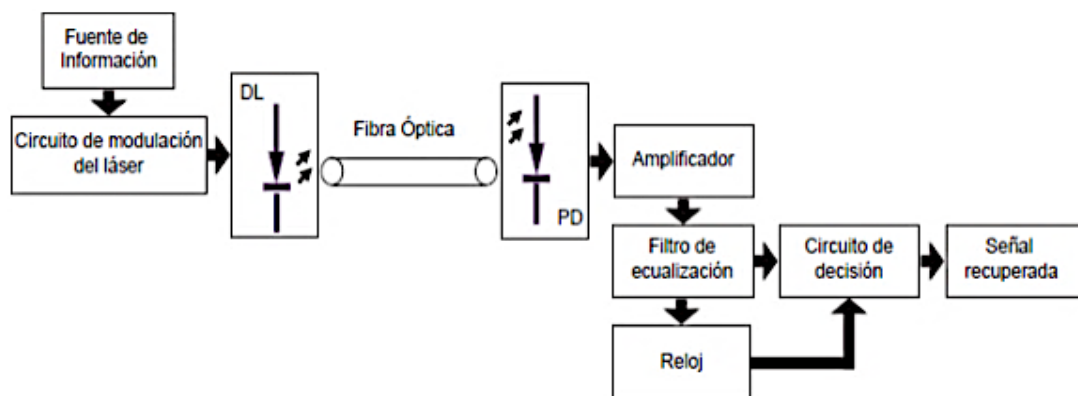


Figura 17. Sistema de comunicaciones ópticas digital.

Fuente: Recuperado el 11 de octubre de 2018 de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22787>

Para este caso, se deben detectar los pulsos mediante un filtro de ecualización y extraerlos mediante un reloj para determinar el nivel correspondiente a cada pulso. En general, se tienen más bloques en el sistema que ayudan precisamente a regenerar aún más la señal. La cualidad de los sistemas digitales es que tienen menor afectación por parte del ruido e interferencias, que de hecho ya para el caso de la fibra óptica, se tienen aún menores interferencias, al no presentarse perturbaciones electromagnéticas. Ofrecen una mejor calidad de transmisión [2].

Lo que se quiere mostrar en este apartado es también cada uno de los elementos que conforman a un sistema de comunicaciones ópticas básico, sin importar el tipo (analógico o digital), para ello se hace énfasis en aquellos elementos y sus funciones principales que hacen posible el enlace [2].

- *Transmisor óptico*: este elemento es de suma importancia en el sistema de comunicaciones ópticas, ya que es quien se encarga de enviar el haz de luz a través de la fibra óptica. Es en esencia una fuente de luz, en el cual para el caso particular, deriva en diodos *LED* o láser. Estos permiten transmitir pulsos digitales a altas tasas de transmisión. Hay que recordar que para llevar un proceso de transmisión de pulsos, debe de tomarse en cuenta la modulación de los pulsos, que típicamente es *NRZ* (No retorno a cero) y *RZ* (Retorno a cero). Estos términos se visualizan con mayor detalle en las materias correspondientes a métodos de codificación. Cabe mencionar que para que un transmisor óptico pueda emitir haces de luz, es preciso entender la forma en que los electrones del diodo compuesto de silicio interactúan en las bandas de valencia y conducción. Se muestra la ecuación que nos define la energía de un fotón, la cual está representada por la ecuación 12 [2].

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Ecuación 12. Energía de un fotón.

donde:

h es la constante de plank ($4.135667 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$)

ν es la frecuencia del fotón

λ es la longitud de onda

c : velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

Si se hace énfasis a la estructura de la fuente de luz, podemos observar que al ser semiconductores, tienen la característica principal de poseer dos bandas, una de valencia y otra de conducción. Al pasar el electrón de la banda de conducción a la banda de valencia, éste libera energía que puede convertirse en fotones. Para que éste proceso se complete exitosamente, se debe tener en cuenta una transición directa, es decir, que el electrón no cambie el momento, ya que al hacerlo se convierte en una transición indirecta y la energía en consecuencia se libera en forma de calor. Cuando se libera un fotón, este proceso puede hacerse de dos maneras: emisión espontánea o estimulada. En la emisión espontánea no existe ningún medio externo que induzca al electrón pasar de la banda de conducción a la banda de valencia. En la emisión estimulada, un fotón induce a que el electrón pase a su estado de reposo liberando un fotón. En la figura 18, se esquematiza el funcionamiento de este tipo de transmisores ópticos.

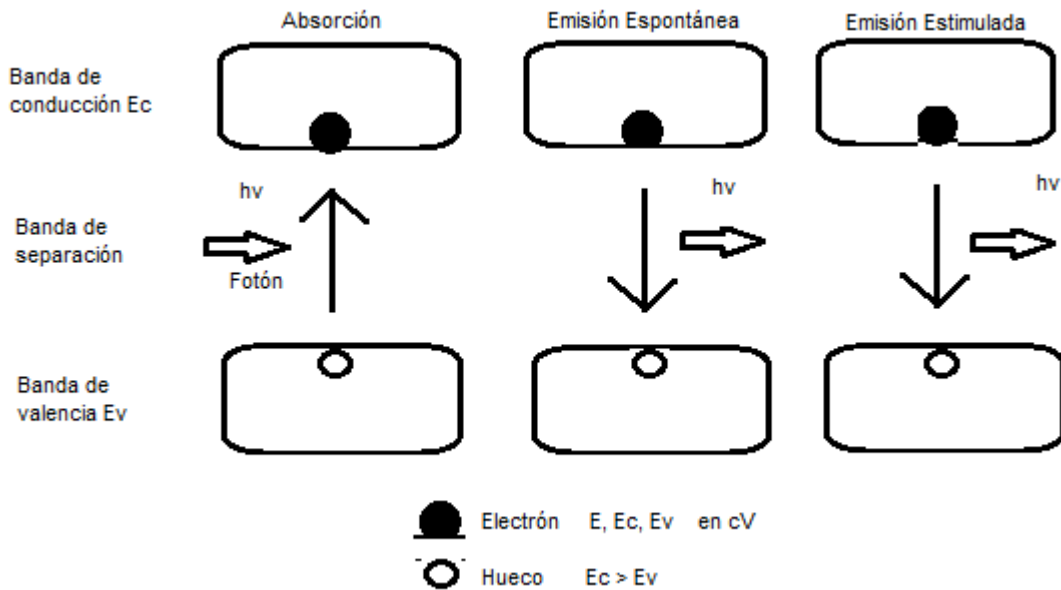


Figura 18. Bandas de valencia y conducción, representando la generación de fotones en el diodo.

Fuente: Adaptado el 20 de diciembre de 2018 de: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf

Este proceso se simplifica en la siguiente ecuación y como se referencia en [3]:

$$E = E_c - E_v$$

Ecuación 13. Energía de un fotón ecuación simplificada.

donde:

E es la energía de un fotón

Ec es la energía de un electrón, cuando este se encuentra en la banda de conducción.

Ev es la energía de un electrón, cuando este se encuentra en la banda de valencia.

Como se sabe, hay múltiples fuentes de transmisión con diferentes características cada una. Cabe mencionar que la manera en que se propaga la luz a través de estos elementos es dependiendo las características del sistema que se vaya a implementar, por lo que se recomienda indagar más a detalle sobre estos dispositivos. A continuación se muestran las características de dos dispositivos transmisores y las características que lo componen.

- *LED's:*
 - Altos valores de eficiencia cuántica interna (50% - 80%).
 - Su geometría y patrón de radiación es apto para el acoplamiento de luz a la fibra óptica, especialmente en los led's de emisión lateral.
 - Son de fácil fabricación.
 - Pueden ser modulados hasta 100 Mbps a 200 Mbps y en algunos casos hasta 1 Gbps o 2 Gbps.
 - Su costo es bajo.
 - Son fiables.
 - Sus circuitos son muy sencillos, es decir, utilizan niveles muy bajos de corriente.
 - La característica de potencia óptica contra la corriente eléctrica de entrada es bastante.
 - Lineal (adecuados para transmitir señales analógicas).
 - Los fotones son emitidos internamente en todas las direcciones [3].

En la figura 19 se observa a detalle la estructura del LED.

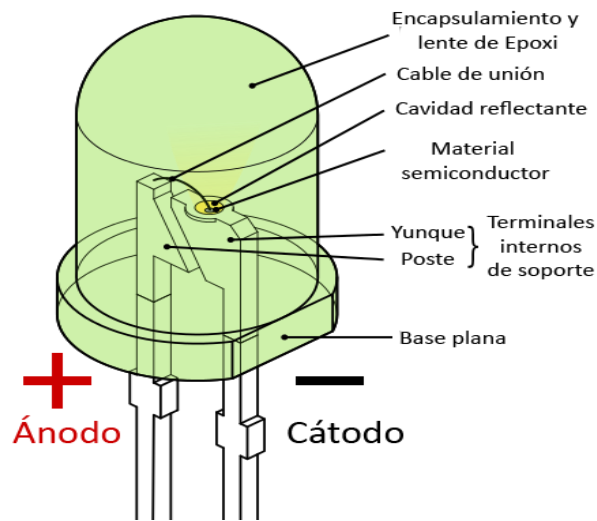


Figura 19. Representación de un led.

Fuente: Recuperado el 22 de enero de 2019 de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Led>

- **Diodo láser:**
 - Adecuados para la primera ventana 850 nm en longitud de onda.
 - Velocidades de hasta 200 Mbps.
 - Utilizable con fibras multimodo.
 - Eficiencia cuántica interna de hasta el 80%.
 - Geometría y patrón de radiación aptos para el acoplamiento con fibra (emisión lateral).
 - Generalmente de bajo costo.
 - Fiables y duraderos.
 - Electrónica de control sencilla.
 - Potencia de salida es muy similar a la potencia de entrada.
 - Adecuados para transmitir señales analógicas.
 - Debido al porcentaje de la potencia óptica interna no puede acoplarse a una fibra monomodo (Ver figura 20) [3].



Figura 20. Diodo láser.

Fuente: Recuperado el 22 de enero de 2019 de: https://www.ecured.cu/Diodo_l%C3%A1ser

Cabe mencionar que para que este tipo de sistemas puedan funcionar, el uso de la electrónica es un complemento, ya que los dispositivos que regulan el sistema de comunicaciones ópticas deben alimentarse mediante una corriente eléctrica. En la figura 21 se muestra un transmisor óptico de forma electrónica y/o su esquema para su implementación en los sistemas de comunicación óptica [3].

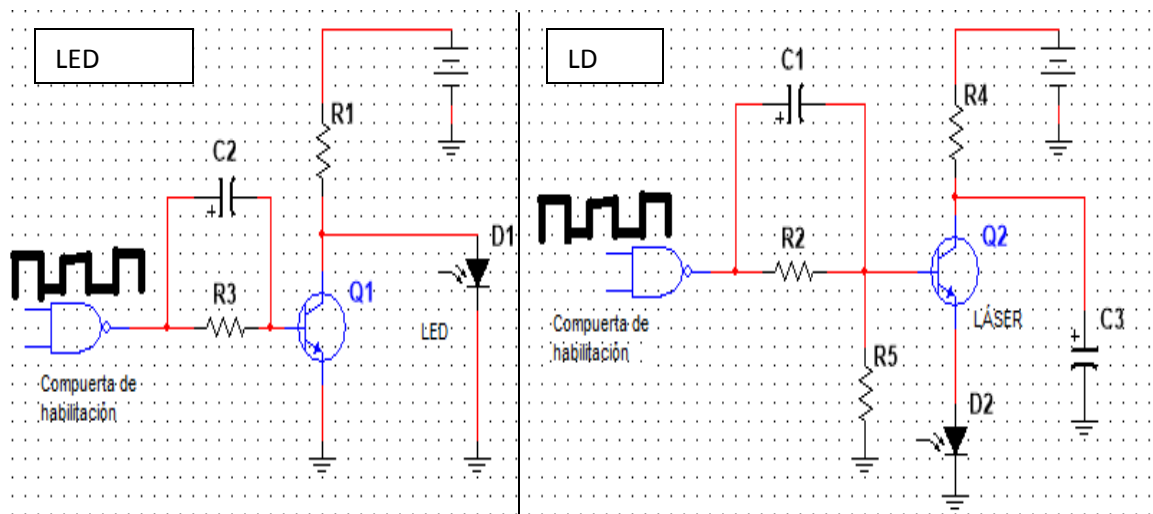


Figura 21. Transmisor óptico con led y diodo laser.

Fuente: Adaptado el 20 de diciembre de 2018 de: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf

A grandes rasgos, se alimenta al diodo con una corriente que fluye de forma directa, la cual está apoyada de un transistor npn. De esta forma, se envían pulsos de corriente, los cuales son convertidos en pulsos de luz, regulados por la corriente que fluye en el diodo.

- *Detector óptico*: los receptores, como los conocemos en los sistemas de comunicación son aquellos que toman las señales que provienen en el medio o canal y se transforman a un lenguaje que se pueda codificar y ser entendible para un fin en común. En el caso de los receptores ópticos, es convertir las señales ópticas a señales en forma eléctrica y recuperar la información transmitida a través de la fibra óptica. Esta cualidad está representada por el efecto fotoeléctrico, el cual en simplicidad y aproximándolo a una imagen clara representa la polarización de un diodo en inversa denominado fotodiodo, por el cual fluye una corriente de fuga mínima. Entonces al hacer incidir luz a través de ese fotodiodo, la corriente de fuga aumenta, misma que fluye también a través de una resistencia. Lo que sucede es que esta resistencia ocasiona una caída de voltaje dando como resultado un pulso de voltaje que podemos ya cuantificar en una codificación como NRZ o RZ. Éste detector está compuesto de un umbral de detección de potencia luminosa, mismo que viene en las hojas de especificaciones. Si no se cumple con la potencia mínima a detectar en el receptor, no se va a poder cuantificar la información transmitida. En la Figura 22, se esquematiza el funcionamiento del fotodiodo [3].

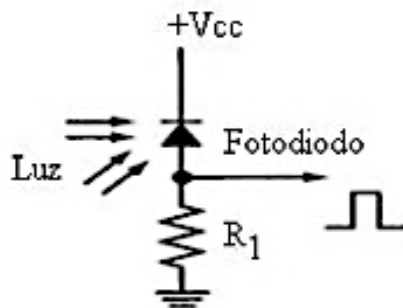


Figura 22. Representación del fotodiodo.

Fuente: Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf

En general un receptor óptico consta de un diodo *PIN* y un diodo *APD*. El diodo *PIN* tiene una capa de impureza añadida al fotodiodo entre las capas *P* y *N*, por lo cual su sensibilidad aumenta y su tiempo de respuesta disminuye. La luz penetra a la unión a través de la capa delgada *P*, generando un flujo de electrones proporcional que incrementa la corriente de fuga de manera significativa. Mientras que el diodo de avalancha es el más sensible, aunque caro y con un circuito complicado. Este, al igual que el fotodiodo se polariza en inversa, es decir, se aplica un voltaje en inversa alto, justo antes del punto de operación o umbral de avalancha. Cuando la luz incide en la unión, se produce la ruptura y fluye una corriente grande, debido al efecto avalancha (Ver figura 23) [3].

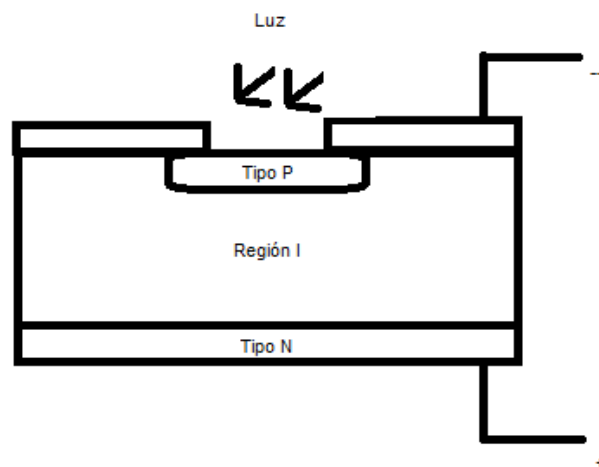


Figura 23. Diodo *PIN*.

Fuente: Adaptado el 20 de diciembre de 2018 de: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf

Aparte de tener un *PIN* y un *APD*, el receptor óptico también cuenta con circuitos de amplificación. El diodo convierte los pulsos de luz en corriente eléctrica, mismos que son amplificados. El comparador forma los pulsos y la compuerta de habilitación asegura los niveles de voltaje binarios correctos, obteniéndolos para asegurar tiempos de subida y de

caída muy rápidos, dando como resultado datos digitales originales. En la figura 24, se observa cómo se compone un receptor óptico [3].

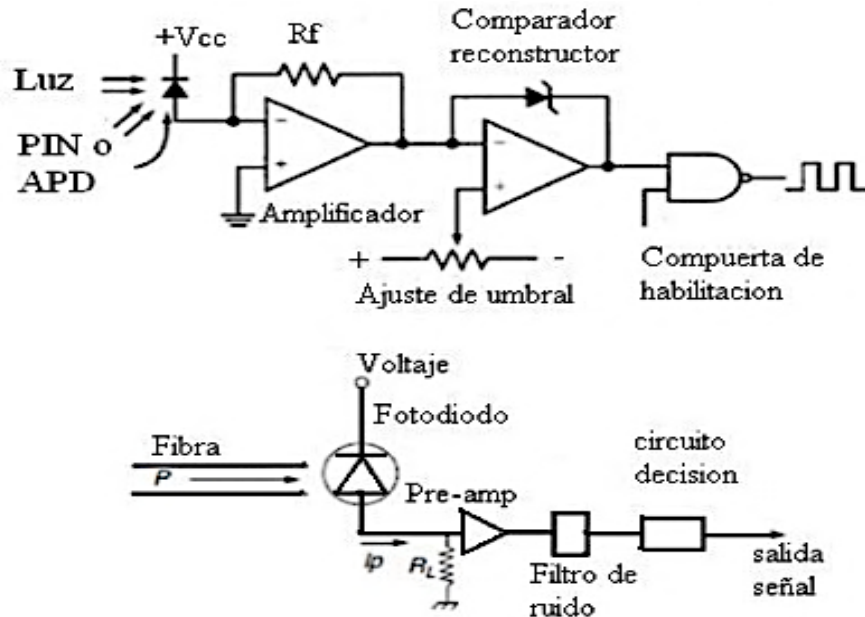


Figura 24. Receptor óptico con sus elementos.

Fuente: Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf

Los fotodiodos más utilizados se encuentran en el rango de los 1000 *nm.* y 1700 *nm.* Si se tiene una potencia aceptable en el receptor, el sistema funcionará en óptimas condiciones. De hecho, los detectores tienen un rango dinámico bien especificado denotando sus valores máximos y mínimos. Si la potencia supera el valor máximo, el receptor podría sufrir daños, y si es inferior al mínimo no es posible diferenciar los bits de entrada y aumenta la tasa de bits recibidos con errores *BER* (*Bit Error Rate*) [3].

- *Amplificador óptico*, el cual tiene como función principal aumentar una señal de luz recibida del medio por el cual se está propagando la información, por lo que resulta interesante mencionar un amplificador óptico cuando ya se cuenta con uno en el receptor. En el supuesto que dicho enlace sea de cientos de kilómetros y dependiendo el tipo de tecnología que se use para el enlace, ya sea fibra de tipo monomodo o multimodo, e inclusive el potencial en la fuente transmisora, debemos de considerar un bloque que tenga por objeto regenerar la señal, y poder mantenerla lo más limpia posible a través de todo el enlace. Para ello es que se utilizan los amplificadores ópticos. Estos operan haciendo uso de los fotones, por lo que ya no es necesario colocar amplificadores de tipo optoelectrónicos en las terminales de la fibra. Aparte de funcionar como amplificador, este tipo de dispositivos tienen la cualidad de poder ser usados en sistemas con multiplexación de longitud de onda, ya que al ser bidireccionales proporcionan una solución más simple al problema de atenuación, no tomando en cuenta el tipo de modulación y el ancho de banda. Entre los sistemas más utilizados para la amplificación óptica encontramos los basados en láseres de semiconductor, mismos que utilizan la generación estimulada por la luz que se desea amplificar y los basados en el mismo medio (fibra), utilizando la dispersión como método principal. En general se tienen diferentes tipos de amplificadores con características específicas, sin embargo se hace énfasis en los que describen a grandes rasgos el proceso de amplificación, así como su funcionamiento principal [8].
- *Amplificadores de fibra dopada con Erblio (EDFA)*: como su nombre lo indica, se tiene la fibra dopada de Erblio; en su caso particular se requiere de una potencia externa, proveniente de un láser y a una frecuencia sutilmente superior a la que se amplifica. Las longitudes de onda más comunes para este proceso van desde los 980 nm hasta los 1480 nm. Para explicar este proceso más a detalle, se agrega la Figura 25 [9].

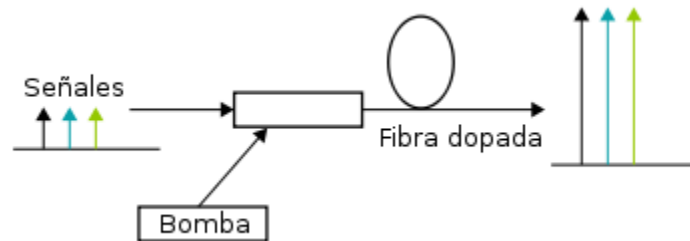


Figura 25. Funcionamiento del amplificador EDFA.

Fuente: Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de: <https://ingenieriaelectronica.org/amplificadores-opticos-soa-edfas-y-raman/>

- *Amplificador óptico de semiconductor (SOA):* este tipo de amplificadores poseen un diseño y estructura muy similar a los láseres Fabru-Perot (la cualidad principal de ellos es que poseen superficies antireflectantes en sus extremos, lo cual resulta beneficioso en el recubrimiento de este material, ya que evita que el amplificador se comporte como un láser), los cuales son dispositivos más baratos que el amplificador EDFA, el bombeo se hace de forma eléctrica y puede ser integrado con otros dispositivos (láseres, moduladores). Una variante de ellos es cuando se utilizan con estructura cónica para obtener alta potencia, donde el rango de longitudes de onda utilizables para este dispositivo va desde los 633 nm. hasta los 1480 nm. En la figura 26, podemos observar la estructura de este tipo de amplificadores [9].

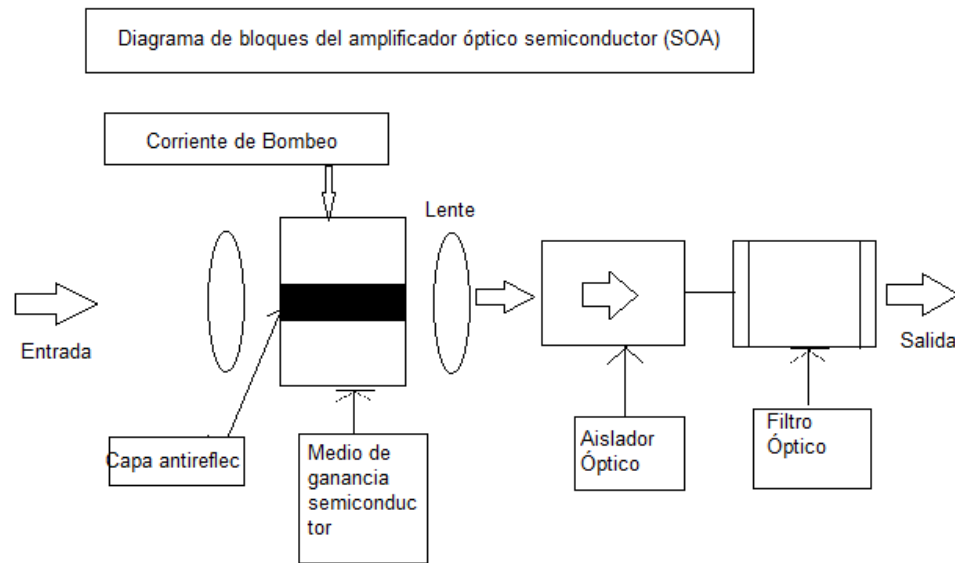


Figura 26. Amplificador óptico de semiconductor.

Fuente: Adaptado el 22 de diciembre de 2018 de: <https://ingenieriaelectronica.org/amplificadores-opticos-soa-edfa-y-raman/>

Aunque los amplificadores SOA tienen ciertas ventajas sobre los EDFA, son muy inestables linealmente al utilizar tasas de transmisión elevadas, que generan ruido y tienen una menor ganancia. Es por ello que se siguen utilizando con mayor frecuencia los amplificadores EDFA, pues representan un ícono de fiabilidad y estabilidad a la hora de implementar los enlaces. Sin embargo, los amplificadores SOA puede que tengan una ventaja de todo esto, ya que se pueden utilizar como conversores de longitud de onda y en la elaboración de compuertas lógicas [9].

- Amplificadores Raman: también se puede utilizar en conjunto con el amplificador EDFA para hacer el proceso aun más eficiente. Su proceso se rige en el efecto Raman, descrito como el funcionamiento en la interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo. La señal de bombeo se puede mandar de manera lineal o contradireccional,

siendo este último el más frecuente al evitar la amplificación de componentes no lineales. Generalmente se obtiene una ganancia de unos 100 nm por debajo de la longitud de onda de bombeo. La desventaja radica en que se tienen que utilizar potencia de bombeo muy altas, mismas que van de 1 W hasta 1.2 W, dejando un ruido muy bajo al combinarlos con los EDFA, este funcionamiento se muestra en la figura 27 [9].

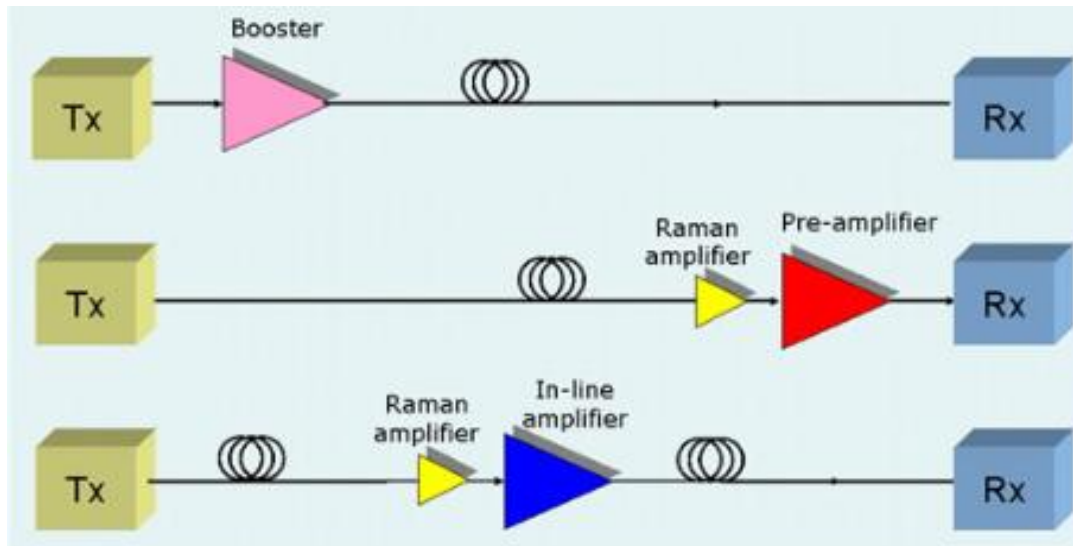


Figura 27. Ubicación del amplificador Raman en el Sistema de Comunicaciones Ópticas.

Fuente: Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de: <https://ingenieriaelectronica.org/amplificadores-opticos-soa-edfas-y-raman/>

- **Acopladores ópticos:** estos dispositivos son guías con una forma igual que los divisores de potencia con la salvedad que llevan acoplados unos dispositivos que pueden de forma externa modificar el índice de refracción de uno de los brazos forzando a que la luz sólo tome uno de los caminos. En la Figura 28, se aprecia la estructura del dispositivo. Hay dos electrodos metálicos que van a generar un campo eléctrico que modificarán el índice de refracción.

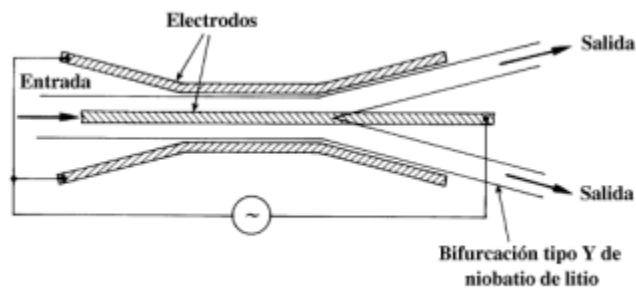


Figura 28. Acoplador direccional tipo Y.

Fuente: Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/amplificacion_optica.pdf

Se suelen utilizar guías de niobato de litio y las tensiones aplicadas son de unos 30 *volts*. Los interruptores ópticos son una variante de los acopladores direccionales ya que si uno utiliza como vía de transmisión el ramal superior y dirige la luz hacia el inferior equivale a una desconexión de un interruptor [8].

- *Divisores de potencia ópticos:* los divisores de potencia son dispositivos básicos, su paso a óptica integrada tiene los mismos condicionantes que las guías, un divisor pasivo tiene la forma que se presenta en la Figura 29. Éste tipo de dispositivo tiene su función en la división pasiva de potencia al 50%. Su fabricación con pérdidas pequeñas necesita que el semiángulo de apertura no supere los 0.5° lo que dificulta la separación de los brazos, de hecho se necesita para que estos estén a una distancia de $30 \mu m$ (suficiente para que puedan utilizarse de forma independiente) una longitud de $3.5 mm$ [9].

