



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estimación de CapEx y OpEx
en redes troncales de fibra
óptica**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

René Tadeo Espinosa González

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Aida Huerta Barrientos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

Además de agradecer, me gustaría dedicar el trabajo a todas aquellas personas que me impulsaron a continuar y hacerlo posible:

A mis abuelos Ricardo Aguilar y Esperanza Robles les agradezco que hayan sido mis primeros maestros, sus cuidados y sabios consejos gracias a ustedes recuerdo mi infancia con especial cariño.

A mis padres Rocio y Gustavo, por llenar de amor mi vida, por comprenderme, por estar siempre cuando los necesito en cada uno de los pasos que doy y por corregirme cuando es necesario, gracias a ustedes mi carácter ha sido formado y me he convertido en la persona que soy ahora, no me alcanzaría la vida para agradecer todo lo que han hecho por mí.

A mi hermano, que a pesar de su edad me ha enseñado muchísimas cosas y por ser un pilar importante en mi vida.

A Beto y a Tere porque siempre me han apoyado en este proceso, por siempre recordarme que creen en mí y ser la luz en mis momentos de obscuridad, por su amor y comprensión.

A la doctora Aída Huerta, que siempre será una maestra de vida y un ejemplo a seguir, reitero el agradecimiento por el tiempo y la paciencia brindados, por sembrar en nosotros como alumnos la semilla del conocimiento y la honestidad en el trabajo.

Al profesor Enrique Díaz Cerón por devolverme la motivación por la carrera cada una de sus clases era única y me ayudaron a comprender un poco más la vida.

Finalmente, a la UNAM, quien será por siempre mi *alma máter*, por brindarme toda mi formación académica, por ayudarme a crecer personalmente, siempre tendré presente el orgullo que representa pertenecer a ella.

Índice

Introducción.....	1
Problema a resolver.....	4
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Capítulo 1. Problemática de los modelos económicos de CapEx y OpEx de las redes troncales de telecomunicaciones.	7
1.1 Red Troncal de Telecomunicaciones.....	7
1.2 Redes Troncales de Fibra Óptica.....	9
1.2.1 Tasas de transmisión y su evaluación.....	12
1.3 La evaluación del uso de la fibra óptica en telecomunicaciones.....	15
1.3.1 Desarrollo en México.....	21
1.3.2 Ventajas y Desventajas de la fibra óptica.....	22
1.3.3 Jerarquía de redes de fibra óptica.....	23
1.3.4 Tecnologías de transporte por fibra óptica.....	25
1.3.5 Tipos de cables ópticos utilizados en redes troncales.....	30
1.3.6 Proveedores de equipamiento óptico de transporte.....	33
1.3.7 Tendencias en equipamiento de redes troncales.....	40
1.3.8 Redes de fibra óptica, caso México.....	45
1.4 Modelos Económicos de CapEx y OpEx.....	47
Capítulo 2 Revisión de la literatura y marco teórico.....	49
2.1 Casos Internacionales de redes troncales de fibra óptica.....	49
2.1.1 Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO, PERÚ).....	50
2.1.2 Proyecto Nacional de Fibra Óptica (PNFO, COLOMBIA).....	54
2.2 Revisión de literatura de modelos económicos para la estimación de CapEx y OpEx:.....	60
2.2.1 Estudio 1. Un modelo de costos para la capa WDM.....	63
2.2.2 Estudio 2. Algoritmo genético para el diseño topológico de redes de transporte ópticas.....	67
2.2.3 Estudio 3. Diseño de redes ópticas con CapEx mínimo.....	73
2.2.4 Estudio 4. Ventajas del CapEx en redes de fibra óptica multi-core.....	78
2.2.5 Estudio 5. Metodología y parámetros de disponibilidad de entrada para calcular OpEx y CapEx en escenarios de red realistas.....	80
2.2.6 Estudio 6. Planificación y dimensionamiento de redes ópticas de largas distancias.....	86

2.2.7 Estudio 7. Modelos de costos y ganancias para la comparación de arquitecturas de red ópticas.	88
2.2.8 Análisis de la literatura	94
Capítulo 3. Evaluación del modelo económico para el caso de dos redes troncales en México	96
3.1 Red Troncal 1	102
3.1.1 Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1	102
3.1.2 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1	106
3.1.3 Evaluación de OpEx de la Red Troncal 1	110
3.2 Red Troncal 2	116
3.2.1 Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 2	116
3.2.2 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2	121
3.2.3 Evaluación de OpEx de la Red Troncal 2	126
Capítulo 4 Análisis de resultados	135
4.1 Análisis de resultados de la Red Troncal 1	135
4.2 Análisis de resultados de la Red Troncal 2	138
Conclusiones Generales	140
Recomendaciones generales	142
Referencias	144
Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1	151
Anexo B Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1	177
Anexo C Áreas de cobertura	221
Anexo D Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 2	248
Anexo E Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2	268
Anexo F Equipamiento de red de transporte óptico	279

Índice de Imágenes

Imagen 1 Proyectos nacionales de acceso universal en Sudamérica.....	2
Imagen 2 Tráfico de Internet a través de fibra óptica submarina	9
Imagen 3 Redes troncales europeas.....	10
Imagen 4 Corazón de las redes troncales en Europa	11
Imagen 5 Pipa de Luz de William Wheeler, desde su dibujo de patente	16
Imagen 6 Experimentos basados en la reflexión total interna descubierta por John Tyndall ...	17
Imagen 7 Charles Kao realizando pruebas con fibra óptica en STL	19
Imagen 8 Jerarquización de redes.....	24
Imagen 9 Comparación entre multiplexación CWDM y DWDM.....	25
Imagen 10 Modulación CWDM ocupando todas las bandas ópticas (O-U)	26
Imagen 11 Modulación DWDM usando las bandas ópticas L y C	26
Imagen 12 Multiplexación DWDM.....	28
Imagen 13 Multiplexación UWDM.....	28
Imagen 14 Composición del cable ADSS	30
Imagen 15 Composición del cable óptico submarino.....	31
Imagen 16 Composición del cable OPGW	32
Imagen 17 Cables ópticos OPGW y ADSS y posición en torre.....	32
Imagen 18 Proveedor de equipamiento óptico PacketLight.....	33
Imagen 19 Proveedor de equipamiento óptico ZTE.....	33
Imagen 20 Proveedor de equipamiento óptico Huawei.....	34
Imagen 21 Proveedor de equipamiento óptico Nokia	34
Imagen 22 Proveedor de equipamiento óptico Ciena.....	34

Imagen 23 Proveedor de equipamiento óptico Cisco	35
Imagen 24 Proveedor de equipamiento óptico Corning	35
Imagen 25 Proveedor de fibra óptica Prysmian Group	35
Imagen 26 Proveedor de fibra óptica Optronics	36
Imagen 27 CE Logo.....	38
Imagen 28 NEBS Logo	38
Imagen 29 RoHS Logo.....	38
Imagen 30 FCC Logo	38
Imagen 31 REACH Logo	39
Imagen 32 Ranking de proveedores de equipamiento óptico a nivel global	39
Imagen 33 Crecimiento de segmentos: Datacom vs Telecom.....	40
Imagen 34 Previsión de equipamiento de transporte óptico- Caso LightCounting 2015.....	41
Imagen 35 10G/40G/100G Data Center Optics: Biannual Market Size and Forecast	42
Imagen 36 10G/40G/100G Optical Transceivers: Biannual Market Size and Forecast.....	43
Imagen 37 Global Transport Network Market	43
Imagen 38 Biannual Market Size and Forecast	44
Imagen 39 Conjunto de redes troncales en México.....	45
Imagen 40 Red troncal de fibra óptica CFE en México	46
Imagen 41 Red troncal de fibra óptica Telmex en México	46
Imagen 42 Red de Fibra Óptica CFE para una cobertura de 98 % de la población	47
Imagen 43 Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.....	50
Imagen 44 Capacidad contratada Gbps en Perú	51
Imagen 45 Cobertura de la Red Nacional de Fibra óptica de Colombia	54
Imagen 46 Clasificación de municipios por cuadrantes en Colombia	55

Imagen 47 Modelo de conectividad particular para cada escenario en Colombia	55
Imagen 48 Indicadores económicos usados en estudio y Valor de Fomento en Colombia.....	56
Imagen 49 Dos enlaces de 480 Km con un nodo opaco intermedio; transpondedores y DGE no están precitados.	65
Imagen 50 Dos enlaces de 480 Km con un ROADM transparente intermedio; transpondedores y DGE no están precitados	65
Imagen 51 Arquitectura de sistema de transmisión.....	74
Imagen 52 Topologías en Italia obtenidas usando el modelo ILP y el algoritmo genético. Los enlaces discontinuos difieren de ambas soluciones y los enlaces negros son comunes.....	77
Imagen 53 Matriz descriptiva de OpEx para un operador de telecomunicaciones	81
Imagen 54 Actividad basada en procesos de reparación	82
Imagen 55 Actividad basada en proceso de provisión de servicios	83
Imagen 56 Características de equipo para equipamiento de red óptica.....	83
Imagen 57 Mapa de ubicación de las ciudades elegidas para el estudio óptico	101
Imagen 58 Mapa del tendido de fibra óptica de Telmex	102
Imagen 59 Áreas de respuesta I.....	112
Imagen 60 Áreas de respuesta II.....	113
Imagen 61 Áreas de respuesta III	113
Imagen 62 Área de cobertura 1.....	114
Imagen 63 Mapa del tendido de fibra óptica de CFE.....	116
Imagen 64 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (Mapeo de infraestructura).....	127
Imagen 65 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (Diseño del enlace óptico y equipamiento óptico).....	128

Imagen 66 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (Parámetros del equipamiento óptico, presupuesto de potencia y cálculo de OSNR de enlace)	129
Imagen 67 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (factor Q y BER)	130
Imagen 68 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (Mapeo de infraestructura).....	131
Imagen 69 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (Diseño del enlace óptico y equipamiento óptico).....	132
Imagen 70 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (Parámetros del equipamiento óptico, presupuesto de potencia y cálculo de OSNR de enlace)	133
Imagen 71 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (factor Q y BER)	134
Imagen 72 Representación del CapEx frente al OpEx	140
Imagen 73 Modelo de brechas.....	143

Índice de Tablas

Tabla 1 The top European cities for backbone links to other nodes.....	12
Tabla 2 Espectro radioeléctrico, bandas y caracterización.....	13
Tabla 3 Bandas en fibra óptica y caracterización.....	14
Tabla 4 CWDM Vs DWDM.....	27
Tabla 5 Comparación de elementos en varios métodos de multiplexación.....	29
Tabla 6 Nodos de Azteca según el número de competidores por provincia	51
Tabla 7 Ingresos y Costos de Azteca.....	52
Tabla 8 Costo de venta por servicio de Operación y mantenimiento.....	53
Tabla 9 Gastos Administrativos	53
Tabla 10 Rubros de Operación y Mantenimiento.....	53
Tabla 11 Escalas de probabilidad y consecuencias	57
Tabla 12 Cronogramas de desembolsos	58
Tabla 13 Cronograma de utilizaciones	58
Tabla 14 Modelo de costo, alcance de equipo dependiente	63
Tabla 15 Modelo de costo, capacidad de equipo dependiente, elementos de nivel de red.....	64
Tabla 16 Modelo de costo, equipo adicional.....	64
Tabla 17 Modelo de costo, funcionalidad de switcheo transparente en el nivel de dispositivo	65
Tabla 18 Costos reportados para el caso opaco de la Imagen 47	66
Tabla 19 Costos reportados para el caso transparente de la Imagen 48	66
Tabla 20 Desglose y explicación de variables.....	68
Tabla 21 Desglose y explicación de variables II	68
Tabla 22 Desglose y explicación de variables III.....	69

Tabla 23 Desglose y explicación de variables IV.....	70
Tabla 24 Desglose y explicación de variables V.....	71
Tabla 25 Desglose y explicación de variables VI.....	72
Tabla 26 Desglose y explicación de variables.....	73
Tabla 27 Desglose y explicación de variables II.....	75
Tabla 28 Costos con sistema de transmisión.....	76
Tabla 29 Brechas y tiempos computacionales usados por el Xpress para obtener el modelo ILP y para el algoritmo genético.....	77
Tabla 30 Precios de componentes de red óptica en miles de dólares USD.....	79
Tabla 31 Números de disponibilidad recolectados.....	84
Tabla 32 Desglose y explicación de variables.....	86
Tabla 33 Desglose y explicación de variables.....	89
Tabla 34 Desglose y explicación de variables II.....	89
Tabla 35 Desglose y explicación de variables III.....	90
Tabla 36 Desglose y explicación de variables IV.....	91
Tabla 37 Desglose y explicación de variables V.....	91
Tabla 38 Desglose y explicación de variables VI.....	92
Tabla 39 Desglose y explicación de variables VII.....	93
Tabla 40 Ciudades elegidas para la elaboración del estudio óptico con base en su número de habitantes.....	98
Tabla 41 Anillo A de la red troncal Telmex.....	103
Tabla 42 Normalización de costos.....	106
Tabla 43 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1.....	107
Tabla 44 Evaluación de OpEx de mantenimiento de la Red Troncal 1.....	110

Tabla 45 Tabla de valores nominales	111
Tabla 46 Evaluación de OpEx de personal de la Red Troncal 1	115
Tabla 47 Estudio óptico de la Red Troncal 2	117
Tabla 48 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2.....	121
Tabla 49 Evaluación de OpEx de mantenimiento de la Red Troncal 2.....	126
Tabla 50 Evaluación de OpEx de personal de la Red Troncal 2	126
Tabla 51 Comparativa de CapEx entre rutas y anillos de la Red Troncal 1.....	135
Tabla 52 Comparativa de OpEx entre rutas y anillos de la Red Troncal 1	137
Tabla 53 Comparativa de indicadores entre rutas y anillos de la Red Troncal 1	137
Tabla 54 OpEx de la Red Troncal 2	138
Tabla 55 Indicadores económicos de la Red Troncal 2.....	138
Tabla 56 Comparación entre indicadores económicos de la Red Troncal 1 y la Red Troncal 2	139

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Ecuación del modelo de costos de la RNFO	59
Ecuación 2 Formulación matemática.	68
Ecuación 3 Valor máximo de canales ópticos que una terminal WDM puede multiplexar en una fibra óptica.....	69
Ecuación 4 Valor del número de sistemas de transmisión instalados entre los nodos i y j.....	70
Ecuación 5 Valor máximo de canales ópticos que una terminal WDM puede multiplexar en una fibra óptica.....	70
Ecuación 6 Costo de transmisión.....	70
Ecuación 7 Restricciones habituales de conservación de flujo	72
Ecuación 8 Garantía de la conectividad entre todos los pares de nodos	72
Ecuación 9 Define las variables X_{ij} como variables enteras positivas	72
Ecuación 10 Disyuntiva de dos flujos para asegurar sustentabilidad.....	72
Ecuación 11 Conjunto de nodos conectados bidireccionalmente.....	73
Ecuación 12 Conjunto de todas las demandas.....	74
Ecuación 13 Costos por número de fibras	75
Ecuación 14 Costos con transpondedores	75
Ecuación 15 Costos de transmisión.....	75
Ecuación 16 Brecha entre iteración mayor y menor.....	76
Ecuación 17 Estimación de CapEx.....	79
Ecuación 18 Costo de red.....	86
Ecuación 19 Ecuación para calcular VPN.....	88
Ecuación 20 Ecuación para calcular Revenues	89

Ecuación 21 Ecuación para calcular el promedio de intensidad de tráfico	90
Ecuación 22 Ecuación para calcular el CapEx	90
Ecuación 23 Ecuación para calcular el OpEx.....	92
Ecuación 24 Ecuación para calcular los costos energéticos	93

Acrónimos

CapEx	Capital Expenditure
OpEx	Operational Expenditure
VPN	Valor Presente Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones (México)
TELECOMM	Telecomunicaciones de México
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México)
CFE	Comisión Federal de Electricidad (México)
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú)
MINTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (Colombia)
EASA	European Aviation Safety Agency
ADSS	All Dielectric Self Support
OPGW	Optical Ground Wire
WDM	Wavelength Division Multiplexing
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
UWDM	Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing
RNFO	Red Nacional de Fibra Óptica (Colombia)
RDNFO	Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (Perú)
OLT	Optical Line Terminal
OA	Optical Amplificator
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
APP	Asociación Público- Privada
RU	Reino Unido
FWM	Four-Wave Mixing
PON	Passive Optical Network
FTTX	Fiber To The “X”
RAE	Real Academia Española

UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
CARG	Compound Annual Growth Rate
CONAPPTTEL	Comité Nacional Permanente de Peritos en Telecomunicaciones
DGE	Dynamic Gain Equalizer
ROADM	Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México)
PMD	Polarization Mode Dispersion
SCF	Single Core Fiber
MCF	Multi Core Fiber

Introducción

La siguiente investigación se realizó con el fin de proporcionar una evaluación de los estimadores CapEx y OpEx en redes troncales de fibra óptica, lo anterior debido a que México carece de un sector de telecomunicaciones adecuado a sus necesidades, en donde ha hecho falta inversión económica.

Como lo hablan Ernesto M. Flores-Roux et al (2010), la falta de inversión se centra en dos niveles, acceso y transporte. De estas dos, la parte referente a redes de transporte se debe a que prácticamente México sólo cuenta con una red preponderante para dar cobertura nacional, aunque en varios países sólo una red resulta suficiente, no es el caso de México.

Ahora bien, desde lo acordado en la Agenda para la conectividad de las Américas en Ecuador, en el año 2001, los países americanos se comprometían sobre todo a poner especial énfasis en tres puntos. Infraestructura de telecomunicaciones, TIC y recursos humanos, todo enfocado para lograr que los pueblos de los países pudiesen conformar en conjunto a la sociedad de la información, estos conceptos pasaron a los planes nacionales de desarrollo, agendas digitales y/o planes de banda ancha de algunos países.

De esta forma, para reducir la brecha digital y llegar a un verdadero acceso universal, se han creado diversos proyectos de redes troncales de fibra óptica, en donde algunos proyectos corresponden íntegramente a los Estados y otras a Asociaciones Público-Privadas (APP) como se observa en la imagen 1, a continuación:



Imagen 1 Proyectos nacionales de acceso universal en Sudamérica (DN consultores, consultada en 2018)

Es por esto, que el fin de la investigación consiste en la realización de dos estudios ópticos de las dos redes de transporte nacionales ya existentes pero basados en el número de habitantes por localidad, para posteriormente hacer las evaluaciones de CapEx y OpEx de las mismas.

El presente trabajo abarca aspectos históricos, económicos y financieros referente a las redes troncales de fibra óptica. En el primer capítulo se realiza un recuento histórico de la evolución de las redes troncales, el porqué se elige la fibra óptica como principal medio para esta jerarquía de redes, los tipos de tecnologías existentes para las mismas, también se refiere a algunos proveedores tanto de fibra óptica como de equipamiento óptico junto con algunas recomendaciones y estándares que deben cumplir para la homogeneización del equipamiento, así como tendencias en equipamiento de las redes troncales.

En el segundo capítulo se abordan los casos internacionales de proyectos de redes troncales de fibra óptica en dos países latinoamericanos (Perú y Colombia) y se realiza la revisión de literatura y marco teórico, poniendo especial énfasis en los modelos económicos de CapEx y OpEx que han sido propuestos por parte de investigadores internacionales.

El tercer capítulo tiene el fin de mostrar los diseños ópticos de las rutas para las dos redes troncales en México que fueron elegidas por ser las de mayor extensión, para hacer la evaluación de los estimadores económicos CapEx y OpEx, por lo cual también se encontrarán las evaluaciones de estos dos estimadores desglosadas de cada una de ellas.

Finalmente, en el cuarto y último capítulo se hace un análisis de resultados para comparar la variación de los estimadores, en el caso de la Red Troncal 1, si arroja un mejor o peor escenario hacer el despliegue de la red por anillos o por rutas y posteriormente hacer la comparativa entre las dos redes en estudio.

La tesis cuenta con tres apartados: conclusiones generales, recomendaciones técnicas y una serie de anexos, en dónde se pueden encontrar los resultados obtenidos de la investigación, las recomendaciones técnicas que van dirigidas hacia inversionistas ya sean mexicanos o extranjeros, al gobierno mexicano y a los posibles operadores de redes troncales de fibra óptica.

Problema a resolver

México, así como muchas otras naciones, es un país que aún se encuentra en crecimiento en muchos aspectos, entre los cuales se tiene una centralización en el desarrollo digital. Es un factor que se complica debido a la extensión territorial y la complejidad socioeconómica y geográfica, factores que económicamente representan una barrera de oferta o de demanda.

Al existir una disparidad tan grande de las zonas urbanas contra las rurales, se debe buscar llegar con infraestructura digital a los sectores más alejados del país, esto se ve reflejado en la necesidad de nuevas redes troncales, o bien, robustecer las ya existentes a través de incentivos por parte del órgano regulador.

México solo cuenta con dos redes que podrían considerarse de cobertura nacional, pertenecientes a Telmex y CFE y ya que se entienden como redes de transporte su principal función es dar acceso mayorista, dicho de otra manera, sus clientes serán los operadores de otras redes regionales o bien de acceso.

Es por esto que las redes de transporte cumplen una función importante en el desarrollo digital de los países ya que son las encargadas de transportar el tráfico nacional, vistas como infraestructura, permiten a más personas acceder a las TIC y con esto se reduce considerablemente la brecha digital en la que estamos inmersos.

En el contexto mexicano actual, los consorcios que han realizado los diferentes proyectos de redes troncales no hacen públicos los modelos de CapEx (Capital Expenditure) y OpEx (Operational Expenditure) los cuales desglosan los gastos de inversión y mantenimiento; debido a que se consideran datos internos de los operadores.

Es necesario proponer un modelo tomando en cuenta las características específicas de México teniendo en consideración el actual desarrollo de las telecomunicaciones en el país. Por esta razón, en la literatura se busca el modelo económico que mejor se ajuste a las necesidades de éste país latinoamericano usando como guía la experiencia internacional de las naciones donde ya se encuentran implementados los proyectos y por ende cuentan con modelos económicos idóneos a su entorno, contexto y necesidades contemplando principios generales de acceso efectivo y uso compartido a la infraestructura pública, neutralidad, no discriminación, eficiencia, acceso a la información, celeridad en el despliegue, complementariedad de redes y contraprestación por el uso compartido de la infraestructura, entre otros.

Objetivo General

Estimar el CapEx y OpEx de dos redes troncales de fibra óptica en el caso de México para que puedan ser considerados como ejemplos en la implementación de proyectos posteriores relacionados.

Objetivos Específicos

- Revisar la estructuración de proyectos internacionales en cuestión de los estimadores de CapEx y OpEx para tener un contexto precedente de los proyectos nacionales de acceso universal.
- Realizar un estudio óptico de cada una de las redes troncales tomando en cuenta el número de habitantes por localidad con la finalidad de obtener los datos para realizar la evaluación de los estimadores económicos CapEx y OpEx.
- Evaluar un modelo económico para dos redes troncales de fibra óptica en México, utilizando los indicadores económicos de CapEx y OpEx para conocer la mejor forma de implementación.
- Comparar los resultados obtenidos del modelo económico para dos casos de aplicación de esta manera tener clara la comparación de los estimadores entre las dos redes troncales en estudio y también la comparación porcentual entre CapEx y OpEx de cada una.