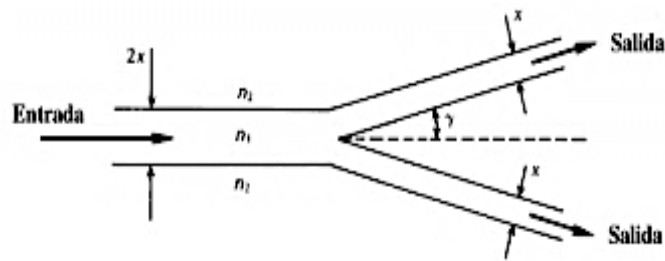


Figura 29. Divisor de potencia óptico tipo Y.

Fuente: Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de:

http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/amplificacion_optica.pdf

- **Circuladores ópticos:** es un dispositivo caracterizado por tener 3 o 4 puertos y trabaja de forma análoga a un circulador electrónico. Está diseñado para que la luz de entrada en uno de los puertos salga por alguno de los otros puertos, puede entonces decirse que si la luz entra por el puerto uno, debe de emitirse por el puerto 2, pero si la luz en este puerto número dos se rebota hacia el circulador nuevamente no saldrá por el puerto 1, pues al tener otro puerto disponible que es el 3, es por ahí donde se emitirá la luz. Funciona también como un aislador y separa las señales que viajan en forma opuesta a través de la fibra óptica, es decir que dependiendo su longitud de onda será el puerto por donde debe de salir para no tener traslape en la información. Como nota adicional, se debe considerar que al pasar las señales por este dispositivo, no podrá ser modificada la dirección de la señal. Para mostrar las características geométricas de este dispositivo, tenemos la referencia de un proveedor de fibra óptica y dispositivos ópticos, Thor Labs. Si observamos la figura 30, se muestra el dispositivo de manera gráfica [10].

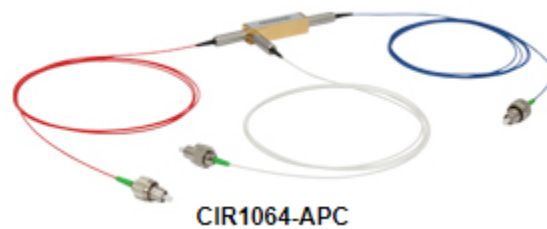


Figura 30. *Circulador óptico.*

Fuente: Recuperado el 23 de enero de 2019 de:
https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=373

En la Figura 30, también se observa la forma física del dispositivo, a continuación se listan algunas características descritas por el proveedor.

- No es recíproco, cuenta con una operación unidireccional.
- Los rangos de longitud de onda se centran cerca de 1064 nm, 1310 nm o 1550 nm.

Si se toman en cuenta estas características que nos da el proveedor, se puede aseverar que también funciona como un aislador de información, es decir, no se traslapa la información en las fibras conectadas a los puertos. La Figura 31 muestra la forma de operación del dispositivo de manera lógica.

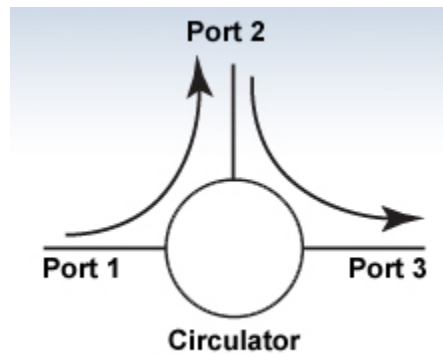


Figura 31. Funcionamiento del circulator óptico.

Fuente: Recuperado el 23 de enero de 2019 de:
https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=373

- *Multiplexor óptico:* en la electrónica este tipo de dispositivos tienen como función múltiples señales de entrada a diferentes frecuencias y poder enviar esta información de todos los canales a través de una sola salida, esto con la finalidad de reducir las líneas de comunicación para cada uno de estos canales. Su función radica en que dependiendo de la frecuencia a la que se encuentre es como va a transmitirse a través del medio en común con los otros canales. De forma similar, para el caso de la óptica y su transmisión a través de la fibra la función aplica para combinar las diferentes longitudes de onda que se tienen a la entrada y consecuentemente se mandan en un mismo canal por medio de la fibra óptica, que típicamente es de tipo monomodo. Es aplicado principalmente a los sistemas *WDM (Wavelength Division Multiplexing)*. La tecnología con la cual funciona dicho dispositivo es mediante el uso de rejillas de Bragg, filtros de película delgada. En la Figura 32, se puede observar un multiplexor y la forma en que se conectan los canales, así como la forma de salida [11].



Figura 32. Representación de un multiplexor óptico.

Fuente: Recuperado el 28 de enero de 2019 de: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_add-drop_multiplexer#/media/File:OADM_module.jpg

- *Demultiplexor óptico:* de forma análoga el demultiplexor lo que realiza es enviar las señales por los canales correspondientes a través de una entrada en común. Es en general la forma en la cual operan los servicios de comunicaciones, se manda múltiples señales a través de un solo medio a diferentes frecuencias, que para el caso de la fibra óptica sería a diferentes longitudes de onda para el haz de luz que se transporta a través de la fibra. A través de la tecnología de rejillas de Bragg son separadas las señales de luz en una fibra óptica en específico. Es la parte inversa del multiplexor, y en general debe de considerarse al momento de implementar un sistema de comunicaciones ópticas. En la Figura 33, se observa el funcionamiento ya descrito de dicho dispositivo [11].

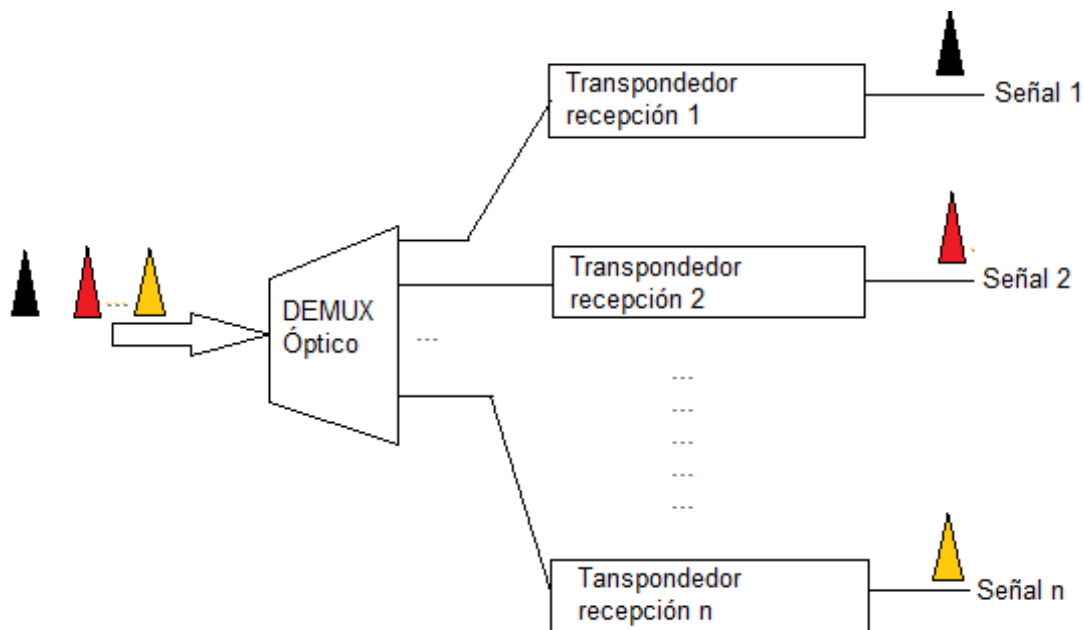


Figura 33. Demultiplexor óptico.

Fuente: Recuperado el 30 de enero de 2019 de:

<https://comunicacionesopticas.files.wordpress.com/2007/10/multiplexacion-y-demultiplexacion-opticas.pdf>

1.1.5. Redes de Transporte de Fibra Óptica.

Son definidas como las redes de nueva era en la cual se podrá realizar la transmisión digital. Están constituidas por el conjunto de elementos ópticos, como los mencionados en la Sección 1.1.4, con la finalidad de proveer transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión y supervisión de las señales ópticas. En concreto, se otorgan las bases y recomendaciones óptimas para establecer una red de servicios múltiples *IP* (Internet Protocol). Entre estas recomendaciones, cabe destacar que se tiene por parte de la *UIT* la *Recomendación G.709*, en el cual se detallan los aspectos importantes a considerar por parte del implementador y operador al momento de establecer una red de transporte óptica, y tomar en cuenta los aspectos de esta recomendación para el caso de requerimientos específicos por parte del cliente. A su vez es importante conocer el alcance que se tiene dentro de este documento, lo cual indica: “La jerarquía de transporte

óptica *OTH* (*optical transport hierarchy*) soporta los aspectos de operación y de gestión de redes ópticas de distintas arquitecturas, por ejemplo, punto a punto, anillo y malla”. Por lo que esta *Recomendación* define las interfaces de la red óptica de transporte, que habrá de utilizarse dentro de las subredes y entre las subredes de la red óptica, atendiendo a la jerarquía de transporte óptica *OTH*:

- Funcionalidad de la tarea en el soporte de redes ópticas de múltiples longitudes de onda.
- Estructuras de trama.
- Tasas de transmisión binarias.
- Formatos de correspondencia de señales de cliente.

Las interfaces definidas en la *Recomendación G.709* se pueden aplicar a interfaces usuario-red (*UNI, user-to-network interfaces*) y a interfaces de nodo de red (*NNI, network node interfaces*) de la red óptica de transporte. Se admite que, para las interfaces utilizadas dentro de las subredes ópticas, hay aspectos de la interfaz que dependen de la tecnología óptica y que están sujetos a modificación a medida que evoluciona la tecnología. Por lo tanto, aquellos aspectos que dependen de la tecnología óptica (para la compatibilidad transversal) no se definen para estas interfaces a fin de dejar lugar a los cambios tecnológicos. Se define la funcionalidad de las tareas necesarias para la operación y la gestión de las subredes ópticas.

Entre los beneficios principales como dice la *Recomendación G.709*, las redes de transporte ópticas ofrecen los puntos siguientes:

- Mejora la transparencia del servicio y sincronización por medio de un recubierto digital.
- Ofrece velocidades de hasta Tbps en la parte de fibra óptica.
- Permite monitoreo de desempeño de punto a punto, detección y degradación de fallas.
- Permite la gestión en banda, como fuera de banda.
- Asegura mejores servicios y menores costos cuando se utiliza en IP de banda ancha.

1.2. Infraestructura Carretera en México con Instalación de Fibra Óptica.

La red carretera nacional en México, la cual se ha desarrollado de manera gradual con mejoras continuas es la red más importante del país, ya que gracias a ella se ha podido establecer comunicación con otras ciudades y municipios pertenecientes al territorio nacional aproximadamente 582 175 kilómetros de caminos de todos tipos. Por su importancia, se pueden clasificar en tres diferentes tipos [12]:

- *Red federal:* la cual se centra en la gestión por parte del gobierno federal; en este tipo de red se presenta un mayor tráfico por parte de pasajeros, aunque también desarrolla las principales vías por las cuales se establece el comercio exterior, es decir, que por este tipo de red se transportan productos que son de primera necesidad y los que no lo son tanto. Principalmente los relacionados con los sectores más dinámicos de la economía nacional.
- *Red estatal:* son aquellas en las que no se presenta una carga tan grande de trabajo, aunque si son de suma importancia para poder enlazar las zonas de producción agrícola y ganadera, y para asegurar la integración de extensas áreas en diversas regiones del país.
- *Caminos rurales:* estos son aquellos caminos que no están pavimentados y que sobre todo no dependen de un mantenimiento como tal. Es decir, que los habitantes que se encuentran en las cercanías de esta vía son quienes les dan un mantenimiento constante, ya que son ellos los principales beneficiados de esta carretera.



Figura 34. Mapa de despliegue de fibra óptica.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

Las carreteras de México no son del todo buenas en estructura y mantenimiento. Esto a consideración del gobierno, el cual no destina los suficientes recursos o concesiones para que otras empresas con interés social y no económico o político puedan establecer el mejoramiento de estas vías. A continuación en la Tabla 3, se muestra un comparativo de la longitud de las carreteras respecto al territorio nacional por km^2 en comparativa con otros países desarrollados.

COMPARATIVO INTERNACIONAL DE DENSIDAD CARRETERA (Km de carreteras por km^2 de territorio, año 2018)							
MEXICO	EU	CANADA	FRANCIA	ALEMANIA	ITALIA	JAPON	REINO UNIDO
0.14	0.64	0.10	1.62	1.77	1.04	3.04	1.61

Tabla 3. Comparativo internacional de densidad carretera.

Fuente: Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf

Aun así, los datos que se presentan para la renovación de las carreteras en todo el país se ha esquematizado para dar una idea clara del entorno y lo que se puede hacer para mejorarles e incluirles la infraestructura de fibra óptica, en la tabla 4 se muestran los trabajos realizados hasta la fecha del año 2018, donde se elaboró el último análisis.

RESULTADOS 2018	
TRABAJO	LONGITUD (km)
Carreteras federales	
Construcción y modernización	50 435.8
Carreteras estatales	
Construcción y modernización	101 460.8
Caminos rurales	
Construcción y modernización	138 475
Otros	
Municipales, particulares	19 452

RESULTADOS 2018	
TRABAJOS	LONGITUD (km)
Carreteras de cuota	10 557
Plazas de cobro	1 192
Vialidades urbanas e infraestructura de enlace	70 541
Caminos NO pavimentados	340 287
Longitud total de la Red Nacional Carretera (RNC)	582 175

Tabla 4. Trabajos realizados para la construcción y mejoramiento de las vías carreteras del país 1995-2000.

Fuente: <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>.

Es importante cuantificar los datos de las divisiones y subdivisiones del tipo de carreteras. Para finales del año 2000, la red carretera nacional aproximaba un total de 333, 247.1 kms.; de los cuales 160, 571.5 kms. correspondían a carreteras libres, 5, 933.1 kms. a autopistas de cuota 160, 185.1 kms. a caminos rurales y alimentadores, y 60, 557.4 kms. a brechas, comparado con los últimos datos del año 2018.

A pesar de todo esto, para nuestro efecto se deben de priorizar los corredores más importantes que interconectan a las principales ciudades, fronteras y puertos marítimos; responsables de establecer el comercio y flujo de tráfico del país. Para ofrecer una idea más clara de estas vías, se presenta a continuación una visión detallada (ver Figura 35).



Figura 35. Corredores más importantes que conectan las principales ciudades en México (2018).

Fuente: Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf

Este estudio se llevó a cabo teniendo en cuenta información del año 2000, por lo que es necesario considerar un esquema sobre las carreteras que fueron modernizadas a partir de esa fecha, el cual se muestra en la Tabla 5.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CORREDORES CARRETEROS					
CORREDOR	LONGITUD TOTAL (km)	MODERNIZADA AL AÑO 2000		POR MODERNIZAR	
		(km)	(%)	(km)	(%)
	México-Nogales con ramal a Tijuana	3 074	2 113	68.7	961
México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras Negras	1 735	1 537	88.6	198	11.4
Querétaro-Ciudad Juárez	1 770	1 474	83.3	296	16.7
Acapulco-Tuxpan	830	688	82.9	142	17.1
Mazatlán-Matamoros	1 245	893	71.7	352	28.3
Manzanillo-Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo	1 856	1 057	57.0	799	43.0
Acapulco-Veracruz	851	680	79.9	171	20.1
Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros	1 297	894	68.9	403	31.1
Transpeninsular de baja California	1 776	158	8.9	1 618	91.1
Altiplano	581	4	0.7	577	99.3
Puebla-Progreso	1 320	945	71.6	375	28.4
Puebla-Oaxaca-Ciudad Hidalgo	1 007	565	56.1	442	43.9
Transístmico	702	293	41.7	409	58.3
Peninsular de Yucatán	1 219	413	33.9	806	66.1
TOTAL	19 263	11 714	60.8	7 549	39.2

Tabla 5. Características generales de los corredores carreteros.

Fuente: Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf

Entre otras cosas, la finalidad de incluir esta información del año 2000, es apreciar las carreteras que ya cuentan con dicha infraestructura y las que han incluido nueva inversión para el tendido de fibra, así como las desplegadas recientemente, pasando por sus características principales, las coordenadas establecidas para cada uno de los nodos e inclusive los recursos utilizados para realizar dicho trabajo. Entre las vías principales se puede encontrar la instalación de algunos corredores descritos en la sección 1.2.1.

1.2.1. Carretera Ozuluama-Tampico-Ébano.

Este es uno de los proyectos que ya cuenta con la instalación de fibra óptica, por lo cual parece de suma importancia el incluir los nodos principales y lo que se ha avanzado en dicha vía. En la Tabla 6, se presentan las coordenadas de los puntos de inflexión del trazo y la longitud de este.

Ozuluama-Tampico

COORDENADAS		REFERENCIA
N2456800	E608600	INICIO PUENTE EL PRIETO
N2476300	E615600	CASETA DE COBRO
N2456260	E616900	INICIO ZONA PUEBLO VIEJO
N2456200	E617650	PUEBLO VIEJO
N2455900	E618500	PUEBLO VIEJO
N2475700	E619250	PUEBLO VIEJO
N2454450	E620250	ZOCALO PUEBLO VIEJO
N2454400	E621200	CRUCE CON AUTOPISTA FEDERAL 180
N2454500	E620400	LIMITE MUNICIPAL
N2443600	E623400	CURVA KM 35+000
N2442100	E623900	LIMITE MUNICIPAL KM 164+000
N2424500	E628300	PUENTE ORCONCITOS II

COORDENADAS		REFERENCIA
N2409100	E625400	PUENTE CHICHIMECO
N2401300	E622600	PUENTE MORALITO
N2397800	E617900	INTERCONEXIÓN TORRE 305 OZULUAMA

Tabla 6. Coordenadas del tramo Ozuluama-Tampico.

Fuente: Recuperado de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf

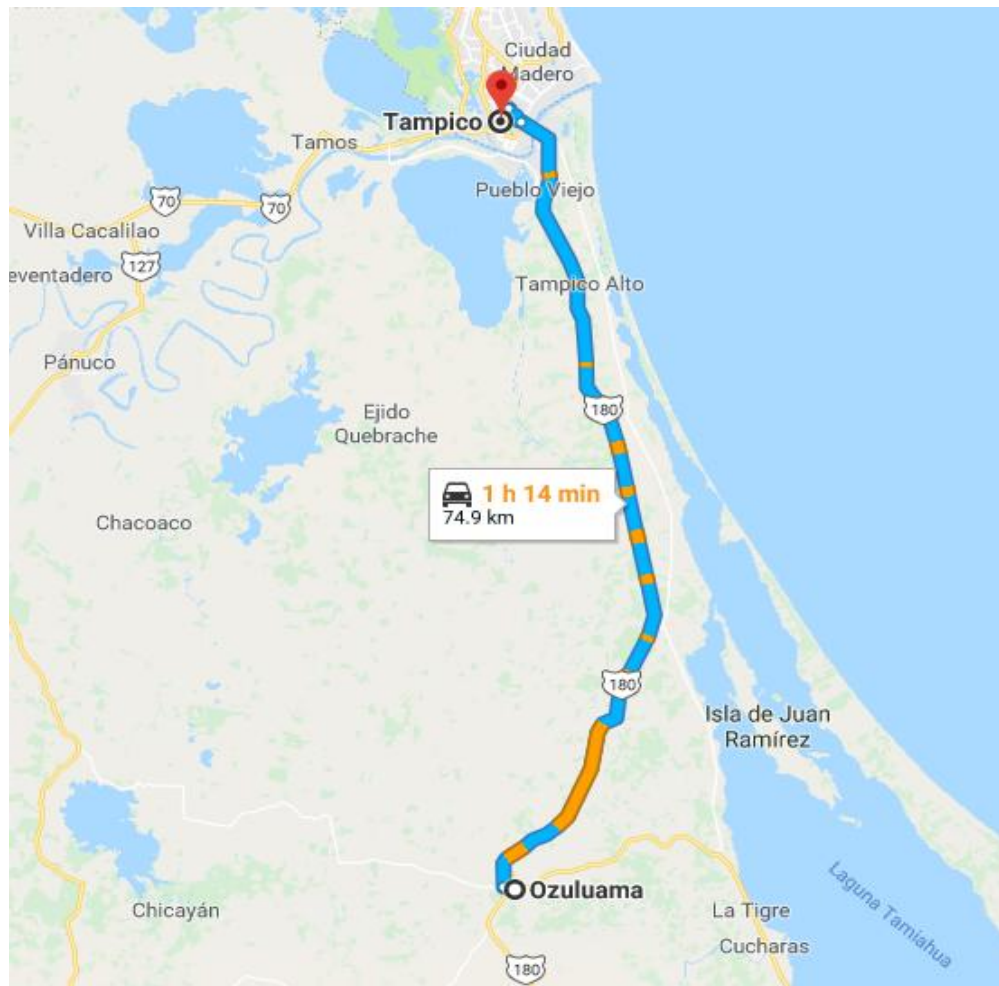


Figura 36. Trazo de la carretera Ozuluama-Tampico.

Fuente: Recuperado de Google Maps Inc. (2019).

Tampico-Ébano

COORDENADAS		REFERENCIA
E616203	N2458346	INICIO PUENTE CHAIREL
E616086	N2458312	FIN DE PUENTE CHAIREL
E613749	N2458287	INICIO DE PUENTE MORALILLO II
E613565	N2458236	FIN DE PUENTE MORALILLO II
E603361	N2457906	INICIO DE PUENTE TAMOS
E603344	N2457882	FIN DE PUENTE TAMOS
E565831	N2456429	KM SCT 80
E564830	N2456681	KM SCT 79
E564343	N2456943	ENTRADA A EBANO

Tabla 7. Coordenadas del tramo de Tampico-Ebano.

Fuente: Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf

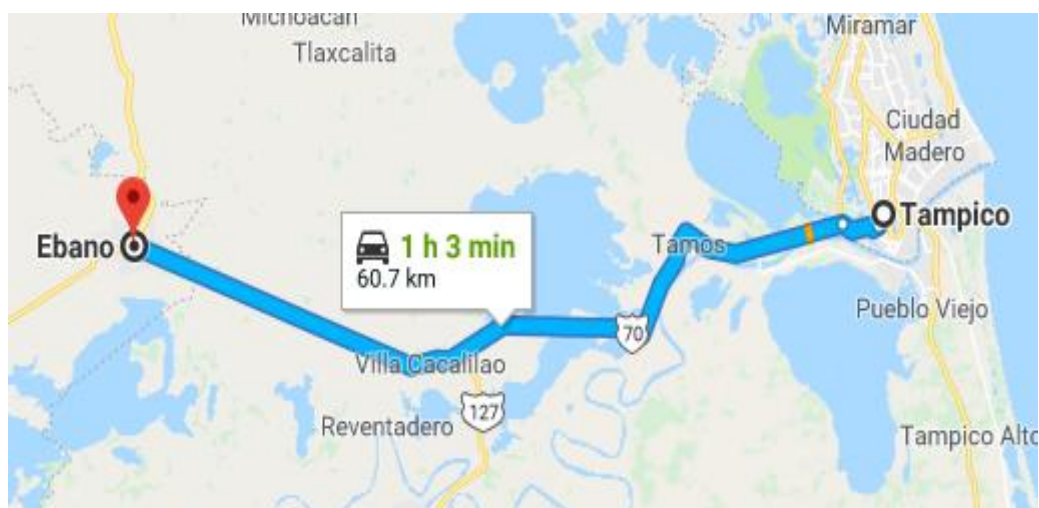


Figura 37. Trazo de la carretera Tampico-Ebano.

Fuente: Recuperado de Google Maps Inc. (2019).

La longitud total del proyecto fue de 142+022 kms. El tramo estuvo dividido en dos secciones, Tampico-Ozuluama con 79+350 kms. de longitud y Tampico-Ebano con 62+672 kms. de longitud con un área a utilizar de 35, 043 m^2 . El ancho de la cepa a construir en la sección Tampico-Ebano fue de 30 cms. en áreas rurales (58+956 kms.) y de 40 en zonas urbanas (3+716 kms.) por lo que se tuvo un área dentro del derecho de vía de 19, 173 m^2 [12].

Para el trazo Tampico-Ozuluama se cuantificó el total de la brecha de 20 cms. de ancho, lo que dió un total de área utilizada de 15, 870 m^2 . Las diferencias en los anchos de cepas anteriores se refieren a los distintos tipos de maquinaria que se utilizó y no a diferencias en el cable de fibra óptica que se utilizó [12].

Para este proyecto, quien participó es la empresa Avantel, S. A., la cual pretendió llevar a cabo el tendido de fibra óptica de manera subterránea, con la finalidad de poder establecer una infraestructura capaz de soportar servicios de voz y datos a nivel nacional. Cabe mencionar que el tendido se realizó a lo largo del derecho de vía de las carreteras federales, estatales y locales en zonas urbanas por la vía pública, banquetas y arroyos vehiculares. Se mencionan por otro lado, las atenciones debidas de tener para reparar los desperfectos que llegaran a presentarse en la implementación del tendido. Se indica lo siguiente: “En caso de existir alguna interrupción en la operación del cable se verificará en los nodos o terminales (estaciones repetidoras) para identificar el área o tramo rural o urbano con algún desperfecto. En caso de desperfecto existe la posibilidad de requerirse la reposición de tramos pequeños (100 metros máximo) de cable de fibras ópticas; lo anterior requerirá excavación y tendido de cable de fibra óptica nuevo siguiendo técnicas manuales “. En caso de arreglar el desperfecto en vialidades sea en arroyo o banqueta, requiere de una excavación de 2 a 3 metros lineales de longitud [12].

Es importantes definir que la vida útil de este proyecto se estima para 25 años, todo en función de la eficiencia de operación del cable. En esta obra también se colocarán señalamientos que indiquen un cambio de dirección brusco. La fibra es un elemento bastante frágil, lo cual nos lleva a tener conectores muy precisos. Los cuales nos ayuden a la conservación del cable. Dichos

señalamientos se verán representados por postes de 250 metros aproximadamente a largo de la vía carretera [12].

Con este proyecto se pretendió brindar servicio de alta calidad de transmisión de datos digitales por medio de fibra óptica a los usuarios de la región sur del Estado de Tamaulipas, norte de Estado de Veracruz y noreste de San Luis Potosí. Con los tiempos de respuesta óptimos la finalidad también es que las empresas, industrias y corporativos de la región estén a la vanguardia en telecomunicaciones, mejorando su competitividad en el mercado y se encuentren a la altura de las grandes ciudades del país.

Para la realización de dicho proyecto, se dividió de la siguiente forma:

- Para el tramo Tampico-Ozuluama es de 14 millones de pesos.
- Para la sección de Tampico-Ébano suma 18 millones de pesos.

Dando un total de inversión de 32 millones de pesos. Debido a las características de proyecto, no se requirieron recursos monetarios para las medidas de prevención y mitigación de los efectos ambientales.

1.2.2. Carretera México-Acapulco.

Es una de las vialidades más importantes del sector turístico interno en el país, por lo que se hace necesario esquematizar la vía con sus principales características, como lo pueden ser sus principales nodos y los servicios que otorga al usuario (considerando de hecho que se puede tomar el camino por cuota). En la Figura 38, se observan algunas de las principales características de dicha carretera. Al relacionarlo con el tema del tendido de fibra óptica es una de las vialidades en la cual se puede establecer un medio de mercado y de servicios digitales que convengan a toda la población de los alrededores y sobre todo al sector turístico.



Figura 38. Carretera México-Acapulco.

Fuente: Recuperado el 22 de agosto de 2018 de: www.capufe.gob.mx

Es importante aclarar que no solo se realizó el tendido con la finalidad de establecer negocios de mercado, sino que se establecieron paneles en los cuales el usuario puede ver las condiciones climáticas del tramo que está recorriendo e inclusive advertir sobre accidentes que se presenten en la vialidad con una anticipación de 20 kms. Para la estimación del tráfico se lleva a cabo un censo a partir de los usuarios conectados en los puntos de la vialidad y que sobre todo se encuentren en movimiento. Ya que estos registros nos sirven para poder detectar la velocidad del usuario y establecer una mancha de tráfico en la vialidad en todos sus puntos. Por decir así, que se trata de una mejora y una ventaja para los usuarios de dicha vía [13].

Avances en el proyecto

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018, se indicaba que las obras realizadas para la instalación de fibra óptica en el corredor se daban por terminadas. Se menciona que, se concluyó el 100% de los trabajos de instalación y puesta en operación de fibra óptica, sistemas ITS, centros locales de control y equipo de peaje y telepeaje contemplados en la primera etapa del proyecto de modernización tecnológica de los tramos Chamapa-Lechería y México- Acapulco. Este 100%

corresponde al 50% del avance general del Proyecto de Modernización Tecnológica en sus dos fases.

Se llevaron a cabo los procesos de: publicación de pre-bases en Compranet, inclusión en el programa de mesas de acompañamiento de la SFP, contratación del Testigo Social y la publicación de la convocatoria con lo que se da inicio a la licitación de la Fase II. Como resultado de este proceso, en el año 2017 se da un fallo hacia la licitación, junto con la conclusión de los trabajos de instalación de fibra óptica a través del corredor. Ya en 2018, se entregan los resultados y se dan por terminados los contratos. Cabe mencionar que toda la información se encuentra dentro de una ficha, en la cual se describen las obras para éste proyecto. Misma que se anexa a continuación (ver Tabla 8).