Capítulo 1. Problemática de los modelos económicos de CapEx y OpEx de las redes troncales de telecomunicaciones.

En este capítulo se describen las funciones y elementos principales de las redes troncales, se presentan sus capacidades y tecnologías de transmisión que se utilizan de forma convencional. Y también se detallan las tres principales jerarquías de capacidad que existen en las redes de fibra óptica. Asimismo, se sugieren los modelos económicos que se utilizan en el diseño de este tipo de redes troncales de alcance nacional y se comparan con otros modelos de alcance global.

1.1 Red Troncal de Telecomunicaciones.

Desde siempre el ser humano ha tenido la necesidad de comunicarse debido a que somos seres sociales y tenemos esa necesidad básica, es por esto que se han generado distintas formas de comunicar, siempre tratando de hacerlo eficientemente a una mayor distancia, es precisamente por esta condición que nacen las telecomunicaciones, las cuales cumplen la función de comunicar a distancia.

Entonces, una pregunta que se pudiese plantear sería ¿a partir de qué distancia se considera telecomunicación? Se podría responder con que es toda aquella comunicación que se genera a partir de que los sentidos humanos pierden su sensibilidad y tenemos que recurrir a elementos externos que nos permitirán seguir en contacto a distancias cada vez mayores.

En las últimas décadas, las telecomunicaciones han crecido a pasos agigantados y no se han detenido, es por esto que ahora vivimos en un mundo conectado casi por completo y dentro de toda la gama de medios de transmisión y tecnologías para lograrlo contamos con redes esenciales que se encargan del soporte para comunicar al planeta. Por esta misma razón se conocen como redes troncales ya que de ahí saldrán las derivaciones a redes de comunicación más pequeñas y divididas cada vez en sectores menores que nos brindarán la comunicación de la que gozamos.

A pesar de que actualmente estamos habituados a pensar en la fibra óptica como principal medio de comunicación, debido a que tenemos en el imaginario colectivo los cables submarinos que conectan al mundo, han existido y siguen existiendo redes de transporte basadas en otros medios, los cuales eran sumamente eficaces antes del desarrollo apresurado de la óptica, por ejemplo, el caso de las redes troncales de microondas.

En concordancia al Glosario del Anexo Técnico consultado de las Bases de la Red Troncal (Telecomm, 2018), se entiende a la **Red Troncal** como la red de telecomunicaciones soportada por una infraestructura de fibra óptica propia o de terceros, que se establece para conectar ciertos nodos, como centrales de conmutación, puntos de presencia y puntos de interconexión, formando el eje de conexión principal de la red del operador a la cual se conectan redes públicas de telecomunicaciones que prestan servicios de telecomunicaciones a usuarios¹ finales.

También se recuperó del mismo documento la definición de **Red Troncal Nacional** en el caso mexicano, la Red Troncal es a la que se refiere el artículo Décimo Quinto transitorio del Decreto de Reforma Constitucional, que se caracteriza por tener Cobertura Nacional y alta disponibilidad. La infraestructura pasiva de la CFE puede complementarse con infraestructura y equipo, propio o arrendado, bajo cualquier título legal, incluyendo puntos de presencia, medios de transmisión, enlaces o servicios de cualquier naturaleza que adquiera de Concesionarios bajo cualquier título legal, así como derechos de vía de cualquier tercero.

¹ Usuarios: Concesionarios o Comercializadoras, incluyendo operadores de redes móviles, operadores de redes fijas y operadores virtuales -fijos y móviles, los cuales a su vez ofertarán servicios minoristas a **usuarios finales**, tales como personas físicas, empresas, dependencias o entidades gubernamentales, organismos e instituciones públicas.

1.2 Redes Troncales de Fibra Óptica

En el mundo en el que vivimos a pesar de que hay diferentes opciones para comunicarnos, la fibra óptica es el principal medio guiado que se utiliza para interconectar tanto continentes, países y ciudades. Se ha propuesto utilizar sobre todo fibra óptica debido a los atributos de éste medio. Se divide en dos partes principales el cable terrestre o terreno y el cable submarino, representando la extensión mundial de este último en la imagen 2.

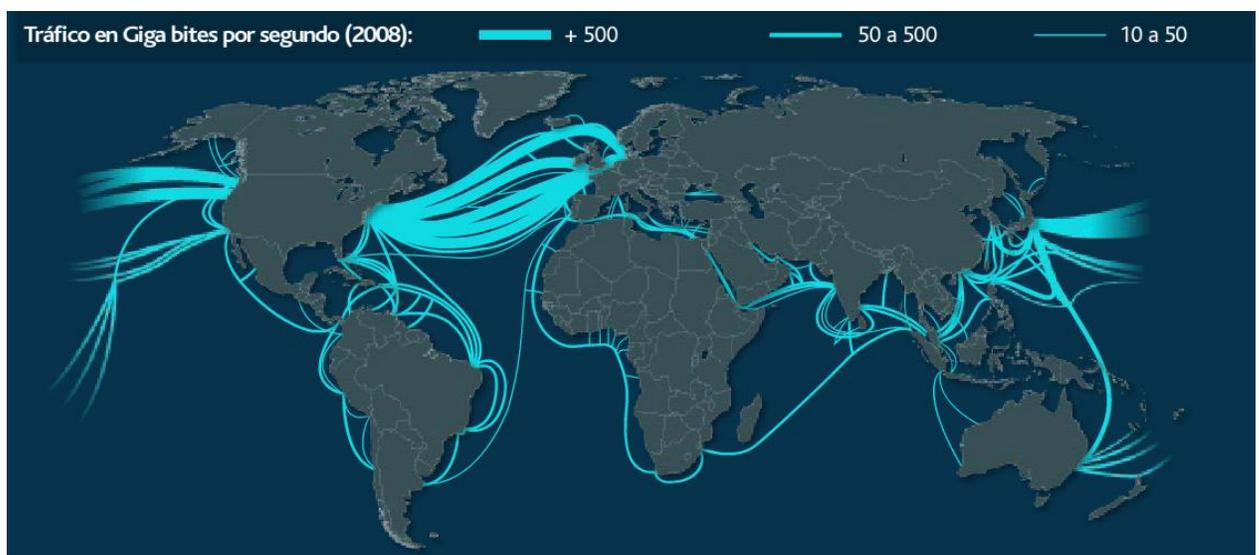


Imagen 2 Tráfico de Internet a través de fibra óptica submarina (TeleGeography, 2008)

Para realizar un estudio de la fibra óptica terrestre es necesario ubicarnos en el territorio de cada uno de los países que nos interese. Como caso ilustrativo se hablará del caso europeo, imagen 3, ahí se observa la configuración de las redes troncales de fibra óptica de Europa en el año 2002, a pesar que los países europeos son mucho más pequeños que México, se hará notar más adelante la diferencia entre la cobertura de ambos.

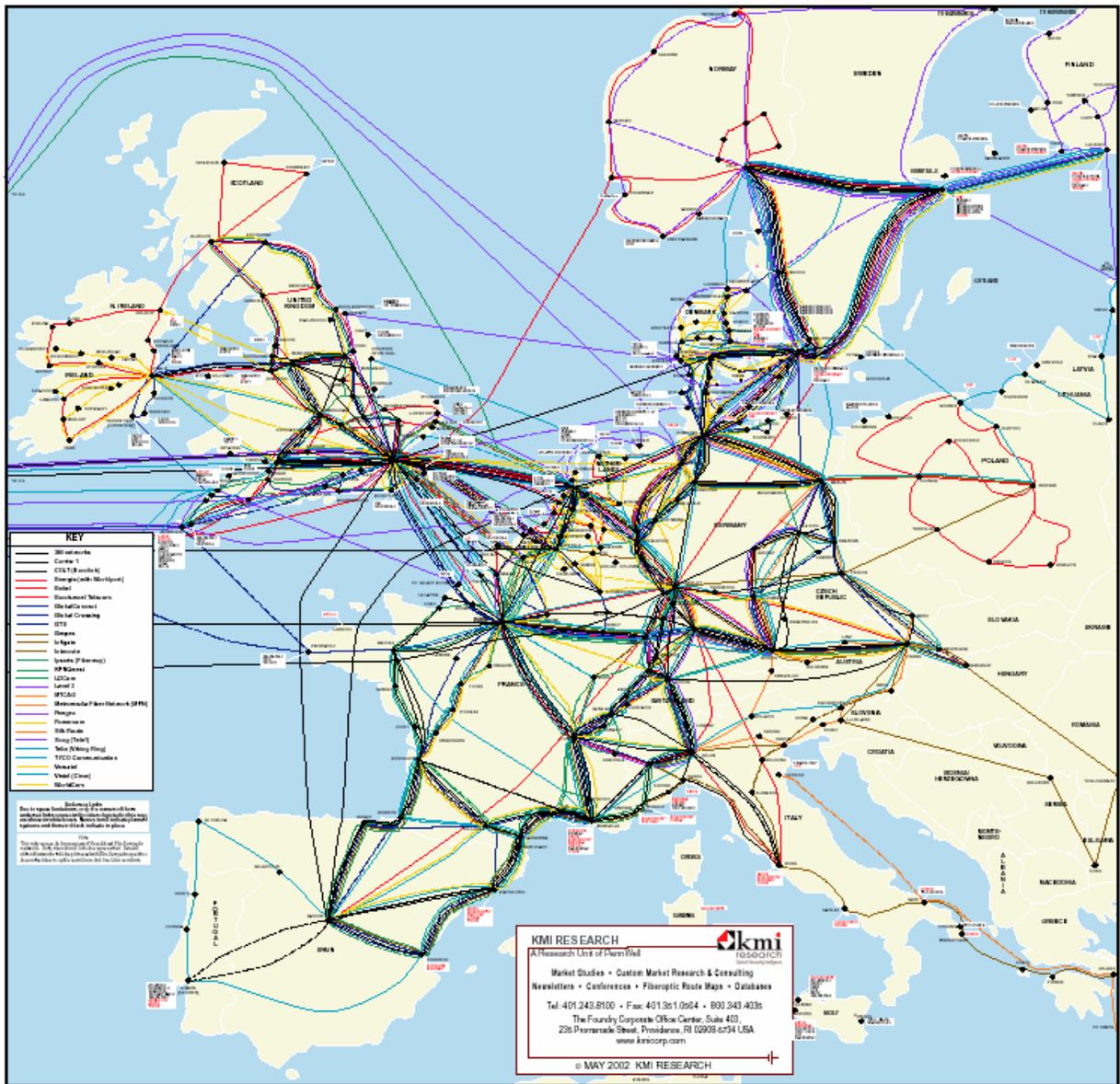


Imagen 3 Redes troncales europeas (TeleGeography, 2002)

Si reducimos el área que tomó en cuenta el estudio del caso europeo, podremos notar de mejor manera las ciudades conectadas (ver imagen 4), de lo que se conoce como el corazón de la red troncal europea, que es en dónde se conectan el mayor número de redes y con ellas ciudades.

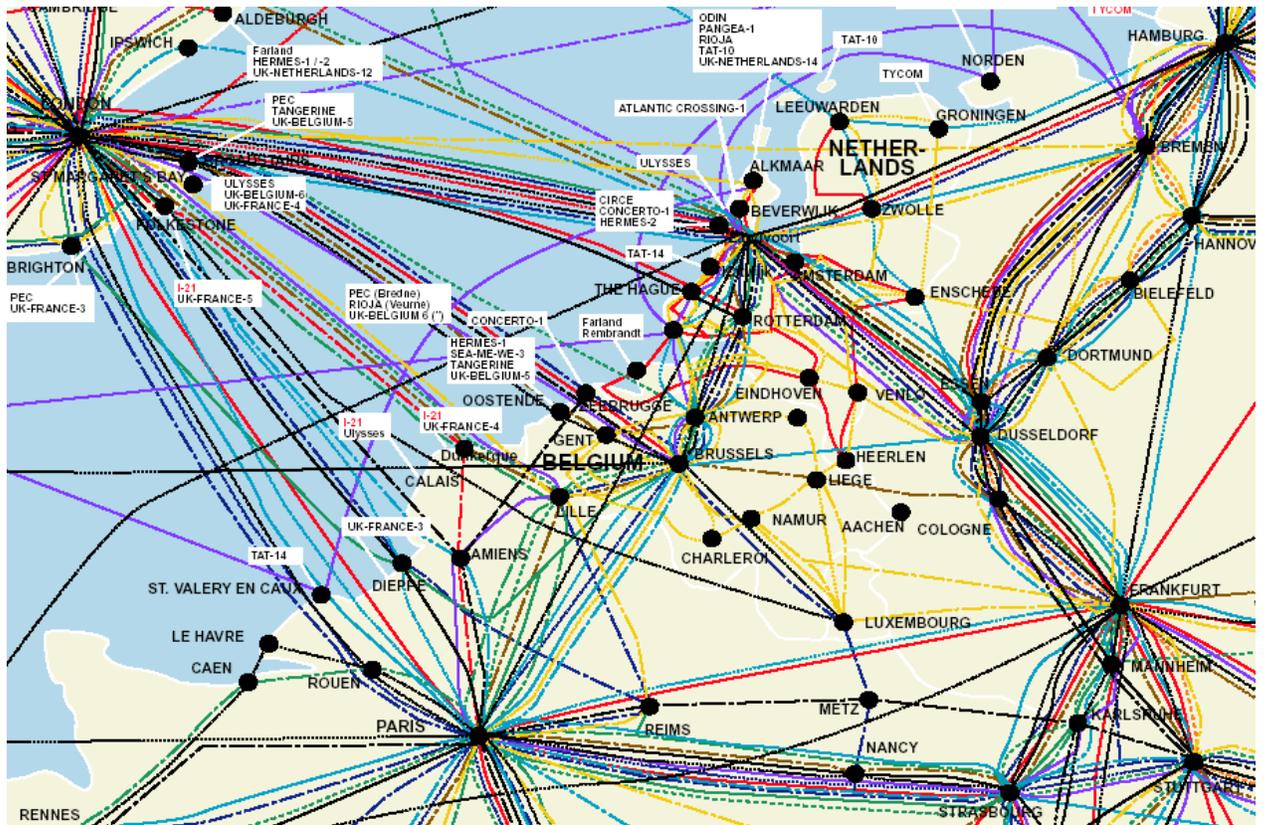


Imagen 4 Corazón de las redes troncales en Europa (TeleGeography,2002)

El estudio realizado por Telegeography nos proporciona los siguientes datos del año 2002 que fueron recabados en la tabla 1, en donde se indican los anchos de banda totales estimados que se tienen por la conexión de las 146 ciudades europeas en Gbps.

Tabla 1 The top European cities for backbone links to other nodes
(TeleGeography, 2002)

Ciudad	Ancho de banda total estimado conectando a las 146 ciudades en Gbps	Ciudad	Ancho de banda total estimado conectando a las 146 ciudades en Gbps
Londres	31	Bruselas	16
París	30.25	Madrid	15.75
Frankfurt	30.25	Copenhague	15.5
Dusseldorf	29.75	Marsella	15
Habsburgo	26.5	Stuttgart	13.75
Ámsterdam	23.25	Cologne	13.5
Zurich	18.5	Hannover	13.25
Berlín	17.5	Milán	12.25
Munich	17.5	Estocolmo	11.75
Lyon	17.25	Leipzig	11.5
Estrasburgo	16.5	Génova	11.5

1.2.1 Tasas de transmisión y su evaluación

Para justificar el uso de la fibra óptica se debe poner en perspectiva en contra de otros medios como lo son las microondas, teniendo en cuenta que una red troncal puede estar compuesta de varios tipos de tecnologías, así como medios de transmisión.

Por esta razón las tablas subsecuentes 2 y 3 muestran los contrastes entre el espectro radioeléctrico y su equivalente en comunicaciones ópticas, considerando intervalos de frecuencias, y aplicaciones principales de tal forma que se facilite la comparación.

Capítulo 1. Problemática de los modelos económicos de CapEx y OpEx de las redes troncales de telecomunicaciones

Tabla 2 Espectro radioeléctrico, bandas y caracterización. (Elaboración propia, 2018).

Banda de frecuencia	Nombre	Datos analógicos		Datos Digitales		Aplicaciones principales
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Razón de datos	
30-300 [KHz]	LF	Normalmente no se utiliza		ASK, FSK, MSK	0.1 – 100 bps	Navegación
300-3000[KHz]	MF	AM	Hasta 4KHz	ASK, FSK, MSK	10 – 1000 bps	Radio AM comercial
3-30 [MHz]	HF	AM, SBB	Hasta 4KHz	ASK, FSK, MSK	10 – 3000 bps	Radio de onda corta Radio CB
30-300 [MHz]	VHF	FM, SBB	5Khz a 5MHz	FSK, PSK	Hasta 100 Kbps	Televisión VHF Radio FM
300-3000 [MHz]	UHF	FM, SBB	Hasta 20 MHz	PSK	Hasta 10 Mbps	Televisión UHF Microondas terrestres
3-30 [GHz]	SHF	FM	Hasta 500 MHz	PSK	Hasta 100 Mbps	Microondas terrestres Microondas por satélite
30-300 [GHz]	EHF	FM	Hasta 1 GHz	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos punto a punto

Tabla 3 Bandas en fibra óptica y caracterización. (Elaboración propia, basado en apuntes de la materia de comunicaciones ópticas, 2018).

Banda	Intervalo [nm]	Intervalo [THz]	Ancho de Banda [THz]	Tipo de fibra	Costo optoelectrónica	Aplicaciones
O Original	1260-1360	237.93- 220.43	17.5	MM y SM	Bajo	10M/Gb/10GbEth SONET/DSH CWDM
E Extendida	1360-1460	220.43- 205.34	15.1	SM	Medio	CWDM
S Onda corta	1460-1530	205.34- 195.94	9.4	SM	Alto	CWDM
C Convencional	1530-1565	195.94- 191.56	4.4	SM	Alto	10GBEth, DWDM, CWDM
L Onda larga	1570-1620	190.75- 185.06	5.7	SM	Alto	DWDM, CWDM
U Ultra larga	1620-1675	185.06- 178.98	6.1	SM	Alto	

1.3 La evaluación del uso de la fibra óptica en telecomunicaciones

Desde el inicio de la humanidad, las personas han tratado de aligerarse la vida intentando tener soluciones a los diferentes problemas que se pudiesen encontrar, es por esto, que surge precisamente la ingeniería, la cual es una rama de estudio que permite tomar el conocimiento de cada una de las ciencias naturales y aplicarlo a la realidad actual.

Fue hasta 1800 que las personas comenzaron a gozar de los servicios hasta las casas, como lo fueron el agua potable, el gas e incluso la calefacción, todos ellos provistos a través de tuberías, entonces ¿por qué no entubar la luz?, en el libro de historia de la fibra óptica “The city of light”, el autor nos presenta la biografía de un joven ingeniero llamado William Wheeler, quien pensó en esto y patentó el diseño de una pipa de luz en 1881, como se observa en la Imagen 5. Infortunadamente, la idea perdió terreno debido a que meses después la bombilla incandescente apareció en el mundo, sin embargo, lo importante es que se pensó desde esa época, que la luz podría ayudar a abastecer o proveer algún servicio si se mantenía o se ocupaba entubada. Tendría una forma guiada de transportarse para que la mayor cantidad de luz pudiese llegar del otro lado.

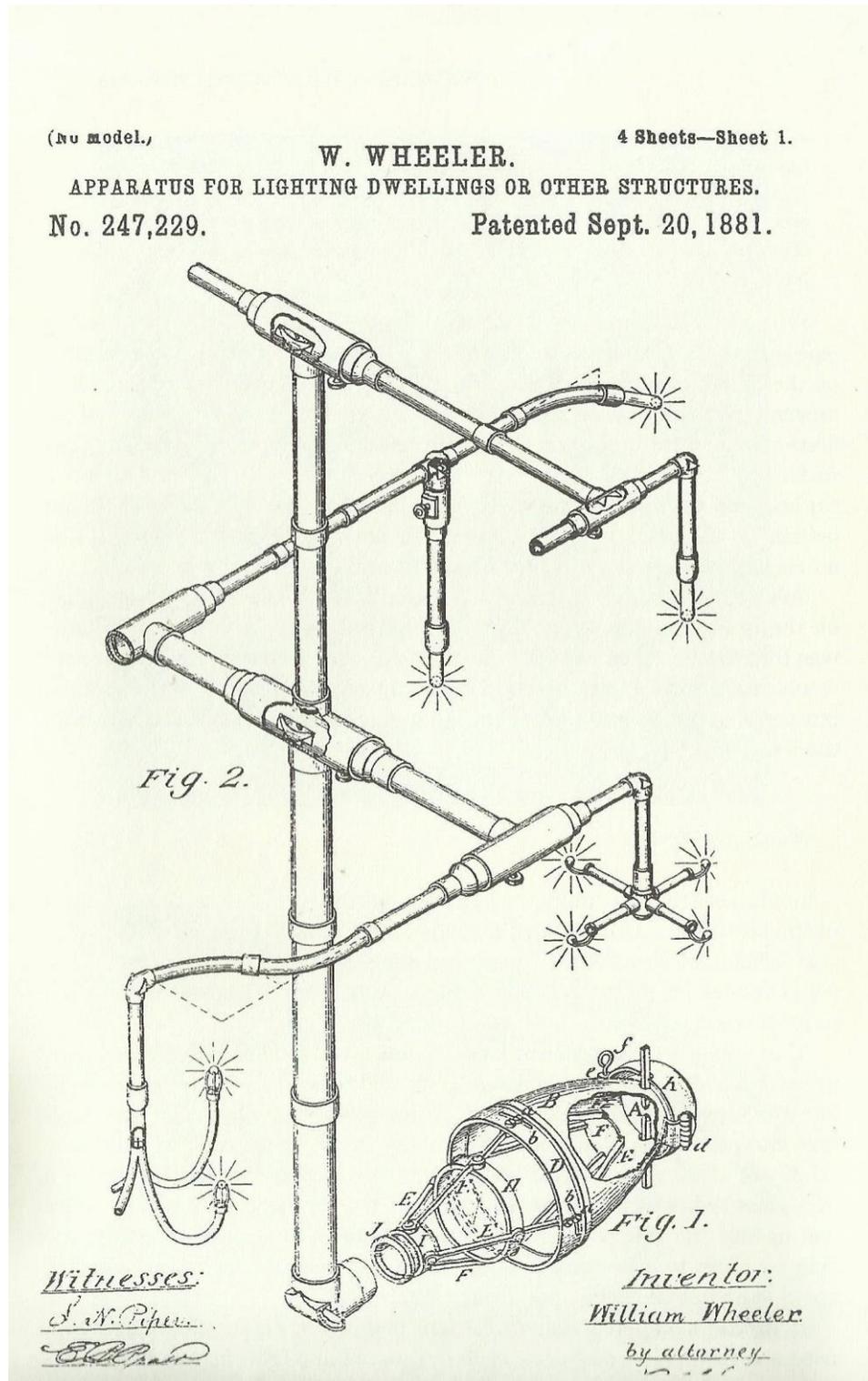


Imagen 5 Pipa de Luz de William Wheeler, desde su dibujo de patente.
(US Patent 247,229, Figura 2, on sheet 1)

Ahora bien, The City of Light nos ubica cronológicamente tiempo después cuando gracias a los estudios del físico John Tyndall (quien ya había comprobado desde el año 1854 que la luz viaja en zigzag) se comenzó a estudiar uno de los efectos que más ha beneficiado a la evolución de las telecomunicaciones a través de medios guiados, la reflexión total interna (ver imagen 6).

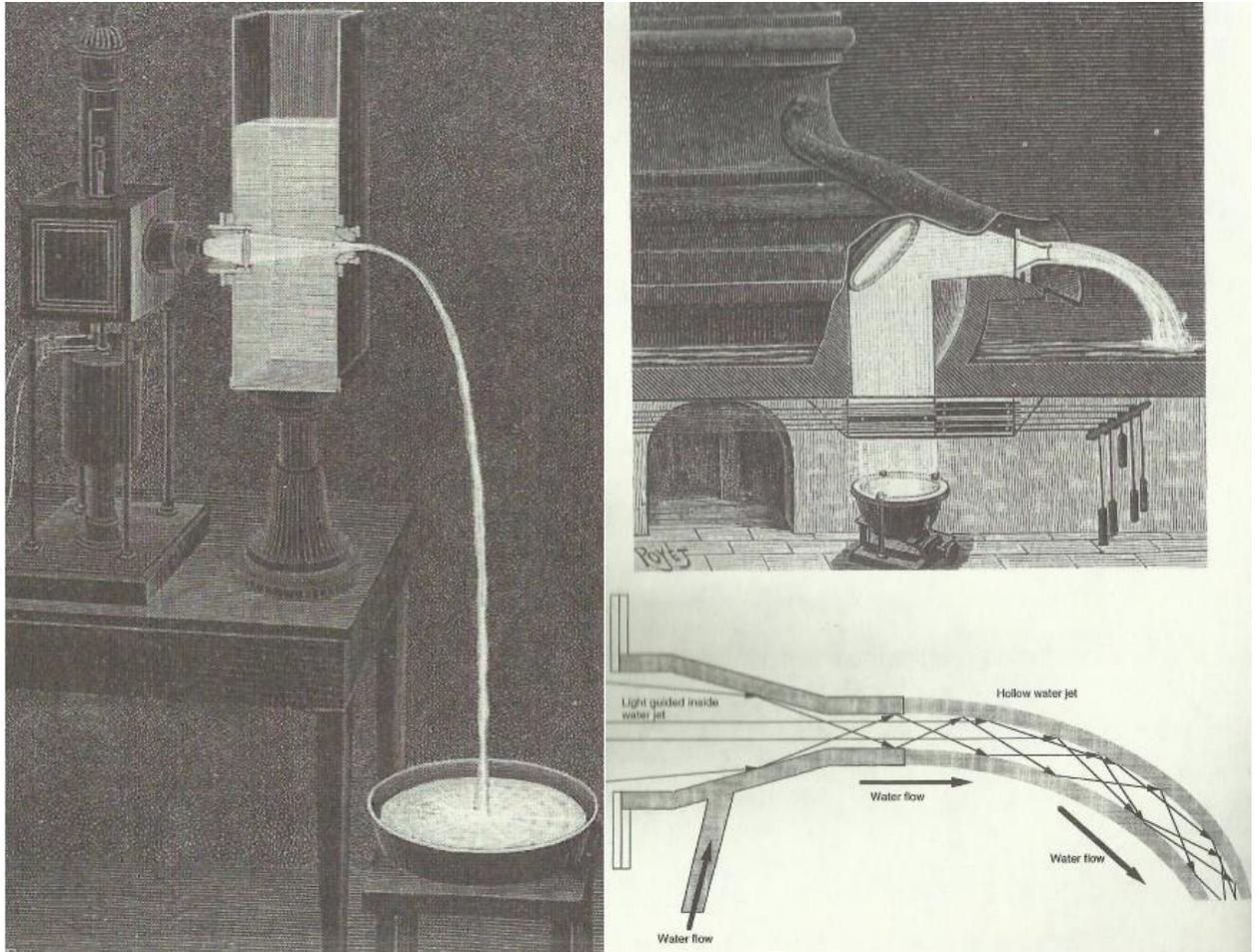


Imagen 6 Experimentos basados en la reflexión total interna descubierta por John Tyndall. A la izquierda "La fontaine Colladon" (1884) y a la derecha Imagen a gran escala de La nature (1889) en donde se observa como la luz dirigida por un espejo hacia el flujo de agua.
(City of Light, 1999)

Pero para lograr construir las fibras ópticas que conocemos en la actualidad aún faltaba un largo camino. Se debe contextualizar que los países donde se iban a desarrollar las comunicaciones ópticas tenían condiciones muy distintas las cuales eran Estados Unidos y Gran Bretaña, aunque en los dos las compañías telefónicas fueron las que más buscaban sistemas de transmisión basados en la luz, en el primer país la prioridad estaba dada a cubrir miles de kilómetros de tendido de cable para intercomunicar las ciudades en donde en muchos casos las situaciones orográficas resultaban favorables. Por otro lado, en Gran Bretaña las distancias eran mucho más reducidas y el objetivo principal era enlazar núcleos urbanos próximos con topografías intermedias bastante complicadas.

Como nos relata José A. Martín Pereda (2015), los americanos en principio optaron por la idea que más se asemejaba a la del transporte de microondas a través de guías y pensaban al aire como el medio ideal por sus características, se hicieron varias propuestas de las cuales se hará alusión a la de C.C. Eaglesfield que se realizó en 1961, en la cual mostraba que un tubo hueco de una pulgada de diámetro, metalizado espectacularmente en su interior el cual podía transmitir un número elevado de canales.

A partir de esa propuesta comenzaron a diseñarse varios prototipos parecidos al tubo de Eaglesfield, sin embargo, llegaban a presentar problemas de transmisión debido a los efectos de dispersión modal, lo que encontraron como solución fue introducir gas en el interior de los tubos y diseñar lentes de gas específicamente diseñadas para este uso.

A la par del desarrollo de las investigaciones expuestas el investigador Antoni Emil Karbowiak, investigador de la Standard Telephone Laboratories (STL) contrató a un joven ingeniero chino Charles K. Kao (ver imagen 7), así fue el acercamiento de Kao con el estudio de la fibra óptica, años después en 1964, el proyecto quedó en manos de Kao y Hockman los cuales lo primero que realizaron fue estimar que propiedades debería tener la guía, con esos cálculos experimentales llegaron a que no debería absorber más de 20 dB/km, número en el que se basó toda su investigación.



Imagen 7 Charles Kao realizando pruebas con fibra óptica en STL
(Martín-Pereda, 2015)

Kao debido a su experiencia trató de encontrar expresiones determinantes que posteriormente sus experimentos deberían comprobar, basándose en tres factores: las reflexiones en las superficies, presentes sobre todo a la entrada y la salida, el scattering de luz por los átomos del vidrio y la absorción de radiación óptica por estos.

El 27 de enero de 1966 presentaron sus resultados en la sede de la Institution of Electrical Engineers, en Londres, sus estudios mostraron una capacidad de transmitir información en distancias cortas a una velocidad de un gigaciclo, lo que es equivalente a unos 200 canales de televisión o más de 200,000 canales de telefonía.

A pesar de los descubrimientos no se le dio la importancia que merecía y fue hasta el verano de 1970, después de las investigaciones, experimentaciones e inversión por parte de Corning Glass Works que se pudo realizar la transmisión en largas distancias.

En 1975, un grupo de W. A. Gambling, en la universidad de Southampton, encontró que a $1.27\mu\text{m}$ el material presentaba una dispersión nula, esa zona se conoce ahora como la segunda ventana de transmisión óptica. Pronto se encontró que la sílice fundida también presentaba otro mínimo en atenuación a los $1.55\mu\text{m}$ denominándose como tercera ventana de transmisión óptica.

En 1986, el mismo grupo de Gambling, encontraron que las fibras al ser dopadas con erbio adecuadamente podían convertirse en amplificadores ópticos, un elemento que hacía falta para dejar de utilizar repetidores en los que la señal óptica debía transformarse a eléctrica para regenerarse y posteriormente volver a convertirse en señal óptica.

1.3.1 Desarrollo en México

K. García Oscura (2017) en su tesis de licenciatura avalada por la Facultad de Ingeniería UNAM nos relata cómo fue el desarrollo digital en México. Es hasta finales de la década de los 70, que se produce la introducción de la tecnología digital a Telmex, produciendo una reestructuración total de Telmex, esta tecnología basada en la fibra óptica como elemento de múltiple transmisión, para poner en consideración la migración hacia la fibra óptica, Telmex realizó un estudio tomando en cuenta a las treinta principales compañías telefónicas en el mundo, teniendo como resultado que le era conveniente realizar la sustitución de cobre por fibra óptica.

De acuerdo a lo anterior, el primer sistema de tecnología digital inició operaciones el 6 de septiembre de 1979 denominado “Tláhuac- Milpa Alta” el cual unía 13 municipios en una sola central digital.

Posteriormente, después del sismo de 1985 fue necesario acelerar la implementación del proyectos de fibra óptica del país y teniendo en cuenta la incomunicación sufrida por el temblor se decidió construir cuatro centrales telefónicas digitales para larga distancia (San Juan, Vallejo, Morales y Estrella) las cuales fueron interconectadas con fibra óptica e inauguradas en 1986, cabe mencionar que cada una contaba con la capacidad de asumir el control maestro en caso de que alguna o varias de las otras resultaran dañadas.

Finalmente, en el año de 1991, Telmex da comienzo a la Red Nacional de Fibra Óptica de Larga Distancia, la cual enlazaba 54 ciudades del país y que marcaría el inicio de la concepción de redes de transporte nacionales en México por medio de fibra óptica.

Debido a estos acontecimientos históricos la fibra óptica poco a poco se ha convertido en la base sólida de las telecomunicaciones por sus ventajas sobre el cobre como se enlistan a continuación.

1.3.2 Ventajas y Desventajas de la fibra óptica

La reflexión total de la luz se ha convertido en la propiedad que permite a la fibra transportar la información tan rápido, el tráfico puede llegar hasta la capacidad de Terabits. De acuerdo con la European Aviation Safety Agency (EASA), la utilización de la fibra óptica tiene ventajas y desventajas, entre las que se encuentran las siguientes, principalmente:

- **Ventajas de utilización de la fibra óptica.**

- Transmite datos a alta velocidad.

Actualmente el cable submarino Marea que une EU con España, propiedad de Facebook, Microsoft y Telxius ha alcanzado 26.2 Tbps, mientras que, en fibra terrestre, de acuerdo a Ars Technica, desde junio de este año se ha alcanzado la cifra de transmisión de 661 Tbps en un solo hilo de fibra óptica contra los 100Mbps del cable de cobre.

- Cuenta con un gran ancho de banda y soporta tráfico muy altos.

Lo anterior debido al tipo de multiplexación que se utiliza, al tener varias longitudes de onda el tráfico soportado es enorme y la única limitación que se tiene es el equipamiento.

- Baja latencia.

Al viajar a la velocidad de la luz, los retrasos son mínimos, y esto se refleja en grabaciones sin interferencias y excelente calidad de imagen y sonido.

- Compatibilidad con la tecnología digital.

Debido al equipamiento óptico que trabaja con láseres en los transmisores y fotodetectores en los receptores, no hay problema alguno en la conversión de impulsos de luz a variaciones de voltaje, lo que lo hace compatible con toda la tecnología existente.

- Su tiempo de respuesta se reduce a ns.

- No es susceptible a interferencias electromagnéticas.

- Insensible al clima (Exceptuando la consideración que debe existir de una tolerancia aceptable para la Polarization Mode Dispersion (PMD) la cual puede

variar debido a tensión mecánica, presión o temperatura ya que puede haber un proceso de contracción o dilatación que hace perder la geometría a la fibra óptica)

➤ Al ser un medio guiado no percibe interferencia ni atenuaciones por efectos de lluvia, nieve, neblina ni de ningún otro efecto climático a comparación de las transmisiones por tecnología de microondas.

➤ La señal se debe regenerar después de mucha distancia.

En comparación a señales transmitidas por otros medios, cuando la distancia es corta no necesita amplificación ni regeneración como es el caso de las tecnologías Pasive Optical Network (PON).

➤ Cuando hay algún problema en la conexión es bastante sencillo saber en qué tramo de la fibra ocurrió utilizando solo un OTDR, agilizando el tiempo de reparación

➤ Su transmisión es a través de capas ópticas

• **Desventajas de utilización de la fibra óptica**

➤ Altos costos de instalación.

➤ La fibra es bastante delicada y puede llegar a romperse fácilmente.

Al momento de instalar es importante no exceder el límite de curvatura interno de la fibra para no dañarla.

➤ Siempre debe encontrarse recta para que no tenga problemas en el transporte de la luz.

➤ A pesar de que no existen problemas electromagnéticos, siguen existiendo el equivalente a ruido e intermodulaciones lo que se conoce como FWM o mezcla de la cuarta onda.

1.3.3 Jerarquía de redes de fibra óptica

La jerarquización de redes de fibra óptica se hace con base en el tráfico requerido de forma general, podemos observar en la Imagen 8, una jerarquía de tres niveles:

- Redes troncales, dorsales, de tráfico o backbone (en inglés).
- Redes Metropolitanas o simplemente metro.
- Redes de Acceso.

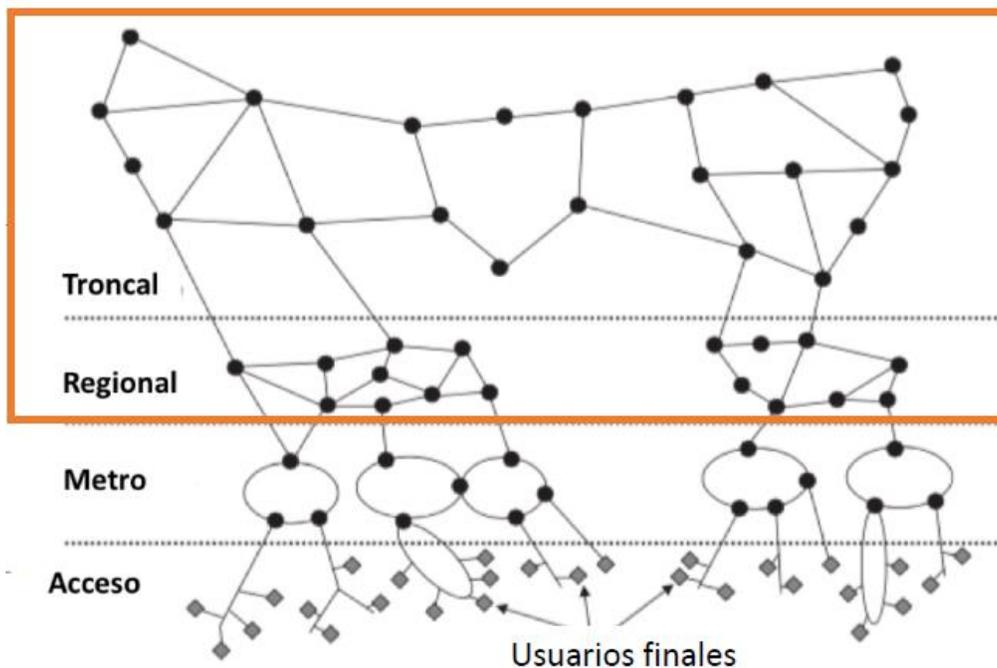


Imagen 8 Jerarquización de redes (Elaboración propia, 2018)

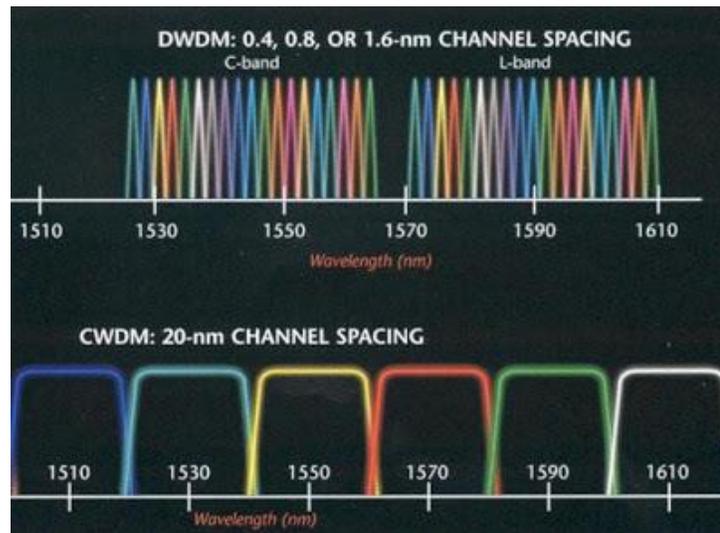
Redes troncales: Son aquellas que interconectan continentes y países conectando redes más pequeñas como metropolitanas y de acceso es por esto que su tráfico y distancias son gigantes en comparación a los otros dos niveles de red.

Redes Metro: Interconectan una gran distancia, casi siempre se centran en ciudades por lo cual el tráfico y capacidad son altos, pero no desmesurados y habitualmente se utiliza modulación CWDM o DWDM en casos bastante específicos.

Redes de Acceso: Generalmente usan tecnologías PON (Pasive Optical Network) por lo cual no necesitan amplificación, generalmente estas redes son estimadas para clientes finales, las redes de acceso que se encuentran en auge en este momento corresponden a las FTTX siendo la X una letra variable que puede ser modificada como FTTB (Fiber to the building); FTTH (Fiber to the Home); FTTN (Fiber to the Node); FTTN (Fiber to the neighborhood).

1.3.4 Tecnologías de transporte por fibra óptica

De acuerdo con la UIT, recomendaciones G.694.1 y G.694.2, las tecnologías de transporte más utilizadas por medio de fibra óptica son CWDM, DWDM y una tercera en desarrollo UWDM, se puede observar la comparativa entre las primeras dos multiplexaciones en la imagen 9, a continuación:



*Imagen 9 Comparación entre multiplexación CWDM y DWDM.
(Monografías.com, 2018)*

CWDM: Coarse wavelength Division Multiplexing, dentro de la recomendación UIT-T G.694.2 se reconoce que este tipo de tecnología de multiplexación es utilizado, principalmente, para redes metropolitanas. Por sus características tienen un espaciado de 20nm entre cada longitud de onda con el fin de maximizar el número de canales, por lo anterior, usando todas las bandas ópticas podemos alcanzar hasta 18 canales.

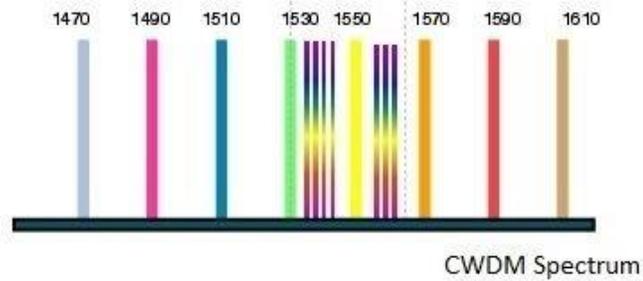


Imagen 10 Modulación CWDM ocupando todas las bandas ópticas (O-U)
(RF Wireless World, 2012)

Las aplicaciones eficaces de CWDM utilizan láseres sin sistema de enfriamiento y filtros pasobanda anchos, la imagen 10 muestra el espectro de la multiplexación CWDM.

DWDM: Dense wavelength Division Multiplexing, de acuerdo a la recomendación UIT-T G.694.1 se reconoce que este tipo de multiplexación es utilizado tanto en redes metro como en redes troncales debido a la cantidad de información que multiplexa. Por sus características puede tener un espaciado de 0.4 o 0.8nm entre cada longitud de onda y solamente utiliza las bandas ópticas L y C para transmitir, la imagen 11 muestra la representación del espectro de la multiplexación DWDM.

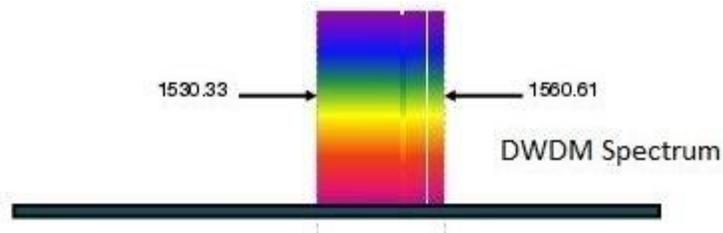


Imagen 11 Modulación DWDM usando las bandas ópticas L y C
(RF Wireless World, 2012)

Teniendo en cuenta los dos tipos principales de multiplexación y sus especificaciones, se genera una tabla comparativa de una tecnología frente la otra (ver tabla 4).

Tabla 4 CWDM Vs DWDM (Tomado de los apuntes de la materia de comunicaciones ópticas, 2018).

C-WDM v.s. D-WDM

	Coarse WDM	Dense WDM
Espacio Inter-canal	~ 20 nm	~ 1.6 nm
Bandas	S, C, y L	C y L
Num. de canales	4, 8 y hasta 18	16-32 (metro) y 40-80
Fuentes	Láser sin enfriar	Láser (DFB) enfriado
Filtros	TFF	TFF, FBG y AWG
Tasa de bits	< 2.5 Gb/s	10 Gb/s y mayores
Amplificación	Ninguna (\$\$)	EDFA y Raman
Costo	Bajo	Alto
Aplicación	Acceso-Metro	Metro-Larga Distancia

UWDM: Ultra dense wavelength Division Multiplexing, es una tecnología que está en desarrollo, y sin duda alguna la veremos implementada en años subsecuentes, como lo sustenta Dagoberto Montero en su tesis aprobada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. La diferencia básica entre los sistemas CWDM, DWDM y UWDM es el espaciamiento entre canales transmitidos. La ventaja de UWDM es el espaciamiento tan estrecho entre canales con el que cuenta, permite reducir la velocidad y a pesar de eso, logra transmitir la misma o una mayor capacidad que otros sistemas existentes. En pruebas de laboratorio se han logrado multiplexar hasta 1022 canales distintos de forma simultánea sobre una sola fibra óptica. Se debe tomar en cuenta que se basa en frecuencias definidas por láser el cuál debe ser capaz de emitir longitudes de onda diferenciadas hasta de 10 GHz o lo que es igual 0.08nm.

Una de las desventajas actuales asociadas a esta multiplexación es el hecho de trabajar en la zona de no linealidad de la fibra óptica, agregando factores de inestabilidad a nuestro sistema de transmisión; para solucionar estos inconvenientes se trabaja en diseño de filtros con baja dispersión.

En las imágenes consecuentes 12 y 13 se observa la comparación entre la multiplexación DWDM y UDWDM.