Elemento		Características				
Indicador:	Modernización de los principales corredores carreteros de la Red Operada.					
Objetivo Sectorial:	Contar con servicios logísticos de transporte oportunos, eficientes y seguros que incrementen la competitividad y productividad de las actividades económicas.					
Objetivo Institucional:	Mejorar la prestación de los servicios a los usuarios de la red operada por CAPUFE.					
Descripción general:	Medir el grado de avance de la incorporación tecnológica a los principales ejes carreteros, que proporcionaría información útil y oportuna a nuestros usuarios, así como un mejor servicio, y seguridad al transitar por las carreteras de cuota que opera CAPUFE. Se consideran: Fase I México-Acapulco, tramo Chamapa-Lechería y Fase II México-Irapuato, y modernización del CNC. Nota: El alcance original del proyecto, incluía en la fase II el tramo "México-Veracruz", sin embargo tuvo que ser dado de baja del proyecto, en apego a lo establecido por BANOBRAS asociado a que como resultado de la investigación de mercado se detectó que los recursos no eran suficientes para cubrir su costo.					
Método de cálculo:	Actividades ejecutadas / actividades programadas *100.					
Unidad de medida:	Porcentaje					
Frecuencia de medición:	Trimestral					
Fuente de información o medio de verificación:	Informes semanales enviados por la empresa supervisora.					
Área Responsable:	Dirección de Operación.					
Línea base 2013	Valor observado del indicador 2015	Valor observado del indicador 2do sem 2016*	Metas			
			2015	2016	2017	2018
25%	63.75%	72%	65%	72%	86%	100%

Tabla 8. Indicador de instalación de fibra óptica del proyecto México-Acapulco.

Fuente: Recuperado el 23 de agosto de 2018:

<http://www.capufe.gob.mx/portal/wwwCapufe/QuienesSomos/Programas/Logros-Capufe-2016.pdf>

1.2.3. Carretera México-Veracruz.

Éste es uno de los corredores más importantes del país, ya que a lo largo de su existencia se han presentado siniestros que han servido para catalogarla en una de las vías más peligrosas del territorio nacional. Anteriormente era la única vía por la cual se podía llegar al golfo de México. Es una autopista de peaje que conecta la Ciudad de México con la ciudad de Córdoba, Veracruz. Tiene una longitud aproximada de 390 *kms*.

Los cuales están divididos en dos tramos, correspondientes a:

- Puebla-México con una longitud de 150 *kms*.
- Puebla-Veracruz con una longitud de 240 *kms*.

Al igual que la carretera de México-Acapulco, se realizó el tendido de fibra óptica a través de este corredor, el cual entró dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Mismo que fue actualizado en el año de 2014. Aquí mediante una ficha técnica se puede apreciar el indicador referido a la modernización de los corredores carreteros de esta vía. Respecto a los trabajos para la modernización tecnológica de esta vía, asociados con la instalación de fibra óptica, equipos de información meteorológica y de tráfico para los usuarios o mejor conocidos como *ITS*. Junto con el peaje y telepeaje, se cuenta con los proyectos constructivos correspondientes, los cuales fueron aprobados por la *SCT* [14].

Se comenta como información adicional que la vía, para la instalación de fibra óptica y sobre todo para la optimización del tráfico en la vía, se instalaron de sensores y dispositivos, los cuales pueden ser pantallas de mensajes variables, indicadores de velocidad máxima, sensores meteorológicos, cámaras con radares y torres de auxilio vial [15].

Ruta de Monumento al Caminero , Distrito Federal a Córdoba , Veracruz

Nombre	Edo.	Carretera	Long. (km)	Tiempo(Hrs)	Caseta o puente	Automóvil
Monumento al Caminero - Santa Martha Acatitla	DF	Zona Urbana	23.700	00:39		
Santa Martha Acatitla - Entronque San Martín Texmelucan	Pue	Mex 150D	74.755	00:40	San Marcos	120.0
Entronque San Martín Texmelucan - Entronque Puebla	Pue	Mex 150D	32.000	00:17	San Martín	36.0
Entronque Puebla - Entronque Acatzingo	Pue	Mex 150D	42.270	00:23	Amozoc	64.0
Entronque Acatzingo - Cd. Mendoza	Ver	Mex 150D	92.950	00:58	Esperanza	129.0
Cd. Mendoza - Entronque La Luz	Ver	Mex 150D	30.675	00:16	Fortín	29.0
Entronque La Luz - Córdoba	Ver	Mex 150D	3.000	00:03		
Totales			299.350	03:19		378.0

Tabla 9. Trazo de la carretera México-Veracruz.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de:
http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdSolRutas

Se observa que la consideración se hace bajo el estándar de que el recorrido se haga en automóvil, con lo cual nos da un estimado sobre el tiempo en el cual se haga el recorrido. Por otro lado, es importante definir los nodos sobre los cuales se establece el tendido de fibra óptica y el tipo que se está usando. Mismo que para las largas distancias considero para este caso un tendido de fibra *SMF*, el cual nos va a permitir recorrer largas distancias, teniendo pérdidas muy bajas, en el orden de 0.1 *dB/km* [15].

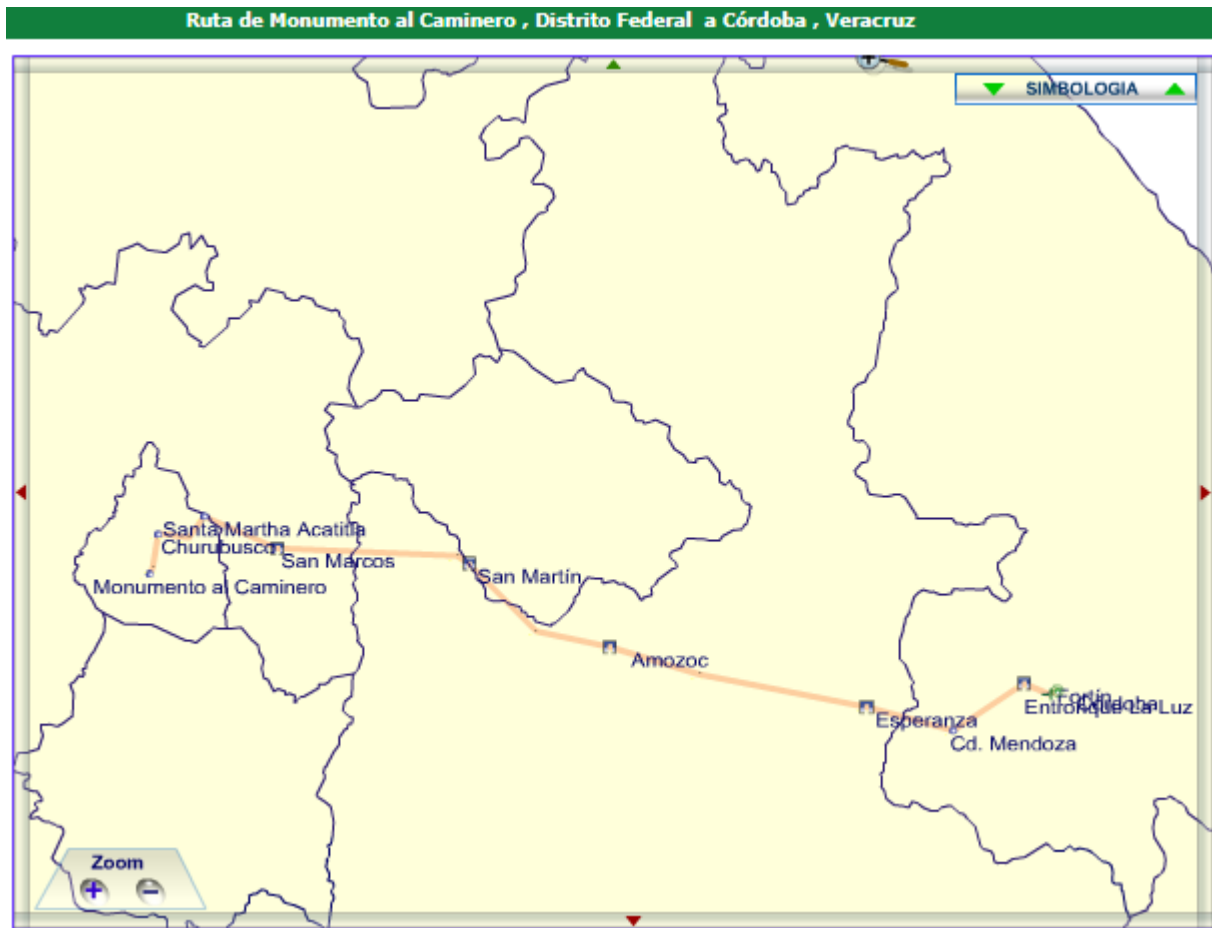


Figura 39. Trazo de la carretera México-Veracruz.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de:
http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdSolRutas

1.2.4. Carretera México-Irapuato.

Se ha comentado sobre la importancia de tener la información a la mano de los servicios que ofrecen las vialidades por las que circulan los usuarios. Teniendo en cuenta que es poca la información dada sobre los proyectos disponibles en integración de tendido de fibra óptica.

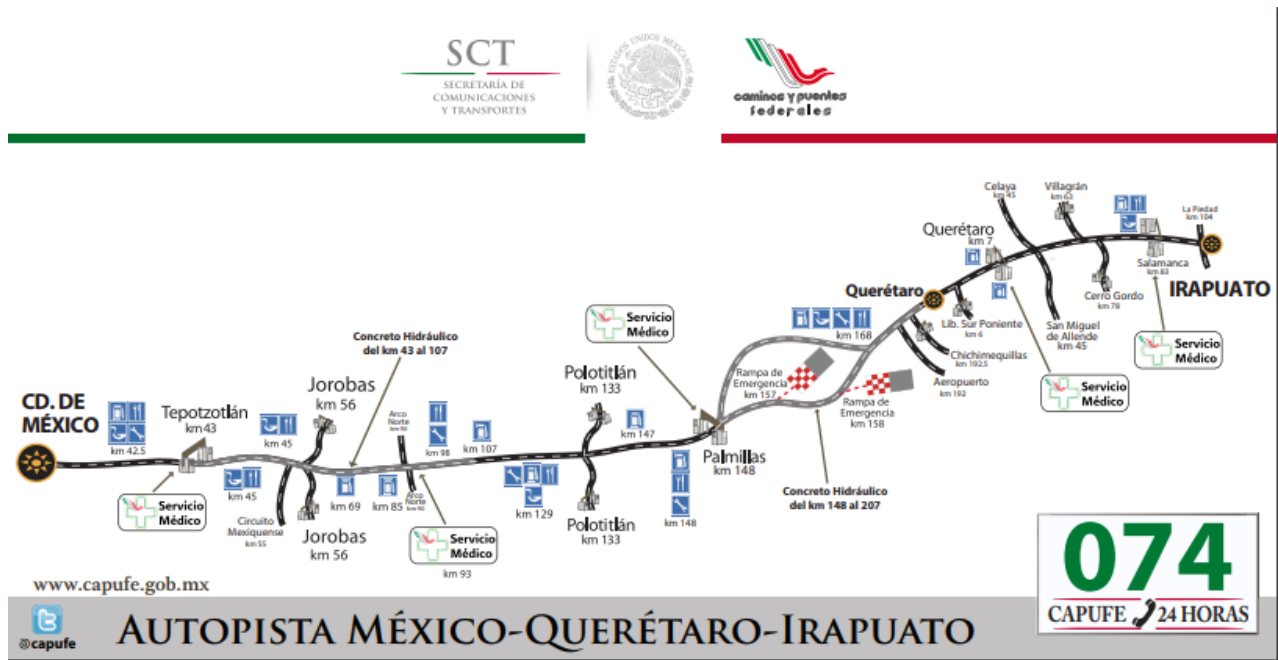


Figura 40. Carretera México-Irapuato.

Fuente: Recuperado el 22 de agosto de 2018 de:

<http://www.capufe.gob.mx/portal/wwwCapufe/ParaViajar/PrincipalesTramos/Mexico-Qro-Irapuato.pdf>

Este corredor es uno de los cuales CAPUFE otorga la información más a detalle sobre el *PMT* Fase II; pero ¿Para qué sirve y cuál es la finalidad de éste proyecto? Proyecto de Modernización Tecnológica, el cual tiene como finalidad en su segunda fase eficientar el tramo carretero México-Irapuato y por inclusión el Centro Nacional de Control (CNC). En la Figura 41, se indica el desarrollo de dicho proyecto y los ramos que se toman en cuenta a la hora de la realización.

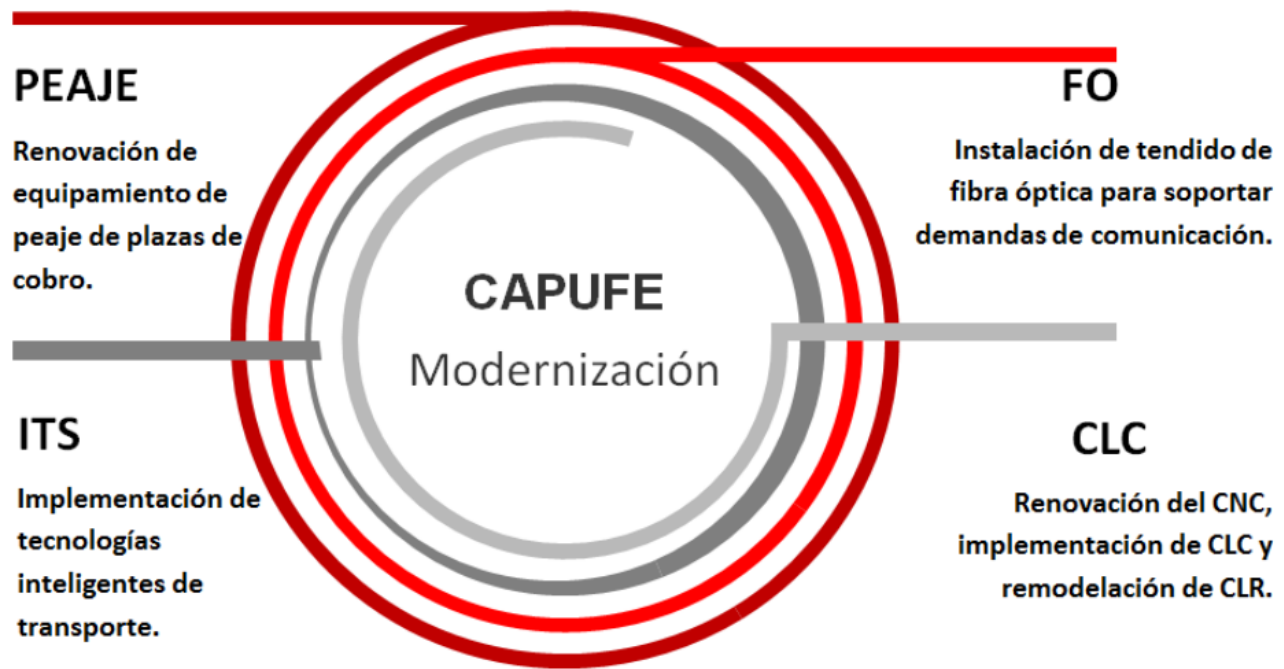


Figura 41. Objetivos del PMT en el corredor México-Irapuato.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: <http://www.capufe.gob.mx/site/Modernizacion/index.html>

Al presentarse los objetivos generales del proyecto, lo que a nosotros nos confiere es el de instalación de tendido de fibra óptica para soportar demandas de comunicación. Para este caso, la longitud del eje carretero comprende 370 kms [16].

Se debe considerar los métodos de atestiguamiento y los procesos que avalan el inicio y término del proyecto, siendo no sólo éste tramo carretero quien lo necesita. Este debe ser aplicable a todos los corredores que se deban modernizar y extender para el servicio de fibra óptica.



Ciudad de México, a 15 de julio de 2016.

Instituto Mexicano de Auditoría Técnica, A.C.
Testigo Social PM0AC005
Presente.

De conformidad con la opinión favorable emitida por el Comité de Testigos Sociales de la Secretaría de la Función Pública, en su Séptima Sesión Ordinaria, celebrada el día de hoy, y con fundamento en lo dispuesto en los artículos 26 Ter, primer párrafo de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público (LAASSP); 63, primer párrafo, 64, quinto párrafo de su Reglamento y 34, fracción XVII del Reglamento Interior de la Secretaría de la Función Pública, esta Unidad de Normatividad de Contrataciones Públicas (UNCP) ha designado a esa Asociación Civil como Testigo Social (TS) para atestiguar el siguiente procedimiento de contratación:

Procedimiento	Objeto de Contratación	Solicitante y Enlace
Licitación Internacional Bajo Cobertura de Tratados	"Renovación del Equipamiento de la Red del Fondo Nacional de Infraestructura, consistentes en la Adquisición de Equipos de Peaje e Informáticos para Plazas de Cobro, Centros Locales de Control (CLC) y Centros de Liquidación Regional (CLR), además de Fibra Óptica y Equipos ITS, y los Servicios de Instalación, Puesta en Operación, Mantenimiento y Capacitación para el eje carretero México-Irapuato así como la Modernización del Centro Nacional de Control".	<p>Camino y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos</p> <p>Solicitante:</p> <p>Lic. Adolfo Isaac Riveroll Sánchez Director de Administración y Finanzas Tel: (777) 3-29-21 Ext: 2171 y 2172 ariveroll@capufe.gob.mx</p> <p>Enlace:</p> <p>Ing. Enrique Vera Solorio Coordinador del Proyecto de Modernización Tecnológica Tel: (777) 3-29-21-00 Ext: 2696 evara@capufe.gob.mx</p>

Figura 42. Modos de atestiguamiento para el tramo México-Irapuato.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de:
<http://www.capufe.gob.mx/site/Modernizacion/doc/TestigoSocial/Des-testigosocial.pdf>

La figura 42 es una de las muestras que se tienen como prueba del inicio de la instalación del tendido de fibra óptica. Cabe mencionar que estos procesos, al igual que los de licitación deben de hacerse con la autoridad correspondiente, debiendo ser llevados en el marco de lo exigente, ya que, al ser proyectos de impacto ambiental, puede que deban manejarse ciertos requerimientos o normas que homologuen el proceso para los tendidos posteriores [16].



TESTIMONIO
Y
REPORTE DE ACTIVIDADES

PROCEDIMIENTO DE CONTRATACIÓN
CORRESPONDIENTE A LA LICITACIÓN PÚBLICA
INTERNACIONAL BAJO LA COBERTURA DE TRATADOS
MIXTA N° LA-009J0U001-E3-2017, PARA LA:

"RENOVACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LA RED DEL FONDO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, CONSISTENTE EN LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DE PEAJE E INFORMÁTICOS PARA LAS PLAZAS DE COBRO, CENTROS LOCALES DE CONTROL (CLC) Y CENTROS DE LIQUIDACIÓN REGIONAL (CLR), ADEMÁS DE FIBRA ÓPTICA Y EQUIPOS ITS, Y LOS SERVICIOS DE INSTALACIÓN, PUESTA EN OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN PARA EL EJE CARRETERO MÉXICO - IRAPUATO; ASÍ COMO LA MODERNIZACIÓN DEL CENTRO NACIONAL DE CONTROL (CNC)"
(FASE II DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA, PMT)

Figura 43. Testimonio y reporte de actividades del tramo carretero México-Irapuato.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de:
<http://www.capufe.gob.mx/site/Modernizacion/doc/TestigoSocial/Testimonio-Testigo-Social.pdf>

Como consideraciones adicionales, se tiene el testimonio y reporte de actividades del tramo carretero (ver figura 43), dando un esquema de historias donde se retoma lo que se ha hecho y lo que se puede mejorar para el desempeño óptimo de una mejor red carretera en el ámbito tecnológico y de uso para la población. En la tabla 10 se muestran los avances del plan de trabajo.

Avances del Plan del Trabajo



▲ Fases Licitación Pública

▼ Protocolo de actuación

Fecha	Hito
17 de agosto de 2016	Instauración de las mesas de acompañamiento
18 de agosto de 2016	Publicación de pre bases
19 de septiembre de 2016	Segunda mesa de acompañamiento
11 de octubre de 2016	Tercer mesa de acompañamiento
9 de noviembre de 2016	Cuarta mesa de acompañamiento
22 de noviembre de 2016	Quinta mesa de acompañamiento (Aprobación de bases por la mesa)
13 de diciembre de 2016	Subcomité Revisor de convocatorias
19 de diciembre de 2016	Publicación de la convocatoria en CompraNet
10 al 16 de enero de 2017	Visitas a sitios
19 y 30 de enero de 2017	Junta de Aclaraciones
8 de febrero 2017	
9 de marzo 2017	Presentación y apertura de proposiciones.
10 al 30 de marzo de 2017	Evaluación de las proposiciones
13 al 22 de marzo de 2017	Realización de Pruebas
5 abril de 2017	Fallo

Tabla 10. Actividad para la vía carretera México-Irapuato.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: <http://www.capufe.gob.mx/site/Modernizacion/index.html>

En un artículo que incluye la revista *Milenio* del mes de julio de 2014 se constata que las obras han tenido ciertos percances, en los cuales aún no se termina la instalación de los tubos que almacenan la fibra óptica. Aunque debemos recordar que no es una tarea fácil, la cual pueda ser realizada en pocos días sobre todo contabilizando el número de km que se contemplaron para el proyecto.

1.2.5. Carretera Arco Norte.

Esta es una las autopistas que han tenido mucha influencia en los usuarios, sobre todo para reducir tiempos. Entre los cuales, las personas provenientes del norte y centro del país acortarán el tiempo al evitar pasar por la Ciudad de México. Esta es la ruta esquematizada, misma que muestra los puntos o ciudades importantes (ver figura 44).



Figura 44. Carretera Arco Norte.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: https://www.oaxaca-mio.com/playas/autopista_arconorte.htm

▾ Ruta de Querétaro , Querétaro a Mazunte , Oaxaca Pasando por: Esperanza , Puebla

	Edo.	Carretera	Long.(km)	Tiempo(Hrs)	Caseta o puente
Querétaro - Palmillas	Oro	Zona Urbana	58.000	00:34	
Palmillas - Entronque Jilotepec	Mex	Mex 057D	60.000	00:33	Palmillas
Lib. N. Cd. México (Ent. Jilotepec - Ent. Aut. Méx-Pue)	Pue	Mex M40D	176.370	01:36	Querétaro/Texmelucan
Ent. Lib. N. Cd. México - Ent. Puebla	Pue	Mex 150D	30.000	00:16	San Martín
Entronque Puebla - Entronque Acatzingo	Pue	Mex 150D	42.270	00:23	Amozoc
Entronque Acatzingo - Esperanza	Pue	Mex 150D	51.100	00:28	Esperanza
Esperanza - Cuacnopalan	Pue	Mex 150D	15.000	00:08	Esperanza
Esperanza - Cuacnopalan	Pue	Mex 150D	15.000	00:08	Esperanza
Cuacnopalan - Entronque Tehuacán	Pue	Mex 135D	41.100	00:22	Tehuacán
Entronque Tehuacán - San José Miahuatlán	Pue	Mex 135D	30.370	00:16	Miahuatlán
San José Miahuatlán - Entronque Nochixtlán	Oax	Mex 135D	108.540	00:59	Suchixtlahuaca
Entronque Nochixtlán - San Pablo Etla	Oax	Mex 135D	76.000	00:41	Huitzo
San Pablo Etla - Mazunte	Oax	Zona Urbana	273.000	06:01	
Totales			961.750	12:21	

Tabla 11. Puntos de la carretera Arco Norte.

Fuente: Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: https://www.oaxaca-mio.com/playas/autopista_arconorte.htm

La tabla 11, presenta algunas características principales. Dentro de las cuales podemos observar el tiempo de trayecto, así como la longitud de los puntos y el estado al que corresponden. A continuación, estas con las características que ofrece la Autopista Arco Norte [17]:

- Arco Norte tiene una longitud total de 223 kms. La autopista cruza los estados de: México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.
- Tiene 2 casetas principales y 12 plazas de entradas y salidas.
- La autopista tiene como posibilidades de pago: cobro en efectivo, cobro a través de Tarjeta IAVE y en las 12 entradas y salidas se pago sólo por el tramo que se utilice.
- Arco Norte entronca con las autopistas: México-Querétaro, México-Pachuca, México-Tuxpan (vía Tulancingo), y México-Puebla, entre otras.
- Autopista construida en su mayoría con concreto hidráulico.
- La autopista Arco Norte esta concesionada a la empresa IDEAL [17].

- Arco Norte cuenta con un centro de control equipado con: red de fibra óptica de 233 Kms., 28 cámaras de monitoreo a lo largo de la autopista, 3 estaciones meteorológicas, 8 kioscos inteligentes de información, 10 paneles de información variable (letreros electrónicos) y acceso a internet inalámbrico.

Dentro de Arco Norte existen elementos de alta tecnología puestos al servicio de los usuarios, da la posibilidad de que vía teléfono celular se puedan recibir mensajes de texto, información general acerca de la autopista; y ya conduciendo se observan las distintas informaciones de los letreros electrónicos que gracias al equipamiento con 28 cámaras de monitoreo, 14 radares de tráfico y 3 estaciones meteorológicas en todo momento te estarán actualizando sobre las condiciones de manejo. La autopista cuenta además con un concepto de seguridad de apoyo inmediato, servicio de ambulancias, información turística o localización de algún poblado, así como baños, estacionamientos, gasolineras, entre otros. [17].

1.2.6. Circuito Exterior Mexiquense.

El conjunto de tramos carreteros ubicado al norte de la zona metropolitana de la Ciudad de México son las que conforman el *CEM* (Circuito Exterior Mexiquense). Es de suma importancia, ya que conecta con las principales autopistas de acceso a la ciudad. Entre ellas destacan:

- La carretera México-Pachuca.
- La carretera México-Querétaro.
- La carretera México-Puebla-Veracruz.

Entre las áreas que recorre, también se deben de considerar algunos de los principales centros comerciales e industriales; sobre todo en la zona norte metropolitana.

CONMEX (Concesionaria Mexiquense) es quien lleva a cabo la operación y gestión de este corredor. La concesión le fue otorgada de febrero de 2003 a diciembre de 2051, en la cual se le

autoriza la construcción, diseño, financio y operación. El proyecto se ha llevado a cabo en tres etapas, la primera fase que constó de 52 kms. para el año 2005; durante la fase dos se inició su operación de cobro para el año 2010; en la tercera fase se inauguró un tramo de 10 kms. en septiembre de ese mismo año; y en abril de 2011 se inauguró el último tramo dando un total de 110 kms. en operación [18].

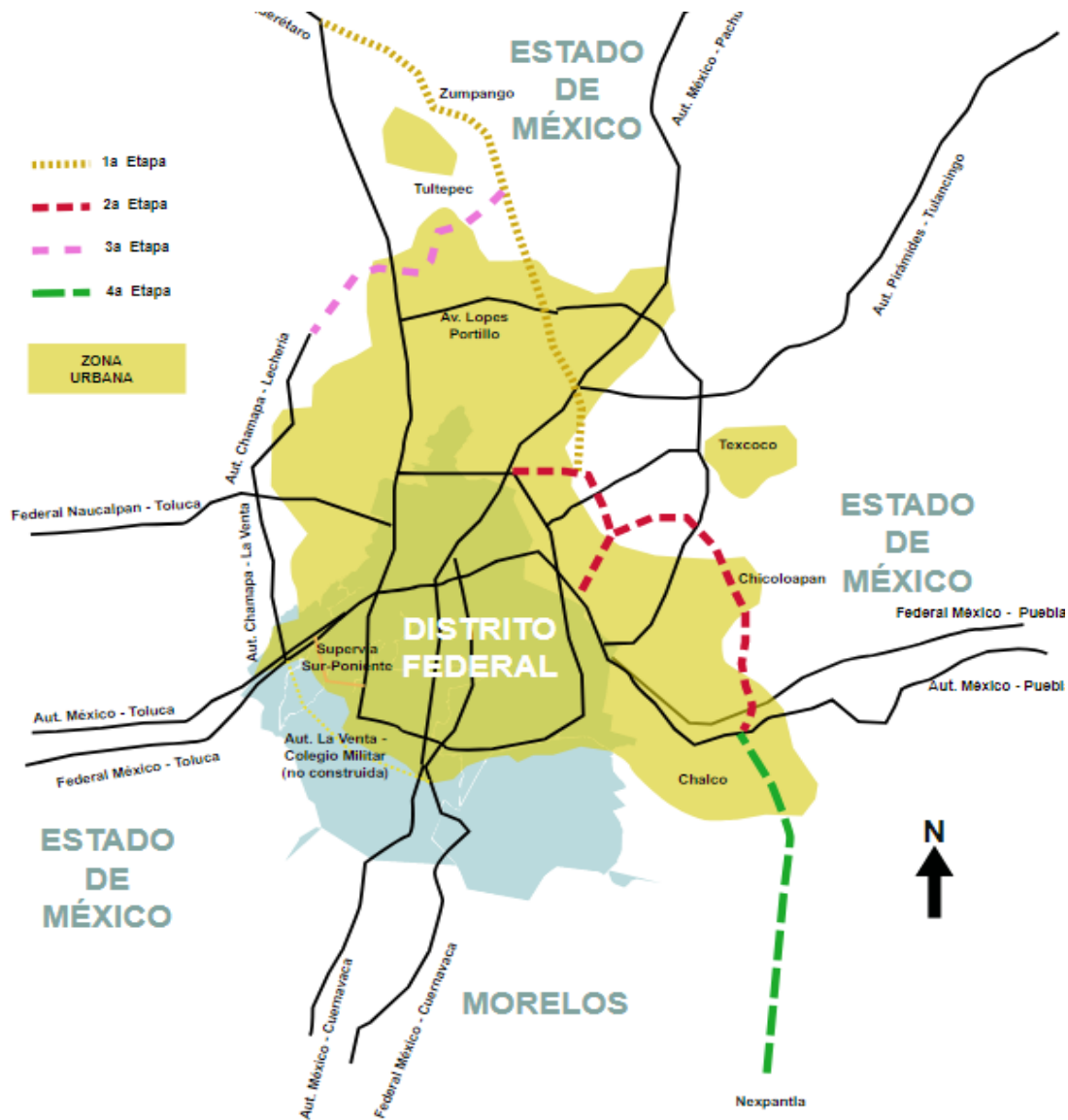


Figura 45. Circuito Exterior Mexiquense.

Fuente: Recuperado el 27 de agosto de :
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/CIRCT_EXTERIOR_MEXIQUENSE.svg

En el artículo del periódico el *Universal*: “Resguardan cámaras autopista mexiquense”, publicado el 28 de Enero de 2007 por Miriam Vidal se comenta la relación de la instalación de fibra óptica en la carretera, siendo Héctor Quinde Razuri, Director de Explotación de la concesionaria de dicha autopista, donde explica que se ha colocado fibra óptica a lo largo de la vialidad para el funcionamiento de catorce cámaras vigilantes de 52 kms. del circuito. Los cuales comprenden desde Huehuetoca hasta la autopista Peñón-Texcoco. Dichas cámaras están conectadas a un centro de monitoreo ubicado en la caseta de Ecatepec con el nombre de T-2 para permitir al cuerpo de seguridad de la empresa Conmex atender alguna emergencia y dar auxilio a los automovilistas que por ahí circulan [18].

Considerando esta premisa, a la fecha se debe de utilizar dicha infraestructura para poder comunicar la totalidad de la carretera. Permitiendo así el envío masivo de datos para poder cubrir los servicios que se necesitan en las áreas que recorre esta importante vialidad. Como es de cuota se puede establecer un medio comercial en el cual se pueda ofrecer servicio de internet durante toda la vía, proporcionando a los usuarios un pequeño ancho de banda por cada Access Point que pueda ser colocado en la autopista. Y como se mantienen en movimiento los usuarios, el ancho de banda asignado se convierte en dinámico, manteniendo así optimizada la red de la vía carretera [18].

1.2.7. Carretera Monterrey-Saltillo.

Esta carretera cuenta con altas características de jurisdicción federal de 49.8 km de longitud, con un origen en el km 46+210, entronque Ojo Caliente 1, en el Estado de Coahuila al km 96+054, entronque con la vialidad Ignacio Montes Prieto en la ciudad de Monterrey [19].

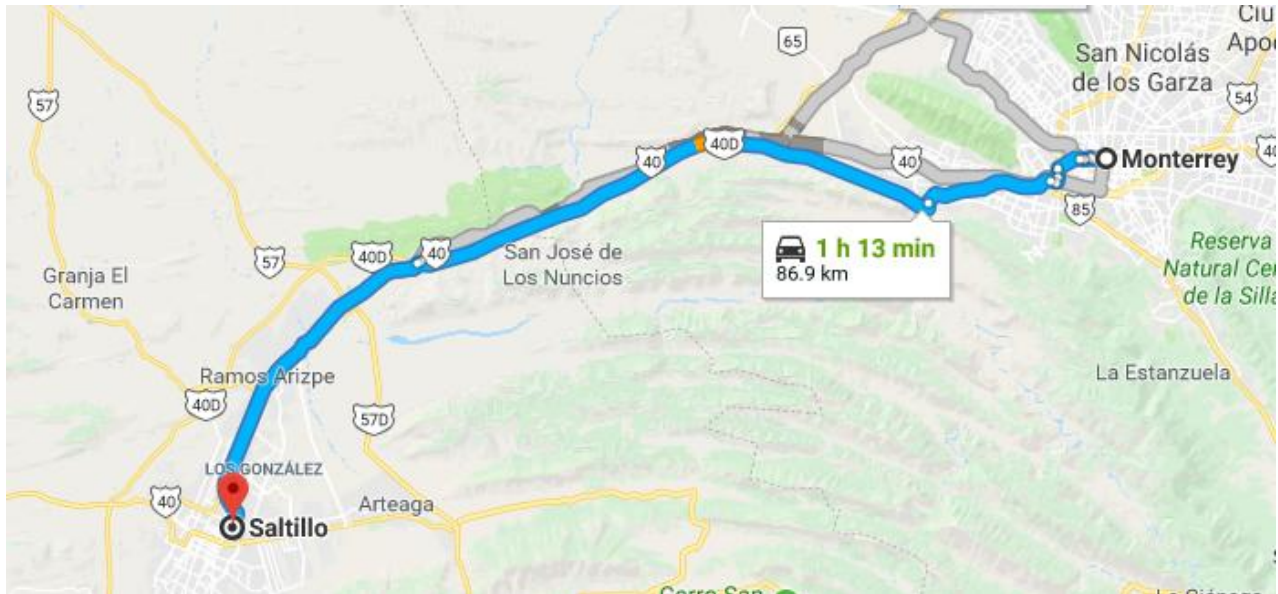


Figura 46. Carretera Monterrey-Saltillo.

Fuente: Recuperado de Google Maps (2019).

Se debe considerar que la longitud del corredor y el tiempo de recorrido son proporcionales al tráfico que se encuentre en la vialidad. Por otro lado, entre las carreteras que cuentan con fibra óptica se menciona esta vialidad como uno de los proyectos para poder establecer enlaces mediante fibra óptica. A la concesionaria le corresponde crear un sistema de monitoreo con el cual se pueda dar fiabilidad a los usuarios o inclusive proporcionar al acceso de la red en dado caso que se presentase una emergencia en la vialidad [19].



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES
Y
TRANSPORTES

Forma C. G-1A

CONCESIÓN QUE OTORGA EL GOBIERNO FEDERAL POR CONDUCTO DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, REPRESENTADA POR SU TITULAR EL ARQUITECTO PEDRO CERISOLA Y WEBER, A FAVOR DE LA SOCIEDAD DE NACIONALIDAD MEXICANA CONCESIONARIA AUTOPISTA MONTERREY-SALTILLO, S.A. DE C.V., REPRESENTADA POR SU REPRESENTANTE LEGAL, EL SEÑOR ENRIQUE JOSÉ VARGAS TABERNERO, A QUIENES EN LO SUCESIVO SE LES DENOMINARÁ LA SECRETARÍA Y LA CONCESIONARIA.

ANTECEDENTES

I. El Plan Nacional de Desarrollo 2001–2006, plantea como objetivos de la política económica: (i) crecimiento con calidad en la economía; (ii) crecimiento sostenido y dinámico que permita crear empleos, abatir la pobreza y abrir espacios a los emprendedores; y (iii) crecimiento que avance en igualdad de oportunidades entre regiones, empresas y hogares, para contar con recursos suficientes para combatir rezagos y financiar proyectos de inclusión al desarrollo.

II. Asimismo, señala que es muy importante dar una nueva orientación a los esfuerzos de México para lograr una exitosa inserción en la nueva economía mundial del siglo XXI, para lo cual, en materia de infraestructura y de servicios públicos, es necesario impulsar la inversión y el financiamiento privados en proyectos que sean socialmente rentables, así como promover mayores flujos de inversión extranjera directa, para lo cual propone una estrategia integral que involucre a todas las dependencias de la Administración Pública Federal.

III. Dicho documento de planeación establece que una oferta competitiva de servicios de comunicaciones y transportes es un elemento imprescindible para apoyar la competitividad general de

Figura 47. Documento que otorga la concesión y la operación de la carretera Monterrey-Salttillo.

Fuente: Recuperado el 27 de agosto de 2018 de:
<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGDC/Titulos/doctos/43.pdf>

Se debe hacer énfasis en el expediente que ha creado esta vialidad (ver figura 47), ya que gracias a las publicaciones de los periódicos como el Universal, nos exponen de las continuas fallas presentadas en dicha carretera, conduciendo a consecuencias fatales para sus usuarios. Podemos citar algunos ejemplos como los continuos choques o las malas condiciones en las que se ha

presentado la vialidad. Lo cual nos da una idea más clara sobre el monitoreo que se le ha dado y que realmente no se ha utilizado la infraestructura de fibra óptica para un control interno de la vialidad [19].

1.2.8. Carretera San Luis Río Colorado-Sonoyta.

Este tramo se presenta como uno de los proyectos para la instalación de fibra óptica a partir de la siguiente descripción: “Consta de una ruta de fibras ópticas de larga distancia en el lado Sur de la carretera Federal No. 2 entre la población de San Luis Río Colorado y Sonoyta, al Noreste del estado de Sonora, teniendo una longitud de 193.5 kms (ver figura 48) [20].

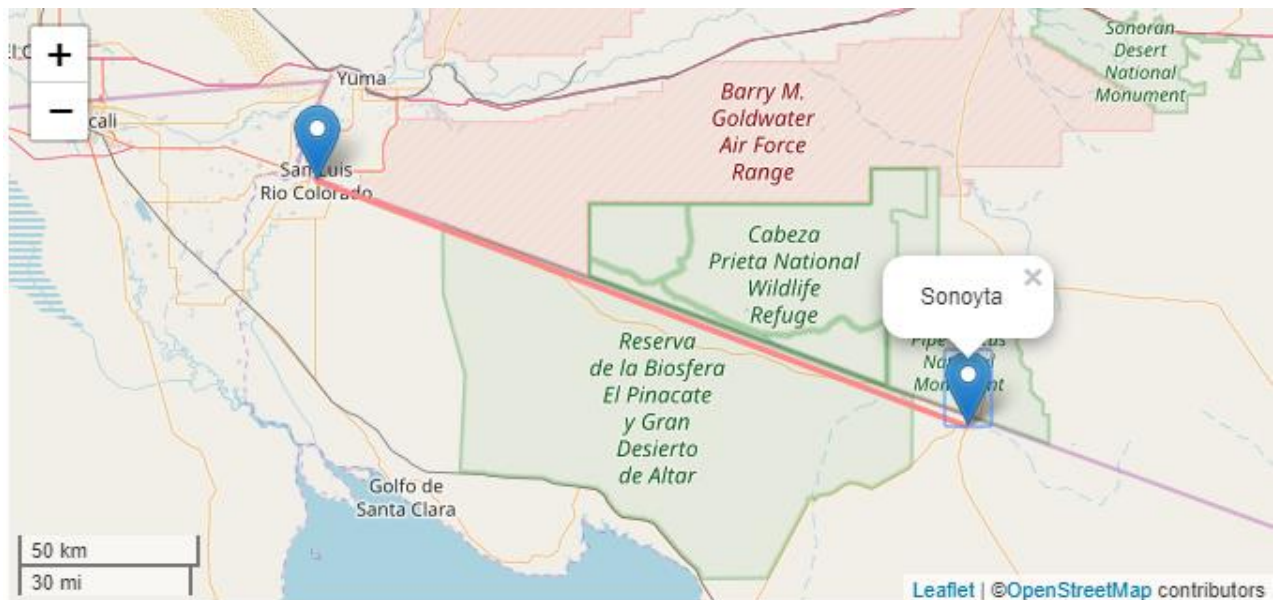


Figura 48. Carretera de San Luis Río Colorado a Sonoyta.

Fuente: Recuperado el 20 de septiembre de 2018 de: <http://www.mexicodistancia.com/distance/18131079-18006737>

Entre las cualidades principales que se le dan a este proyecto, se presenta la durabilidad del proyecto y la rentabilidad que puede tener después de un determinado tiempo. Data de una

utilidad de 25 años en la cual la principal concesionaria es TELNOR (Teléfonos del Norte), y como se sabe, esta es una filial de la empresa TELMEX. También debemos de recordar que se cubre un impacto de afectación al medio ambiente, el se cubrió por la empresa LORAX, Consultores S.A de C.V.

Todo el proyecto se encuentra orientado al desarrollo de una infraestructura de telecomunicaciones capaz de cubrir las demandas del usuario hacia estos servicios. Por lo que la principal razón del uso de estas líneas es por su gran ancho de banda y velocidad de transmisión; sin comentar que las señales de voz se hacen cada vez de mayor calidad evitando la interferencia de ruido y transmitiendo datos con una mayor eficiencia. Entre las cualidades normativas, se destaca la participación de la SCT, quien da las especificaciones técnicas para la instalación de los tendidos en la vía carretera. Se comenta además que dicha instalación deberá llevarse a una distancia de 2.5 *metros*, medida desde el límite exterior del derecho de la vía carretera (Cabe mencionar que el derecho de la vía carretera es de 20 *metros* a partir del centro de la carretera hacia sus márgenes exteriores). El tendido se realizó dentro de dicha franja excepto cuando exista la presencia de obstáculos de cualquier índole que impidan cumplir con las especificaciones, entre los cuales destacan: construcciones, zonas arboladas, accidentes topográficos, entre otras. El cable quedó instalado a una profundidad que varió entre los 0.8 y 1.2 *metros*, medidos a partir de la superficie del terreno. Dicho cable va colocado dentro de un tubo semiflexible de polietileno de alta calidad (flexoducto) en toda su trayectoria a lo largo de la carretera. En cruzamientos con puentes y alcantarillas, el cable y el flexoducto quedarán alojados dentro de canaletas de lámina galvanizada de 90 *mm* x 90 *mm* y/o tubo de fierro galvanizado. En cruzamientos con otras carreteras o caminos, el flexoducto y cable de fibras ópticas se colocarán dentro de tubos de fierro galvanizado cuyos diámetros van de 101.6 *mm* (4") a 254 *mm* (10"), donde dependerá de las condiciones particulares de la zona [20].

A lo largo de toda la vía carretera, se colocaron señalamientos, que consisten en postes de alta resistencia debidamente anclados para los señalamientos del tendido de fibra. Como también se sabe que el mantenimiento debe estar siempre a la vanguardia en esta vía. Para ello, se

colocaron registros prefabricados de vidrio o de concreto reforzado aproximadamente a cada 1000 metros, los cuales también están debidamente señalizados.

La señal transmitida, después de cierta longitud, comienza a perder sus cualidades, con lo que se deben considerar las causas por las que este problema se presente. Entre estos podemos destacar el empalme realizado entre fibra y fibra, ya que no se tiene un carrete lo suficientemente largo para poder realizar todo el tendido. Para ello, también se colocaron estaciones repetidoras con la capacidad de regenerar la señal y evitar su decaimiento. Se tienen contempladas dos estaciones repetidoras a lo largo de la ruta, mismas que cumplen con todos los requerimientos que establece para este tipo de instalaciones la *NOM-ECOL-130-SEMARNAT 2000*.

Todo esto parece bastante atractivo, pero se muestra también la inversión requerida para dicho proyecto, el cual consta de 27,000 dólares por instalación en cada kilómetro. En la Tabla 12, se muestra la descripción del proyecto [20].

Concepto	Inversión (m. n.)	Inversión (U.S. dólares)
Instalación (construcción) de la línea de fibras ópticas	\$ 59,224,500.00	\$ 5,224,500.00
Medidas de prevención y mitigación	Por determinarse (a)	
Total	\$ 108'475,200.00	\$ 10'044,000.00

Tipo de cambio utilizado: \$11.3 X 1 (3 de diciembre del 2004)

Tabla 12. Inversión requerida para la instalación de fibra en la vía San Luis Río Colorado a Sonoyta.

Fuente: Recuperado el 20 de septiembre de 2018 de:
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/son/estudios/2005/26SO2005V0001.pdf>

En general, se hace un estudio sobre las medidas que se deben de aplicar para la implementación de dicho proyecto, por lo cual se mencionan aspectos ambientales y socioculturales, agricultores y ganaderos; además de incluirse los procedimientos y las herramientas a utilizar para dicho proyecto. Cabe mencionar que, cada una de estas prevenciones y mitigaciones adecuadas llevará

a cabo un cambio mínimo de impactos ambientales adversos significativos. Se hace un balance impacto-desarrollo basados en los beneficios e impactos presentados [20].

1.2.9. Carretera México-Toluca.

Ésta es quizá una de las carreteras de mayor importancia para el despliegue de fibra óptica, pues este es uno de los puntos, en el cual se conectan distintas poblaciones y a su vez estados de la república. Es importante señalar que, los avances hechos para una industrialización al Norte del Municipio de Toluca y la construcción en proceso del tren bala que conecta a la CDMX con esta entidad, ha propiciado la demanda de servicios para sustentar la infraestructura moderna que se está construyendo. Y es que, en los últimos cinco años se han estado realizando cambios en esta vía el cual incluye la ampliación de los carriles para soportar más tráfico automovilístico; con ello se puede asegurar que el despliegue de la fibra óptica es uno de los principales proyectos en desarrollo, el cual está orientado no solo en las vías carreteras, sino también en las férreas. Por lo cual, es importante definir la empresa bajo la cual se está concesionando dicho proyecto, donde se hace una cita del primer párrafo del artículo: "Pinfra hará la primer *Fibra E* con la carretera México-Toluca" [21].

El primer Fideicomiso de Inversión en Infraestructura y Energía, conocidos como *Fibra E*, se llama Lerma Infraestructura y puso a disposición de los inversionistas un portafolio conformado por concesiones de Pinfra, como la autopista México-Toluca. De acuerdo con el prospecto de colocación disponible en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV), Lerma Infraestructura adquiriría las acciones de una filial de Pinfra, cuya principal concesión es la autopista México-Toluca. "Desde un punto de vista de negocio, el esquema de *Fibra E* permitió a compañías públicas y privadas recibir inversiones y/o monetizar su participación accionaria en proyectos y/o activos de energía e infraestructura", citó el prospecto. La México-Toluca es la principal concesión de Pinfra y una de las principales autopistas del país. Pinfra, antes Tribasa, la opera desde 1989. La vialidad

conecta a la Ciudad de México con Toluca a lo largo de 19 kilómetros, los cuales están siendo ampliados (ver figura 49) [21].

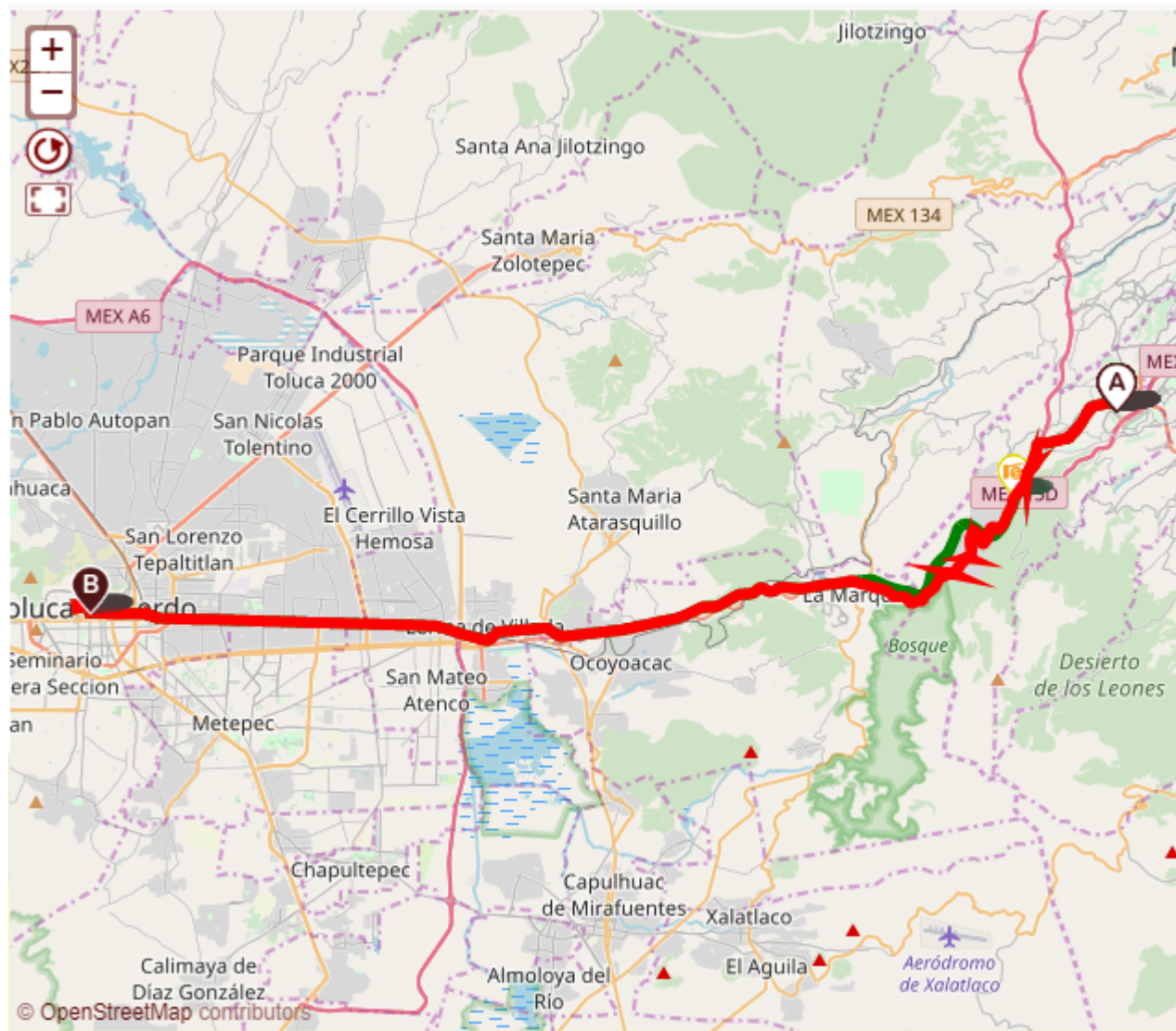


Figura 49. Trazo carretera México-Toluca.

Fuente: Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de: <http://ttr.sct.gob.mx/mappir/>

1.2.10. Carretera Chamapa-Lecheria.

Este es uno de los proyectos, que al igual que los corredores: México-Acapulco, México-Irapuato, México-Veracruz se incluyen en la presentación de un proyecto para modernización de los ejes carreteros. Con fecha del 4 de enero de 2012 y mediante el oficio de asignación de recursos de la dirección Fiduciaria de BANOBRAS, se autorizó la inversión para dicho proyecto. Como se sabe, este es un tramo que comprende un tramo cerrado tal como se visualiza en la figura 50.

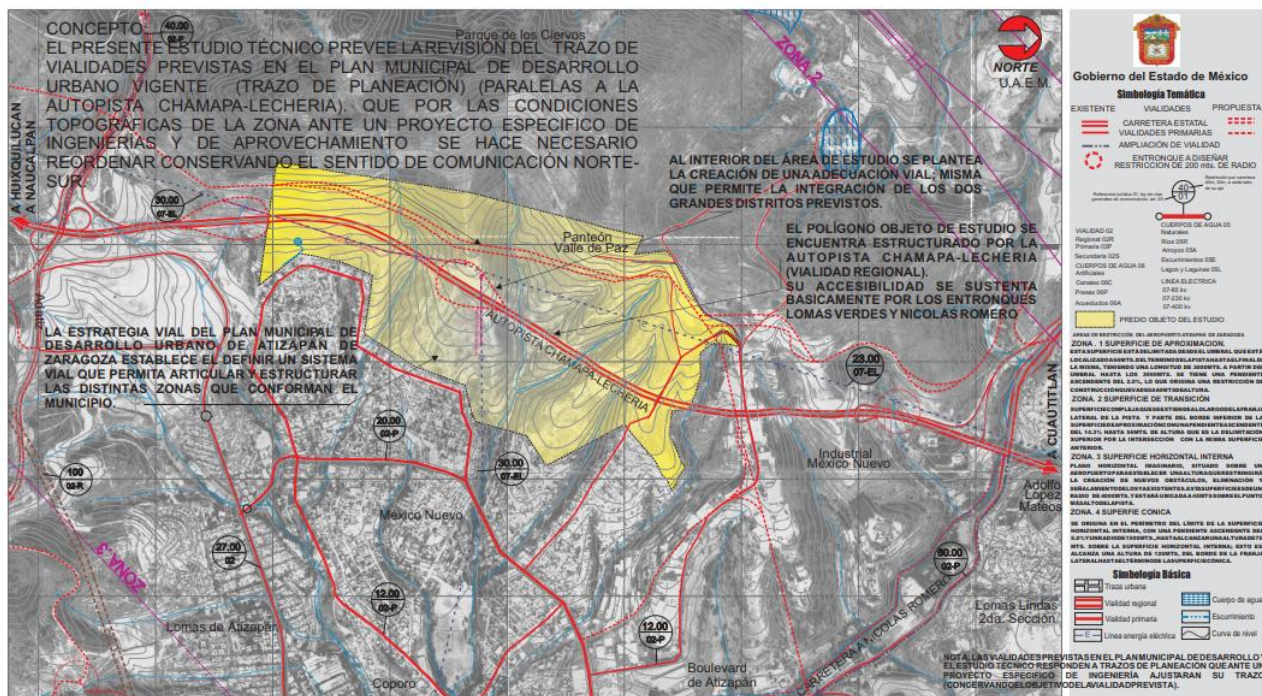


Figura 50. Carretera Chamapa-Lecheria.

Fuente: Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de:
http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/planes_parciales/valle_paz/LAM-D-03.pdf

Entre otras se mencionan las cualidades del contrato y los concesionarios que estarán a cargo del proyecto, para lo cual se definen las fechas y normas bajo las cuales se esta operando. En cuanto a los agentes principales que describen la operación de dicho proyecto, se incluyen los que se indican en la Figura 51 [22].

Partida 2 Tramo Cerrado Chamapa-Lechería
1. El consorcio formado por Aeronaval de Construcciones e Instalaciones S.A.U., Ingeniería y Servicios ADM, S.A. de C.V. y Proyectos y Sistemas Informáticos S.A. de C.V. (ACISA-ADM-PROSIS)
2. Indra Sistemas México, S.A. de C.V. (INDRA)
3. El consorcio formado por Thales Security Solutions & Services S.A. de C.V., Thales España GRP, S.A.U. de C.V. y Comtelsat S.A. de C.V. (THALES-COMTELSAT)
4. Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas S.A. (SICE)

Figura 51. Participantes del proyecto de modernización del tramo cerrado Chamapa-Lechería.

Fuente: Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de: http://2006-2012.funcionpublica.gob.mx/unaopspf/doctos/tsocial/pm0ac003_caso03-1-12_capufe10-02-2012.pdf

Se realizó un estudio de mercado para la realización del mismo (ver Figura 52).

Las empresas participantes en la Investigación de Mercado fueron:

- Axiompass S.A. de C.V.
- Controles Electromecánicos S.A. de C.V.
- Kapsch Traficom IVHS
- Sociedad Industrial de Construcciones Eléctricas S.A. de C.V.
- Simex Integración de Sistemas S.A. de C.V.
- Thales Security Solutions & Services, S.A. de C.V.
- Telvent México, S.A. de C.V.
- Ingeniería y Servicios ADM S.A. de C.V.

Figura 52. Empresas participantes en el estudio de mercado para el despliegue de fibra óptica en la carretera Chamapa-Lechería.

Fuente: Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de: http://2006-2012.funcionpublica.gob.mx/unaopspf/doctos/tsocial/pm0ac003_caso03-1-12_capufe10-02-2012.pdf

Entre las principales medidas que indicaron para la instalación se solicitó información para cubrir los siguientes aspectos:

- Equipamiento de carril.
- Servidor de plaza de cobro.
- Equipamiento de centros de control.
- Fibra óptica.
- Elementos ITS.
- Plan de transición.

Todo esto con la finalidad de tener un esquema específico sobre las condiciones bajo las cuales se va a implementar dicho proyecto y poder realizarlo de la forma más ordenada posible junto con los planes de crecimiento para esta vía carretera. Cabe mencionar que al igual que el enfoque para las demás vías, se contempló establecer un sistema para este tramo cerrado que permita el monitoreo de la vía en tiempo real y el tráfico que transcurre por la misma [22].

1.2.11. Carretera-Salamanca León.

Con una inversión de 3 mil 450 millones de pesos, esta vía se encuentra en operación, por lo cual con un sistema moderno de monitoreo, cámaras y tecnología de fibra óptica se pueden prever accidentes y mantener monitoreada toda la vía mostrando el tráfico en tiempo real. La administración federal anterior, inauguró la vía proponiendo nuevas oportunidades de desarrollo para la población. Por otro lado, en cuanto a los sistemas inteligentes, se tiene conectividad por medio de fibra óptica entre algunas otras descripciones como lo son 12 tableros de mensajes variables, 56 cámaras de vigilancia, 12 cámaras de detección automática de incidentes, 54 teléfonos SOS, 6 estaciones de monitoreo de velocidad fijas y 6 móviles [23].



Figura 53. Carretera Salamanca-León.

Fuente: Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de: Google Maps Inc.

Actualmente, se han presentado diferentes inconvenientes, donde se menciona que no se han concluido por completo las obras que se realizan en dicha vía. Con esto se dice que, la mayoría de las obras que se planean para construcción en los tramos fijados no siempre se cumplen y se corre el riesgo que se dejen los proyectos inconclusos. Es por ello que se trata de establecer un seguimiento que sea productivo y eficiente para poder omitir inconvenientes. En la figura 53 se muestra la ubicación de los puntos que conectan esta vía [23].

1.2.12. Carretera Mazatlán-Culiacán.

Carretera estatal Habal-Cerritos y la carretera federal concesionada número 15-D en su tramo Culiacán Mazatlán, así como la zona urbana de estos municipios y aquellos que se encuentren en

este corredor. El presente proyecto abarca el tramo de carretera número 15 con origen en Culiacán y con término en Mazatlán, ambas poblaciones del estado de Sinaloa [24].

Municipios:

- Culiacán.
- Elota.
- San Ignacio.
- Mazatlán.

Todos pertenecientes al estado de Sinaloa.