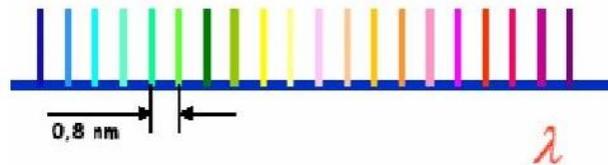


Imagen 12 Multiplexación DWDM: 128 canales con un espaciamiento de 0.8 nm entre ellos (Monografías.com, 2018)

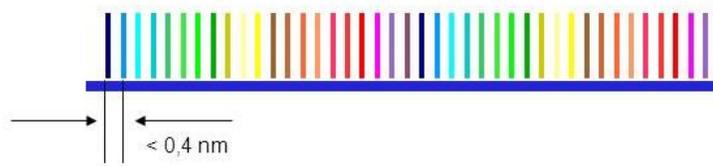


Imagen 13 Multiplexación UWDM: 256 canales con un espaciamiento menor a 0.4 nm entre ellos. (Monografías.com, 2018)

Para finalizar, la tabla 5 nos muestra una comparativa entre los tres tipos de tecnologías utilizadas para las redes de transporte CWDM, DWDM y UDWDM.

Tabla 5 Comparación de elementos en varios métodos de multiplexación.

(Ordoñez Mendieta, 2015)

Aplicación/Parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance	UDWDM Largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160	Aprox 1024
Espectro Utilizado	O,E,S,C,L	C,L	C,L,S	C,L
Espaciado entre canales	2500GHz	100GHz	50Ghz	Hasta 10GHz
Capacidad por canal	2,5 Gbits/s	10 Gbits/s	10-40 Gbits/s	< 40 Gbits/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbits/s	100-1000 Gbits/s	< 1 Tbit/s	> 1 Tbit/s
Tipo de Láser	Uncooled DFB	Cooled DFB	Cooled DFB	ECDL
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG	FBG
Distancia	Hasta 80 km	Cientos de km	Miles de km	Miles de km
Coste	Bajo	Medio	Alto	Alto
Amplificación Óptica	Ninguna	EDFA	EDFA, Raman	EDFA

1.3.5 Tipos de cables ópticos utilizados en redes troncales

Se utilizarán las definiciones dadas por el MINTIC para clasificar las fibras ópticas que son más utilizadas en las redes troncales.

Cable Auto Soportado ADSS: Es un cable diseñado para instalaciones aéreas, generalmente utilizados para redes eléctricas o distribución energética (postes o torres), permite soportar condiciones ambientales extremas y se fija a través de abrazaderas y soportes.

Se compone de un cilindro en el centro que le dará soporte a la fibra óptica entre los span² (distancia entre postes) y las fibras ópticas van enroscadas alrededor de él (ver imagen 14).

Usando fibras monomodo y longitudes de onda de luz de 1310 o 1550 nanómetros, se pueden realizar circuitos de hasta 100 km sin repetidores. Un solo cable puede transportar hasta 144 fibras.

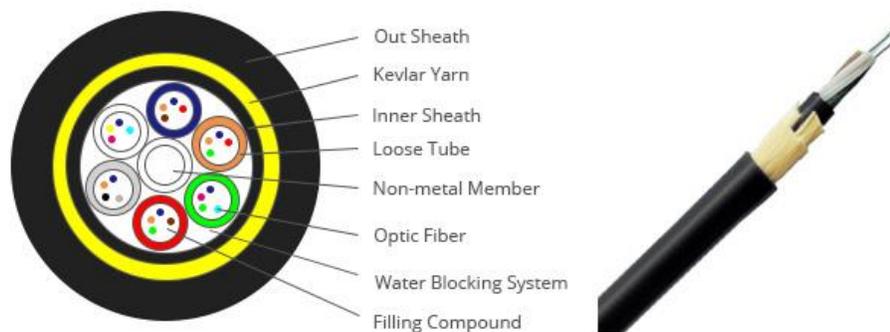


Imagen 14 Composición del cable ADSS
(Sozaw, consultado 2018)

² Es determinado por la estructura interna del cable (hilos de aramida)

Cable Submarino: Este cable está diseñado para mantenerse sumergido en el agua, logran alcanzar grandes distancias por lo que se utilizan para conectar los continentes, dentro de su composición se tienen cables de energía para alimentar los amplificadores ópticos que permiten a las señales tener una amplificación (aunque existen sistemas que no necesitan repetidores de acuerdo a la UIT). Un aspecto negativo de este tipo de fibras es que por las profundidades dificulta su mantenimiento (ver imagen 15).

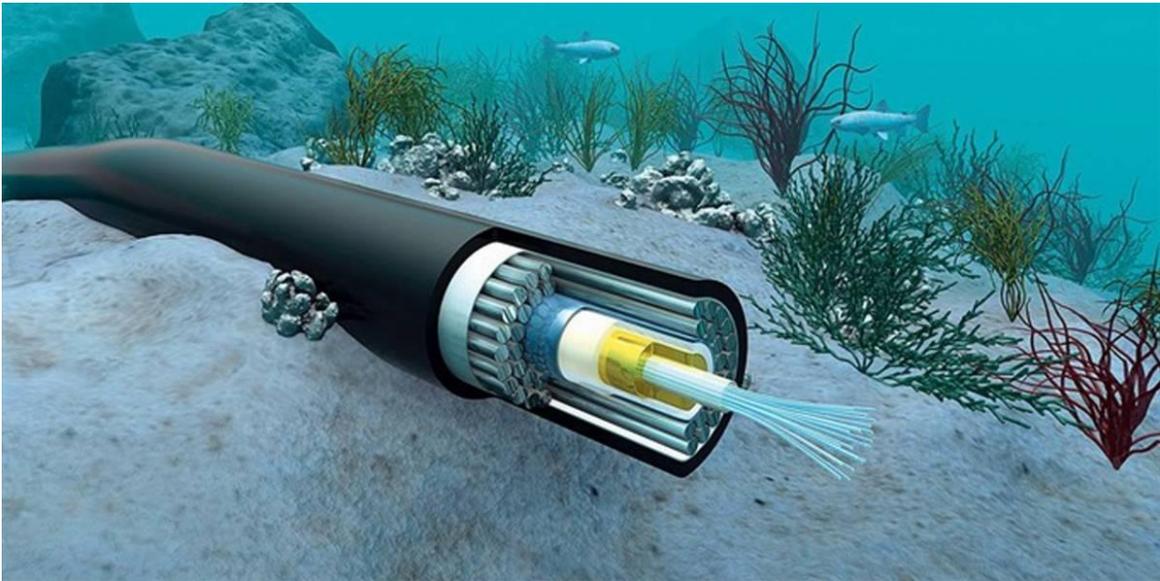
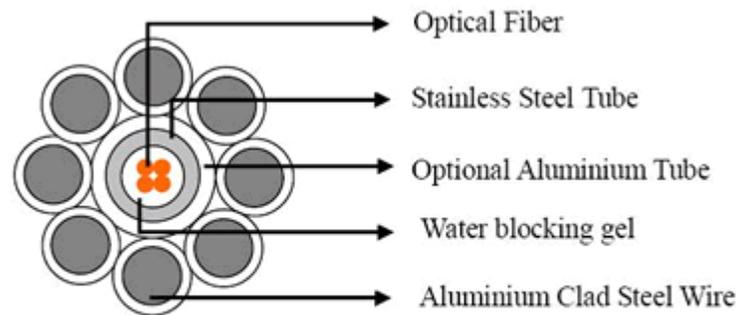


Imagen 15 Composición del cable óptico submarino
(Fayerwarer, consultado 2018)

Cable OPGW: Es un cable óptico de doble funcionamiento. Está diseñado para reemplazar los cables tradicionales estáticos / blindados / de tierra en las líneas de transmisión aéreas con el beneficio adicional de contener fibras ópticas que se pueden usar para fines de telecomunicaciones, es decir, un solo cable OPGW tiene la eficiencia de transmisión de alto voltaje y también es capaz de transmitir datos a alta velocidad (ver imagen 16).



Central Loose Tube Type

Imagen 16 Composición del cable OPGW
(<http://www.caledonian-cables.com>, consultado 2018)

Se puede observar que la posición en la torre varía si se utiliza cable OPGW con respecto a ADSS debido a la tensión manejada (ver imagen 17).

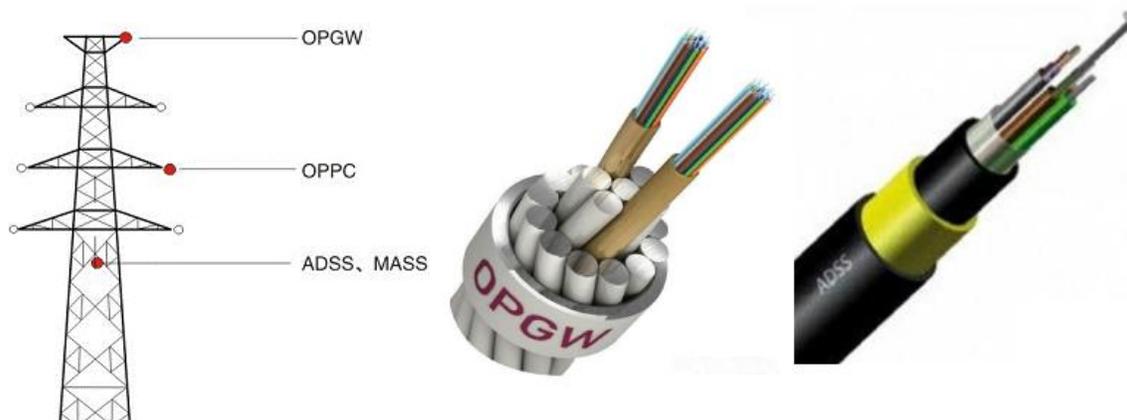


Imagen 17 Cables ópticos OPGW y ADSS y posición en torre (Creación propia tomando como base imágenes de customwiringloom y buykorea, 2018)

1.3.6 Proveedores de equipamiento óptico de transporte

Según la RAE, se entiende como proveedor a las personas o empresas que proveen o abastecen de todo lo necesario para un fin a grupos, asociaciones, comunidades, etc. Por lo tanto, un proveedor de equipamiento óptico es el encargado de abastecer de todo el equipamiento óptico para el desarrollo y funcionamiento de las redes ópticas. Debido al desarrollo de las comunicaciones ópticas, por las ventajas que presentan, podemos encontrar en el mercado varias compañías dedicadas a la comercialización de la fibra óptica y del equipamiento para la implementación de redes ópticas en las tres jerarquías.

Por citar algunos ejemplos de proveedores de equipamiento óptico de transporte y fibra óptica, se enlistan algunos a continuación (ver imágenes 18 a 26):

Packetlight: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 18 Proveedor de equipamiento óptico PacketLight (PacketLight, 2018)

ZTE: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 19 Proveedor de equipamiento óptico ZTE (ZTE, 2018)

Huawei: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 20 Proveedor de equipamiento óptico Huawei (Huawei,2018)

Nokia: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 21 Proveedor de equipamiento óptico Nokia (Nokia,2018)

Ciena: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 22 Proveedor de equipamiento óptico Ciena (Ciena,2018)

Cisco: Proveedor centrado en abastecer equipamiento óptico



Imagen 23 Proveedor de equipamiento óptico Cisco (Cisco,2018)

Corning: Proveedor centrado en abastecer fibra óptica



Imagen 24 Proveedor de equipamiento óptico Corning (Corning,2018)

Prysmian Group: Proveedor centrado en abastecer fibra óptica



Imagen 25 Proveedor de fibra óptica Prysmian Group (Prysmian Group,2018)

Optronics: Proveedor centrado en abastecer fibra óptica



Imagen 26 Proveedor de fibra óptica Optronics (Optronics, 2018)

Es indispensable que se sigan las recomendaciones establecidas por la UIT-T³. Dichas recomendaciones se dividen en categorías y cada una de ellas se reconoce por una letra colocada como distintivo de la serie que representa.

Se debe centrar la atención en la serie G “Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales” dentro de la cual se pueden resaltar las siguientes recomendaciones:

Dispositivos Ópticos

- **UIT-T G.911:** Parámetros y metodología de cálculo de la fiabilidad y la disponibilidad de los sistemas de fibra óptica.
- **UIT-T G. 662:** Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.
- **UIT-T G.671:** Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.

³ Sector de Normalización de las telecomunicaciones perteneciente a la Unión Internacional de Telecomunicaciones

Redes Ópticas de Transporte

- **UIT-T G. 709:** Interfaces para la red óptica de transporte.
- **UIT-T G. 798:** Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía de la red óptica de transporte.
- **UIT-T G. 806:** Características del equipo de transporte - Metodología de descripción y funcionalidad genérica.
- **UIT-T G. 870:** Términos y definiciones para redes ópticas de transporte.
- **UIT-T G. 872:** Arquitectura de las redes ópticas de transporte.
- **UIT-T G. 874:** Aspectos de la gestión de los elementos de la red óptica de transporte.
- **UIT-T G. 959:** Interfaces de capa física de red óptica de transporte.

Y las citadas anteriormente:

Tecnología DWDM

- **ITU-T G.694.2:** Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda.
- **ITU-T G.694.1:** Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa.

Además de las recomendaciones de la UIT, los proveedores deben cumplir con varios estándares, a continuación, se enlistan algunos (ver imágenes 27 a 31):

- **CE Marking**



Imagen 27 CE Logo (CE, 2018)

- **NEBS Network Equipment-Building System**



Imagen 28 NEBS Logo (NEBS, 2018)

- **RoHS Restriction of Hazardous Substances**



Imagen 29 RoHS Logo (RoHS, 2018)

- **FCC Federal Communications Commission**



Imagen 30 FCC Logo (FCC, 2018)

- **REACH Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals**



Imagen 31 REACH Logo (REACH, 2018)

A continuación, se presenta el ranking de proveedores a nivel global en la imagen 32, cabe resaltar que los diez proveedores más grandes de equipamiento de transporte óptico son: **Alcatel-Lucent, Ciena, Cisco, Coriant, ECI Telecom, Fujitsu, Huawei, Infinera, NEC, y ZTE**. El estudio hecho por Infonetics (2014) se basó en datos actuales y mediciones como retroalimentación directa de los proveedores de servicios, compartición de datos de mercado y datos financieros disponibles públicamente.

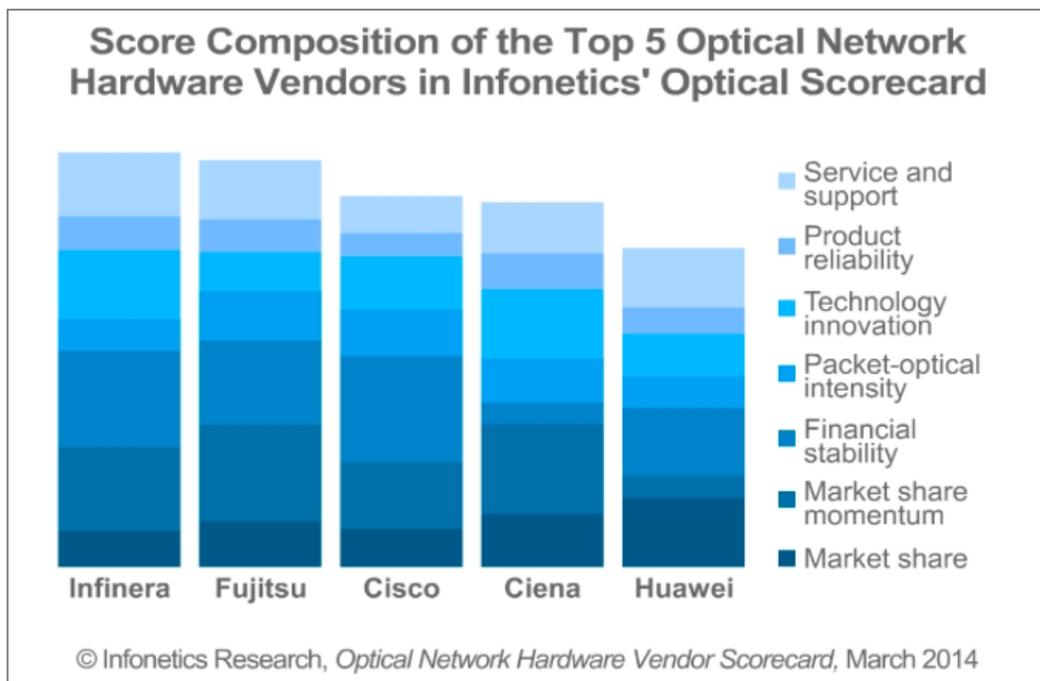


Imagen 32 Ranking de proveedores de equipamiento óptico a nivel global (Infonetics, 2014)

1.3.7 Tendencias en equipamiento de redes troncales

Para tener una idea de cómo se encuentran en evolución las distintas tecnologías, se realizan diversos estudios que permiten estimar tanto el crecimiento, la demanda y uso de los diferentes tipos de tecnologías existentes.

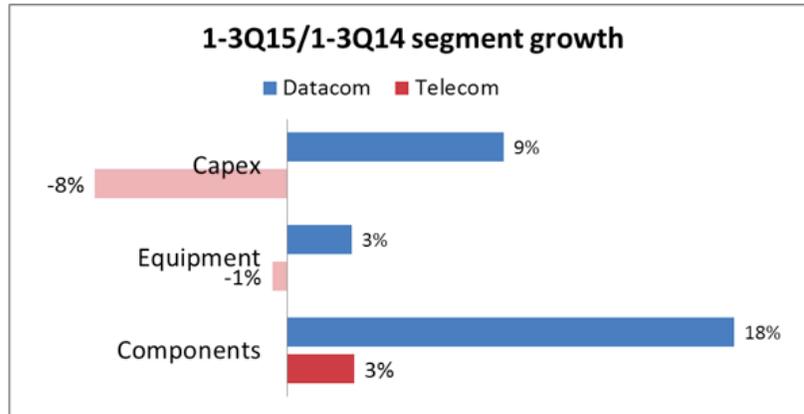


Imagen 33 Crecimiento de segmentos: Datacom vs Telecom (LightCounting, 2015)

Se entiende como Datacom a la transmisión de datos de un lugar a otro por algún tipo de medio (usualmente computadora a computadora) específicamente a las de comunicación limitadas en tipos de datos de transmisión, mientras que Telecom incluye sistemas de comunicación que no son consideradas como sistemas de comunicación de datos, es decir, Telecom incluye a Datacom y además la parte analógica de las comunicaciones a distancia, es por esta razón que prácticamente el CapEx de Telecom representa un porcentaje negativo ya que en gran medida ya sólo se utiliza la parte digital, representado en el CapEx de Datacom (ver imagen 33).

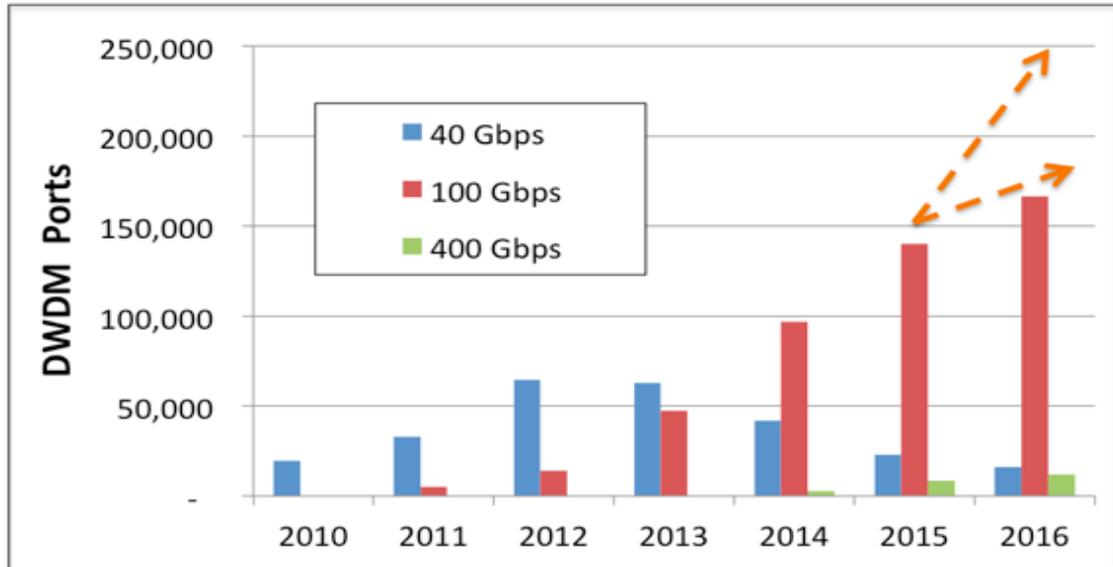


Imagen 34 Previsión de equipamiento de transporte óptico- Caso LightCounting 2015 (LightCounting, 2015)

Como se observa en la imagen 34, la tendencia en puertos DWDM ha sido de 100 Gbps, se debe considerar la transición de 2.5 a 10 Gbps y de 10 a 40 Gbps en tasas de transmisión ópticas debido a Internet y redes inalámbricas.

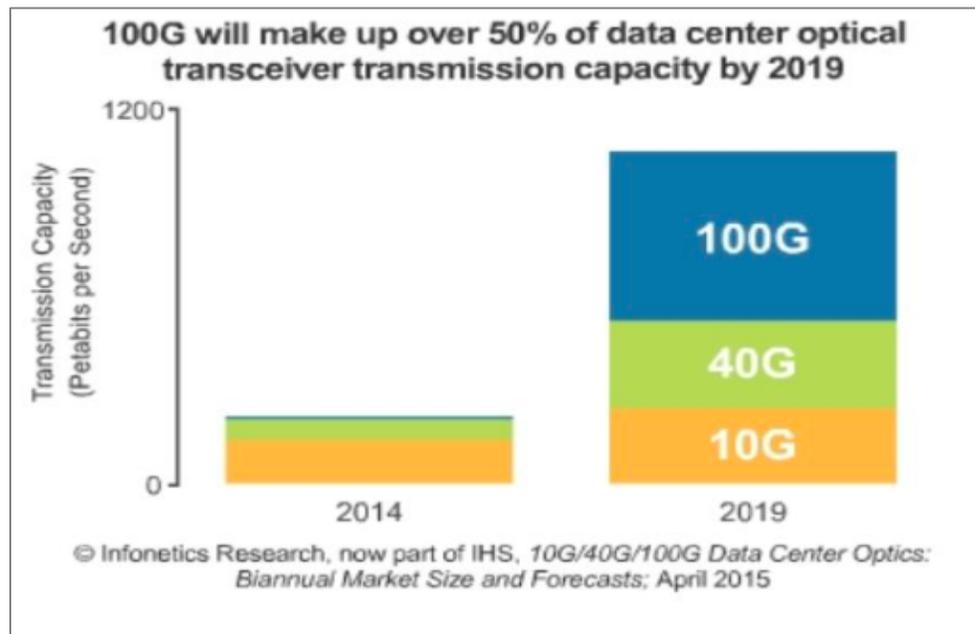


Imagen 35 10G/40G/100G Data Center Optics: Biannual Market Size and Forecast (Infonetics, 2015)

Interpretando los datos del estudio de IHS Infonetics (ver imagen 35) podemos resaltar que los data center transceiver representan el 65% del mercado óptico total (datacom y telecom) dentro del mercado de transceptores ópticos, los ingresos totales del transceptor 40G crecieron 81% en el segundo periodo de 2014, los envíos 10G en el data center siguen creciendo a pesar de que se ven impactados por el crecimiento de interfaces 40G utilizadas como interfaces 10G de alta densidad. Por otra parte, los ingresos para los módulos 10G se mantendrán estables año tras año, por último, se espera que el mercado de transceptores ópticos de datacom crezca arriba de los 2.1 mil millones de dólares para el año 2019.

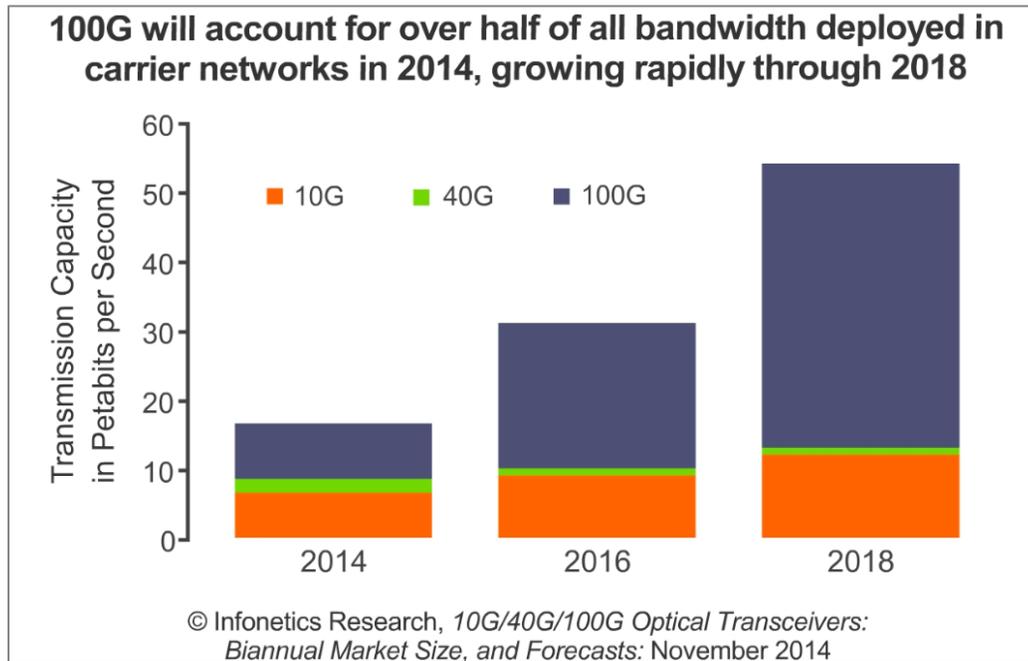


Imagen 36 10G/40G/100G Optical Transceivers: Biannual Market Size and Forecast (Infonetics, 2014)

La imagen 36, da un panorama de la capacidad de transmisión en petabits por segundo y la proyección que se tuvo de las tecnologías hasta el presente año.

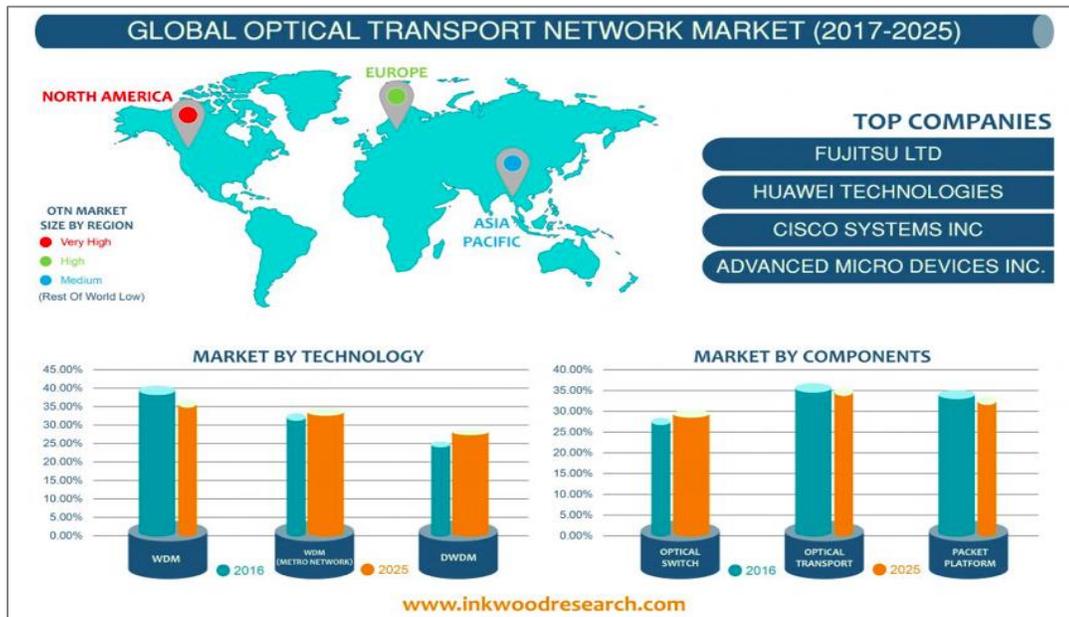


Imagen 37 Global Transport Network Market (inkwoodresearch, 2017)

Mientras que la imagen 37, hace una comparativa entre mercado por tecnología y por componentes entre las tendencias en 2016 y una proyección en el año 2025.

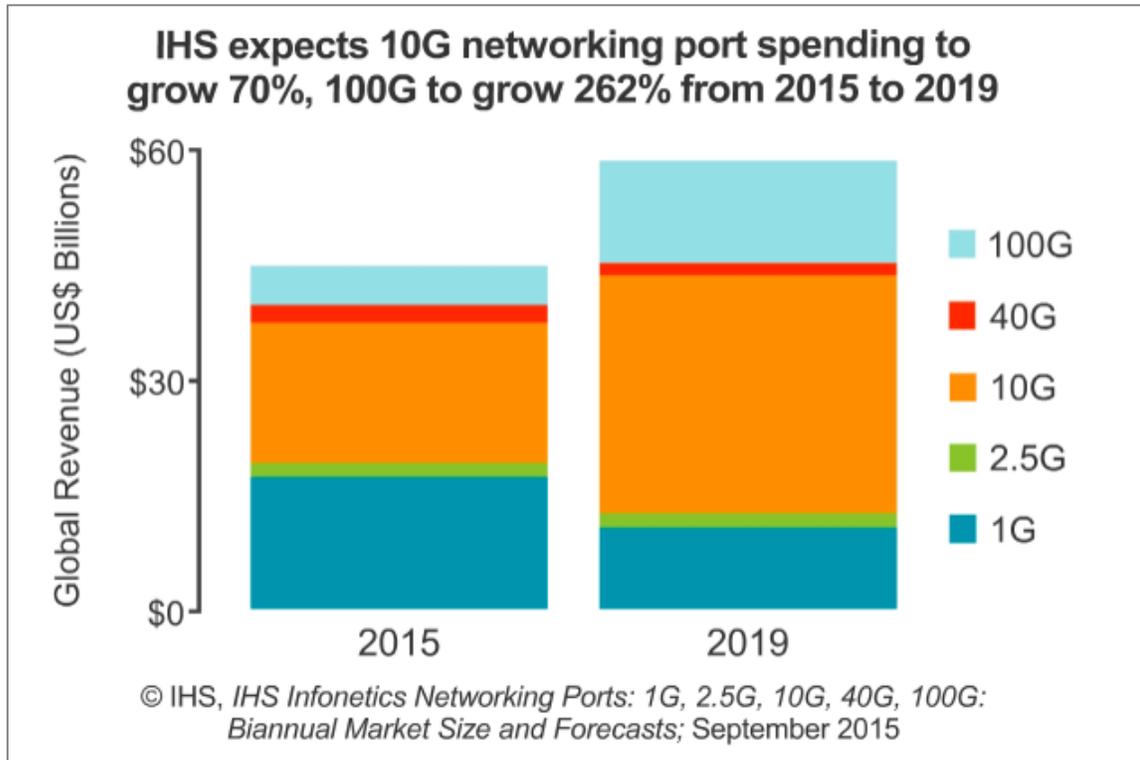


Imagen 38 Biannual Market Size and Forecast (IHS, 2015)

Los puertos de transporte 1G/2.5G/10G/40G/100G estuvieron estimados por IHS para exceder los 700 millones en 2015 esto representaron un total de 45 mil millones de dólares (ver imagen 38).

Los puertos de transporte 100G se duplicaron con creces en 2014 con respecto al año precedente, alcanzando 163,000.

Finalmente, IHS pronostica que los ingresos del puerto 100G en todo el mundo crecerán a una tasa CAGR⁴ del 137 por ciento de 2014 a 2019.

⁴ Compound Annual Growth Rate

1.3.8 Redes de fibra óptica, caso México

En el caso de México se cuentan con varias redes troncales que cubren el territorio mostradas en la imagen 39, entre ellas, la red troncal de Telmex (ver imagen 41); la de CFE (ver imagen 40), por mencionar las más representativas. Estas redes troncales son mostradas en las imágenes siguientes con el fin de conocer el alcance actual, para saber en dado caso cuantos kilómetros más deberían de ser implementados para dar cobertura nacional, o al menos tratar de llegar a la mayor cantidad de localidades a las que sea posible como es el caso de la imagen 42 donde se presenta una proyección de red basada en la red CFE para una cobertura del 98% de la población, con la intención de reducir la brecha digital. Lo más importante en el proyecto de creación de una red es conectar aquellas comunidades que se encuentran apartadas de las ciudades, ya que en la ciudad se cuenta, afortunadamente, con otras rutas para transmitir la información inmediatamente.



Imagen 39 Conjunto de redes troncales en México (Conapptel, 2013)



Imagen 40 Red troncal de fibra óptica CFE en México (Conapptel, 2013)

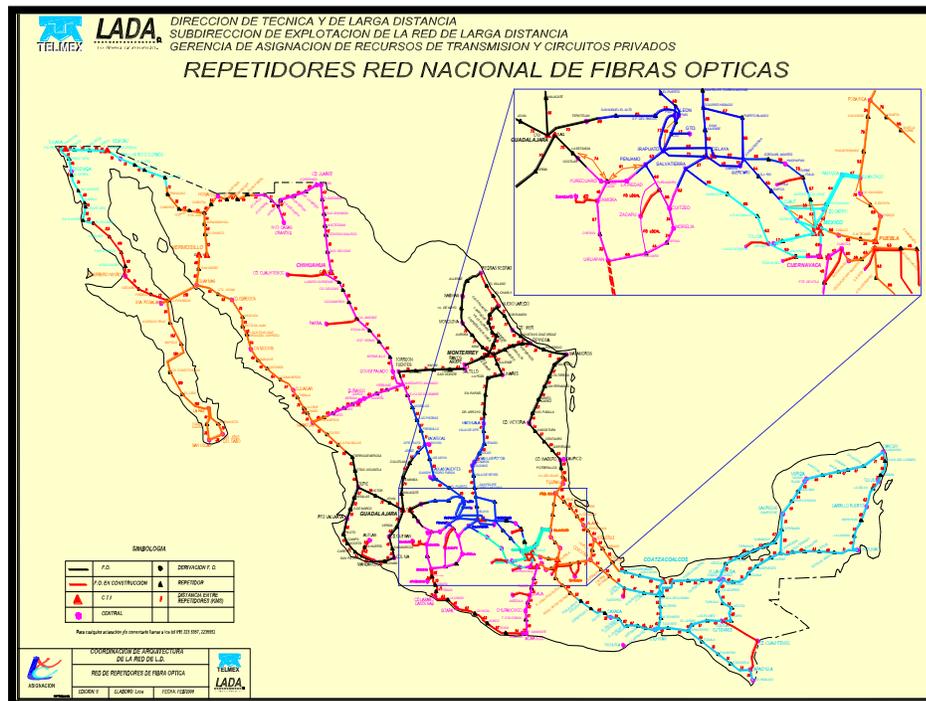


Imagen 41 Red troncal de fibra óptica Telmex en México (Conapptel, 2013)

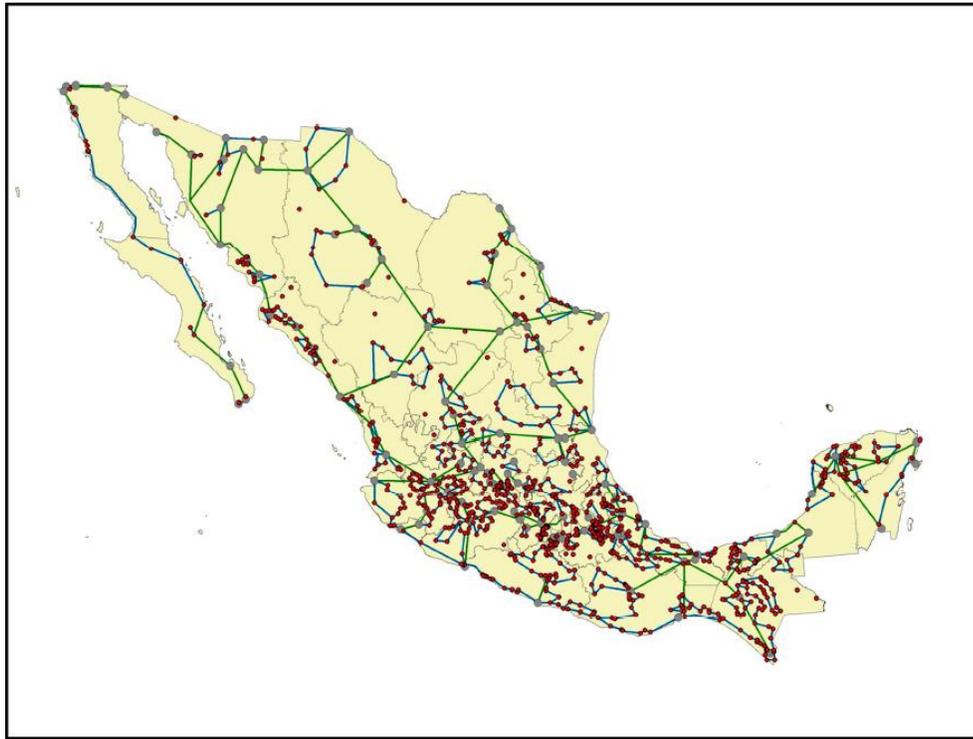


Imagen 42 Red de Fibra Óptica CFE para una cobertura de 98 % de la población (Conapptel, 2013)

1.4 Modelos Económicos de CapEx y OpEx

Los estimadores económicos de una red troncal, es decir, CapEx (Capital Expenditure) y OpEx (Operation Expenditure), se pueden definir de acuerdo con la enciclopedia financiera (consultada en 2018) desde la perspectiva de telecomunicaciones, como:

CapEx: Todo aquel capital que se requiere como inversión inicial para comenzar un proyecto, lo podemos traducir como lo que usaremos para comprar bienes físicos.

OpEx: Se refiere al indicador económico que nos arrojará las necesidades del modelo cuando ya se encuentre en operación, mantenimientos, capacitaciones y personal se incluyen en el rubro.

Centrándonos en primera instancia en el CapEx debemos elegir un modelo de red que optimice el modelo económico. La cuestión es que si se reduce el CAPEX es muy probable que el OPEX se eleve, lo cual no es del todo perjudicial ya que es más factible dispensar cierta cantidad cada determinado tiempo que una inversión bastante costosa para obtener los distintos elementos físicos que necesitaría la instalación para ser utilizada correctamente, sin embargo, lo óptimo es buscar un equilibrio entre los dos indicadores.

Capítulo 2 Revisión de la literatura y marco teórico

En este capítulo se revisa la literatura acerca de los casos internacionales de redes de transporte de fibra óptica de dos países latinoamericanos (Perú y Colombia). Posteriormente, se revisarán los modelos económicos que se han propuesto por parte de investigadores en ámbito profesional e internacional para el estudio de redes ópticas haciendo un desglose en el sustento de cada uno de ellos, si han sido implementados en redes ópticas físicas y, en caso afirmativo, indicar en cual red o país se ha logrado aplicar el conocimiento.

Buscando similitudes y diferencias con el contexto mexicano actual, en materia de redes ópticas troncales, para evaluar las redes en cuestión en un modelo idóneo de estimadores económicos CapEx y OpEx.

2.1 Casos Internacionales de redes troncales de fibra óptica

En el aspecto de despliegue de redes troncales, el Instituto Federal de Telecomunicaciones en México (IFT) incluye como ejemplos de países latinoamericanos a Perú y Colombia, países en los que se emitieron regulaciones para el uso eficiente de la infraestructura pública con la finalidad de generar mayor competencia en el mercado; proveer servicios de mejor calidad y aprovechar eficientemente la infraestructura disponible en beneficio del interés general.

Por estas razones se hará un desglose de los aspectos más importantes de estos dos países sudamericanos, referentes al modelo económico para así poder observar en contexto los indicadores y/o los factores que se tomaron en cuenta y el cómo fue que se puso en marcha el proyecto.

2.1.1 Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO, PERÚ)

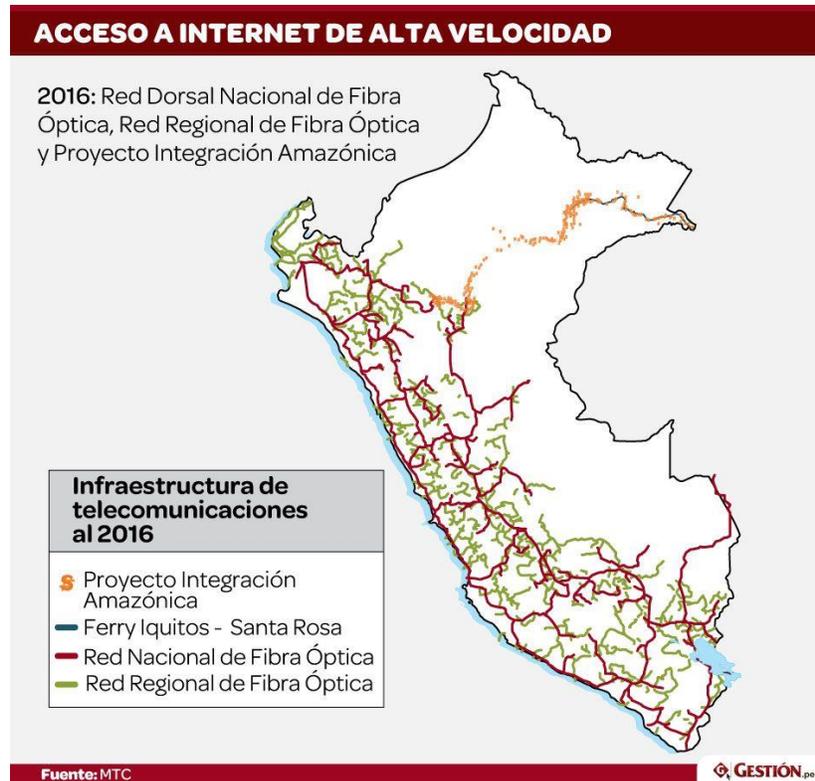


Imagen 43 Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (MTC, 2016)

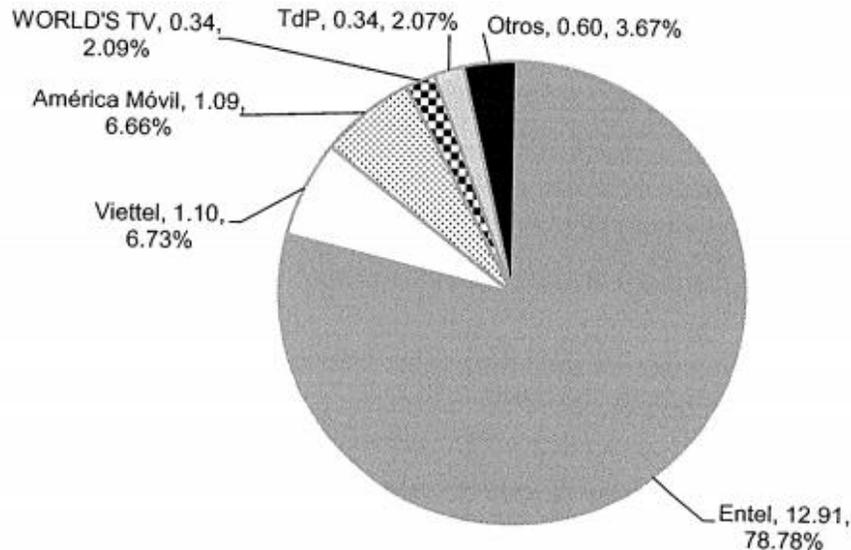
De acuerdo con el MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) en Perú la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), como se muestra en la imagen 43, conecta a Lima con las demás provincias, logrando interconectar 92% de las capitales de provincia (180 ciudades) reflejándose en más de 13,500 Km de fibra óptica nueva. En esta red, se utilizó tecnología DWDM que implica velocidades mínimas de 100Gbps en la red core, y se implementaron cables ópticos de 24 hilos de fibra óptica, tomando en cuenta la escalabilidad de años posteriores de los servicios requeridos. El proyecto se adjudicó al consorcio TV Azteca- Tendai, siendo el primer aludido el proveedor con más presencia en el país. Se puede observar en la tabla 6 la relación de los nodos dónde era el único que ofrecía el servicio contra las regiones en dónde sí se contaba con competencia.

Tabla 6 Nodos de Azteca según el número de competidores por provincia. (Ospitel, 2016)

Empresas competidoras	Nº de provincias	Nº de nodos de Azteca	Porcentaje (respecto al total de nodos de Azteca)	Cuota de mercado aproximada	Distancia media (Km)
0	75	108	33.96%	100.00%	
1	36	61	19.18%	51.39%	9.59
2	24	50	15.72%	37.90%	22.64
3	14	29	9.12%	32.32%	16.98
4	16	43	13.52%	31.46%	12.91
5	11	24	7.55%	18.40%	7.78
6	1	1	0.31%	6.25%	5.90
8	1	2	0.63%	5.00%	9.69

Fuente: Información remitida por las empresas.
Elaboración: OSIPTEL.

El MTC también informa que teniendo la proyección a la escalabilidad de la red la capacidad para el 2016 se estimaba en 91Gbps mientras que para el 2017 se pensaba en 121Gbps, iniciando con el 18% de la capacidad proyectada al año 2016.



Fuente: Información remitida por las empresas.
Elaboración: OSIPTEL.

Imagen 44 Capacidad contratada Gbps en Perú (Ospitel, 2016)

Como ingresos de capital, se recabó la siguiente información publicada igualmente por el ministerio peruano (ver tabla 7), lo cual se puede entender como los indicadores económicos con los que posiblemente generaron su modelo de CapEx, cabe mencionar que los precios están generados en millones de soles peruanos:

Tabla 7 Ingresos y Costos de Azteca. (Costos generados en millones de soles peruanos. S/1=\$5.93) (Ospitel, 2016)

Ingresos y Costos	2015	2016
Ingresos	355.6	555.5
Despliegue y Construcción	341.6	507.9
Entregas I, II, III y IV	283.2	507.9
Suministros y servicios Fase I	58.4	0.0
Operación y mantenimiento	14.0	47.6
Costos	337.1	541.3
Inversiones en despliegue y construcción	309.7	438.8
Costo de venta por Servicio de O & M	12.5	69.0
Gastos administrativos	14.9	33.5

Fuente: Información remitida por las empresas.
Elaboración: OSIPTEL.