De entre las localidades más importantes a lo largo del trayecto de la red de fibra óptica son las siguientes [24]:

- Culiacán.
- Candelaria.
- Argentina.
- Abuya y Ceuta Dos.
- Laguna Canachi
- La Cruz
- Mazatlán.

Coordenadas geográficas y/o UTM, de acuerdo con los siguientes casos, según corresponda: Los puntos más importantes que se encuentran en el corredor Culiacán-Mazatlán, en el estado de Sinaloa, corresponden a los municipios que se encuentran sobre la autopista de cuota que une estos municipios. A continuación se señalan los anteriores [24]:

Culiacán Rosales

Esta cabecera municipal se encuentra ubicada a 24° 48' latitud norte, 107° 23' latitud oriente sobre el Meridiano de Greenwich. Su altitud es de 60 metros sobre el nivel del mar.



Figura 54. Trazo de la vía de Mazatlán a Culiacán.

Fuente: Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de:
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/sin/estudios/2004/25SI2004VD008.pdf>

De entre las cualidades principales de esta vía (ver figura 54), se menciona la durabilidad del proyecto, el cual se tiene planeado para una duración de 20 años, junto con la entidad que licita para la realización de éste proyecto, el cual se postula como TELMEX. Por otro lado, se postula

para la relación de impacto ambiental la siguiente empresa: TRG México S. de R.L. de C.V. al igual que las demás vías que se habían mencionado, las normas bajo la cuales se va a desplegar la fibra óptica cumple con los requerimientos de instalación y operación; este se cita a continuación: “El cable que contiene la fibra óptica se enterrará a una profundidad de 0.8 *metros* a 1.2 *metros*, medidos a partir de la superficie del terreno. El cable irá colocado dentro de un tubo de polietileno de alta densidad, el cual se le denomina flexoducto en toda su trayectoria. En zonas de cruce o alcantarillas, el flexoducto con el cable se depositarán en canaletas de aluminio o lámina galvanizada con medidas de 90 X 90 *mm* o en tubos de fierro negro. En cruces con carreteras o vías de ferrocarril, el flexoducto equipado se colocarán dentro de tubos de fierro negro, de diámetros de 4 *pulgadas* (101.6 *mm.*) a 10 *pulgadas* (254 *mm.*) identificación de las obras” [24].

En cuanto a la inversión del proyecto, se tiene destinada la cantidad abajo descrita para la realización del proyecto. Cabe mencionar que cada kilómetro de despliegue tendrá un costo de 25 000 dólares, con un tipo de cambio de 10.85 por dólar americano (ver tabla 13).

Inversión en pesos	Total	Infraestructura
	Monto total de las obras:	Costo de la infraestructura:
	\$60,515,000.00	\$49,000,000.00

Tabla 13. Inversión para despliegue de fibra óptica de la carretera Mazatlán-Culiacán.

Fuente: Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de:
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/sin/estudios/2004/25SI2004VD008.pdf>

Si se muestran los materiales que se van a usar en el despliegue de esta tecnología y sus parámetros principales, se puede considerar si este tipo de materiales se encuentra disponible en su totalidad para grandes despliegues y las cualidades que debe de tener para realizar la instalación acorde a la norma preestablecida [24].

Tipo	Volúmen
Cable de fibra óptica.	De 1.25 cm de diámetro en cantidad para cubrir la longitud total de 247 kms.
Tubería de fierro negro.	De 1.0116 mm (4") y 254 mm (10") de diámetro en cantidad necesaria para cubrir la longitud para cruces subterráneos con carretera.
Canaleta de aluminio y/o de lámina galvanizada de 90 mm x 90 mm.	Para cruzamientos en cantidad necesaria para cubrir la longitud para puentes y alcantarillas
Tubos de polietileno de alta densidad.	De diferentes diámetros hasta de 6.05 cm en cantidad necesaria para cubrir todo el trayecto de la ruta de 247 kilómetros.
Cinta preventiva plástica de color naranja.	Que se coloca a 30 cm por encima del cable de fibra óptica, en cantidad necesaria para cubrir todo el trayecto.
Postes de señalamiento de trayectoria.	En cantidad necesaria para cubrir todo el trayecto que se colocan aproximadamente a cada 2250 metros de distancia y en cambios de dirección.
Materiales varios de ferretería.	En general, tales como tornillos, remaches, etc. Para casos específicos de cruces de puentes y otros, en cantidad necesaria para cubrir todo el proyecto.
Cemento, grava y arena.	En función de los requerimientos específicos de la trayectoria, usados principalmente en zona urbana.
Registros prefabricados de fibra de vidrio.	De 2.0 x 1.5 x 1.40 metros que se colocarán aproximadamente a cada 1000 metros.
Tubos PVC.	Semirígidos con diámetros de 45, 60 y 80 mm que serán instalados en la zona urbana.
Pegamento para tubos de PVC.	En cantidad necesaria para cubrir según las uniones que se requiera en las tuberías.
Postes de madera.	Que van de 45 a 60 pies de largo y de 6 a 8 pies de diámetro.
Retenidas de acero.	En cantidad necesaria para cubrir todo el trayecto.
Accesorios para postes.	Como soportes o pijas para colgantes, en cantidad necesaria para cubrir todo el trayecto.

Tabla 14. Tipo de materiales usados para el despliegue.

Fuente: Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de:
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/sin/estudios/2004/25SI2004VD008.pdf>

En general, se consideran los aspectos más importantes para el despliegue de la vía, con la menor afectación posible y a los entes que les incumbe la realización de éste proyecto. Por otro lado, también se mencionan las cualidades, así como los parámetros que deben cumplirse para las zonas características del proyecto; incluyendo los factores principales que son el tipo de vía, población y el material a utilizar [24].

1.2.13. Carretera Reynosa-Matamoros.

Al igual que las tecnologías de transporte utilizadas para el envío de datos, se utiliza esta vía carretera para así tener comunicación entre estas dos entidades federativas, cabe mencionar que el método de despliegue que se tiene implementado en ésta vía es mediante la instalación de los ductos o zanjas donde se alojan los hilos de fibra óptica. Como se puede observar en la Figura 55, se tiene el despliegue de la fibra que conecta no solo a las ciudades, sino que también se enfoca en ofrecer los servicios a comunidades aledañas a la carretera [25].

Se utiliza de manera que se ofrezcan los servicios básicos de telecomunicaciones a velocidades más altas que cuando se utilizaba el cable de cobre. Aun así, por tema de los pobladores ha sufrido algunos daños donde se conectan los postes que monitorean la red desplegada a lo largo de toda la vía. Esto en gran medida realentiza el proceso de crecimiento. Es por ello que debe de considerarse el despliegue a través de los ductos, donde los hilos por donde se transporta el tráfico sea protegido y no tenga la susceptibilidad de ser dañado por diversos factores [25].

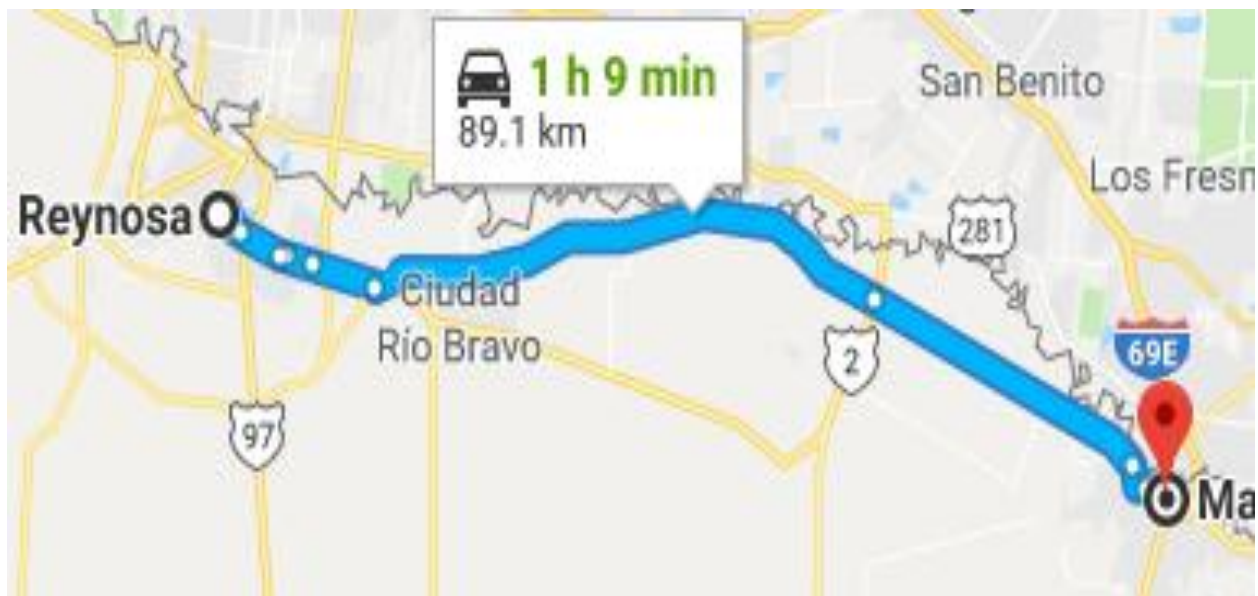


Figura 55. Carretera Reynosa-Matamoros.

Fuente: Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de: Google Maps Inc.

Nombre de la carretera	Kilómetros de fibra óptica instalada (kms)
Carretera Ozuluama-Tampico-Ebano.	142.022
Carretera México-Acapulco.	367
Carretera México-Veracruz.	378
Carretera México-Irapuato.	370
Carretera Arco Norte.	223
Circuito Exterior Mexiquense.	110
Carretera Monterrey-Salttillo.	49.8
Carretera San Luis Río Colorado-Sonoyta.	193.5
Carretera México-Toluca.	19
Carretera Chamapa-Lecheria.	27.346
Carretera-Salamanca León.	79
Carretera Mazatlán-Culiacán.	181.5
Carretera Reynosa-Matamoros.	89.1
Total de kms de fibra óptica instalados	2229.268

Tabla 15. Resumen de carreteras con kms de fibra óptica instalados 2019.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Como se ve en la tabla 15, una vez detallada la descripción de las vías carreteras, se procede a realizar un resumen, en el cual se incluye el nombre de la carretera y los kilómetros de fibra instalada correspondientes. Esto con la finalidad de cuantificar el total de kms de las carreteras mencionadas en éste apartado.

1.3. Infraestructura Carretera a Nivel Global con Instalación de Fibra Óptica.

No se puede negar que la tecnología de los países de primer mundo enfoca mucho sus expectativas en los sistemas de telecomunicaciones. Ya que para ellos se ha convertido en un hábito mantenerse conectados para recibir las noticias del día. Como lo hemos visto, este hecho se ve reflejado en la creciente infraestructura destinada para el sector de las telecomunicaciones y que por supuesto se enfoca directamente en la instalación de fibra óptica a través de los corredores que conectan a las grandes ciudades de entidades como Estados Unidos, Rusia, Japón, etc. Solo por mencionar algunos. Se debe considerar las ventajas proporcionadas por este auge en la instalación de dicha tecnología en las carreteras de otros países, incluso analizar el método correcto para mantener conectados los continentes mediante esta tecnología. El desarrollo tan imponente puede ser observado con la creación de un sistema de comunicaciones basado en fibra óptica, capaz de soportar los servicios de voz, datos, vídeo, por así llamarlo las redes convergentes, son y serán los pilares importantes para la actividad económica de hoy y el futuro. Pueden establecer un medio de mercado en el cual se ofrezcan y se implementen diversos servicios vía remota. Inclusive facilitar la comunicación entre países y por qué no llamarlo: “la educación del futuro”, la cual esté basada en métodos de educación a distancia, la telemedicina, el internet de las cosas y otros servicios basados en las necesidades crecientes del usuario. Todo esto, aunado al desarrollo de la red 5G hace pensar en una súper red, capaz de soportar todos estos servicios y de igual manera poder monitorearlos a todos en tiempo real; identificar y mejorar aún más el servicio.

1.3.1. Tecnologías Actuales de Despliegue de Fibra Óptica.

De acuerdo con el Instituto Federal de las Telecomunicaciones (*IFT*), actualmente en México, se tiene un despliegue de fibra óptica ascendiente a 469, 231 kilómetros desplegados en todo el territorio nacional, mostrando un crecimiento de 161.7 % durante los últimos 10 años. Este ritmo

de despliegue ha aumentado de manera significativa durante los últimos años, ya que se ha pasado de desplegar en promedio, 11.5 mil kilómetros de fibra óptica por año durante el periodo de 1992 a 2009; hasta 31.7 mil kilómetros de fibra en el periodo de 2010 a 2016. Por lo cual se puede decir que se ha triplicado la velocidad de despliegue de fibra óptica, debido a la alta demanda de contenido por los usuarios. Por otro lado, ¿Cuál es la tecnología bajo la cual se están desplegando los kilómetros de fibra? ¿Qué metodología se establece en el país para usar mejor los recursos de las vías carreteras? Para ello, se debe considerar omitir el riesgo en la misma vía, aumentando la calidad de los materiales a utilizar en el despliegue de fibra en las vías. Por ello se muestran los métodos aplicados en otros países y la similitud que puede tener con los usados en México [25].

En las siguientes secciones, se muestran las actividades y los procesos que ya se han realizado para el despliegue de fibra en otros países.

1.3.2. Chile.

Se centra en las carreteras del mundo que ya cuentan con la tecnología enlaces de comunicación mediante fibra óptica, podemos dar ejemplos como: el país de Chile, quien fundamenta la creación de un circuito de transporte carretero digital. Así lo expresó a la prensa antes del comienzo de las actividades, datadas de febrero del año 2018, la ministra de Transportes y Telecomunicaciones, Paola Tapia, quien destacó que con el proyecto de despliegue de fibra óptica en carreteras mediante el uso de tritubos, se va a "conseguir una mejor calidad de las telecomunicaciones" en el país. Gracias a ello se van a ver favorecidas las personas y el "desarrollo del emprendimiento, el turismo, la economía, el comercio y los aspectos científicos dentro del país" [26].

1.3.3. Perú.

Para el caso del país de Perú se programó un proyecto de nombre: “Red Dorsal Nacional de Fibra óptica (RDNFO)”, al cual destinó un tendido de 13, 500 kms. de fibra óptica con una inversión de 323 millones de dólares y con un periodo de despliegue de 2 años. Aunque la idea de ellos es un poco diferente a la red que se tiene planeada en el país, ya que su plan es utilizar la infraestructura existente como redes eléctricas de alta y media tensión y postes instalados en los derechos de vía de las carreteras nacionales (ver figura 56).



Figura 56. RDNF en Perú.

Fuente: Recuperado el 29 de agosto de 2018 de: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Americas/Documents/EVENTS/2014/0804-PY-Cnntvity/5_S2_Present_Gonzalo_Ruiz_OSIPTEL.pdf

Haciendo un comparativo con países de primer mundo como Estados Unidos, los cuales tienen protocolos de instalación y operación del tendido de fibra óptica en sus carreteras principales, se muestra cómo se han mantenido en comunicación constante a pesar de las modificaciones de todo tipo, realizadas dentro de su territorio respecto a su red nacional de carreteras. Este tipo de países muestran una idea firme de extender su infraestructura carretera en todo el país, utilizando las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación). Consecuencia de ello es que, al tener una red tan eficiente de fibra óptica en sus carreteras, se puede transportar una cantidad de datos impresionante, permitiendo así a los usuarios disfrutar de las redes convergentes con un sinfín de servicios, ya sea de comercio, educativos, entretenimiento, entre otros [27].

1.3.4. Costa Rica.

Costa Rica, siendo un país más reducido, comparado con México, ya también se encuentra en el proyecto de instalación de fibra óptica a través de sus carreteras, ya que quieren aprovechar la red de carreteras nacionales para instalar ductos que almacenen el cable de fibra óptica. La iniciativa surge del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica (Micitt), para instalar la fibra en carreteras ya existentes del país y proponer la prevención de instalación de los ductos a la hora de diseñar futuras carreteras [28].

1.3.5. Estados Unidos.

Se sabe que este país en el área de las TIC invierte bastantes recursos monetarios, haciendo mención de manejar sistemas de despliegue de fibra óptica avanzados a través de sus carreteras. Para ellos es de suma importancia mantener su territorio ampliamente conectado (6 580 000 kms de carreteras en total), es por ello que se monitorean unos 260,000 *kms.* de su Sistema Nacional de Carreteras (NHS), que no solo tienen como principal objetivo la transmisión de datos, sino que enfocan el comportamiento de las carreteras en tiempo real, al presentarse todo tipo de situaciones, entre las cuales destacan las deformidades aplicadas al concreto, las velocidades de los autos a lo largo de toda la carretera o los puntos de monitoreo a lo largo de las vías. Esto permite en gran medida establecer un control de tráfico más ordenado y fortalecer los puntos de la vía más vulnerables [29].

Se sabe que este país maneja muchos puentes a lo largo de sus vías, para ser exactos 576,000 *kms.* de los cuales 187,000 *kms.* se encuentran en mal estado. La inspección de estos puentes se ha basado en el pasado de manera visual o con equipos de diagnóstico. Siendo esto una evaluación empírica acerca de las fallas en la estructura, además de no saber lo que se tiene debajo de la pintura o de las vigas de acero; requiriendo para su análisis varios profesionales con largas horas de trabajo. Esto dispara el costo de mantenimiento y no siempre puede resultar seguro el trabajo para los evaluadores [29].

Se tiene el puente anodino ubicado en la carretera interestatal 10 en las cruces, NM. Aunque un observador nunca lo adivinaría, este puente establece un récord mundial, ya que a lo largo de su estructura hay 120 sensores de fibra óptica basados en rejilla de bragg, los cuales se pretende colocar a lo largo de todos los puentes que se encuentran en la red de carreteras. Esto en cuanto al monitoreo de los puentes que son de suma importancia para conectar vías donde las regiones geográficas son separadas, pero si lo aplicamos al monitoreo de carreteras, se tendría una aplicación específica para saber cuándo se muestre una fractura a lo largo de la carretera e

inclusive para monitorear ciertas áreas en las que las condiciones climáticas deterioren el asfalto de una manera más gradual que en otras localidades.

En pocas palabras, se puede establecer un sistema de monitoreo de fibra óptica capaz de detectar un cambio en las propiedades mecánicas, incluso un cambio sutil, como el envejecimiento del asfalto, el microfisurado del concreto o la congelación de los rodamientos debido a la corrosión, mismo que indica el deterioro de los materiales. Este enfoque de monitoreo de salud de la vía incluye la detección de un cambio de amplitud, frecuencia o amortiguamiento de las vibraciones transitorias que pueden ser excitadas por tráfico aleatorio, cargas de viento o por dispositivos de carga forzada [29].

1.3.6. China.

Al ser un país desarrollado tecnológicamente, se incluye dentro de sus proyectos la instalación de fibra óptica, que no solo se escala a despliegue de fibra, sino que incluyen dentro de sus carreteras paneles solares para el suministro de energía. La red de carreteras de este país está compuesta por 4, 770, 000 kms. de los cuales 136, 500 kms. Pertenecen a las autopistas, mismas que ya cuentan con la instalación de fibra óptica a lo largo de la vía. Las razones por las cuales se plantea el despliegue de fibra óptica en sus carreteras son:

- La implementación de un mercado económico basado en las redes convergentes.
- Abrir el mercado de despliegue de fibra óptica.
- Establecer una red nacional de carreteras monitoreada en tiempo real.
- Proveer mayores tasas de transmisión para la carga y descarga de datos.

Es importante recalcar que el desarrollo de una nueva red de telecomunicaciones basado en fibra óptica y a lo largo de la vía se planea en conjunto con las compañías constructoras [30].

1.3.7. Corea del Sur.

La estructura férrea de Corea del Sur posee 3,381 *kms.* de vías y es administrada por la compañía estatal Korea National Railroad (Korail), que en el 2005 fue dividida en dos empresas, por un lado, Korail como operadora y, por otro, Korea Railroad Corporation, que se encarga del mantenimiento de la infraestructura vial. Se considera que al ser un país que está fuertemente comprometido con las telecomunicaciones, sus carreteras en mayoría cuentan con tendido de fibra óptica. Mismas que son utilizadas para ofrecer el servicio de Internet más rápido del mundo según su ficha técnica de acceso terrestre [31].



Figura 57. Red de carretera en Corea del Sur.

Fuente: Recuperado el 29 de agosto de 2018 de:
<https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ficha-logistica-coreasur-2013-final.pdf>

Esto por mencionar algunos ejemplos de países que tienen tendido de fibra óptica no sólo en sus carreteras, sino que también en otros medios, de modo que el proyecto de crecimiento de su país pueda ser rentable y el periodo de tiempo en el que se implemente sea reducido para evitar costos adicionales y se impulse su economía lo más rápido posible. Ahora se debe posicionar en el esquema que se busca para el país de México, las cualidades que se busca tener para acrecentar el proyecto, de modo que su implementación se escale a niveles más grandes. Es decir, que no solo se estanque en colocar la fibra en vialidades principales, sino que se centre en el crecimiento de la instalación en todas las vialidades del país. Conduciéndonos al alza de muchos factores que en la actualidad realmente se necesitan. Por poner algunos ejemplos: la generación de muchos empleos, la elaboración de normas, crecimiento de la economía, entre otros [31].

1.3.8. India.

Uno de los ejemplos paradigmáticos del despliegue de fibra óptica en las carreteras es el caso de la India, el cual muestra la rentabilidad del negocio de fibra para las operadoras de telecomunicaciones a través de los carriers, los cuales son los que proveen de infraestructura de fibra dentro de sus tendidos de vías carreteras, ofreciendo a las comunidades cercanas la posibilidad de establecer vínculos entre las redes de internet. La tecnología de despliegue de fibra óptica en India se muestra a lo largo de 10, 000 kilómetros de sus carreteras, las cuales conectan a las poblaciones de Delhi, Kolkata, Chennai y Mumbai; a este tendido se le conoce como el “Cuadrilátero de Oro”. El proyecto fue detenido por cinco años por razones políticas, pero recientemente fue liberado y los gobiernos decidieron concesionar algunos tramos, teniendo así un atractivo de rentabilidad de dichas concesiones. Esto impulsa a la nación como ejemplo a tomar por parte de las demás poblaciones, ya que se puede establecer un comparativo a las actividades que realizan los demás países primer mundistas [32].

1.3.9. Japón.

Podemos hablar de esta nación como una de las más desarrolladas en la inclusión de las nuevas tecnologías aplicadas a la vida cotidiana; y es que a pesar de ser una región no tan extensa, se observa cómo es que la fibra óptica ha tomado una gran importancia para los usuarios de este país desde hace algunos años atrás. Inclusive poco más de que se comenzara a tomar más enserio el tendido de fibra óptica en el continente americano. En el artículo escrito por Ken Belson de la publicitaria Expansión, nos comenta de las líneas que se tenían instaladas para cada uno de los usuarios de Japón, es decir que ya contaban con tasas de carga y descarga de archivos de hasta 100 *Mbps*, lo cual era impensable para un país como México para el año 2008. En esta época aún se manejaba el esquema de las líneas de transmisión como el cobre para la transmisión de datos, que inclusive no llegaba a una velocidad de 1 *Mbps*. Es por ello que, al compararlo en la época actual, se puede asegurar que la mayoría y si no es que todas las vías por las cuales se transportan los automóviles están provistas de enlaces de fibra óptica, siendo estas carreteras un exponente de las llamadas intelligent roads. Con la capacidad de proveer a los usuarios un status del tramo que recorren y ofreciendo así un servicio de banda ancha en todo el tramo de carretera recorrido [33].

Si se piensa a futuro, aquí es donde se podría comenzar a implementar el sistema de automóviles sin funciones manuales, es decir, que pudiera manejarse remotamente o inclusive automatizarlo. Todo esto, es referido al esquema en el que se está manejando el país de Japón con el hecho de que ciertas medidas tengan que ser homologadas y revisadas de acuerdo a los organismos correspondientes de las TIC a nivel mundial (ver figura 58) [33].

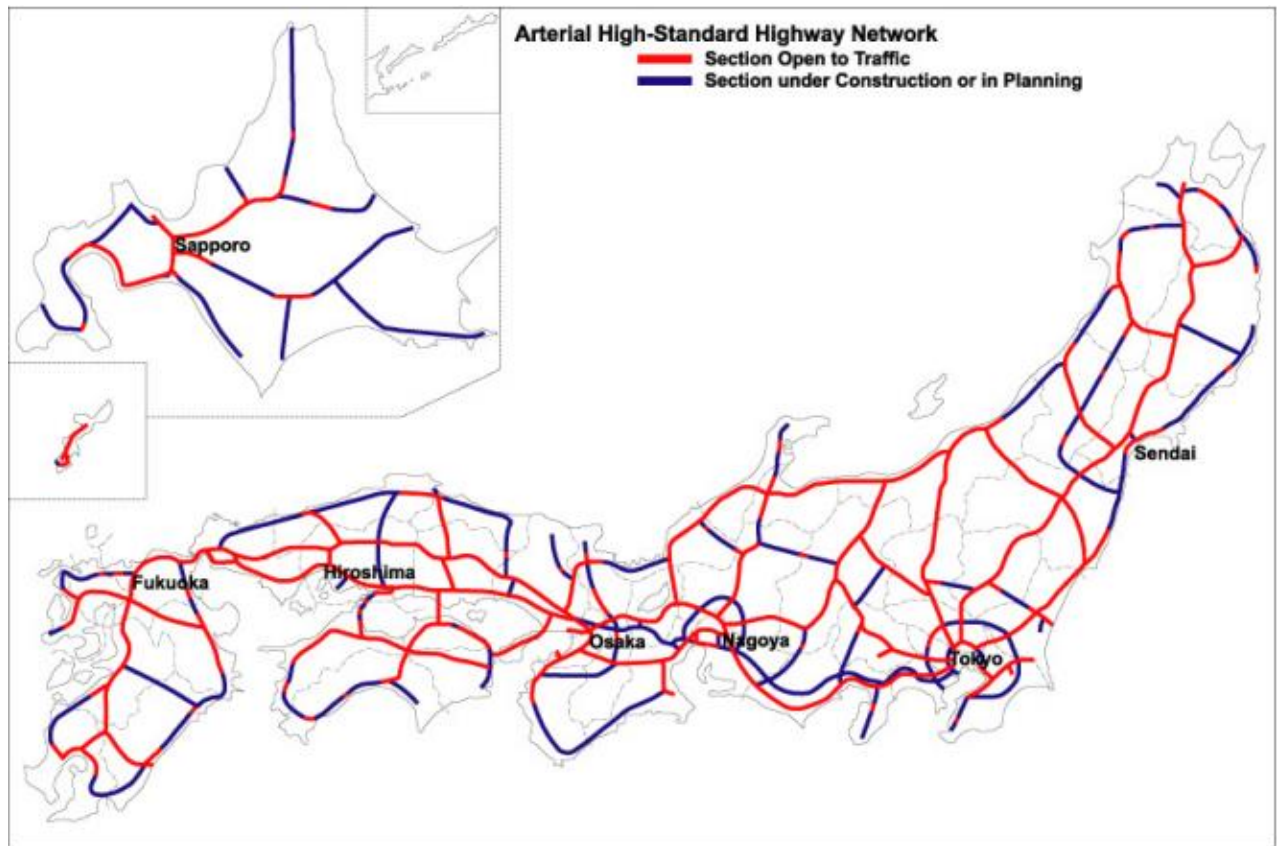


Figura 58. Red de carretera en Japón.

Fuente: Recuperado el 17 de septiembre 2018 de: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-06-30/9-000-km-entre-japon-y-eeuu-el-cable-submarino-de-google-ya-esta-online_1226042/

En la figura 58, se muestra la red de carreteras de Japón, donde se esquematiza el cierre de anillos, lo cual conecta las principales entidades del país que ya cuentan con tendido de fibra óptica. Por consiguiente, debemos saber que para realizar esta tarea se requiere de cierta tecnología, como es el caso de *DWDM* (Dense Wavelength Division Multiplexing) [34].

1.3.10. Inglaterra.

Para el caso particular de esta nación se ha buscado la reducción de tráfico en las vías carreteras, y en su intento por lograrlo Highways England (Concesionaria del tendido de fibra óptica en las carreteras del Reino Unido) implementó cientos de millas de cables de fibra óptica desplegadas por el centro de las concurridas autopistas entre Londres, Bristol, Leeds y Manchester. El tendido de fibra óptica se ha destinado a la tecnología de 5G, la cual presenta menores variaciones de error en la transmisión de datos. Esto ayudará en gran medida al acceso de información por parte de los usuarios sobre desvíos de carreteras, tráfico pesado y la propuesta de vías alternas en caso de tener congestión. Todo esto en tiempo real, lo cual hace suponer que se tendrá información sobre las fluctuaciones de la vía en lugares específicos, inclusive la inclusión del comercio de todo tipo, dándonos una imagen sobre los establecimientos más cercanos acorde a nuestra ubicación en la autopista.

La inversión destinada para el plan de proyecto tendrá un costo estimado de 30 mil millones de euros, con un estimado de tiempo del 2020 al 2030. Hasta ahora la compañía Highways England se ha enfocado en convertir las carreteras en autopistas inteligentes, dando hasta el más mínimo detalle sobre la vía, haciendo mención de factores externos (tráfico, cambios de ruta, entre otros), y factores internos (deformación de la vía, baches, cambios de pavimento, entre otros). Cabe mencionar que el sistema de instalación bajo el que operan es sobre excavación de ductos [35].

1.3.11. Francia.

La red de carreteras de este país representa al igual que la mayoría una las formas más significativas de mantener la comunicación entre regiones y comunidades, ya que es por estas vías principales por las cuales se puede establecer un nivel de comercio y transporte constante. En la figura 59 podemos ver la red de carreteras de este país.