Por otra parte, también se muestran los costos de operación y mantenimiento, lo que correspondería a la parte de OpEx, se encuentran en las tablas 8 a 10 los costos de operación y mantenimiento, así como cada uno de los rubros que lo genera y gastos administrativos de personal, una vez más los números se encuentran generados en millones de soles peruanos.

Tabla 8 Costo de venta por servicio de Operación y mantenimiento.
(Costos generados en millones de soles peruanos. S/1=\$5.93)
(Ospitel, 2016)

	2015	%	2016	%
	12.5	100%	69.0	100%
Mantenimiento planta externa	5.0	39.9%	36.5	52.9%
Renta de infraestructuras	4.2	33.8%	17.9	26.0%
Renta de terrenos sitios	2.3	18.1%	10.1	14.6%
Consumo eléctrico	0.5	4.1%	3.6	5.3%
Diversos	0.5	4.1%	0.9	1.3%

Fuente: EEFF auditados de 2016 de Azteca
Elaboración: OSIPTEL

Tabla 9 Gastos Administrativos. (Costos generados en millones de soles peruanos. S/1=\$5.93) (MTC, 2016)

	2015	%	2016	%
	14.9	100%	33.5	100%
Servicios de asesoría técnica e instalación de la RDNFO	0.0	0.0%	12.1	36.3%
Servicios prestados por terceros	4.9	33.3%	6.1	18.2%
Cargas diversas de gestión	2.3	15.4%	5.0	15.0%
Bono de éxito por fase de despliegue de la RDNFO	0.0	0.0%	5.0	15.0%
Gastos de personal	5.7	38.1%	2.5	7.6%
Servicios de Administración y finanzas	1.2	7.8%	2.0	6.0%
Diversos	0.8	5.5%	0.6	1.8%

Fuente: EEFF auditados de 2016 de Azteca
Elaboración propia

Tabla 10 Rubros de Operación y Mantenimiento. (Costos generados en millones de soles peruanos. S/1=\$5.93) (OSPITEL, 2016)

	2015	%	2016	%
Rubros sensibles a la demanda	19.5	71%	55.8	65%
Gastos de personal	5.7	21%	2.5	3%
Servicios de Administración y finanzas	1.2	4%	2.0	2%
Consumo eléctrico	0.5	2%	3.6	4%
Servicios prestados por terceros	4.9	18%	6.1	7%
Cargas diversas de gestión	2.3	8%	5.0	6%
Mantenimiento planta externa	5.0	18%	36.5	43%
Rubros no sensibles a la demanda	7.8	29%	29.4	35%
Renta de infraestructuras	4.2	15%	17.9	21%
Renta de terrenos sitios	2.3	8%	10.1	12%
Diversos	1.3	5%	1.5	2%
Total	27.3	100%	85.2	100%

Fuente: EEFF auditados de 2016 de Azteca
Elaboración: GPRC-OSIPTEL

2.1.2 Proyecto Nacional de Fibra Óptica (PNFO, COLOMBIA)

Por su parte el Ministerio de las Tecnologías y la Comunicación en Colombia (MINTIC) propuso una red troncal para conectar 1075 municipios, utilizando 19,000 Km de fibra óptica desplegada a través de todo el país (ver imagen 45). La dificultad en Colombia de su territorio nacional para el despliegue de las tecnologías hace que la proyección para el modelo de conectividad deba clasificar a los municipios por cuadrantes dependiendo que tan cercanos o lejanos a las redes nacionales de fibra óptica, el estudio se refleja en la Imagen 46.

De acuerdo a lo anterior, en Colombia se desarrolló el modelo de conectividad para cada uno de los cuatro escenarios, reflejándose en la imagen 47, es por esta razón que el proyecto de la RNFO se enfoca al segundo y tercer cuadrante de la matriz.



Imagen 45 Cobertura de la Red Nacional de Fibra óptica de Colombia (MINTIC, 2018)

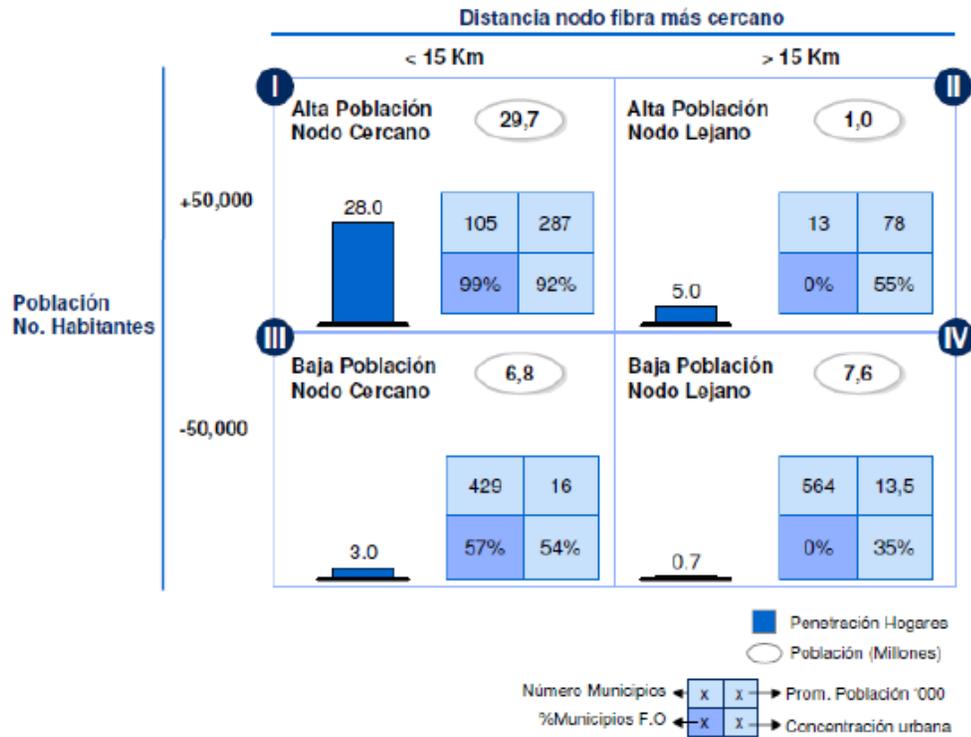


Imagen 46 Clasificación de municipios por cuadrantes en Colombia (McKinsey, 2010)

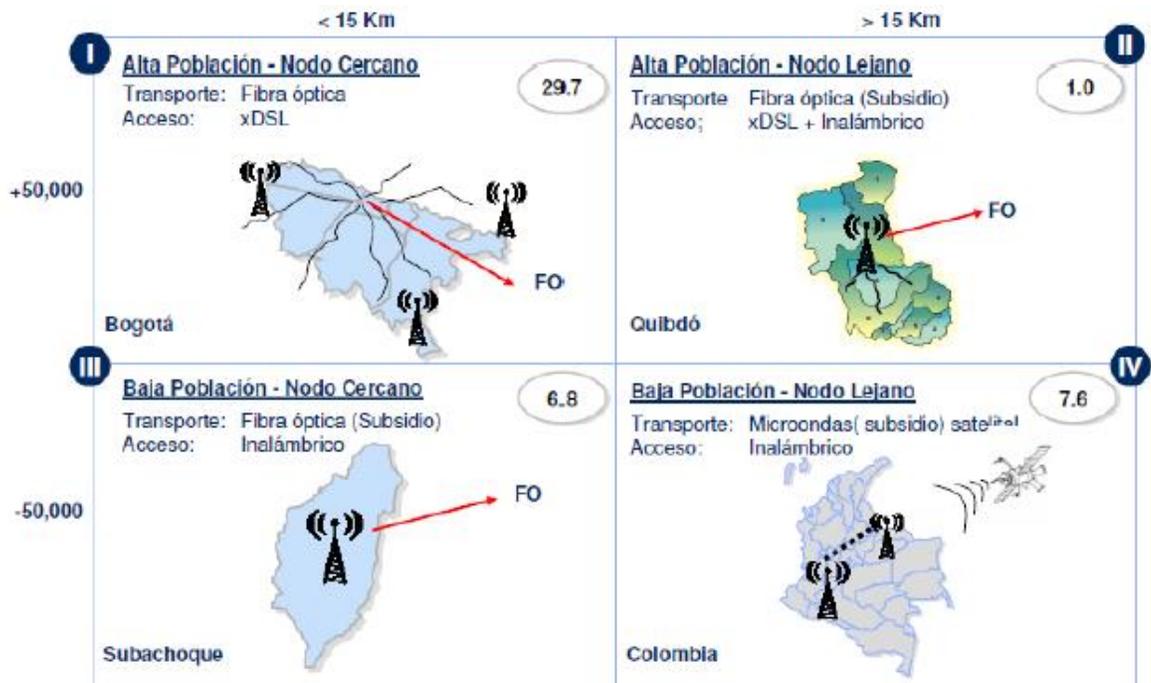


Imagen 47 Modelo de conectividad particular para cada escenario en Colombia (McKinsey, 2010)

Tomando en cuenta los municipios que fueron asignados para ser conectados, el MINTIC explica que el modelo económico está basado en los indicadores CapEx y OpEx de cada municipio para proporcionar uno general y acorde con este el valor total de fomento que se le otorgaría al desarrollo del proyecto, como puede ser observado en la imagen 48.



CAPEX

- Red de transmisión de la Fibra Óptica.
- Nodos.
- Red de acceso.
- Sistema de Gestión de Red.

OPEX

- Costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura a ser desplegada.
- Costos asociados a servicios públicos (consumo de energía de equipos en el nodo), costos de vigilancia y arriendo de lotes o espacios de colocación.
- Costos asociados a la gratuidad de la conexión de dos mil (2.000) instituciones por un periodo de 5 años.

Con el objeto de determinar el valor del aporte del Proyecto, se realizó la caracterización de cada municipio potencial a conectar para luego estimar su valor de Capex y Opex respectivo, posteriormente se simulan ingresos esperados por la prestación de servicios de telecomunicaciones (Internet y voz) en los municipios atendidos. De esta forma se determina para cada municipio su viabilidad.

Una vez seleccionados los 400 municipios, se totalizan los ingresos y egresos operacionales estimados y se elabora un cronograma de desembolsos y utilizaciones para construir los estados financieros, en los cuales se tienen en cuenta otros aspectos tales como tributación, depreciaciones y gastos en que se incurra por conceptos financieros. Estos elementos soportan la construcción de un VPN total del proyecto y una tasa de retorno del mismo.

Una vez expuesto lo anterior, a continuación se presenta el valor de fomento resultante:

Tabla 5 – Valor de Fomento en COP

Valor de Fomento
\$ 415.837.649.402

Este análisis constituye un ejercicio de planeación para estimar el valor aproximado de fomento, para alcanzar los objetivos del proyecto tomando en cuenta todos los elementos necesarios para llevarlos a cabo. Será de responsabilidad única y exclusiva del proponente realizar los cálculos, la estimación de supuestos, proyecciones de mercado y demás análisis que le permitan realizar su propio diseño de red y modelo de negocio.

Imagen 48 Indicadores económicos usados en estudio y Valor de Fomento en Colombia (Página 52 Estudios previos RNFO, MINTIC, 2010)

Una vez obtenido el valor total de fomento, se proponen un anticipo y ocho desembolsos hasta obtener el valor que se invertirá en el proyecto y modelando en una matriz de consecuencias para conocer los posibles escenarios del proyecto basados en la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Tabla 11 Escalas de probabilidad y consecuencias. (MINTIC, 2010)

Consecuencias		
Desde	Hasta	
∞	\$ 415.837.649.403	Muy afortunado
\$ 415.837.649.402	\$ 112.666.389.819	Afortunado
\$ 112.666.389.818	\$ 30.525.652.050	Muy favorable
\$ 30.525.652.049	\$ 8.270.571.504	Favorable
\$ 8.270.571.503	\$ 2.240.815.460	Optimista
\$ 2.240.815.459	\$ 607.122.969	Beneficioso
\$ 607.122.968	≈ 0	Insignificante
≈ 0	(\$ 607.122.968)	Insignificante
(\$ 607.122.969)	(\$ 2.240.815.459)	Menor
(\$ 2.240.815.460)	(\$ 8.270.571.503)	Grave
(\$ 8.270.571.504)	(\$ 30.525.652.049)	Muy Grave
(\$ 30.525.652.050)	(\$ 112.666.389.818)	Crítico
(\$ 112.666.389.819)	(\$ 415.837.649.402)	Muy crítico
(\$ 415.837.649.403)	$-\infty$	Catastrófico

Como se puede observar en la Tabla 11, la TIR se compara con el VPN, por lo que se generan tres posibles caminos: el primero cuando la TIR resulta mayor al VPN, se invertirá en el proceso ya que será superior a la tasa mínima exigida por la inversión; el segundo camino sucede cuando la TIR es menor al VPN, en ese caso el proyecto debería rechazarse ya que no alcanza la rentabilidad mínima de la inversión y el último camino es cuando la TIR tiene un valor cero, el proyecto no gana pero tampoco pierde, ya que es lo mínimo que se requiere para obtener la rentabilidad del proyecto, sin embargo, todavía se encuentra en condiciones para invertir esperando un cambio a lo largo del desarrollo.

El anticipo junto con los desembolsos quedaron estipulados de la siguiente manera junto con los desgloses de cada una de las etapas (ver tablas 12 y 13):

Tabla 12 Cronogramas de desembolsos. (MINTIC, 2010)

DESEMBOLSOS	MES	Porcentaje	Valor Total
Anticipo	0	46,57%	193.664.342.629
Primer Desembolso	4	2,54%	10.566.607.751
Segundo Desembolso	8	7,81%	32.472.812.387
Tercer Desembolso	10	6,90%	28.692.946.757
Cuarto Desembolso	14	7,81%	32.472.812.387
Quinto Desembolso	16	7,30%	30.340.091.633
Sexto Desembolso	20	8,72%	36.252.678.016
Séptimo Desembolso	22	6,21%	25.815.596.885
Octavo Desembolso	28	6,15%	25.559.760.956
VALOR TOTAL DE FOMENTO		100%	415.837.649.402

Tabla 13 Cronograma de utilizaciones. (MINTIC, 2010)

UTILIZACIONES	MES	Metas	Pagos		Amortización del Anticipo		Total Utilización
			Porcentaje	Valor	Porcentaje	Valor	
Primera Utilización	2	Entrega del Documento General de Planeación	0,00%	-	10,00%	19.366.434.263	19.366.434.263
Segunda Utilización	4	Entrega del Informe Detallado de Ingeniería y Operación, Plan de Instalación y Puesta en Servicio, Plan de Mantenimiento, Plan de Gestión Ambiental de Proyecto Grupo 1	2,54%	10.566.607.751	10,00%	19.366.434.263	29.933.042.014
Tercera Utilización	8	Adquisición de Infraestructura Grupo 1	7,81%	32.472.812.387	25,00%	48.416.085.657	80.888.898.045
Cuarta Utilización	10	Entrega del Informe Detallado de Ingeniería y Operación, Plan de Instalación y Puesta en Servicio, Plan de Mantenimiento, Plan de Gestión Ambiental de Proyecto Grupo 2	2,54%	10.566.607.751	10,00%	19.366.434.263	29.933.042.014
Quinta Utilización	12	Tendido de la red de fibra óptica, Instalación de equipos activos y Comisionamiento, Instalación de solución de	4,36%	18.126.339.006	20,00%	38.732.868.526	56.859.207.532

UTILIZACIONES	MES	Metas	Pagos		Amortización del Anticipo		Total Utilización
			Porcentaje	Valor	Porcentaje	Valor	
		acceso en municipios y entidades Públicas, Verificación de la Puesta en Servicio Grupo 1					
Sexta Utilización	14	Adquisición de Infraestructura Grupo 2	7,81%	32.472.812.387	25,00%	48.416.085.657	80.888.898.045
Séptima Utilización	16	Periodo de Estabilización de la Red Grupo 1	0,40%	1.647.144.876	0,00%	-	1.647.144.876
		Entrega del Informe Detallado de Ingeniería y Operación, Plan de Instalación y Puesta en Servicio, Plan de Mantenimiento, Plan de Gestión Ambiental de Proyecto Grupo 3	2,54%	10.566.607.751	0,00%	-	10.566.607.751
Octava Utilización	18	Tendido de la red de fibra óptica, Instalación de equipos activos y Comisionamiento, Instalación de solución de acceso en municipios y entidades Públicas, Verificación de la Puesta en Servicio Grupo 2	4,36%	18.126.339.006	0,00%	-	18.126.339.006
Novena Utilización	20	Adquisición de Infraestructura Grupo 3	8,72%	36.252.678.016	0,00%	-	36.252.678.016
Décima Utilización	22	Periodo de Estabilización de la Red Grupo 2	0,40%	1.647.144.876			1.647.144.876
Decimaprimer Utilización	24	Tendido de la red de fibra óptica, Instalación de equipos activos y Comisionamiento, Instalación de solución de acceso en municipios y entidades Públicas, Verificación de la Puesta en Servicio Grupo 3	6,81%	24.168.452.009	0,00%	-	24.168.452.009
Decimasegunda Utilización	28	Entrega de Informe Final de Implementación del Proyecto	5,62%	23.363.567.788	0,00%	-	23.363.567.788
		Periodo de Estabilización de la Red Grupo 3	0,53%	2.196.193.168	0,00%	-	2.196.193.168
TOTALES				222.173.306.773		193.664.342.629	415.837.649.402

Finalmente, la ecuación básica del modelo de costos de la RNFO colombiana atiende a la siguiente estructura (ver ecuación 1), ya tomando en cuenta los indicadores económicos CapEx y OpEx.

$$\boxed{\$415.837.649.402 + \text{Ingresos} - \text{Capex} - \text{Opex} - \text{Otrosgastos} - \text{Impuestos}} \\ \boxed{= \text{Utilidad}}$$

Ecuación 1 Ecuación del modelo de costos de la RNFO. (MINTIC, 2010)

2.2 Revisión de literatura de modelos económicos para la estimación de CapEx y OpEx:

A continuación, se revisan varios modelos propuestos por académicos en el ámbito internacional y como cada uno de ellos sugiere las soluciones contextuales que requieren en los problemas propuestos.

Estudio 1.

A cost model for the WDM Layer

M. Grunkel, R. Leppla, M. Wade, A. Lord, D. Schupke, G. Lehmann, C. Fürst, S. Bodamer, B. Bollenz, H. Haunstein, H. Nakajima, J. Martensson.

En el documento los autores detallan el modelo de CapEx tomando varios elementos de red y de arquitectura de nodos en la capa WDM ya que se basan en los estudios de NOBEL⁵ para normalizar modelos de costos de equipamiento WDM. A pesar de ello, el artículo no cuenta con un modelo matemático de apoyo, pero sí con los datos económicos.

Estudio 2.

Genetic Algorithm for the Topological Design of Survivable Optical Transport Networks

Rui Manuel Morais, Claunir Pavan, Armando Nolasco Pinto, Cristina Requejo

En el artículo para el cálculo de los indicadores, fue implementada en una red de fibra óptica de Alemania, lo esencial del cálculo se basa en un ILP (Integer Linear Program) y de ahí se generó un Algoritmo genérico para proyectar el diseño de redes en el futuro, el cuál fue implementado en el lenguaje de programación C++.

⁵ IST Integrated Project NOBEL

"Next Generation Optical Networks for Broadband European Leadership". The overall goal is to carry out analysis, feasibility studies and experimental activities on innovative architectures, technologies solutions and for core and metro networks supporting broadband services. (www.ist-nobel.org)

Estudio 3.

Desing of Survivable Optical Networks with Minimum CAPEX

Rui Manuel Morais, Claunir Pavan, Cristina Requejo, Armando Nolasco Pinto

Se presenta un algoritmo genérico para el diseño de redes con un CapEx mínimo, también se incluye un modelo ILP para evaluar la calidad de las soluciones propuestas por el algoritmo genérico.

Estudio 4.

CapEx advantages of multi-core fiber networks

Yao Li, Nan Hua, Xiaoping Zheng

En el artículo nos muestran formas de optimización de CapEx con fibras multicore, sus estudios y modelos fueron probados en dos tipos de tráfico (ligero y pesado), también se propone un modelo ILP para la generación de la proyección para el indicador económico CapEx.

Estudio 5.

Methodology and input availability parameters for calculating OpEx and CapEx cost for realistic network scenarios

S. verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester

S. Pasqualini, A. Iselt, A. Kirstädter

R. Hülsermann, F.-J. Westphal, M Jäger

Los investigadores nos presentan una matriz para contabilizar el OpEx dividida en subpartes, además de ello también nos muestran dos diagramas de flujo, el primero enfocado a procesos de reparación y el segundo a provisión de servicios y al final como apoyo para poder generar los modelos de OpEx sobre todo nos ofrecen también una tabla de los números de disponibilidad colectados tomando en cuenta MTBF (Mean Time Between Failures), FIT (Failitures in Time) y MTTR (Mean Time to Repair).

Estudio 6.

Planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances

Abdallah Jarray

El doctor Jarray, en su tesis de grado doctoral propone el dimensionamiento de redes OWAN a través de los costos de inversión CapEx y los de operación OpEx y también propone un modelo ILP para que sea de ayuda a dimensionar costos y alcances.

Estudio 7.

Costs and Revenues Models for Optical Networks Architectures Comparison

Cecilia Cid, Marc Ruiz, Luis Velasco, Gabriel Junyent

Los investigadores nos proponen un modelo para calcular los ingresos de la red, tomando en cuenta tanto el CapEx como el OpEx proyectados por años, basados en tecnología óptica WDM teniendo como objetivo final obtener las ganancias y el VPN del modelo de red óptica.

2.2.1 Estudio 1. Un modelo de costos para la capa WDM

M. Grunkel, R. Leppla, M. Wade, A. Lord, D. Schupke, G. Lehmann, C. Fürst, S. Bodamer, B Bollenz, H. Haunstein, H. Nakajima, J. Martensson.

El estudio que se presenta como primer caso, toma en cuenta varios elementos de red y arquitecturas de nodo en la capa WDM. Fue desarrollado dentro del proyecto European NOBEL; los costos que se manejan dentro del artículo se muestran en un formato normalizado, esto se debe a que los costos son confidenciales comercialmente.

Por simplicidad se consideran tasas de transmisión prevalentes de 10Gbps. Los costos valuados referidos a sólo a elementos de CapEx normalizados tomando de referencia el costo de un transpondedor de 10Gbps adecuado para transmisión hasta un alcance de 750 Km.

Todos los valores de costos refieren a elementos de red bidireccionales, incluyendo todos los requerimientos básicos como racks, suministros de alimentación y Software.

El modelo de costo se divide en tres clases: la primera se basa en equipamiento de transmisión con tres diferentes distancias máximas de transmisión (MTDs) 750, 1500 y 3000 Km medidos por el total de spans de la fibra de transmisión (ver tabla 14).

Tabla 14 Modelo de costo, alcance de equipo dependiente.
(M. Grunkel *et al*, 2006)

Cost per ...	10G Transponder Card	10G Coloured Line Card	10G Regenerator / Wavelength Converter	In-line amplifier	Dispersion compensating fibre per 80 km span
MTD = 750 km	1	0.9	1.4	3	0.9
MTD = 1500 km	1.4	1.3	2	3.8	1
MTD = 3000 km	1.9	1.8	2.7	4.7	1.2

La segunda clase de equipamiento, se muestra en la Tabla 15. Las capacidades dependientes de los bloques construidos son diferenciadas, ya sea de 40 u 80 canales. Todos los costos de nodos en la tabla incluyen unidades de supervisión óptica, control de potencia óptica y son tomados en cuenta sin módulos de amplificación (ver tabla 15).

Tabla 15 Modelo de costo, capacidad de equipo dependiente, elementos de nivel de red. (M. Grunkel et al, 2006)

Cost per ...	WDM Terminal	OADM (based on WB, 2 fibre ports)	OXC (based on WSS in a B&S architecture, 3 to 5 fibre ports)	OXC (based on WSS in a B&S architecture, 6 to 10 fibre ports)	OADM / OXC (based on patch panel & VOA)
40 channels	4.5	11.8	$5.35 \cdot N + 2$	$5.85 \cdot N + 2$	$5.75 \cdot N + 2$
80 channels	6.7	17.3	$8.05 \cdot N + 2.2$	$8.65 \cdot N + 2.2$	$10.85 \cdot N + 2.2$

La Tabla 16. Toma en cuenta amplificadores terminales en cada configuración de escenario simple o doble, amplificadores dedicados para compensar las pérdidas de inserción para nodos transparentes, ganancia dinámica ecualizando amplificación, corto alcance (SR) y EXC.

Tabla 16 Modelo de costo, equipo adicional. (M. Grunkel et al, 2006)

Cost per ...	Amplifier in terminal, single stage	Amplifier in terminal, double stage	Amplifier in transparent node (per bidirectional fibre pair)	Dynamic Gain Equaliser (DGE), every fourth amplifier site	SR Switch Line Card 10G	EXC switch (per 10G equiv. port)
	2	3	1.25	3	0.25	0.28

La Tabla 17. Muestra los costos valuados por WBs⁶ y WSSs⁷ en el nivel de dispositivo en dependencia al número de puertos de entrada.

⁶ Wavelength Blockers

⁷ Wavelength Selective Switches

Tabla 17 Modelo de costo, funcionalidad de switcheo transparente en el nivel de dispositivo. (M. Grunkel *et al*, 2006)

Configuration, number of input ports	Realisation option	Cost for a bidirectional device, 40 channels	Cost for a bidirectional device, 80 channels
1	WB	2.9	3.2
2 to 4	1x4 WSS (5 ports)	3.8	4.2
5 to 9	1x9 WSS (10 ports)	4.8	5.4
10 to 12	1x4 & 1x9 WSS cascaded	8.6	9.6
13 to 17	1x9 & 1x9 WSS cascaded	9.6	10.8

Ejemplo de modelo de costos:

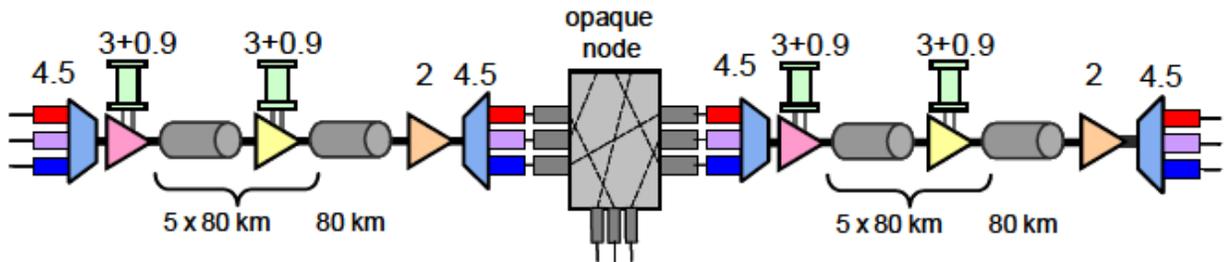


Imagen 49 Dos enlaces de 480 Km con un nodo opaco intermedio; transpondedores y DGE no están preciaados. (M. Grunkel *et al*, 2006)

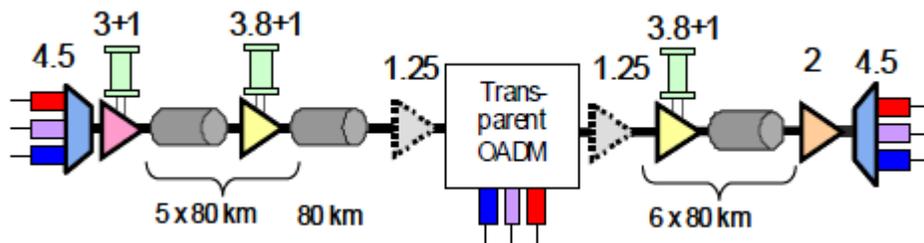


Imagen 50 Dos enlaces de 480 Km con un ROADM transparente intermedio; transpondedores y DGE no están preciaados. (M. Grunkel *et al*, 2006)

Tabla 18 Costos reportados para el caso opaco de la Imagen 49
(M. Grunkel et al,2006)

Equipment type	Unit Cost	Quantity (bidir.)	Total Cost
Transponders	1	2*40	80
WDM Terminals	4.5	2*2	18
Booster Amplifiers	3	2	6
Inline Amplifiers	3	2*5	30
Preamplifiers	2	2	4
DCF Modules ¹	0.9	12	10.8
DGEs ²	3	2	6
SR Line Cards	0.25	20+20+8+8	14
EXC	0.28	20+20+8+8	15.68
Total Cost			184.48

Tabla 19 Costos reportados para el caso transparente de la Imagen 50
(M. Grunkel et al,2006)

Equipment type	Unit Cost	Quantity	Total Cost
Transponders ³ , 750 km	1	2*2*8	32
Transponders ³ , 1500 km	1.4	2*12	33.6
WDM Terminals	4.5	2	9
Booster Amplifiers	3	1	3
Inline Amplifiers	3.8	11	41.8
Transp. Node Amp.	1.25	2	2.5
Preamplifiers	2	1	2
DCF Modules ¹	1	12	12
DGEs ²	3	2	6
ROADM	11.8	1	11.8
Total Cost			153.7

La simple comparación: opacidad (ver imagen 49) y transparencia (ver imagen 50) consiste en la sustitución de un bi-conectado nodo opaco tradicional por un ROADM transparente. Todos los costos normalizados por el equipo nodal transparente difieren de los costos por amplificación.

Para la comparación de costos la configuración se asumió con una carga de canal por enlace de 20 longitudes de onda juntas usando un add/drop con capacidad de 8 longitudes de onda en el nodo intermedio. En el caso opaco hay un costo total de 184.5 normalised cost units (c.u.) se puede observar el desglose en la tabla 18, mientras que la arquitectura transparente cuesta 153.7 c.u (ver tabla 19); representando un costo de reducción del caso transparente al opaco de 16.7% en total.

2.2.2 Estudio 2. Algoritmo genético para el diseño topológico de redes de transporte ópticas.

Rui Manuel Morais, Claunir Pavan, Armando Nolasco Pinto, Cristina Requejo

El estudio desarrolla un algoritmo genético para el diseño topológico de redes de transporte óptico permanentes con un CapEx mínimo.

Fueron analizados dos generadores de población; dos métodos de selección; dos operadores cruzados y dos tamaños de población. Los resultados obtenidos se usaron en redes de telecomunicaciones reales mostrando que pueden ser utilizados por una población inicial archivada en una red de transporte óptico real.

El CapEx en una red óptica puede ser dividido en costos por administración de ancho de banda (costo por nodo) y costos por transmisión de señales (costo por enlace). La localización de cada nodo debe ser una parte importante para el diseño de red ya que será donde se suba y descargue tráfico.

El diseño topológico de la red debe garantizar una red estable, dependiendo de cuantos enlaces serán implementados. En la práctica, distintos escenarios de tráfico son definidos y evaluados, luego la red de menor costo permanece factible para la mayoría de los escenarios planteados, pues será la que se implemente.

Se utilizó un modelo de costo simplificado para calcular el CapEx de una red óptica para obtener resultados exactos que pueden ser comparados con las soluciones heurísticas planteadas.

Arquitectura de red.

Se considera una red multicapa, cuando se cuenta con una capa eléctrica y una capa óptica. La capa eléctrica tiene como función principal el cuidado de tráfico y protección mientras que la capa óptica tiene la función de multiplexar, trasladar y conmutar señales de longitudes de onda para establecer caminos punto a punto.

Formulación matemática: Dentro de las tablas 20 a 24 se encuentra el desglose y la explicación de las variables que conforma la formulación matemática del modelo.

Tabla 20 Desglose y explicación de variables.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

(o,d)	Demanda entre el nodo origen (o) y nodo destino (d)
$D=\{(o,d) : o,d \in V\}$	Conjunto de todas las demandas
$V=\{1,\dots,N\}$	Conjunto de nodos
$\{i,j\}$	Costo de todos los sistemas de transmisión en el enlace sin transpondedores.

$$F_{ij} = (C_{term} + [\frac{C_{ij}}{span} - 1] C_{oa} + C_{ij}C_f + M_{ij}) X_{ij}$$

Ecuación 2 Formulación matemática. (Rui Manuel Morais et al,2011)

Donde:

Tabla 21 Desglose y explicación de variables II.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

F_{ij}	Es el costo del despliegue tomando en cuenta las terminales WDM, amplificadores ópticos y fibra óptica. (ver ecuación 2)
C_{term}	Es el costo de dos terminales WDM
C_{oa}	Es el costo de un amplificador óptico bidireccional
$\frac{C_{ij}}{span} - 1$	Es el número de amplificadores ópticos
C_f	Es el costo de la fibra óptica por kilómetro

M_{ij}	Es el costo del privilegio de derecho de paso y/o el método utilizado para el despliegue entre los nodos i y j .
C_{ij}	Es el costo de la fibra óptica proporcional a su distancia
X_{ij}	Es una variable entera positiva que indica el número de sistemas de transmisión instalados entre los nodos i y j . (ver ecuación 4)

$$L_{ij} = \sum_{(o,d) \in D} B_{od} Z_{ij}^{od}$$

Ecuación 3 Valor máximo de canales ópticos que una terminal WDM puede multiplexar en una fibra óptica. (Rui Manuel Morais et al, 2011)

Tabla 22 Desglose y explicación de variables III.
(Rui Manuel Morais et al, 2011)

L_{ij}	Es el valor máximo de canales ópticos que una terminal WDM puede multiplexar en una fibra óptica y en el número de canales ópticos que atraviesan el enlace $\{i,j\}$ (ver ecuación 3)
B_{od}	Es el número de canales ópticos
Z_{ij}^{od}	Es una variable binaria que indica si la demanda (o,d) es ruteada a través del link $\{i,j\}$
K_{ij}	Es la capacidad de cada sistema de transmisión en el número de canales ópticos

Por lo tanto, X_{ij} es obtenida de la siguiente forma:

$$X_{ij} = \left[\frac{L_{ij}}{K_{ij}} \right]$$

Ecuación 4 Valor del número de sistemas de transmisión instalados entre los nodos i y j . (Rui Manuel Morais et al,2011)

$$O_{ij} = C_t L_{ij}$$

Ecuación 5 Valor máximo de canales ópticos que una terminal WDM puede multiplexar en una fibra óptica. (Rui Manuel Morais et al,2011)

Tabla 23 Desglose y explicación de variables IV.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

O_{ij}	El costo con transpondedores, corresponde a dos transpondedores por canal óptico que atraviesan el link (ver ecuación 5)
C_t	Es el costo de un par de transpondedores

$$T_c = \sum_{\{i,j\} \in E} (F_{ij} + O_{ij})$$

Ecuación 6 Costo de transmisión. (Rui Manuel Morais et al,2011)

Tabla 24 Desglose y explicación de variables V. (Rui Manuel Morais et al, 2011)

T_c	Representa el costo de transmisión dado por la suma de los costos F_{ij} y O_{ij} de todos los enlaces.
$E = \{ \{i,j\} : i,j \in V, i < j \}$	Conjunto de bordes que representan todos los posibles enlaces bidireccionales

La red hecha para soportar un tráfico dado se corresponde con el número de demandas entre nodos.

La meta principal del estudio es buscar la topología física que minimice T_c (ver ecuación 6). Como las redes de transporte óptico pueden tener más de 100 nodos, los modelos ILP están prohibidos para redes más largas.

Por lo que se presenta un enfoque heurístico y un modelo ILP para obtener soluciones que minimicen la Ecuación 6 con requerimientos permanentes. El modelo ILP es usado para evaluar la calidad de las soluciones obtenidas mediante el algoritmo genético en términos de exactitud y consumo de tiempo para pequeñas redes.

Algoritmo Genético

Es una heurística basada en la teoría natural de la evolución y se compone de los siguientes pasos: Generación de una población inicial, codificación, evaluación, selección, cruza, mutación y decodificación.

Modelo ILP (Integer Linear Programming)

El estudio presenta el siguiente modelo ILP para minimizar el costo de una red óptica de transporte.

En el orden para formular las restricciones de conservación de flujo, la variable binaria Z_{ij}^{od} es dividida en dos variables Y_{ij}^{od} y Y_{ji}^{od} (ver tabla 25), se describe el desglose en las ecuaciones 7 a 10.

Tabla 25 Desglose y explicación de variables VI.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

Y_{ij}^{od} Indica que la demanda (o,d) es enrutada a través del link {i,j} en dirección de i a j

Y_{ji}^{od} Indica que la demanda (o,d) es enrutada a través del link {i,j} en dirección de j a i

Por lo que el modelo ILP queda de la siguiente forma:

$$\sum_{j \in V \setminus \{o\}} Y_{ij}^{od} - \sum_{j \in V \setminus \{d\}} Y_{ji}^{od} = \begin{cases} 2 & i=o \\ 0, & i \neq o,d \\ -2 & i=d \end{cases}$$

$$\forall (o,d) \in D, \forall i \in V$$

Ecuación 7 Restricciones habituales de conservación de flujo.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

$$\sum_{\{o,d\} \in D} B_{od} (Y_{ij}^{od} + Y_{ji}^{od}) \leq K_{ij} X_{ij} \quad \forall \{i,j\} \in E$$

Ecuación 8 Garantía de la conectividad entre todos los pares de nodos.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

$$X_{ij} \in N_0 \quad \forall \{i,j\} \in E$$

Ecuación 9 Define las variables X_{ij} como variables enteras positivas.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

$$Y_{ij}^{od}, Y_{ji}^{od} \in \{0,1\} \quad \forall (o,d) \in D \quad \forall \{i,j\} \in E$$

Ecuación 10 Disyuntiva de dos flujos para asegurar sustentabilidad.
(Rui Manuel Morais et al,2011)

2.2.3 Estudio 3. Diseño de redes ópticas con CapEx mínimo

Rui Manuel Morais, Claunir Pavan, Cristina Requejo, Armando Nolasco Pinto

El estudio presenta un algoritmo genético para el diseño de redes de transporte ópticas permanentes con CapEx mínimo. La sustentabilidad contra cada caída de enlace es asegurada por un camino de protección dedicado. También es presentado un modelo ILP para evaluar la calidad de las soluciones del algoritmo genético. Usando el modelo ILP y el algoritmo genético casi óptimo las topologías son determinadas.

Definición del problema.

Una red óptica es un conjunto de nodos conectados por enlaces bidireccionales y pueden ser representados con una gráfica como lo indica la ecuación 11:

$$G = (V, E, A)$$

Ecuación 11 Conjunto de nodos conectados bidireccionalmente.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

Donde la tabla 26 describe cada una de las variables de la ecuación anterior:

Tabla 26 Desglose y explicación de variables.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

$V = \{1, \dots, n\}$	Es el conjunto de nodos.
$E = \{ \{i, j\} : i, j \in V, i < j \}$	Es el conjunto de bordes.
$A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$	Es el conjunto de arcos.

Se debe tomar en cuenta que cada borde es asociado con dos arcos dirigidos con dirección opuesta indicando la orientación de demanda a través del enlace físico. Asociado a cada link hay un costo dependiente de la distancia entre los nodos. La longitud en Km entre el nodo i y el nodo j se denotará con C_{ij} y es el costo del borde $\{i, j\}$.

La red óptica ha de soportar un tráfico dado, es decir, un conjunto de demandas entre nodos. Se asumen demandas bidireccionales en el estudio. La demanda entre el origen o y el destino d se denotará por $[o,d]$ y el conjunto de todas las demandas por la ecuación 12:

$$P = \{[o,d] : o,d \in V, o < d\}$$

Ecuación 12 Conjunto de todas las demandas.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

El tráfico se dividirá en tasas de STM-16 canales (≈ 2.5 Gbps). El número de canales ópticos por demanda $[o,d]$ será denotado por B_{od} .

El CapEx puede ser dividido en costos por administración de ancho de banda (costos con nodos) y costos por transmisión de señal (costos con enlaces). El costo de nodos es fijo. Para minimizar el costo total es necesario minimizar los costos de transmisión. La Imagen 51 representa la arquitectura considerada en el estudio:

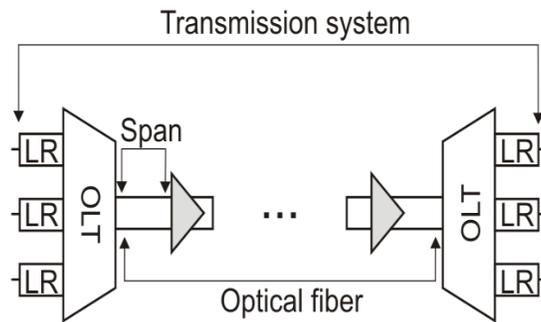


Imagen 51 Arquitectura de sistema de transmisión.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

La arquitectura comprende la fibra óptica; dos terminales ópticas de línea por enlace; un amplificador óptico por span y dos transpondedores por canal óptico.

El costo de transmisión puede ser dividido en costos dependiendo del número de fibras ópticas, F_{ij} , y costos dependiendo el número de canales ópticos, O_{od} . Los costos F_{ij} , están compuestos por los costos de amplificadores ópticos, OLTs y fibras ópticas. El número de amplificadores ópticos es dependiente de la longitud de la fibra, C_{ij} , y la distancia entre amplificadores, span. Dos OLT son necesarios, uno en cada extremidad de la fibra. Por lo tanto, F_{ij} es dada por la ecuación 13:

$$F_{ij} = \left[\frac{C_{ij}}{span} - 1 \right] C_{oa} + C_{olt} + C_{ij}C_f$$

Ecuación 13 Costos por número de fibras. (Rui Manuel Morais et al,2009)

El desglose se observa en la tabla 27:

Tabla 27 Desglose y explicación de variables II.
(Rui Manuel Morais et al,2009)

C_{oa}	Es el costo de un amplificador óptico
C_{olt}	El costo de dos terminales ópticas de línea (OLT)
C_f	Es el costo de fibra óptico por Km.

El costo O_{od} , corresponde a los costos con transpondedores. Son necesarios dos transpondedores por canal óptico. Dado lo anterior C_t es el costo de dos transpondedores y O_{od} puede ser calculado por la ecuación 14:

$$O_{od} = c_t B_{od}$$

Ecuación 14 Costos con transpondedores. (Rui Manuel Morais et al,2009)

Para obtener el modelo ILP se usan dos variables:

- Variables enteras no negativas X_{ij} indicando el número de pares de fibras entre nodos i y j .
- Variables binarias Y_{ij}^{od} indicando si la demanda $[o,d]$ es enrutada en arco (i,j) o no.

Los costos de transmisión son dados por la suma de F_{ij} para todos los enlaces más la suma de O_{od} para todas las demandas. La función objetivo es dada por la ecuación 15:

$$\sum_{\{i,j\} \in E} F_{ij} X_{ij} + \sum_{\{(i,j) \in A\}} \sum_{[o,d] \in P} O_{od} Y_{ij}^{od}$$

Ecuación 15 Costos de transmisión. (Rui Manuel Morais et al,2009)

Resultados computacionales:

El modelo ILP se resolvió utilizando el Software Xpress. En orden para evaluar la acción de ambos métodos se usó la siguiente brecha entre el mayor b_u y el menor b_l . (ver ecuación 16)

$$gap = \frac{100(b_u - b_l)}{b_u}.$$

Ecuación 16 Brecha entre iteración mayor y menor.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

Para tener acceso a la calidad de las soluciones obtenidas con el algoritmo genético se usa la locación nodal de seis redes reales de telecomunicaciones. La red vBNS con 12 nodos, la red NSFNET, ITALY (ver imagen 52) ambas de 14 nodos y la red EON con 20 nodos. Las dos últimas son PORTUGAL con 24 nodos y NEWNET con 26 nodos.

Se asumen todos los posibles enlaces que pueden ser implementados y que el máximo número de canales ópticos soportados por cada fibra es de 40. También se asume un modelo de demanda uniforme y un span de 80 Km. Los costos de equipamiento se muestran en la Tabla 28:

Tabla 28 Costos con sistema de transmisión.
(Rui Manuel Morais et al, 2009)

Equipment	Notation	Cost	Quantity
Optical Fiber	c_f	0.8	per km
Optical Amplifier	c_{oa}	3.8	per fiber and per span
OLT	c_{olt}	9	per fiber
Transponder	c_t	2	per fiber per channel

Mientras que las brechas y los tiempos computacionales usados para obtener el modelo ILP y el algoritmo genético se encuentran desglosados en la tabla 29.