Figura 59. Red de carreteras en Francia.

Fuente: Recuperado el 17 de septiembre de 2018 de: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/13116_Trafic-routier-hors-villes_Web_planches_ES.pdf

Empresas como SITS, las cuales están enfocadas en el tendido de fibra óptica en las vías carreteras e inclusive en las vías férreas, son las que proporcionan el método a partir de creación de zanjas con la finalidad de realizar el monitoreo de sus carreteras en todos los ámbitos. Como se observa, Francia mantiene comunicadas las regiones que la componen de forma constante, por lo cual no solo se apoyan para el monitoreo de las carreteras, sino que también muestran la

macro transmisión de datos en su misma área. Esto nos muestra el avance obtenido al interconectar a sus regiones mediante la fibra óptica [36].

1.3.12. Alemania.

En los 60, 000 *kms.* de cable de fibra óptica se mantiene el estándar de la digitalización y de la automatización de las carreteras de Alemania. Es icónico para ellos contar con una red que cubra la amplia demanda de servicios de telecomunicaciones, sobre todo para establecer un nuevo régimen de Industrias 4.0. Las cuales se encuentran orientadas a los servicios ofrecidos de manera remotos vía web. Inclusive para abrir nuevos mercados, en los cuales la inclusión de los servicios de red se imprescindible. En Hamburgo, una de las localidades más importantes de Alemania se tiene la carretera inteligente, la cual incluye desde monitoreo en tiempo real del tráfico, hasta las deformaciones que se presentan a lo largo de un determinado periodo. Y no solo eso, sino que se tiene un control para poder operar los movimientos de los automóviles, en el caso de los coches autónomos. Iluminación inteligente, entre otras [37].

De esta forma se sabe que el despliegue de fibra óptica para ellos en sus distribuidores principales se enfoca principalmente en sus vías carreteras, con el mismo método de excavación de ductos. Entre los aspectos principales que definen el proceso y estatus de este país podemos encontrar lo siguiente: “Alemania tiene una buena red de cables de cobre. Por ello, durante mucho tiempo se apostó por ellos, lo cual significa: los cables de fibra óptica solo van hasta el distribuidor en la calle. Del nodo de la calle hasta la casa se sigue utilizando el cable de cobre existente. Esto limita las capacidades de transmisión y recepción. Es por ello que, ahora se utiliza: *FTTH: Fiber to the Home*, es decir, fibra óptica hasta la casa” [37].

Y en cuanto a la inversión que se tiene programada, se data lo siguiente: “Deutsche Telekom, la mayor empresa alemana de telecomunicaciones, invierte anualmente 4, 000 millones de euros y opera actualmente la mayor red de cable de fibra óptica de Europa, de casi 500, 000 *kms.* de largo. En 2018, se agregaron otros 60, 000 *kms.* El Gobierno alemán estima que, en este periodo

legislativo, las necesidades de inversión pública en el sector ascenderán a entre 10, 000 y 12, 000 millones de euros”. Con lo cual se asegura que se tienen una inversión bien hecha para el despliegue de fibra óptica [37].

Comparación de los métodos de despliegue de fibra óptica

Después de analizar los métodos usados de otros países, así como de la tecnología incluida en la infraestructura de despliegue de fibra óptica, podemos establecer un comparativo con los métodos utilizados en México, destacando los puntos más importantes para realizar una buena instalación. Como vimos, el método que emplean los países como mencionados como EUA, China, Alemania, entre otros, suele ser muy similar al que se implementa en México. Se utilizan ductos en los cuales colocan los hilos de fibra óptica. Aunque países como Estados Unidos por ejemplo, utilizan un tipo de resina que ayuda a no destruir la infraestructura carretera disponible, sino que propone colocar la fibra y que esta misma sea cubierta con esta resina, lo cual ahora en gran medida recursos y de manera austera se realiza el despliegue de la fibra a un lado de la vía carretera por la cual se esté implementando. En la Tabla 16, podemos ver los métodos utilizados por los países y ver sus ventajas y desventajas.

Características	Ductos en la carretera que contienen hilos de fibra óptica.	Colocación de una resina combinada con metacrilato a lo largo de las carreteras.
Efectividad	Debido a los métodos utilizados para su instalación, hacen que este método sea efectivo y confiable en la instalación.	Es una resina confiable, aunque no hay normas que puedan avalar su efectividad a la hora de la instalación.
Costo Aproximado	Dependiendo de la cantidad de kms, es el costo por realizar los ductos. Si es una carretera nueva, el costo puede contemplarse en el despliegue de la carretera.	El costo es relativamente bajo, pues no requiere que se modifique la vía, sino que se coloca con la infraestructura disponible.
Países que utilizan este tipo de tecnología	México, Estados Unidos, Japón, China, India, Francia, entre otros.	Virginia Estados Unidos, se utiliza como programa piloto para ver el comportamiento del enlace con esta resina
Capacidad para despliegue de hilos de fibra óptica	Se colocan un par de hilos para el enlace y los demás para redundancia. Aproximadamente 100 hilos	Se pueden colocar un par de hilos para el enlace y los demás para redundancia. Aproximadamente 100 hilos
Permite cierre de anillos	Si lo permite	Si lo permite
Mantenimiento de la infraestructura	Costoso, ya que se tienen que ubicar los puntos donde se haya dañado la fibra, repararlos y dejar la vía como estaba normalmente.	Al ser un tipo de resina, se puede retirar la resina sin tener que realizar un proceso largo, es de menor costo.
Servicios soportados	Voz, datos, video, aunque también se puede utilizar para establecer un sistema de monitoreo en toda la red carretera del país.	Voz, datos, video, aunque también se puede utilizar para establecer un sistema de monitoreo en toda la red carretera del país.
Factible	Si, ya que es uno de los métodos más fiables para el despliegue de fibra óptica en México y en el mundo bajo los estándares internacionales.	Si, aunque la falta de normas para el control de despliegue y recomendaciones, hacen que este método no sea fundamentado bajo los estándares internacionales.

Tabla 16. Comparativo de tecnologías de despliegue de fibra óptica.

Fuente: Elaboración propia (2019).

1.4. Definición del Problema.

A pesar de que en México existe infraestructura carretera de peaje de 582,175 *kms.*, únicamente algunos cientos de esos kilómetros han sido compartidos para la instalación de fibra óptica. Además, la fibra óptica instalada en carreteras de peaje se utiliza principalmente para el monitoreo de las vías, y no se aprovecha para el transporte de servicios de telecomunicaciones como sí se hace en otros países.

1.5. Objetivo General

Analizar y determinar la infraestructura carretera de peaje en México que sea técnicamente factible a ser compartida para el transporte de servicios de telecomunicaciones mediante la instalación de fibra óptica.

1.6. Objetivos Específicos.

Revisar la literatura acerca de los esquemas de compartición de infraestructura carretera para servicios de telecomunicaciones.

Revisar las normas mexicanas y especificaciones técnicas utilizadas en la instalación de fibra óptica en infraestructura carretera compartida.

Revisar las recomendaciones y mejores prácticas internacionales para la instalación de fibra óptica en infraestructura carretera compartida.

Determinar la infraestructura carretera de peaje en México que sea técnicamente factible a ser compartida para el transporte de servicios de telecomunicaciones mediante la instalación de fibra óptica.

Estimar el costo asociado para instalar la fibra óptica utilizando la infraestructura carretera técnicamente factible.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.

En este punto, lo que se quiere llegar a lograr es fundamentar las áreas bajo las cuales se está desplegando la fibra óptica en carreteras y los medios técnicos en los que se encuentra. Para ello es de suma importancia dedicarle un capítulo en el cual se describan las características principales sobre un buen despliegue apegándose a las normas mexicanas y mundiales acerca de los procedimientos correctos. Desde la planeación del proyecto, como lo es el estado económico y riesgo que pudiese presentarse. Hasta inclusive los métodos de prueba para cada terreno de las mismas carreteras y la forma en que resulta factible establecer un tendido, ya sea por medio de excavación o de colocación en la misma vía por la resina que ya se había comentado para el caso de los países primermundistas, como lo es Estados Unidos. En general, se busca dar al lector el procedimiento establecido para el despliegue de fibra pretendido para las carreteras del país, considerando los pros y los contras que se pueden presentar a lo largo de cada vía y la manera en la que se pueden afrontar.

2.1. Esquemas de Compartición de Infraestructura Carretera para Servicios de Telecomunicaciones.

De lo principal que se puede rescatar de este documento, es importante definir las características bajo las que operan algunas empresas de telecomunicaciones, como TELMEX y los permisos que se le están dando a la empresa Alestra para tener acceso a la red, con las condiciones que TELMEX le otorga y la vigencia en la cual puede acceder a este servicio. En este documento, básicamente se daba hincapié a los permisos que se le iban a otorgar a las empresas para poder ofrecer los servicios de telecomunicaciones a los usuarios, obviamente con una retribución considerable. Por lo anterior, las empresas para extender su cobertura de servicios a lo largo de todo el país, deben hacer uso de esta infraestructura, con lo cual se recalca que aún no hay libertad de comercio en el cual los usuarios puedan elegir una buena empresa que nos ofrezca mayor calidad a precios considerables, ya que todo se está manejando implícitamente en un monopolio expedido por empresas de industria de las telecomunicaciones como TELMEX o grupo CARSO para el caso de México (ver figura 60 y 61).

CONVENIO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES QUE CELEBRAN POR UNA PARTE TELÉFONOS DE MÉXICO, S.A.B. DE C.V. (“TELMEX”), REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL LICENCIADO FRANCISCO JAVIER ISLAS MANCERA, Y POR LA OTRA PARTE ALESTRA, S. DE R.L. DE C.V. (EN LO SUCESIVO EL “CONCESIONARIO SOLICITANTE”), REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL SEÑOR ADRIÁN MERCADO GRACIA, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLÁUSULAS:

DECLARACIONES

I.- Declara el CONCESIONARIO SOLICITANTE., por conducto de su representante legal y bajo protesta de decir verdad, que:

- a)** Es una sociedad mercantil constituida de acuerdo con las leyes de la República Mexicana, y que cuenta con la capacidad jurídica, financiera y administrativa, así como con las condiciones técnicas y económicas para obligarse en los términos del presente CONVENIO;
- b)** Su representante legal cuenta con las facultades suficientes para obligar a su representada en los términos del presente CONVENIO, tal y como lo acredita con copia certificada de la escritura pública número 22584 de fecha 25 de junio de 2013, otorgada ante la fe del licenciado Luciano Gerardo Galindo Ruiz, Notario Público número 115 de San Pedro Garza García, N.L., misma que se encuentra inscrita en el Registro Público de Comercio de San Pedro Garza García, N.L., bajo el folio mercantil electrónico No. 54433*9 el 1 de julio de 2013;
- c)** Dentro de su objeto social, está incluida la celebración del presente CONVENIO;

Figura 60. Convenio celebrado para compartición de infraestructura de telecomunicaciones por parte de TELMEX y ALESTRA.

*Fuente: Recuperado el 27 de octubre de 2018 de:
<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/politica-regulatoria/convenioentrealestras.der.l.dec.v.ytelefonosdemexicos.a.b.dec.v.pdf>*

» Convenio entre Alestra, S. de R.L. de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B. de C.V. 
» Convenio entre Alestra, S. de R.L. de C.V. y Teléfonos del Noroeste, S.A. de C.V. 
» Convenio entre Axtel, S.A.B. de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B. de C.V. 
» Convenio entre Axtel, S.A.B. de C.V. y Teléfonos del Noroeste, S.A. de C.V. 
» Convenio entre Maxcom Telecomunicaciones, S.A.B de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B. de C.V. 
» Convenio entre Maxcom Telecomunicaciones, S.A.B. de C.V. y Teléfonos del Noroeste, S.A. de C.V. 
» Convenio entre Grupo de Telecomunicaciones Mexicanas, S.A. de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B. de C.V. 
» Convenio entre Mega Cable, S.A. de C.V. y Teléfonos del Noroeste, S.A. de C.V. 
» Convenio entre Mega Cable, S.A. de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B. de C.V. 
» Convenio entre Alestra, S. de L.R de C.V. y Teléfonos de México, S.A.B de

Figura 61. Lista de convenios celebrados por parte de TELMEX y sus filiales con otras empresas de telecomunicaciones para compartición de infraestructura.

Fuente: Recuperado el 27 de octubre de 2018 de: <http://www.ift.org.mx/politica-regulatoria/convenios-de-comparticion-de-infraestructura-fija>

La figura 61 es una referencia del IFT, la cual se muestra precisamente los convenios celebrados con otras empresas de telecomunicaciones, en los cuales, revisándolos a detalle, se muestra cómo se hace la manifestación de uso para las empresas con condiciones que se ponen por parte de TELMEX, así como las condiciones bajo las cuales puede operar. Como se sabe, no se va a dar

más uso de ancho de banda a través de su red para las empresas externas, que para las que son suyas. Y si lo hace, será con la condición de elevar más el precio para la empresa concesionada. El despliegue de fibra óptica en la red es un elemento muy caro aún para que las empresas gasten en establecer redes a través de todo el país, por lo que no queda otra opción que rentar la infraestructura de otra empresa para poder llevar una “competencia” en la oferta de servicios de telecomunicaciones.

2.2. Normas Mexicanas y Especificaciones Técnicas Utilizadas en la Instalación de Fibra Óptica en Infraestructura Carretera Compartida.

Para el desarrollo del método en el cual se basó, para el tendido del cable de fibra óptica a través de las carreteras del país, se muestran en el objetivo y campo de aplicación, la referencia directa a las normas previstas para la conservación del medio ambiente, y las relacionadas a la conservación de la flora y fauna.

2.2.1. Objeto.

Se tiene como objetivo incrementar la infraestructura de fibra óptica apegándose a los criterios técnicos que se han de cumplir en la construcción de elementos subterráneos para fibra óptica, en los procesos de adquisición de materiales, su almacenamiento, durante la instalación, supervisión y aceptación de los enlaces ópticos que utilizan elementos subterráneos que se ubican dentro del derecho de vía de las carreteras. Adicionalmente, mostrar si el es escenario es viable en instalación, de modo que sea redituable en la actividad económica y sin costos extra de mantenimiento.

2.2.2. Campo de Aplicación.

Los criterios técnicos en normatividad de aplicación, son aplicables acorde a **N•CTR•CAR•1•08•007/11** a la instalación de ductos y cables ópticos subterráneos en ductos que se ubican dentro del derecho de vía de las carreteras.

Normatividad de aplicación

Serán de aplicación, además de la normatividad legal vigente de obligado cumplimiento, las normas mexicanas y prescripciones técnicas, en su última edición, que a continuación se citan.

- **N•CTR•CAR•1•08•007/11** – *Tritubos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras Nuevas*
- **N•LEG•3** - *Ejecución de Obras*
- **N•CTR•CAR•1•08•008** - *Registros para Tritubos para Fibra Óptica en Carreteras Nuevas*
- **N•CTR•CAR•1•08•009** - *Adosamiento de Tritubos a Puentes y Estructuras Similares*
- **N•CTR•CAR•1•08•010** - *Cruces de Tritubos entre Acotamientos*
- **NMX-E-004-CNCP-2004** - *Industria del plástico – Determinación de la Densidad de los Materiales Plásticos no Celulares – Método de Ensayo*
- **NMX-E-166-1985** - *Plásticos – Materias Primas - Densidad por Columna de Gradiente – Método de Prueba*
- **NMX-E-135-CNCP-2004** - *Industria del plástico – Índice de Fluidéz de Termoplásticos por medio de Plastómero Extrusor – Método de Ensayo*
- **NMX-E-029-CNCP-2005** - *Industria del Plástico – Resistencia al Impacto de Tubos y Conexiones – Método de Ensayo*
- **NMX-E-014-CNCP-2006** - *Industria del Plástico – Resistencia al Aplastamiento en Tubos y Conexiones – Método de Ensayo*
- **NMX-E-082-SCFI-2002** - *Industria del Plástico – Resistencia a la Tensión de Materiales Plásticos – Método de Ensayo*

- **NOM-130-ECOL-2000** -Sistemas de comunicación telefónica por red de fibra óptica - Especificaciones para la planeación, diseño, preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento

Con relación a las especificaciones de cajas herméticas para empalmes de cables de fibras ópticas es aplicable la norma oficial mexicana siguiente:

- **NOM-I-7/27** -Establece los equipos y componentes eléctricos, métodos de prueba ambientales y durabilidad, parte 27 prueba ka; aspersión salina.

2.2.3. Documentos de Consulta.

Libro CMT (Características de los materiales, parte 4. Materiales para pavimentos), SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

Especificaciones técnicas de los fabricantes, aplicables a los cables, materiales y demás accesorios a utilizar en la instalación, relativos al almacenamiento, manejo y montaje.

Prescripciones de seguridad. N·PRY·CAR·10·03·001, *Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras*, tomando en cuenta todo lo referente a señalamiento y seguridad que establece la Cláusula D. de la Norma N·LEG·3, *Ejecución de Obras*.

Guía de instalación de cables ópticos subterráneos. MT 2.33.14

Recomendaciones UIT-T (UIT-T L.12, apartado 5 y 6, UIT G.709, apartados 6, 7 y 8).

2.2.4. Materiales para la Canalización.

Manejo de materiales

Para el manejo o montaje de cualquier material, se tendrá en cuenta lo indicado en las instrucciones del fabricante.

Todos los materiales han de estar tratados contra la corrosión, especialmente los anclajes, soportes, bandejas porta-cables y demás elementos metálicos usados han de ser de acero inoxidable o galvanizados en caliente.

Las bobinas se transportarán siempre de pie, nunca volcadas sobre los platos laterales. Nunca se realizará la descarga de la bobina haciendo rodar la bobina dejándola caer de forma que golpee con el suelo. Durante el tendido el cable siempre deberá deslizarse mediante poleas o rodillos. Nunca se permitirá que roce en el suelo u obstáculo alguno.

2.2.5. Materiales.

Los materiales que se utilicen en la instalación de los registros para fibra óptica, cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables del Libro CMT. *Características de los Materiales*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.

Tritubos

Se entiende por tritubo al conjunto de tubos flexibles, de polietileno de alta densidad (PE-80 PE-100), de color verde, de treinta y cuatro (34) milímetros de diámetro interior nominal, con paredes de tres (3) milímetros de espesor.

Los tritubos se encuentran normalizados en la norma **N – CTR – CAR-1-08-007/11**.

2.2.6. Maquinaria, Herramientas y Equipos.

Condiciones de uso

Los equipos, máquinas y herramientas estarán en perfectas condiciones operativas de uso. Al efecto de comprobar su estado se procederá a la revisión de estos al comienzo de la obra.

Equipo zanjador

El equipo zanjador será capaz de ejecutar una excavación de seis (6) centímetros de ancho y treinta (30) centímetros de profundidad por debajo del nivel de subrasante. Estará equipado con dispositivos que depositen el material excavado en ambos lados de la microzanja, para su posterior traslado.

2.2.7. Maquinaria de Tendido de la Fibra Óptica

Tendido por cabrestante de tiro

Éste ha de estar dotado de un sistema de control automático que medirá y registrará la tensión máxima aplicada en cada momento en el extremo inicial del cable, no superando nunca la máxima tensión establecida para cada cable parando automáticamente al alcanzar está (ver figura 62).



Figura 62. Cabrestante de tiro.

Fuente: Recuperado de: Guía de instalación de cables ópticos subterráneos. MT 2.33.14

Tendido por impulsión neumática

El equipo principal se localiza en la entrada del cable al tubo, se trata de una oruga que empuja al cable por medio de unos rodillos a la vez que insufla aire a presión en el tubo para introducir el cable por impulsión (ver figura 63).

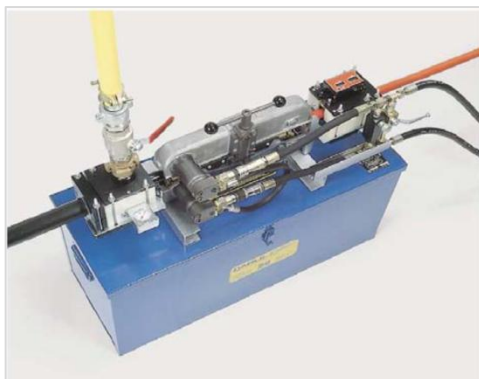


Figura 63. Oruga de impulsión mecánica.

Fuente: Recuperado de: Guía de instalación de cables ópticos subterráneos. MT 2.33.14

Alza bobina con frenos

Con el objetivo de facilitar el tendido y dar garantías sobre el manejo del cable óptico, se deben utilizar alza bobinas con freno (ver figura 64).



Figura 64. Alza bobinas con freno.

Fuente: Recuperado de: Guía de instalación de cables ópticos subterráneos. MT 2.33.14

Caja de almacenamiento

Para realizar el tendido de una forma más organizada y evitar el roce del cable se debe utilizar una caja de almacenamiento en donde el cable quede depositado en una jaula giratoria a la que se puede acoplar el cabresante de impulsión (ver figura 65).



Figura 65. Caja de almacenamiento.

Fuente: Recuperado de: Guía de instalación de cables ópticos subterráneos. MT 2.33.14

2.2.8. Equipos de Comunicación.

Se debe de comprobar que los equipos de comunicación funcionan correctamente y estén disponibles para atender cualquier incidencia, como puede ser la formación de cocas y/o posibles defectos en el cable óptico o tubo efectúen la parada inmediata del proceso de tendido.

2.2.9. Transporte y Almacenamiento.

De conformidad con la norma **N·CTR·CAR·1·08·007/11:**

- El transporte y almacenamiento de todos los materiales, son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas aplicables del Libro CMT. Características de los Materiales. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.
- Los tritubos serán almacenados y transportados en carretes capaces de contener quinientos (500) *metros*.
- Los residuos producto de la excavación se cargarán y transportarán al sitio o banco de desperdicios que apruebe la Secretaría, en vehículos con cajas cerradas y protegidos con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen. Cuando se trate de materiales que no vayan a ser aprovechados posteriormente y que hayan sido depositados en un almacén temporal, serán trasladados al banco de desperdicios lo más pronto posible. Una vez terminado el relleno de la microzanja, los residuos podrán ser esparcidos manualmente sobre los taludes, a menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.

2.2.10. Instalación del Ducto.

Para la instalación de los tritubos para fibra óptica, se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma **N-LEG-3, Ejecución de Obras.**

Las actividades que comprenden la instalación del ducto se detallan en la sección G de la norma **N-CTR-CAR-1-08-007/11.**

2.2.11. Prueba de Vía para la Instalación de Ductos.

Una vez terminado el relleno de la microzanja hasta el nivel de subrasante y conectados los tritubos a los registros, se realizarán pruebas de vía para comprobar que los ductos del tritubo sean continuos en toda su longitud, es decir, que no tenga variaciones en su sección transversal provocada por deformaciones en su pared, ni ensambles defectuosos u otros daños que afecten su capacidad o que pongan en riesgo la integridad de la fibra óptica durante su colocación. Las especificaciones de las pruebas de vía se detallan en la sección G.10 de la norma **N-CTR-CAR-1-08-007/11.**

2.2.12. Prueba de Hermeticidad para la Instalación de Ductos.

Una vez comprobada la continuidad de los ductos del tritubo, se realizarán pruebas de hermeticidad para asegurar que los ductos del tritubo resistan la presión de soplado durante la instalación de la fibra óptica y no tengan grietas que pongan en riesgo la integridad de la misma después de su instalación. Las especificaciones de las pruebas de hermeticidad se detallan en la sección G.11 de la norma **N-CTR-CAR-1-08-007/11.**

2.2.13. Tendido e Instalación del Cable de Fibra Óptica.

Para el tendido e instalación del cable de fibra óptica, se recomienda tener en cuenta de forma general las siguientes actividades:

- Replanteos previos. Estudios previos de cada uno de los segmentos a tender para valorar y conocer las necesidades técnicas de los mismos. La información recaba durante el replanteo deberá atender los aspectos siguientes:
 - Método de tendido a utilizar.
 - Bobinas para cada segmento.
 - Material y maquinaria necesaria para el tendido del cable de fibra óptica.
 - Equipo humano que realizará los trabajos.
 - Medidas de seguridad y señalización.
 - Procedimiento de supervisión del tendido.
 - Medidas medioambientales de aplicación.
- Se recomienda que, para el inicio de los trabajos, se cuente con los permisos y autorizaciones necesarias.
- Se recomienda verificar que todos los materiales suministrados cumplen con las especificaciones técnicas definidas previamente.
- Al finalizar la instalación, se deberán llevar a cabo los trabajos de limpieza y retirada de los restos de materiales y escombros.
- Se considera que la instalación de ductos ha sido realizada previamente conforme a la normatividad vigente.
- Verificación en el cable de fibra óptica antes del tendido. Con el objeto de detectar cualquier daño ocasionado en el núcleo óptico durante el proceso de transporte o almacenamiento se realizarán medidas reflecto métricas en la tercera ventana y con un pulso \leq a 100 ns., en la totalidad de las fibras de todas las bobinas. El criterio de aceptación en la atenuación específica será $<$ a 0,23 dB/km. y además se observará la

longitud óptica. Esta tiene que ser superior a la indicada en la placa de la bobina y tendrá en un valor que varía con el fabricante y el tipo de cable entre un 0,4% y 1%.

- El tendido del cable es la acción propia de desplegar el cable de fibra óptica entre los extremos a conectar.
 - **Tendido de cabestrante automático.** Para esta técnica es necesaria la utilización de un cabestrante automático con control de tensión. Se sitúa al final del tramo en cuestión y consiste en tirar de la fibra de forma automática, controlando la fuerza de tiro para evitar dañar el cable. Es necesario el uso de poleas para regular los radios de curvatura y la utilización de lubricantes para disminuir la fuerza de rozamiento de la cubierta del cable con la pared interior del conducto. Se suele utilizar para tendidos de cables especiales (gran sección y elevado peso), siendo desaconsejable su uso para tendidos de fibra óptica convencionales.
 - **Tendido mediante soplado.** Este sistema se utiliza en tendidos de largas distancias y sin obstáculos intermedios. Se basa en eliminar el rozamiento del cable con el conducto haciendo flotar el cable en el interior del conducto mediante insuflación de aire a presión. En esta técnica se combinan dos sistemas para el tendido de la fibra óptica de una forma rápida y eficiente. Una fuerza de tracción se combina con una fuerza de empuje para hacer que el cable viaje como aire por el conducto. La unidad de soplado utiliza un sistema de potencia hidráulico y un compresor de aire para generar las fuerzas de empuje y tracción.

2.2.14. Supervisión del Tendido e Instalación del Cable de Fibra Óptica.

Con el objeto de garantizar la instalación correcta del cable óptico, se recomienda la supervisión del tendido, su instalación, la realización de empalmes, colocación de cajas y accesorios de fibra óptica y la correcta ejecución de las medidas ópticas finales. Será responsabilidad del Supervisor,

verificar que se utilizan los medios técnicos, materiales y humanos necesarios para la instalación del cable.

2.2.15. Medidas Finales en el Cable de Fibra Óptica.

Entendemos por medidas finales los resultados obtenidos en las pruebas de atenuación óptica, reflexión óptica, dispersión cromática y dispersión por modo de polarización. El procedimiento de dichas pruebas se detalla en la sección **Pruebas Punto a Punto** del presente Anexo Técnico.

2.2.16. Aceptación de la Instalación de los Empalmes.

Con base en la **Recomendación UIT-T L.12** Empalmes de fibra óptica, para que un empalme sea aceptado el valor de la media aritmética será inferior a 0.10 *dB* y los valores absolutos en cualquiera de los dos sentidos inferior a 0.20 *dB* en segunda y tercera ventana.

Las pérdidas de inserción en un conector se evaluarán juntamente con el empalme que une la fibra al pigtailes, la pérdida del conjunto será inferior a 0.60 *dB* en ambas ventanas. La atenuación específica será medida tramo a tramo. En 1.300 *nm* será inferior a 0.38 *dB/km*. y para 1.500 *nm* inferior a 0.25 *dB/km*.

2.2.17. Documentación.

Se recomienda documentar, para cada enlace óptico, la siguiente información:

- Esquema unifilar, en el que se presenten las cajas de empalme y repartidores ópticos, la información georreferenciada del macrosegmento, segmentos que lo componen y de

todas las instalaciones finales (en formato UTM), longitud de la bobina, longitud de los segmentos, tipo y código de cable.

- Resultados obtenidos en las pruebas de atenuación óptica, reflexión óptica, dispersión cromática y dispersión por modo de polarización en formato gráfico y tabular.
- Indicaciones y referencias para facilitar el acceso a los apoyos que tienen caja de empalme.
- Bitácoras de instalación que incluyan las fechas de tendido de cada segmento, gráficas de tendido, empresa contratista que lo realizó, incidencias presentadas, ubicación del cable por encima o debajo de conductores y observaciones con las incidencias presentadas durante la instalación.

CAPÍTULO 3. RECOMENDACIONES Y MEJORAS PRÁCTICAS INTERNACIONALES PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN INFRAESTRUCTURA CARRETERA COMPARTIDA PARA USO EN LAS TELECOMUNICACIONES.

Cada país mencionado en el Capítulo 1 tiene su red de fibra óptica diseñada para el transporte de servicios de telecomunicaciones acorde a sus diferentes características ambientales, por ejemplo, para el caso de zonas áridas, los cables ópticos tienen que tener aislamiento contra la humedad, ya que por el día sube demasiado la temperatura lo que causa que la humedad se introduzca al cable y por la noche dicha humedad se congela por las muy bajas temperaturas y por el efecto de dilatación del agua, al congelarse el cable se revienta; caso contrario que si se aplicara en zonas templadas y húmedas. Cabe mencionar que cada uno de ellos ha llevado a cabo este proceso con las recomendaciones e inclusive normas específicas para el despliegue de fibra óptica. Por mencionar algunos casos, el uso de la **Recomendación de la UIT G.709** que habla acerca de las redes de transporte óptica y las características técnicas que debe de tener la red para poder implementar enlaces de anillo, punto a punto o multipunto, capaces de soportar una cantidad de datos creciente. Muchos de los países que aquí se mencionan han invertido en infraestructura

para día a día hacer más creciente su red con la finalidad de impulsar la economía y las industrias hacia el uso de las tecnologías de la información y comunicaciones. Esto se ve reflejado en el desarrollo del país, ya que al tener áreas requeridas para las empresas respecto a los servicios de telecomunicaciones impulsa en gran medida el auge de empleos, de personas cada vez más capacitadas para operar las redes que oferten servicios a las empresas de un país. No obstante, el proceso para llevar a cabo la instalación de una red se hace difícil si no hay una base de donde comenzar, es por ello que dentro de este capítulo se desglosará a modo de fichas técnicas el estado de la red de los países mencionados, con sus recomendaciones y mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica.

3.1. Chile.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	1,000 kilómetros.
Método de despliegue de fibra óptica	Las empresas han optado por utilizar el método de zanjas, donde colocan la fibra óptica en tubos que son desplegados a lo largo de toda la vía carretera.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
Entidades federales o ciudades conectadas	Gran Santiago, Gran la Serena, Gran Temuco, Antofagasta.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 17. Chile- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <https://www.efe.com/efe/america/tecnologia/chile-inicia-la-obra-de-una-carretera-digital-que-mejorara-el-internet-en-sur-pais/20000036-3536247> (2019).

3.2. Perú.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	13,400 kilómetros de fibra óptica.
Método de despliegue de fibra óptica	La topología está pensada para 5 anillos, para ofrecer seguridad y redundancia. Considerando el modelo OSI, en capa 1 estará implementada por tecnología DWDM, diferenciando cada señal por medio de su longitud de onda. Nodos de agregación con enlaces de mínimo 10 Gbps. Nodos de distribución de al menos 10 Gbps. Nodos de conexión para conectarse a los nodos de distribución.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
Entidades federales o ciudades que conecta	Chachapoyas, Huaraz, Abancay, Arequipa, Ayachucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huanuco, Ica, Huancayo, Trujillo, Chiclayo, Lima, Tambopata, Moquegua, Chaupimarca, Piura, Puno, Moyamba, Tacna, Calleria.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps.
Método usado para realizar el despliegue de fibra óptica	Zanjas en las carreteras para colocar tubos con fibra óptica dentro. Tener monitoreada la red carretera a través de una base que sirva para realizar la reconstrucción de las señales que son transportadas por las vías.

Tabla 18. Perú- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <https://www.adslzone.net/2018/07/12/pegar-fibra-asfalto-resina/> (2019).

3.3. Costa Rica.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	Cuenta con 90 kilómetros , de los 7,500 kilómetros contenidos en el país.
Método de despliegue de fibra óptica	Las empresas han optado por utilizar le método de zanjas, donde colocan la fibra óptica en tubos que son desplegados a lo largo de toda la vía carretera.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	Tecnología DWDM, utilizada en los ductos con múltiples hilos de fibra SMF.
Entidades federales o ciudades conectadas	La idea de las concesionarias es aprovechar los 90 kilómetros. Que van desde la ruta de Gimnasio Nacional hasta la entrada de Puerto Caldera. Telcos, empresa costarricense es la involucrada en este despliegue.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	100 Mbps.

Tabla 19. Costa Rica- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/costa-rica-instalacion-cableado-para-internet-debajo-de-carreteras/MXC55KG76FHYTB4PKA4JEXOGPI/story/> (2019).

3.4. Estados Unidos.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	46,000 millas, las cuales son convertidas en 74,029.824 kilómetros de fibra óptica en las carreteras de Estados Unidos.
Método de despliegue de fibra óptica	Las empresas han optado por utilizar el método de zanjas, donde colocan la fibra óptica en tubos que son desplegados a lo largo de toda la vía carretera.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM, además de que utilizan un método de topología de anillos y de estrella para distribuir los nodos que conectan a las entidades federativas.
Entidades federales o ciudades conectadas	Conectan desde las ciudades más importantes del país. California, Washington D.C., Colorado, Kansas, Oklahoma, Arkansas, Florida, Georgia, etc. Asegurando que es uno de los países con mayor infraestructura carretera con fibra óptica del mundo.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 20. Estados Unidos- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <http://www.meadowmead.com/wp-content/uploads/2011/04/DesignGuidecondensed.pdf> (2019).

3.5. China.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	4, 577,000 kilómetros.
Método de despliegue de fibra óptica	Las empresas han optado por utilizar el método de zanjas, donde colocan la fibra óptica en tubos que son desplegados a lo largo de toda la vía carretera.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Shangai, Pekín, Cantón, Hong Kong, Shenzen.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 21. China- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: https://www.unescap.org/sites/default/files/e_Prof%20Xiaojing%20Wang.pdf (2019).

3.6. Corea del Sur.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	3,381 kilómetros de fibra óptica a lo largo sus vías carreteras.
Método de despliegue de fibra óptica	Las empresas han optado por utilizar le método de zanjas, donde colocan la fibra óptica en tubos que son desplegados a lo largo de toda la vía carretera.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Entre las ciudades principales están Seúl, Suwon, Incheón, entre otras.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 22. Corea del Sur- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ficha-logistica-coreasur-2013-final.pdf> (2019).

3.7. India.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	10,000 kilómetros de fibra óptica desplegados en las carreteras del país.
Método de despliegue de fibra óptica	El ducto como parte de la obra civil es un costo adicional. Si bien es cierto que estos espacios no hubiesen estado contemplados con los viejos conceptos de obra civil en carreteras, su inclusión representa una pequeña inversión, en comparación con el costo de la obra, y crea opciones con amplios retornos a futuro.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Conocido como el cuadrilátero de Oro, que incluye a las poblaciones de Delhi, Kolkata, Chennai, Mumbai.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 <i>Gbps</i> escalables a 1 <i>Tbps</i> .

Tabla 23. India- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: http://www.sela.org/media/267003/t023600003130-0-carreteras_con_fibra.pdf (2019).

3.8. Japón.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	10,000 kilómetros de fibra óptica a lo largo de sus carreteras.
Método de despliegue de fibra óptica	Fibra óptica desplegada por medio de ductos, los cuales llevan dentro hilos de fibra para el transporte de datos.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Fukuoka, Hiroshima, Osaka, Nagoya, Tokio, Sendal.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	2 Gbps por hilo.

Tabla 24. Japón- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: https://www.pe.emb-japan.go.jp/jp/01_MIC_Políticas%20TIC%20Japon.pdf (2019).

3.9. Inglaterra.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	394, 328 kilómetros totales del país, aunque deben de suponerse menos de lo que se menciona en éste dato.
Método de despliegue de fibra óptica	A diferencia de las demás entidades, esta se caracteriza por utilizar una resina con recubrimiento a la fibra para no generar ductos y tener que maltratar las vías carreteras.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Londres, Bristol, Leeds y Manchester.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 25. Inglaterra- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <http://www.alphr.com/cars/1007962/smart-motorways-traffic-potholes-uk> (2019).

3.10. Francia.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	21, 500 kilómetros de carreteras, de los cuales 9, 000 kilómetros son de peaje. Estas mismas son las que se consideran con fibra óptica a lo largo de la vía.
Método de despliegue de fibra óptica	Fibra óptica desplegada por medio de ductos, los cuales llevan dentro hilos de fibra para el transporte de datos.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	París, Marsella, Toulouse, Niza, Nantes.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 26. Francia- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: solidaire.gouv.fr/sites/default/files/13116_Trafic-routier-hors-villes_Web_planches_ES.pdf (2019).

3.11. Alemania.

Kilómetros en carretera con fibra óptica	60, 000 kilómetros de cable de fibra óptica desplegados en las carreteras de Alemania.
Método de despliegue de fibra óptica	Fibra óptica desplegada por medio de ductos, los cuales llevan dentro hilos de fibra para el transporte de datos.
Costo de la infraestructura carretera	Dato no encontrado.
Tipo de tecnología de transporte	DWDM además del uso de anillos y enlaces punto a punto.
Entidades federales o ciudades conectadas	Berlín, Munich, Frankfurt, Hamburgo, Colonia, Stuttgart.
Velocidad de operación del trancceptor SFP	10 Gbps escalables a 1 Tbps.

Tabla 27. Alemania- mejores prácticas para el despliegue de la red de fibra óptica en carreteras 2019.

Fuente: Elaboración propia de: <https://www.deutschland.de/es/topic/economia/digitalizacion-alemania-desarrolla-su-infraestructura-digital> (2019).

CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO TÉCNICAMENTE FACTIBLE PARA INSTALAR FIBRA ÓPTICA Y SER UTILIZADA PARA TELECOMUNICACIONES.

La actual administración federal, plantea que la conectividad y accesibilidad al servicio de Internet debe ser para todos los mexicanos. En esta dirección, se plantea una solución que bien puede ser adoptada por la administración federal para conectar a todos los mexicanos a Internet. Técnicamente es hacer uso de la infraestructura pasiva y sus derechos de vía, para instalar fibra óptica en carreteras a fin de que todas las cabeceras municipales y los puntos considerados como prioritarios para el gobierno federal, como las unidades de Sagarpa, las unidades médico rurales, las plazas y los monumentos, puedan conectarse para ofrecer el servicio de Internet gratuito. El análisis que se presenta en la sección siguiente ha sido realizado con base en la información relativa a los puntos prioritarios de la iniciativa federal de conectividad a Internet, publicada por la CFE el día 11 de marzo de 2019 mediante el No. de procedimiento: CFE-0001-P-OPSAA-0001-2019 y puesto a disposición del público en general en el enlace electrónico de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Cabe señalar que aunque la iniciativa federal denominada *Internet para Todos* plantea únicamente el uso de fibra óptica instalada en la infraestructura de la CFE, consideramos que dicha infraestructura no es suficiente porque la CFE propone dar cobertura a localidades pequeñas únicamente con una extensión de 50,000 kilómetros a nivel nacional y por lo mismo, planteamos el uso de infraestructura pasiva adicional basada en carreteras tanto federales como estatales, principalmente. Para propósitos de este análisis hemos utilizado la información contenida en el ATLAS ICRET-T [40], herramienta desarrollada en el Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

4.1. Infraestructura Carretera de Peaje Requerida y Técnicamente Factible

En la iniciativa federal *Internet para Todos*, se plantea la conectividad de sitios prioritarios: 2,456 cabeceras municipales, 904 unidades de Sagarpa, 3,574 unidades médico rurales y 1,556 plazas y monumentos, localizados a lo largo de todo el territorio nacional (ver Figuras 66 y 67).



Figura 66. Puntos prioritarios de la iniciativa federal *Internet para Todos*, cabeceras municipales.

Fuente: Elaboración propia con base en la información del procedimiento CFE-0001-P-OPSAA-0001-2019 (2019).



Figura 67. Puntos prioritarios de la iniciativa federal *Internet para Todos*, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos.

Fuente: Elaboración propia con base en la información del procedimiento CFE-0001-P-OPSAA-0001-2019 (2019).

Para lograr la conectividad mediante fibra óptica entre las 2,456 cabeceras municipales, las 904 unidades de Sagarpa, las 3,574 unidades médico rural y las 1,556 plazas y monumentos, es necesario utilizar, además de la infraestructura de la CFE, la infraestructura pasiva y derecho de vías de las carreteras. En las Figuras 68-73, podemos observar el mapeo de la infraestructura carretera y los puntos prioritarios para ofrecer el servicio de Internet, especificados por la iniciativa federal *Internet para Todos*. La longitud de la red nacional de carreteras es de 582,175 kilómetros de caminos de todos tipos. De los cuales, se cuantifican en las carreteras de peaje con fibra óptica: 16,494.412 kms., en las carreteras federales: 81,297.099 kms., que incluye las de peaje, y en las carreteras estatales: 103,370.096 kms. El resto de kilometraje se cuantifica en caminos rurales.

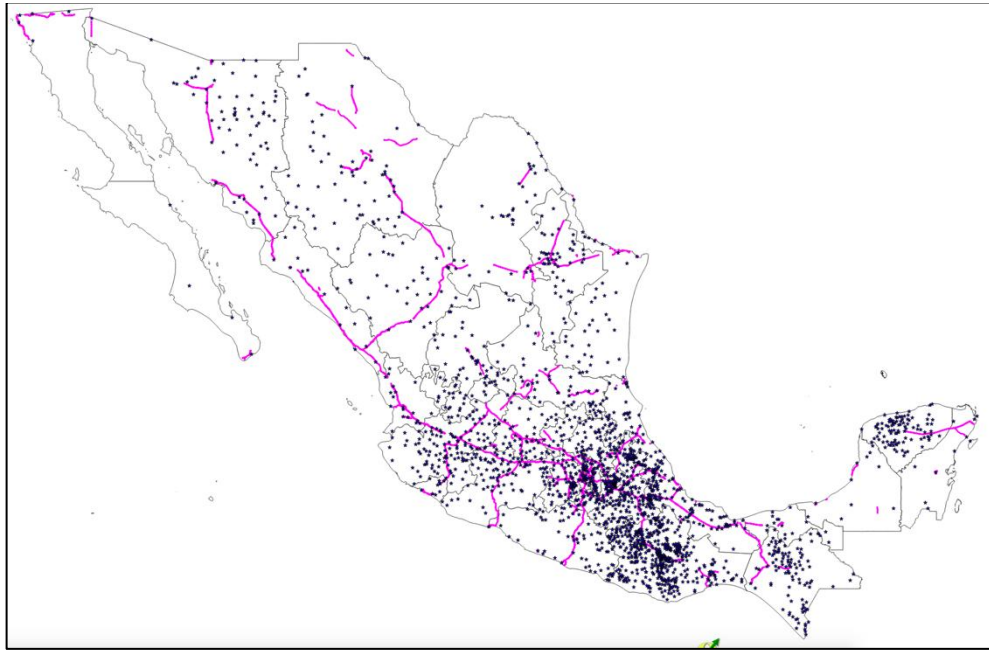


Figura 68. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras de peaje con fibra óptica.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

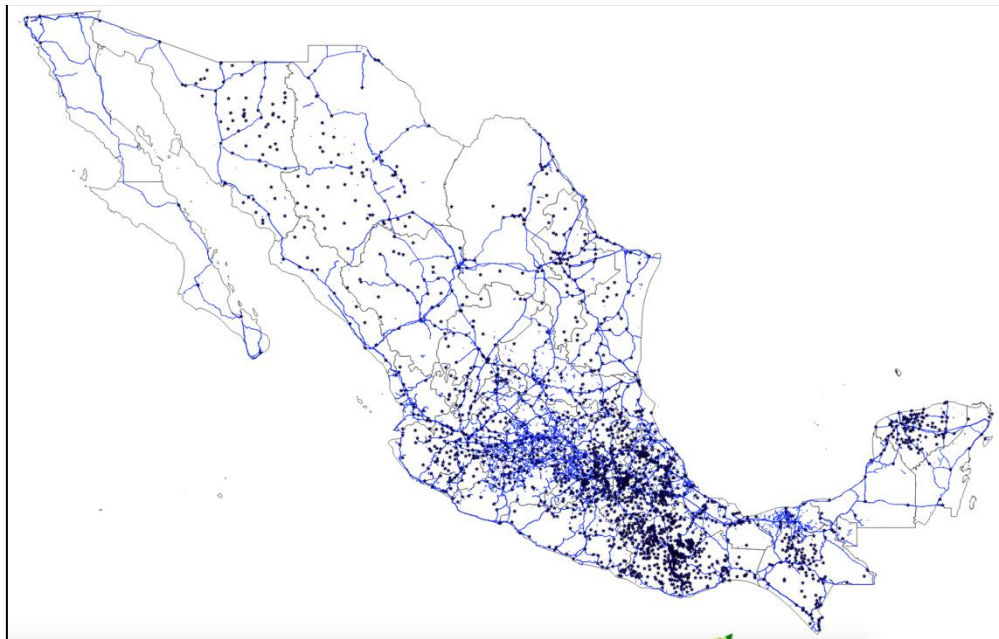


Figura 69. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras federales.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

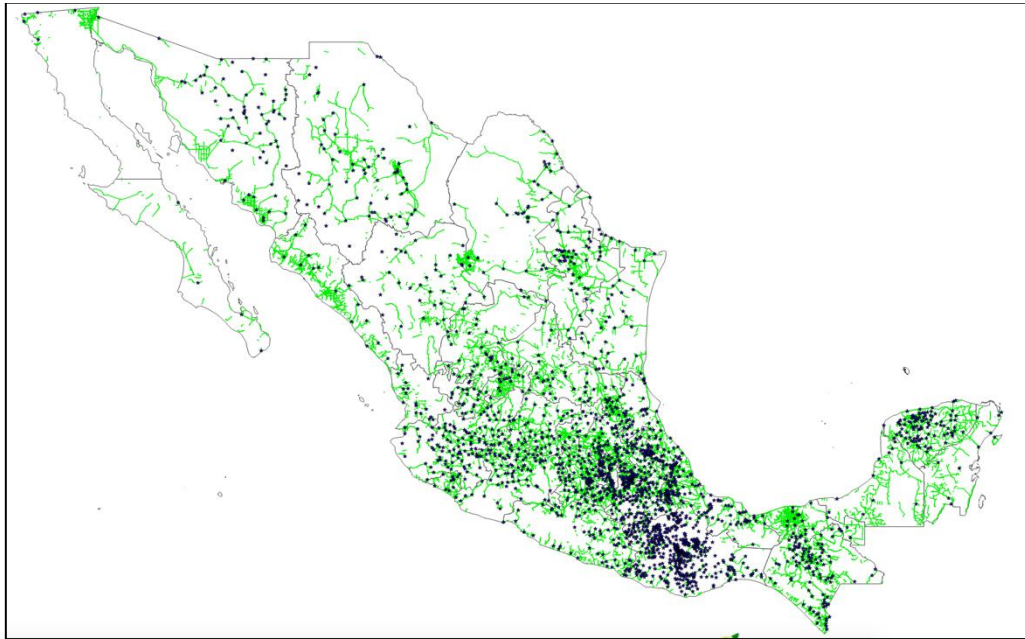


Figura 70. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, cabeceras municipales y su conexión mediante carreteras estatales.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

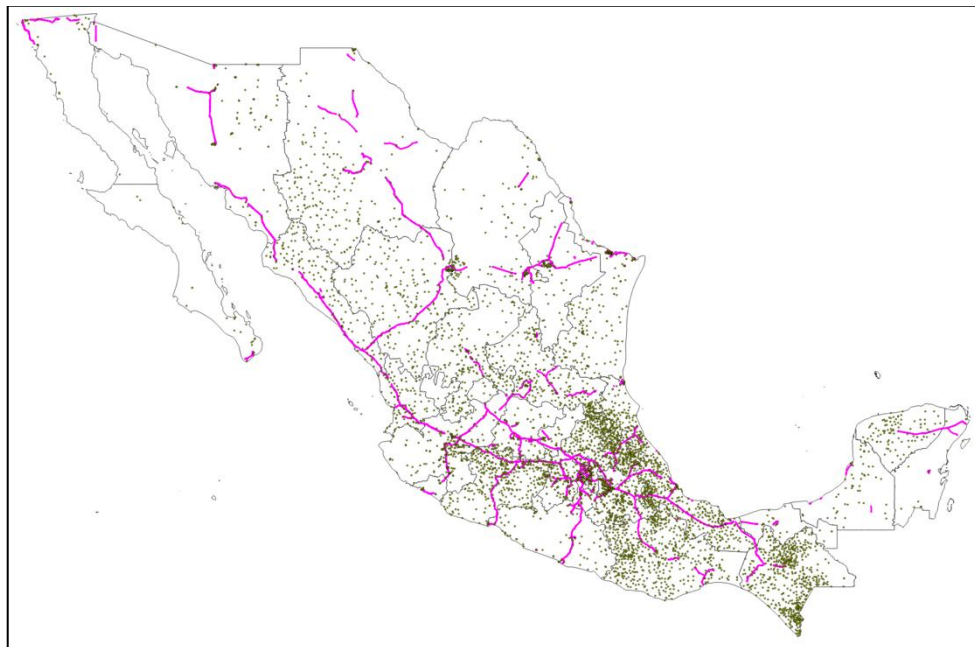


Figura 71. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras de peaje con fibra óptica.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

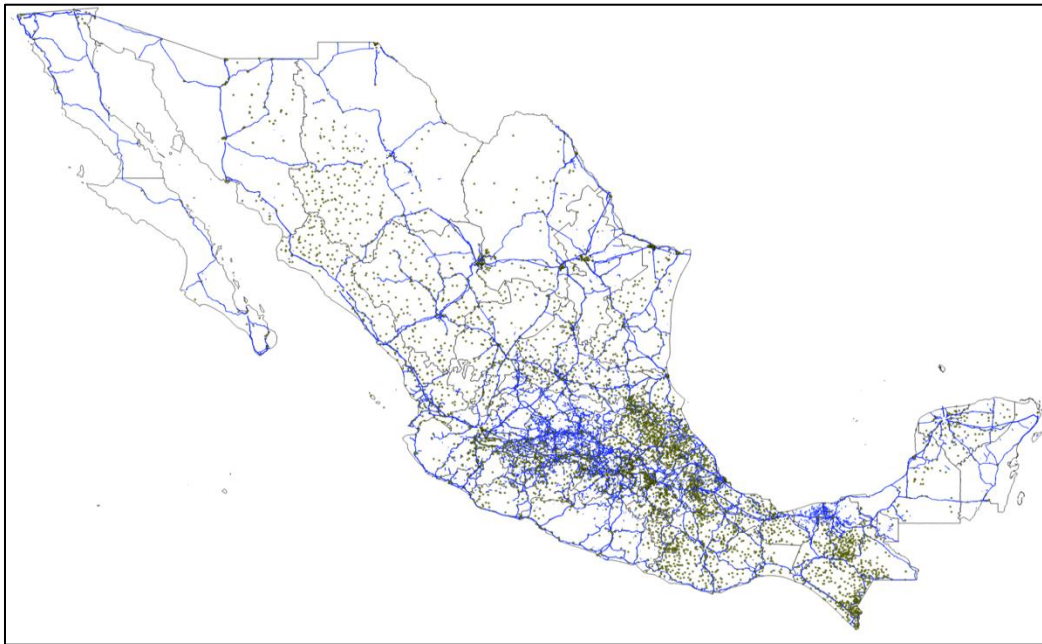


Figura 72. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras federales.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

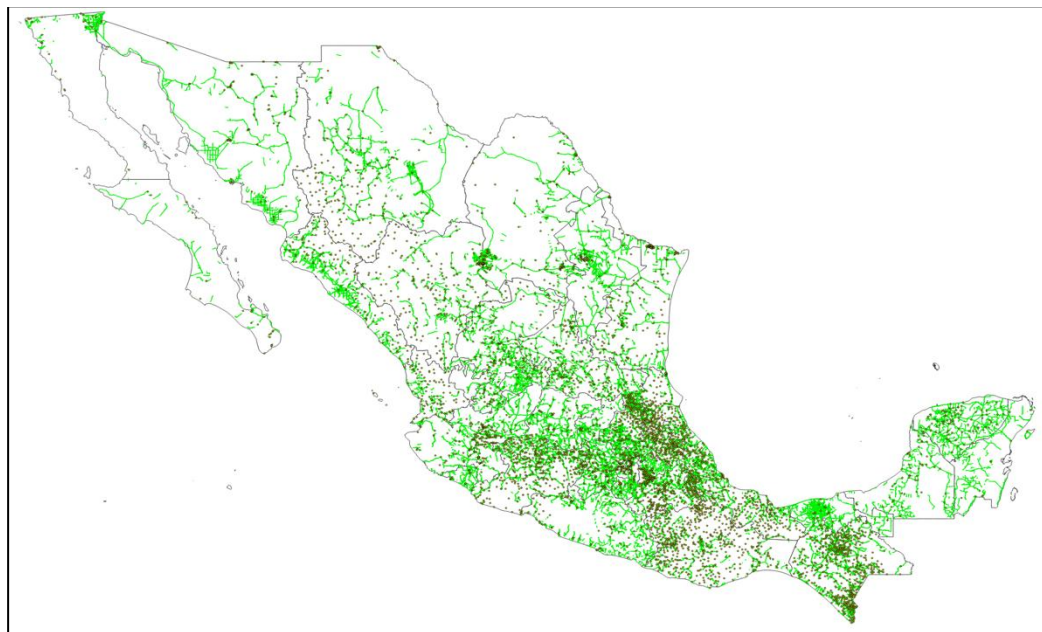
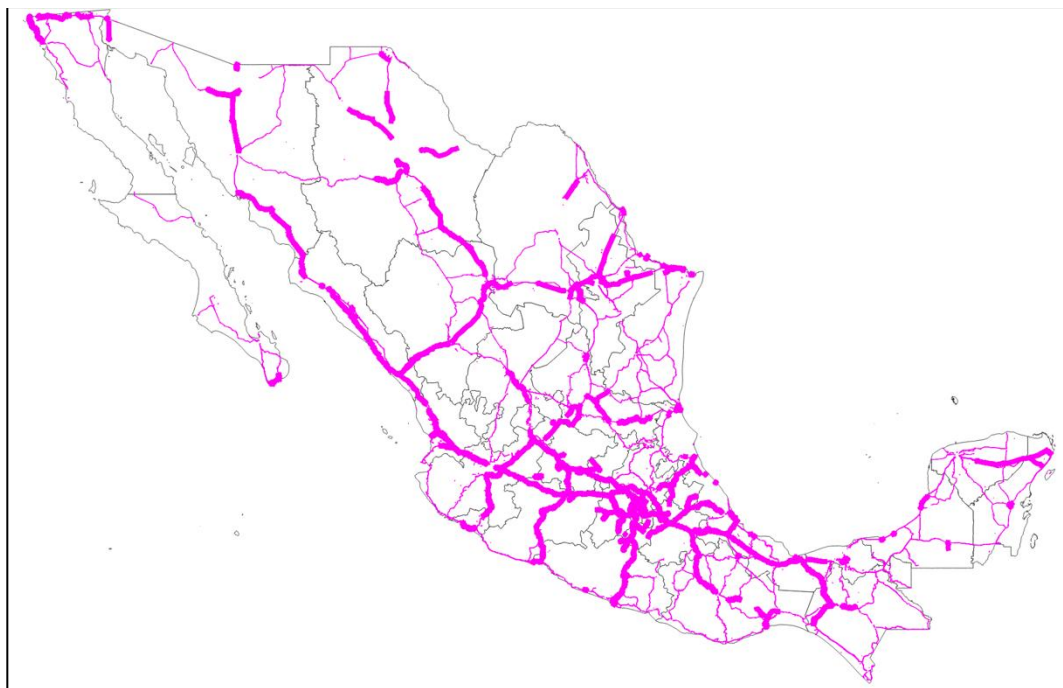


Figura 73. Puntos prioritarios de la iniciativa federal Internet para Todos, unidades de Sagarpa, unidades médico rurales plazas y monumentos y su conexión mediante carreteras estatales.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

Entonces, para conectar los puntos prioritarios antes descritos, sería necesario instalar fibra óptica en al menos las carreteras federales las cuales cierran anillos con la red eléctrica de la CFE a lo largo de todo el territorio nacional (ver Figuras 74, 75 y 76), incluidas las carreteras de peaje. Las figuras muestran el esquema bajo el cual se debe trabajar el despliegue para el cierre de anillos, por lo cual son de suma importancia estas cuantificaciones gráficas, mismas que nos van a permitir visualizar sobre las áreas que deben de trabajarse para facilitar el despliegue total necesario para conectar a todas las cabeceras municipales, teniendo en cuenta que al cerrar anillos de fibra óptica se está garantizando un servicio de mayor disponibilidad, traducido al número de enlaces que se pueden tomar en las cabeceras y proveer a la población que actualmente no cuentan con el servicio o que esta muy carente de calidad.

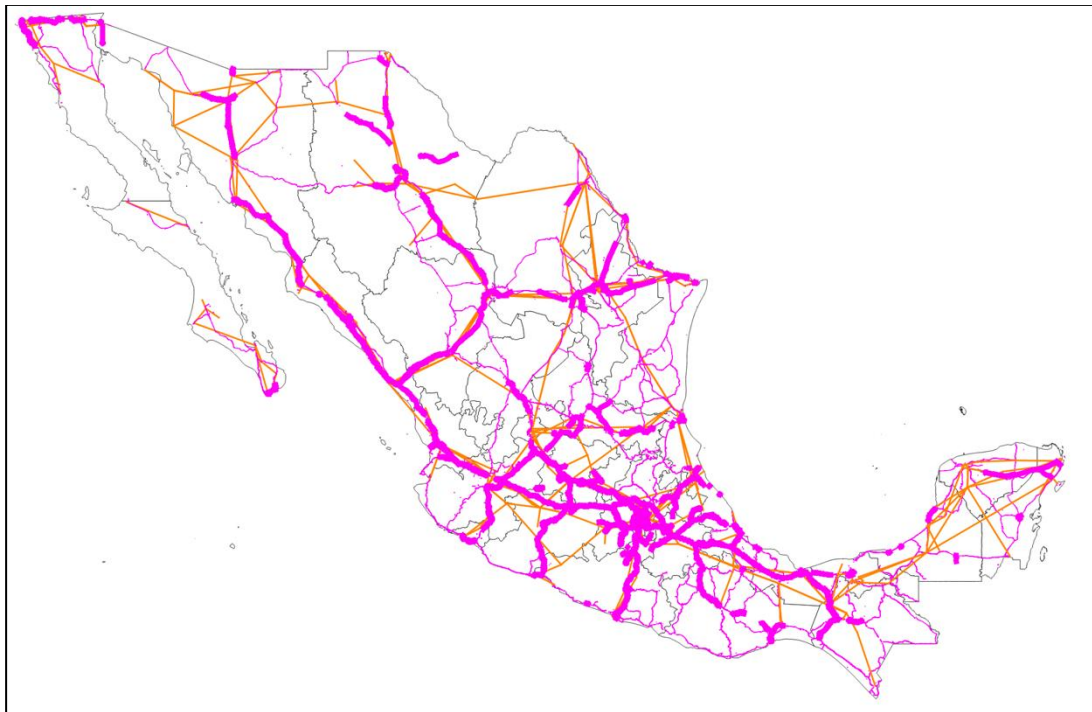


■ Red carreteras (Peaje)
— Propuesta de instalación de fibra óptica

Figura 74. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura carretera de peaje con fibra óptica y federal, para su uso en telecomunicaciones.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

Como podemos ver en la figura 74, el cierre de anillos nos va a permitir establecer enlaces a grandes distancias y con mayor tasa de transmisión. Sobre todo mantener una infraestructura revolucionaria que impulse a las entidades de un país como México a la reducción de la brecha digital y de la introducción de una industria que ofrezca servicios de un estado a otro de forma fiable. Aunado al desarrollo que se debe de trabajar en el sector carretero, harán que México se posicione en un país icónico al llevar un despliegue de fibra óptica que permita mantener mejor comunicado a sus habitantes. Las líneas que representan el cierre de anillos solo son un reflejo del proyecto que se puede construir para impulsar las telecomunicaciones en México.

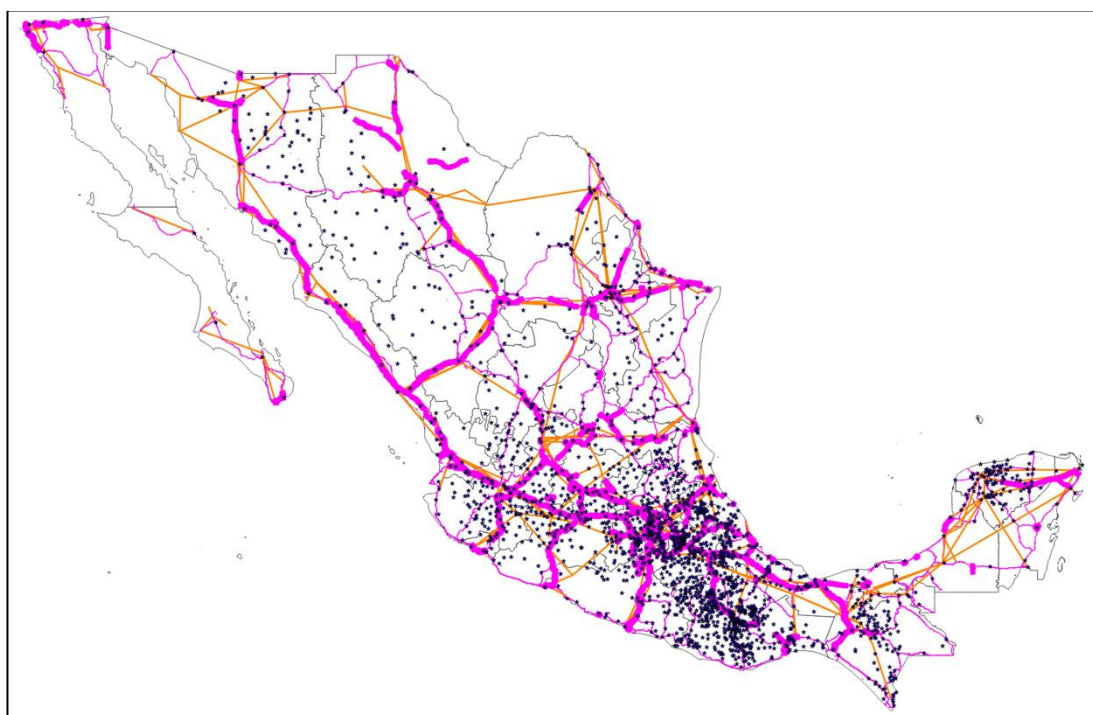


- Red carreteras (Peaje)
- Propuesta de instalación de fibra óptica
- Red eléctrica (Transmisión)

Figura 75. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura de la CFE y la infraestructura carretera (peaje con fibra óptica y federal), para su uso en telecomunicaciones.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

La longitud total de la fibra óptica que sería necesario instalar en las carreteras para el cierre de anillos y su uso para el transporte de servicios de telecomunicaciones es de 45,529 kms menos 16,494.412 kms.(carreteras de peaje), lo que equivale a 29,036 kms. En la sección siguiente se presenta la estimación del costo total de instalación.



- ★ **Cabeceras municipales análisis**
- Red carreteras (Peaje)**
- Propuesta de instalación de fibra óptica**
- Red eléctrica (Transmisión)**

Figura 76. Cierre de anillos de fibra óptica mediante infraestructura de la CFE y la infraestructura carretera (peaje con fibra óptica y federal), para su uso en telecomunicaciones con las cabeceras municipales.

Fuente: ATLAS ICRET-T (2019).

La figura 76 coloca las cabeceras municipales desplegadas a lo largo del territorio nacional. Y si observamos el cierre de anillos combinado con la red eléctrica de CFE, para estas entidades es mucho más sencillo establecer un enlace con uno de los nodos cercanos de la fibra óptica desplegada en vías carreteras, siendo esto último una apertura hacia la red nacional, la cual como comentamos ya conecta con las cabeceras municipales.

Todo lo anterior nos lleva a pensar sobre los beneficios que nos puede traer el cierre de anillos en carreteras federales, ya que se puede establecer un sistema de monitoreo nacional que permita a las empresas colocarse en una nueva forma de establecer negocios usando las telecomunicaciones.

4.2. Costo Estimado de la Infraestructura Requerida.

Con base en el análisis de la figura 76, sobre la importancia de tener anillos a lo largo del país que nos permitan establecer redundancia entre las cabeceras municipales y los principales estados de la república que ya cuentan con la instalación de fibra óptica, se ha considerado el modelo de instalación llevado a cabo por los Estados Unidos de América, el cual muestra un costo preciso de la instalación por milla. Es importante recalcar que el costo total de la instalación está descrito de la siguiente forma: *“La longitud total de la fibra óptica que sería necesario instalar en las carreteras para el cierre de anillos y su uso para el transporte de servicios de telecomunicaciones es de 45,529 kms menos 16,494.412 kms.(carreteras de peaje), lo que equivale a 29,036 kms”.*

Para poder realizar un cálculo estimado se ha tomado como referencia el proyecto de despliegue de fibra óptica en la carretera San Luis del Río Colorado-Sonoyta, donde se despliegan los costos de la infraestructura de instalación por kms. Esto se muestra en diferentes casos, como puede ser la referencia estimada en cuanto a costos por instalación. Se debe tener en cuenta que los costos para cada una de las entidades relacionadas con el cierre de los anillos son diferentes, a veces un poco más caros, o más baratos debido a diferentes factores como lo puede ser la ubicación geográfica, el tipo de suelo en el que se vaya a instalar o inclusive la cantidad de kms con los que cuenta la vía. Este tipo de aspectos al momento de realizar la instalación es importante considerarse, ya que no será el mismo escenario el despliegue en una vía de peaje, que una vía federal.

Si se toma en cuenta que el costo por kms de instalación de fibra óptica es de \$ 27,000.00 dólares (como se menciona en el proyecto de despliegue de fibra óptica en la vía de San Luis Río Colorado-Sonoyta), se tiene que el costo aproximado si el precio del dólar no varía, por metro es de \$ 27 dólares, esto llevado a la moneda nacional sería un estimado de 540 MXN por metro instalado de fibra óptica; por km sería 540 000 MXN. Eso significaría que para nuestra instalación de fibra para el cierre de anillos nos estaría dando un estimado de aproximadamente \$ 783, 972, 000 dólares, que si bien lo convertimos a moneda nacional, sería de 15, 679, 440, 000 MXN.

En la siguiente tabla, se esquematiza de una forma más precisa el costo necesario para el despliegue.

Costo de instalación de fibra óptica en carretera por kms.	Número de kms necesarios para el cierre de anillos.	Costo total estimado para la instalación de kms para el cierre de anillos.
540, 000 MXN	29,036 kms	15, 679, 440, 000 MXN
27, 000 USD	29,036 kms	783, 972, 000 USD

Tabla 28. Costo estimado de instalación de fibra óptica en carreteras para el cierre de anillos.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Todo esto referenciado mediante el cálculo, mismo que fue obtenido por la siguiente ecuación:

$$\text{Costo instalación fibra óptica}_{\text{cierre anillos}} = (\text{costo por kms}) \times (\text{numero total de kms})$$

Ecuación 14. Ecuación de cálculo para el costeo.

Los datos presentados, se consideran para la instalación de fibra óptica en un terreno plano, sin complicaciones de instalación, aunque el cierre de anillos a través de las vías va a presentar desperfectos como curvaturas, terrenos rígidos y alteraciones externas como lluvias. Esto último afecta en la filtración de la vía hacia los ductos en los que se aloja la fibra óptica. Es por ello que la SCT, a través del tabulador de precios referenciales a costo directo para construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera 2018, se presenta una matriz para costos directos unitarios, la cual ayuda a esquematizar las características de la vía o terreno, así como los costos a partir de las mismas (ver figura 77) [38].

ORGANIZACIÓN PRINCIPAL DE LAS MATRICES PARA COSTOS DIRECTOS UNITARIOS		
MATERIALES	Materiales de instalación permanente	
	Equipo de instalación permanente (1/)	
	Materiales de consumo	
MANO DE OBRA	Cuadrillas de trabajo	Salarios de mano de obra
		Herramienta menor
		Equipo de seguridad
MAQUINARIA Y EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN	Maquinaria y equipo de construcción (Costos Horarios)	Costos fijos
		Consumos
		Operación
BÁSICOS	<i>Misma estructura que la matriz principal</i>	
AUXILIARES	<i>Misma estructura que la matriz principal</i>	

(1/) En el presente Tabulador 2018 no existe esta clasificación, sin embargo, se menciona con la finalidad de incluir todas las posibilidades.

Figura 77. Organización principal de las matrices para costos directos unitarios 2018.

Fuente: Recuperado el 13 de junio de 2019 de:

http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Tabulador/Tabulador_SCT_2018.pdf.

Teniendo en cuenta esta matriz e investigando los datos de precios de instalación y sus elementos necesarios, se tiene un segundo modelo en el cual se incluyen parámetros específicos sobre el costo de instalación. Es en base a la tabla 29 que se toman los costos para poder instalar fibra óptica en las carreteras, teniendo como variable las fluctuaciones en el terreno y los agentes externos que puedan dificultar su instalación. Se debe notar de la tabla 29 que se incluyen los costos por unidad de obra terminada o por pieza (dependiendo el total de piezas del recurso a utilizarse) [38].

Recurso	Descripción	Unidad	Precio
POLIDUCTO PARA FIBRA ÓPTICA EN EL ACOTAMIENTO DE CARRETERAS: N-CTR-CAR-1-08-001/07	Poliductos flexibles de polietileno de alta densidad, (6) de color verde, amarillo, azul, blanco, rojo y gris, para alojar fibra óptica, en el acotamiento de carreteras, por unidad de obra terminada.	hm	\$133,343.09
REGISTROS PARA FIBRA ÓPTICA EN EL ACOTAMIENTO DE CARRETERAS: N-CTR-CAR-1-08-002/01	Registros prefabricados para fibra óptica en el acotamiento de carreteras, por unidad de obra terminada.	pieza	\$4,169.65
POLIDUCTOS PARA FIBRA ÓPTICA EN LA CALZADA DE CARRETERAS: N-CTR-CAR-1-08-003/07	Poliductos flexibles de polietileno de alta densidad, (6) de color verde, amarillo, azul, blanco, rojo y gris, para alojar fibra óptica, en la calzada de carreteras, por unidad de obra terminada.	hm	\$133,313.17
REGISTROS PARA FIBRA ÓPTICA EN LA CALZADA DE CARRETERAS: N-CTR-CAR-1-08-004/01	Registros prefabricados para fibra óptica en la calzada de carreteras, por unidad de obra terminada.	pieza	\$4,169.65
POLIDUCTOS PARA FIBRA ÓPTICA EN CAMINOS RURALES: N-CTR-CAR-1-08-005/07	Poliductos flexibles de polietileno de alta densidad, (2) de color verde y amarillo, para alojar fibra óptica, en caminos rurales, por unidad de obra terminada.	hm	\$8,369.77
TRITUBOS PARA FIBRA ÓPTICA EN EL ACOTAMIENTO DE CARRETERAS EN OPERACIÓN CON PAVIMENTO ASFÁLTICO: N-CTR-CAR-1-08-007/13	Tritubo para alojar fibra óptica, en el acotamiento de carreteras nuevas, por unidad de obra terminada.	hm	\$13,471.31
REGISTROS PARA TRITUBOS PARA FIBRA ÓPTICA EN CARRETERAS NUEVAS: N-CTR-CAR-1-08-008/11	Registros prefabricados para tritubos en carreteras nuevas, por unidad de obra terminada.	pieza	\$4,169.65

Tabla 29. Costo de los recursos necesarios para el despliegue de fibra óptica en vías carreteras 2018.

Fuente: Recuperado el 18 de junio de 2019 de:

http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Tabulador/Tabulador_SCT_2018.pdf

Los precios incluidos en la tabla 29 son en referencia al tabulador de precios referenciales a costo directo para construcción, modernización y conservación de obras de infraestructura carretera 2018, elaborado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Estos costos, van acompañados de una leyenda, la cual indica lo siguiente:

- N: Prefijo.
- CTR: Construcción.
- CAR: Carreteras.
- 1: Conceptos de obra.
- 08: Obras marginales.
- 007: Descripción en referencia a la instalación de fibra óptica.
- 13: Revisión/actualización

Las demás leyendas también tienen un descriptivo similar, que indica el tipo de instalación en el cual va a realizarse la instalación.

Los costos de la tabla 29 complementados con los precios de instalación por kms en la tabla 28, resumen las variantes que se pueden presentar por fluctuaciones en el terreno o por los factores externos que hagan más difícil su instalación. Para el costo de mantenimiento, debe considerarse el tipo de terreno, ubicación, curvaturas, entro otros. Los cuales irán presentándose a lo largo de la operación del proyecto y pactados con la empresa responsable de instalación, así como los Service Level Agreement (SLA), bajo los cuales se someta el proyecto.

Conclusiones Generales.

Capítulo 1

En el capítulo 1, se muestra el despliegue de fibra óptica en algunas de las vías carreteras principales de México, a fin de tener en cuenta los avances obtenidos y su repercusión en las mismas. También, se dieron a conocer los métodos de licitación y operación a los que se sujetaron para realizar las actividades relacionadas con el despliegue y, sin minimizar el auge obtenido en el monitoreo de las vías en tiempo real, como ya se maneja en algunos de los casos presentados en este capítulo, se indicaron los procesos burocráticos y técnicos a llevarse a cabo, junto con la importancia debida que debe darse a cada uno de ellos. Además, se indicaron los procesos operativos de la fibra óptica en las carreteras del país, para el establecimiento de enlaces de cientos de kilómetros con una mayor velocidad, que permitirían unificar una red de comunicación mediante fibra óptica que mejore los servicios de telecomunicaciones en todas las entidades del país, ayudando así a reducir problemáticas como la brecha digital, el cual es uno de los mayores retos en los que se encuentra México.

Capítulo 2

En el capítulo 2, al estar centrado en la normativa de instalación de tritubos de forma subterránea mediante fibra óptica, se sugieren las mejores prácticas bajo las cuales debe realizarse el despliegue de fibra óptica en carreteras, apegándose a la normativa mexicana y la internacional. Dichas prácticas, al ser sugeridas por foros y convenciones internacionales (incluida la UIT, CITELE, etc.), donde incluyen a entidades de primer mundo con amplia experiencia en el ramo de instalación de fibra óptica, dan fiabilidad en cuanto a seguridad y operación de la tecnología, resaltando cada uno de los apartados que a recomendación deben de realizarse para tener un buen control del despliegue, que para nuestro caso es en vías carreteras de México. Existen aspectos importantes que deben tenerse en cuenta como son la evaluación que debe de hacerse del área en la cual se va a desplegar, la factibilidad, el tiempo de duración y los esquemas de compartición de infraestructura, bajo el cual las empresas de telecomunicaciones se rigen. En

particular, debe considerarse tener esta normativa para un mejor control de la instalación y operación de la tecnología, haciéndonos partícipes como país mediante la experiencia de proponer nuevos esquemas normativos que puedan incluirse en las mejores prácticas internacionales.

Capítulo 3

En el capítulo 3, se esquematiza el avance que se tiene en los países que invierten más en la tecnología de despliegue de fibra óptica. El hecho de conocer los casos de países como Corea del Sur, Japón, Alemania, entre otros, ha permitido llevar una comparación sobre lo que está llevándose a cabo en el despliegue de fibra óptica en el mundo y los usos tan extensos que le dan a la tecnología en beneficio de su comunidad. De ahí, se derivó la necesidad de un país que promueva el despliegue en sus vías carreteras como México, dándole un uso completo al transporte de información que sirva para transformar las necesidades de la población, impulsando a su vez el futuro de nuestra economía con la llamada Industrias 4.0. Las velocidades de transmisión que pueden manejarse incluyen a México, en el desarrollo de tecnología orientada a servicios de voz, datos, video, movilidad, entre otros, para la población y para las empresas del país. Lo anterior, complementado con una buena administración va a permitir el desarrollo de un país en las áreas de economía y tecnología. Por otro lado, los datos de costo para los países presentados se dejan abiertos, ya que al ser tan extensos los factores por los cuales varían los precios de instalación, no se puede asegurar una cifra exacta de costo. No confiere en la investigación obtener los precios del precio de despliegue de fibra óptica en otros países.

Capítulo 4

Una vez identificado el requerimiento de la red actual de fibra óptica en carreteras del país, se planteó el cierre de anillos entre los enlaces ya establecidos mediante la infraestructura carretera, con la finalidad de que las entidades del país, como las cabeceras municipales, ciudades pudieran establecer un nodo a uno de los anillos cercano a su población, esto

considerando que debe de realizarse primero el cierre de anillos de fibra óptica. Al tener una infraestructura fiable, con una administración ordenada y capaz de cubrir la demanda de servicios, se puede utilizar la misma para que el sector privado y las empresas puedan utilizarla, dando más competitividad y calidad en sus servicios. Sin embargo, también fue indispensable conocer el costo en el que se iba a incurrir por kilómetro de instalación y los beneficios, ya que al tener una inversión, dichos beneficios pueden ser muchos para la población, pero debe también haber un redituable para quienes lleven la administración del proyecto, para las empresas y para los emprendedores que quieran adquirir cierto ancho de banda en la infraestructura.

El desarrollo de esta tesis, describió la problemática bajo la cual se encuentra México en cuestión del despliegue de fibra óptica en carreteras del país, evaluando los procesos y la factibilidad que se tiene para aplicar la tecnología en ciertas vías del mismo, y las opciones que se tienen para hacerlo. Se propuso un modelo en el cual se aplicó la tecnología actual y complementaría con el cierre de anillos para conectar a las principales cabeceras municipales y entidades del país, por lo tanto, se cumplió con el objetivo general.

Bibliografía.

- [1] SCT, “Infraestructura de carreteras en México”, 2006. Recuperado el 14 de agosto de 2018 de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CAP-04.pdf.
- [2] Martín Pereda, José Antonio, “Sistemas y redes de comunicaciones ópticas”, 2004, Editorial Pearson España, páginas totales 566. Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <https://es.slideshare.net/onb60/sistemas-y-redes-opticas-de-comunicaciones-jose-martin-pereda>.
- [3] UNAM, FI, “Manual de prácticas del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas”, 2012. Material provisto por la Dra. María del Carmen López Bautista, quien imparte el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas.
- [4] Barrera, Rubén, “Los diferentes caminos de la luz”, 2015. Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/67_3/PDF/Caminos_Luz.pdf.
- [5] Mata, Tania, “Estudio y diseño de un sistema de iluminación de día en interiores mediante fibra óptica”, marzo de 2015. Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <http://eprints.uanl.mx/9532/1/1080214936.pdf>.
- [6] Santa Cruz, Óscar, “Módulo introductorio de principios generales del sistema de fibra óptica”, 2011. Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: [_http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduccionResumen%20FO.pdf](http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduccionResumen%20FO.pdf).
- [7] Fibremex, “¿Qué es la atenuación en la fibra óptica?”, (Sin fecha). Recuperado el 9 de octubre de 2018 de: <https://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&id=3&t=3&st=17>
- [8] Glasgow, Blackie, “Optical fiber lasers and amplifiers”, 1991, P.W. France Editions. Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de: http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/amplificacion_optica.pdf.

- [9] De La Cruz Reyes, Luis Antonio, "Amplificadores ópticos (SOA, EDFA Y Raman)", Mayo 2017. Recuperado el 22 de diciembre de 2018 de: <https://ingenieriaelectronica.org/amplificadores-opticos-soa-edfas-y-raman/>.
- [10] Agiltron Inc., "Port multimode optical circulator", mayo 2011. Recuperado el 23 de enero de 2019 de: <https://photonwares.com/PDFs/3-%20port%20Multimode%20circulator.pdf>.
- [11] Ghazemi, Ali Mir, "Design and simulation of all optical multiplexer base on one-dimensional photonic cristal for optical communications systems", diciembre 2012. Recuperado el 28 de enero de 2019 de: <https://pdfs.semanticscholar.org/6ee2/f8024df39642b33ac5b6cfb57b7e9031.pdf>.
- [12] SINAT, SEMARNAT, "Instalación de cable de Fibra óptica Ozuluama-Tampico-Ebano", Noviembre 2009. Recuperado el 14 de agosto de 2018 de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ver/estudios/2002/30VE2002V0026.pdf>
- [13] Zepeda, Manuel, "Carreteras de Acapulco, Veracruz, Irapuato serán 3.0", febrero 2012. Recuperado el 23 de agosto de 2018 de: <https://www.animalpolitico.com/2012/02/carreteras-de-mexico-a-acapulco-irapuato-y-veracruz-seran-3-0/>.
- [14] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Carretera Federal 150D", 2013. Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2013/30_VERACRUZ.pdf.
- [15] Gobierno de la República, Plan Nacional de Desarrollo, 2014. Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: <http://www.capufe.gob.mx/portal/wwwCapufe/QuienesSomos/Programas/Logros-Capufe-2014.pdf>.
- [16] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "¿Qué es el proyecto de modernización tecnológica?", febrero de 2017. Recuperado el 24 de agosto de 2018 de: <http://www.capufe.gob.mx/site/Modernizacion/index.html>.

- [17] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, “Autopista Arco Norte”, 2013. Recuperado el 27 de agosto de 2018 de: https://www.oaxaca-mio.com/playas/autopista_arconorte.htm.
- [18] Circuito Exterior Mexiquense, “Servicios Circuito Exterior Mexiquense”, 2016. Recuperado el 27 de agosto de 2018 de: <https://circuito.mx/servicios/>.
- [19] Iniesta, José, “Desarrollarán carreteras inteligentes en México”, febrero 2012. Recuperado el 27 de agosto de 2018 de: <http://t21.com.mx/terrestre/2012/02/19/desarrollaran-carreteras-inteligentes-mexico>.
- [20] Teléfonos del Noreste, S.A. de C.V., “Ruta de fibras ópticas de larga distancia en el lado Sur de la Carretera Federal No. 2 del kilómetro 0+000 al 193+500, entre las poblaciones de San Luis Río Colorado y Sonoyta”, 2004. Recuperado el 27 de agosto de 2018 de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/son/estudios/2005/26SO2005V0001.pdf>.
- [21] Valle, Ana, “Pinfra hará la primer fibra E con la carretera México-Toluca”, Agosto 2016. Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de: <http://obrasweb.mx/construccion/2016/08/11/pinfra-hara-la-primera-fibra-e-con-carreteras>.
- [22] Instituto Mexicano de Auditoría Técnica, “Contratación en relación con la adquisición de bienes relativos a la modernización de los sistemas de peaje y telepeaje e incorporación de equipo ITS, incluyendo el suministro e instalación de fibra óptica, para los corredores carreteros México-Acapulco, México-Irapuato, México-Veracruz, y el tramo de peaje cerrado Chamapa-Lecheria de la red del fondo nacional de infraestructura, con número de procedimiento LA009-JOU001-T19-2012”, Octubre 2012. Recuperado el 21 de septiembre de 2018 de: http://2006-2012.funcionpublica.gob.mx/unaopspf/doctos/tsocial/pm0ac003 caso03-1-12_capufe10-02-2012.pdf.
- [23] El Universal, “Entrega SCT autopista de León a Salamanca”, septiembre 2015. Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de: <http://www.eluniversalqueretaro.mx/metropoli/22-09-2015/entrega-sct-autopista-de-leon-salamanca>.

- [24] SINAT, SEMARNAT, “Manifestación de Impacto ambiental para la red de fibra óptica de larga distancia Culiacán-Mazatlán”, 2004. Recuperado el 29 de agosto de 2019 de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/sin/estudios/2004/25SI2004VD008.pdf>.
- [25] Hernández Carlos, “Crece el despliegue de infraestructura de fibra óptica en México”, septiembre de 2017. Recuperado el 10 de septiembre de 2018 de: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/opinion/Crece-el-despliegue-de-infraestructura-de-fibra-optica-en-Mexico>.
- [26] Agencia EFE, “Chile inicia la obra de una carretera digital que mejorará el internet en el sur del país”, febrero 2018. Recuperado el 10 de septiembre de 2018 de: <https://www.efe.com/efe/america/tecnologia/chile-inicia-la-obra-de-una-carretera-digital-que-mejorara-el-internet-en-sur-pais/20000036-3536247>.
- [27] ADSL Zone, “Adios zanjas, pegar la fibra óptica en la carretera es la solución”, 2018. Recuperado el 29 de agosto de 2018 de: <https://www.adslzone.net/2018/07/12/pegar-fibra-asfalto-resina/>.
- [28] Fernando Lara, Juan, “Costa Rica instalaría cableado para internet debajo de carreteras”, diciembre 2016. Recuperado el 29 de agosto de 2018 de: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/costa-rica-instalaria-cableado-para-internet-debajo-decarreteras/MXC55KG76FHYTB4PKA4JEXOGPI/story/>.
- [29] Department of transportation, “Design Guide for Fiber Optic Installation on Freeway Right-of Way”, 2002. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018 de: <http://www.meadowmead.com/wp-content/uploads/2011/04/DesignGuidecondensed.pdf>.
- [30] CNN, “El nuevo orden mundial de China: inversión”, mayo de 2017. Recuperado el 29 de agosto de 2018 de: https://www.unescap.org/sites/default/files/e_Prof%20Xiaojing%20Wang.pdf.

- [31] Legiscomex.com, “Corea del Sur /Inteligencia de mercados, marzo 2013”. Recuperado el 17 de septiembre de 2018 de: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ficha-logistica-coreasur-2013-final.pdf>
- [32] Programa de Tecnologías de Información y comunicaciones de CAF, “Innovación en la Infraestructura: Carreteras con fibra”, Agosto 2008. Recuperado el 17 de septiembre 2018 de: http://www.sela.org/media/267003/t023600003130-0-carreteras_con_fibra.pdf
- [33] Municipio de Asuntos Internos y Comunicaciones, “Estructuración de una red de fibra óptica y políticas de las TCI de Japón”, marzo 2016. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de: https://www.pe.emb-japan.go.jp/jp/01_MIC_PoliticasyTIC%20Japon.pdf.
- [34] Road Bureau, “Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport”, Abril 2001. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de: <https://www.piarc.org/ressources/documents/86,japon.pdf>.
- [35] Lee, Alex, “Smart roads that beam real-time traffic news to your car are coming to the UK, diciembre 2017”. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de: <http://www.alphr.com/cars/1007962/smart-motorways-traffic-potholes-uk>.
- [36] Ministerio de Ecología, “Trafic routier hors villes”, Abril 2014. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de: https://www.collectivites-locales.gouv.fr/files/files/13116_collectionECF_Trafic-routier-hors-ville.pdf.
- [37] Deutschland.de, “El desafío Glgabit”, (Sin autor). Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de: <https://www.deutschland.de/es/topic/economia/digitalizacion-alemania-desarrolla-su-infraestructura-digital>.
- [38] Secretaria de Comunicaciones y Transportes, “Tabulador de Precios Referenciales a Costo Directo para Construcción, Modernización y Conservación de Obras de Infraestructura Carretera 2018”, Agosto 2018. Recuperado el 13 de junio de 2019 de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Tabulador/Tabulador_SCT_2018.pdf.

- [39] CYPE Ingenieros, S.A., "Generador de precios.México", 2019. Pagina consultado el 18 de junio de 2019 de: http://www.mexico.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/Audiovisuales/Red_de_cables_de_fibra_optica/Roseta_de_fibra_optica.html.
- [40] Departamento de Telecomunicaciones FI, UNAM y Centro de Ciencias de la Complejidad, UNAM, "ATLAS ICRET-T", UNAM, 2019.