Tabla 29 Brechas y tiempos computacionales usados por el Xpress para obtener el modelo ILP y para el algoritmo genético.
(Rui Manuel Morais et al,2009)

Network	Dimension	ILP Model		Genetic Algorithm	
		Time	gap	Time	gap
vBNS	12	321 s	0.00%	28 s	5.72%
NSFNET	14	7000 s	2.76%	48 s	13.82%
ITALY	14	7000 s	7.83%	51 s	11.53%
EON	20	7000 s	27.34%	136 s	18.84%
PORTUGAL	24	7000 s	36.07%	377 s	35.83%
NEWNET	26	7000 s	57.19%	435 s	35.26%

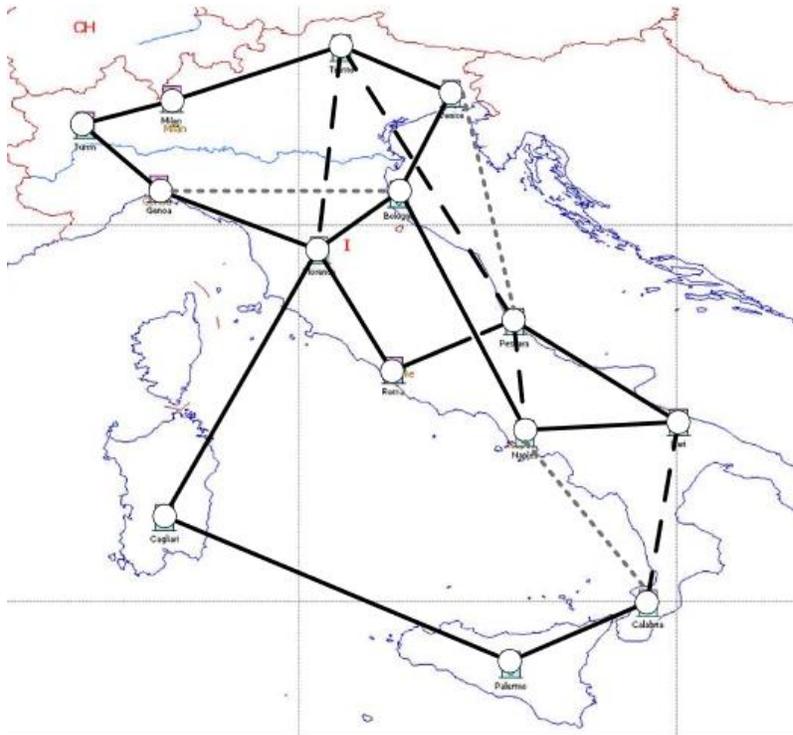


Imagen 52 Topologías en Italia obtenidas usando el modelo ILP y el algoritmo genético. Los enlaces discontinuos difieren de ambas soluciones y los enlaces negros son comunes. (Rui Manuel Morais et al,2009)

2.2.4 Estudio 4. Ventajas del CapEx en redes de fibra óptica multi-core

Yao Li, Nan Hua, Xiaoping Zheng

Las redes ópticas han sido construidas como redes dorsales por décadas, debido a la habilidad de la fibra óptica para proveer enormes capacidades de transmisión.

Modelo de CapEx

Los componentes de sistemas de comunicaciones en redes ópticas pueden ser agrupados en dos categorías, por equipamiento de nodo y equipamiento de enlace. El equipamiento de nodo consiste de transpondedores ópticos (OTs), multiplexores y demultiplexores por división de longitud de onda y Amplificadores Ópticos (OAs). Mientras que el equipamiento de enlace del sistema de comunicación de SFC (Single Core Fiber) incluye conectores, Fibras de un solo core y Amplificadores Ópticos. Sin embargo, los OA en equipamiento de nodo son distintos a los del equipamiento de enlace.

En el estudio sólo se considera el equipamiento de enlace para calcular el CapEx de una red óptica usando sistemas de comunicación MCF/SCF (Multi Core Fiber/ Single Core Fiber).

Se consideraron dos tipos de cables, cable nominal de 16mm nominal de diámetro exterior el cual porta 144 fibras y cable de 20mm de diámetro exterior el cual porta 576 fibras.

El CapEx de una red óptica puede ser modelado como la Ecuación 17 y los precios de los componentes de red son listados en la Tabla 30. En caso de utilizar fibra MCF el número de cores de cada uno es 12.

Tabla 30 Precios de componentes de red óptica en miles de dólares USD.
(Yao Li et al, 2015)

Component		Price
MCF communication system	MCF	52 per 80 km
	OA	400
	SDM	2.23
SCF communication system	SCF	4.17 per 80 km
	OA	50
	RFO	0.2
Construction	Cable (16 mm)	100 per 80 km
	Cable (20 mm)	120 per 80 km
	Conduit	2000 per 80 km

$$\text{CapEx} = \eta_{\text{fibra}} P_{\text{fibra}} + \eta_{\text{OA}} P_{\text{OA}} + \eta_{\text{SDM}} P_{\text{SDM}} \\ + \eta_{\text{RFO}} P_{\text{RFO}} + \eta_{\text{cable}} P_{\text{cable}} + \eta_{\text{conducto}} P_{\text{conducto}}$$

Ecuación 17 Estimación de CapEx. (Yao Li et al, 2015)

Donde las η representan el número de componentes a utilizar y las P los precios indicados en la Tabla 30.

2.2.5 Estudio 5. Metodología y parámetros de disponibilidad de entrada para calcular OpEx y CapEx en escenarios de red realistas

S. verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester

S. Pasqualini, A. Iselt, A. Kirstädter

R. Hülsermann, F.-J. Westphal, M Jäger

La planificación de red y decisiones de diseño deberán tomar en cuenta costos de estimaciones tan precisas como sea posible. Estas estimaciones habilitarán una compensación entre los requerimientos disponibles de la red y los costos asociados. En muchos casos, un modelo de costos de equipamiento es usado para estimar costos de CapEx, mientras los costos de OpEx tienden a ser descuidados o a ser repartidos con sumatorias o estimados proporcionalmente al CapEx.

El objetivo del estudio es sugerir un modelo de costo comprensivo que sea fácil de aplicar y seguir para estimar ambos gastos de un escenario realista de red.

Clasificación de OpEx para un operador de Telecomunicaciones.

El equipamiento comprado siempre contribuye al CapEx, independientemente si el pago es hecho en una sola exhibición o si es en varias, también en este rubro interesa si se realiza a través de un préstamo. El OpEx no contribuye a la infraestructura, pero representa el costo de mantenimiento operacional de la compañía e incluye costos técnicos y comerciales de operación y administración. Para un operador de red, OpEx es principalmente constituido de infraestructura rentada y arrendada, así como el salario de los empleados.

CapEx y OpEx son cuestiones interconectadas. Una tecnología de red que habilita mantenimiento automático y tareas de aprovisionamiento probablemente tendrá mayores costos de adquisición (CapEx) pero será más barato al operar (OpEx).

GOAL = what you do		telco specific OpEx for network which is up and running							OpEx eq. inst.		general OpEx	
		telco spec. cont. cost of infrastructure	maintenance	repair	service provisioning	pricing and billing	operational network planning	marketing	first time installation	up-front planning	non telco specific cost of infrastructure	non telco specific administration
MEANS = what you pay												
personnel												
training	lost work. time											
	teacher											
	books, courses											
tools and transport	tools											
	transportation											
	travel time											
space												
energy												
rental, leasing												

Imagen 53 Matriz descriptiva de OpEx para un operador de telecomunicaciones. (S. verbrugge et al, 2006)

Para explicar la matriz mostrada en la imagen 53 debe ser dividida en varias partes: la primera está conformada por las columnas directamente relacionadas a la operación de la red existente, corresponde a las primeras siete columnas de la matriz. En el estudio la primera columna se refiere al costo de mantener la red operacional en una situación libre de fallas; la segunda columna muestra los costos de medidas preventivas como monitoreo y mantenimiento de red contra posibles fallas; la tercera columna corresponde a reparamientos de fallos en la red; la cuarta es dada por el proceso de aprovisionamiento y administración de servicios; la quinta columna a mandar cuentas a clientes y asegurar el pago; la sexta se refiere a la actividad de planificación de red en curso y finalmente la séptima representa la adquisición de nuevos clientes para servicios específicos de telecomunicaciones.

La segunda categoría que se distingue en la matriz es asociada con equipo de instalación y es denotado por el segundo grupo de columnas, estas representan todos los costos por hacer antes de la operación de la red contra el caso de una mayor extensión de red.

La primera columna se refiere a todos los costos relacionados a instalación de equipo (previamente comprado); la segunda columna denota toda la planificación hecha ante la decisión “vamos por ese enfoque”, y se toman en cuenta estudios de planeación para evaluar la construcción de una nueva red, cambiando la topología de red, introduciendo una nueva tecnología o una nueva plataforma de servicios.

Las últimas dos columnas aluden a las subpartes del OpEx que son presentadas en cada compañía, no son específicas para operadores de telecomunicaciones. La primera refiere a los costos de infraestructura arrendada, mientras que la última columna corresponde a la administración que cada compañía tiene, por ejemplo, la nómina de empleados; el personal de apoyo en oficina y otros colaboradores.

Igualmente, el estudio propone como apoyo dos diagramas de flujo para las actividades basadas en procesos de reparación (ver imagen 54) y de provisión de servicios (ver imagen 55), mostrados a continuación:

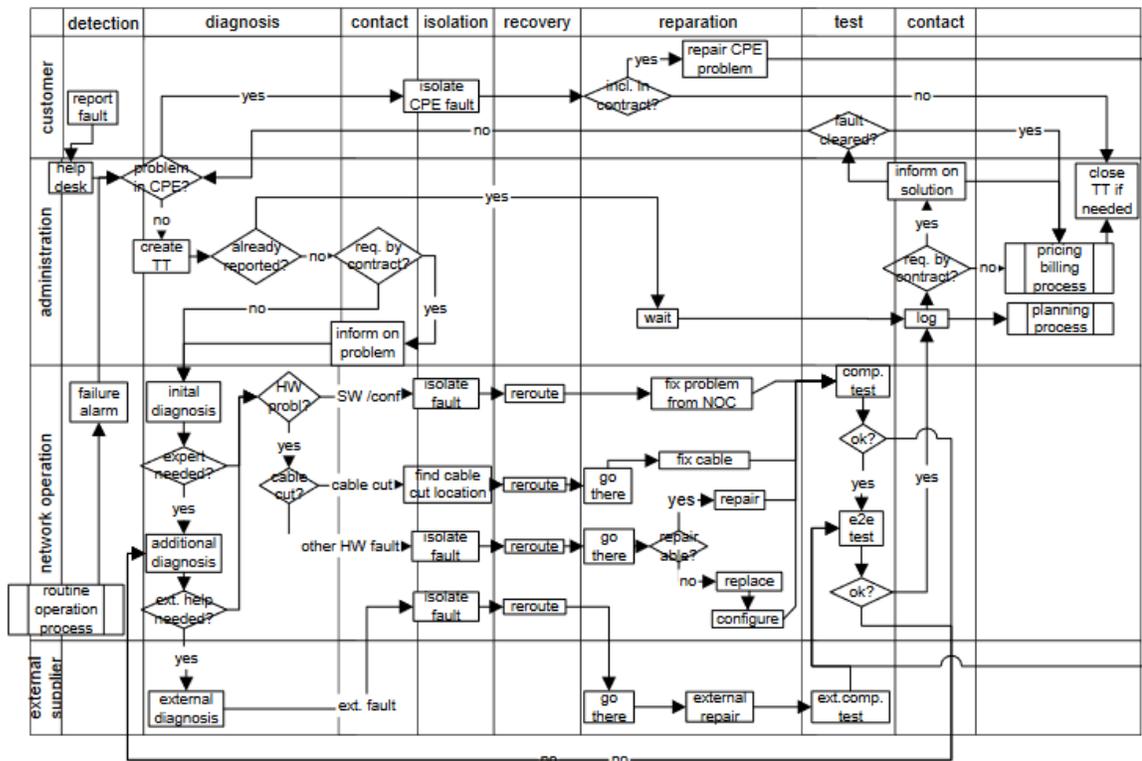


Imagen 54 Actividad basada en procesos de reparación.
(S. verbrugge et al, 2006)

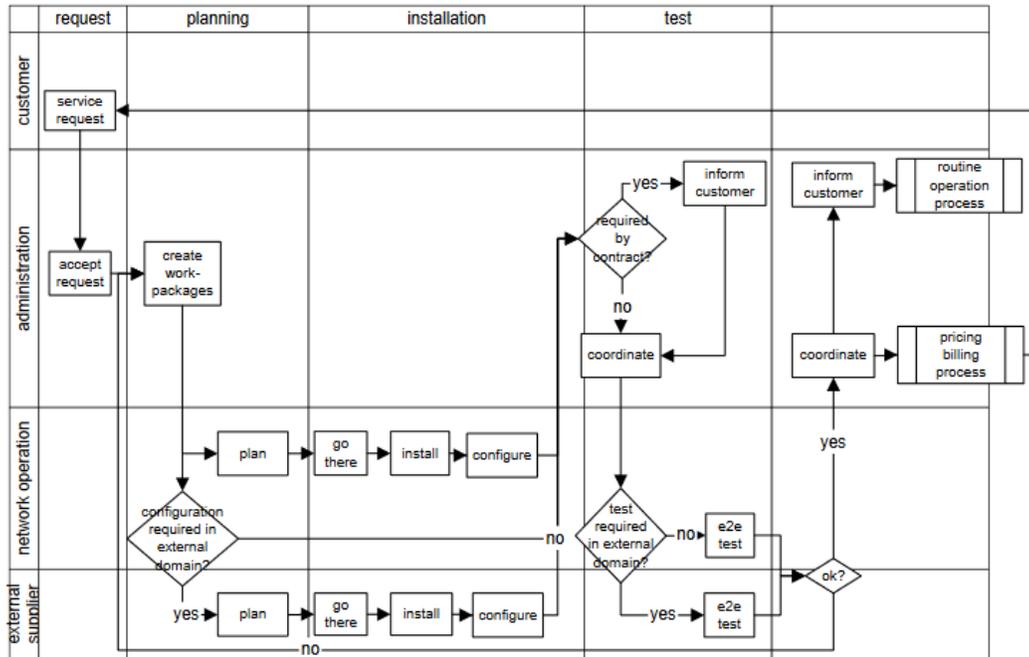


Imagen 55 Actividad basada en proceso de provisión de servicios. (S. verbrugge et al, 2006)

Dentro del estudio podemos remarcar una serie de pasos para lograr el cálculo de costo total para un escenario de red conformado por seis pasos.

1. Colecta de información acerca del equipamiento. La información sobre el equipo que se tendrá en consideración abarca el precio e información de disponibilidad, consumo de energía eléctrica, y el espacio requerido. En casos en donde un escenario real de red es considerado, todos estos datos pueden encontrarse en la hoja de especificaciones proporcionada por los vendedores de equipamiento, en caso contrario la asunción necesita ser basada en recursos públicos como los números de disponibilidad colectados mostrados en la Tabla 31 y los mostrados en la imagen 56.

Equipment Type	Power (kW)	Footprint (ETSI)	Price (k€)
WDM line system (40 lambda)	1	3 racks	12.00
Fiber	0	0	not considered
Optical amplifier	0.5	0.25 rack	7.90
SR transponder (2.5 Gbit/s)	0.5	0 (inserted in OXC)	2.00
LR transponder (2.5 Gbit/s)	0.5	0 (inserted in OXC)	2.50
Unequipped OXC (512 ports)	3	3 racks	100.00

Imagen 56 Características de equipo para equipamiento de red óptica. (S. verbrugge et al, 2006)

Tabla 31 Números de disponibilidad recolectados, donde: **MTBF** Mean Time Between Failures, **FIT** Failitures In Time, **MTTR** Mean Time To Repair. (S. verbrugge et al, 2006)

	Equipment Part	MTBF (hours)	FIT	MTTR (hours)
IP Layer Equipment	IP Router: Route Processor	[optimistic] 1E06	[optimistic] 1E03	[optimistic] 1.8
		[nominal] 2E05	[nominal] 5E03	[nominal] 4
		[conservative] 4E03	[conservative] 2.5E05	[conservative] 10
	IP Router: Interface Card	[optimistic] 3.5E05	[optimistic] 2.86E03	[optimistic] 2
		[nominal] 8.5E04	[nominal] 1.18E04	[nominal] 4
		[conservative] 1E04	[conservative] 1E05	[conservative] 3.5
	IP Router: SW	[optimistic] 1E05	[optimistic] 1E04	[optimistic] 4E-04
		[nominal] 3E04	[nominal] 3.33E04	[nominal] 2E-02
		[conservative] 5E03	[conservative] 2E05	[conservative] 2.5E-01
SDH Equipment	SDH DXC or ADM	[optimistic] 1E06	[optimistic] 1E03	[optimistic] 2
		[nominal] 5E05	[nominal] 2E03	[nominal] 4
		[conservative] 1E05	[conservative] 1E04	[conservative] 9
WDM Equipment	bidir OA	[optimistic] 5E05	[optimistic] 2E03	[optimistic] 2
		[nominal] 2.5E05	[nominal] 4E03	[nominal] 6
		[conservative] 1E05	[conservative] 1E04	[conservative] 9
	bidir mux/demux	[optimistic] 1E06	[optimistic] 1E03	[optimistic] 2
		[nominal] 1.67E05	[nominal] 6E03	[nominal] 6
		[conservative] 1E05	[conservative] 1E04	[conservative] 9
	Transponder 2.5 Gbps	[optimistic] 5E05	[optimistic] 2E03	[optimistic] 2
		[nominal] 4E05	[nominal] 2.5E03	[nominal] 6
		[conservative] 2.94E05	[conservative] 3.4E03	[conservative] 9
	Transponder 10 Gbps	[optimistic] 9.6E05	[optimistic] 1.04E03	[optimistic] 2
		[nominal] 3.5E05	[nominal] 2.86E03	[nominal] 6
		[conservative] 2.94E05	[conservative] 3.4E03	[conservative] 9
OXC Equip.	WDM OXC (OEO) or OADM	[nominal] 1E05	[nominal] 1E04	[nominal] 6
	ODXC Redundant: 1+1 Protected	[nominal] 2E06	[nominal] 5E02	[nominal] 4

2. Dimensionamiento de la red. Estimando el número de clientes y su patrón de demanda esperado, se podrían determinar los requerimientos de capacidad de la red, de esta manera se obtiene el número de componentes requeridos para cada tipo de equipamiento.

3. Calculando el costo CapEx Total. Se logra multiplicando el número de componentes de cada tipo de equipamiento por su correspondiente precio y consecutivamente sumando todos los valores obtenidos de los componentes totales de la red.

4. Calculando OpEx de instalación de equipamiento. Estos costos vienen asociados al CapEx como costos de primera instalación, en un escenario real, estos costos vienen reflejados en el contrato con el vendedor de equipamiento. Para un caso de estudio, se puede estimar considerándolo una fracción del CapEx.

5. Calculando OpEx de una red que ya se encuentra montada y operando. Los costos de todos los procesos de operación identificados pueden ser estimados con base en la información de entrada concerniente a salario de empleados y duración de actividades, conociendo dichos factores se puede calcular el costo de los procesos continuos como rutinas de operación, planeación operacional de red y marketing.

6. Calculando el costo de distribución después de un lapso de tiempo. Los costos considerados en el intervalo de planeación pueden ser determinados ya que el CapEx y el Opex de instalación de equipamiento son costos de una exhibición, por otro lado, los costos restantes del OpEx serán contabilizados en periodos de tiempo determinados, es importante tener conocimiento de esta distribución de costos ya que será la responsable de arrojarnos decisiones de criterio de inversión como lo es el Valor Presente Neto (VPN).

2.2.6 Estudio 6. Planificación y dimensionamiento de redes ópticas de largas distancias.

Abdallah Jarray

El doctor Jarray, en su estudio, hace referencia a los costos elevados de la tecnología de transmisión óptica. Sin embargo, también explica como una de las restricciones de esta categoría de red proviene de los equipamientos ópticos y eléctricos utilizados dentro de esta arquitectura. En efecto, los costos de equipamiento de una red capaz de cargar, descargar, enrutar y conmutar cantidades importantes de datos son bastante elevados. En consecuencia, las redes de larga distancia OWAN transportan generalmente una agregación de tráfico del cliente.

La etapa de localización y dimensionamiento de equipos, al principio del ciclo de vida de red, tiene un impacto directo sobre su costo global, es decir, el costo de inversión en capital CapEx y el costo operacional OpEx. (ver ecuación 18)

$$\text{Costo (red)} = \sum_{v \in V} C_v + \sum_{v \in V} O_v$$

Ecuación 18 Costo de red. (Abdallah Jarray, 2009)

El desglose de variable se encuentra en la tabla 32, consecuentemente:

Tabla 32 Desglose y explicación de variables. (Abdallah Jarray, 2009)

C_v	Costo de inversión en capital CapEx de los equipos de red instalados en el nodo $v \in V$
O_v	Costo operacional OpEx de los equipos de red instalados en el nodo $v \in V$

Los costos CapEx incluyen los de instalación y los de equipo de red. Los costos OpEx incluyen los de puesta en servicio, los de stockage, los de climatización, los de energía, los de mantenimiento y todos los otros costos de funcionamiento de equipos de red.

Un proceso de concepción de red se define en dos etapas. En primer lugar, se trata la optimización de capa de red, teniendo en cuenta una topología y una matriz de tráfico dadas. Enseguida, se define el dimensionamiento de la capa física en función de la solución de asignación de recursos de red para satisfacer la demanda de tráfico, obtenido en la etapa anterior.

Por otra parte, el diseño de red supone que todos los nodos de red son equipados con las mismas componentes ópticas/ eléctricas. En efecto, el diseño de red adopta una distribución uniforme de recursos de red a través de los nodos y, entonces una arquitectura de red de tipo homogénea.

Los costos CapEx y OpEx no son lineales con respecto a la medida de los equipos de red. El diseño de red no toma en cuenta los gastos ligados a la instalación y la puesta en marcha de red, la activación de servicios, el espacio de stockage, la consumación de energía, la emisión de calor, el mantenimiento, etc. El proceso de concepción clásico no lleva más que el problema de dimensionamiento de equipos de red requeridos desde el aprovisionamiento de la demanda.

En el procedimiento clásico de concepción de una red, el diseño de red no optimiza el número de instalaciones, así como su localización física y estratégica en la red. En consecuencia, no optimiza los gastos en capital y de operación de la red.

2.2.7 Estudio 7. Modelos de costos y ganancias para la comparación de arquitecturas de red ópticas.

Cecilia Cid, Marc Ruiz, Luis Velasco, Gabriel Junyent

El estudio se centra en la idea que cada inversión de red debe ser evaluada desde una perspectiva económica. En finanzas el Valor Presente Neto (VPN) es el criterio más extendido para comparar entre las inversiones, permite comparar proyectos a largo plazo, así como medir los flujos de efectivo en términos del valor presente, e igualmente, ganancias relativas y costos. Es por esta razón que el estudio nos presenta modelos de costos y ganancias en el contexto de redes ópticas.

Es importante denotar que respecto a los costos de la tecnología y de la estructura de cableado también se consideran recursos humanos y consumo de energía.

Modelos de costos y ganancias.

La expresión para calcular el VPN (ver ecuación 19) de una red óptica se describe por una gráfica $G(N, E)$, donde N es el conjunto de nodos y E el conjunto de enlaces, por lo cual:

$$VPN = \sum_{\forall y \in Y} \left[\frac{REVENUES_y - OpEx_y}{(1+r)^y} \right] - CapEx$$

Ecuación 19 Ecuación para calcular VPN. (Cecilia Cid et al, 2010)

El desglose de variables de la ecuación anterior se encuentra en la tabla 33:

Tabla 33 Desglose y explicación de variables. (Cecilia Cid et al, 2010)

REVENUES _y	Representa los ingresos anuales obtenidos por la comercialización de conectividad por año (y) (ver ecuación 20)
OpEx _y	Reflejan las operaciones de red y costos de mantenimiento por año (y)
r	Representa el rango de interés
CapEx	Se refiere a la inversión o capital necesario para el desarrollo de red inicial.

$$\text{REVENUES}_y = |N| \cdot I \cdot \Delta t \cdot C$$

Ecuación 20 Ecuación para calcular Revenues. (Cecilia Cid et al, 2010)

Las variables que pertenecen a los revenues se encuentran explicadas en la tabla 34:

Tabla 34 Desglose y explicación de variables II. (Cecilia Cid et al, 2010)

|N| Conjunto de nodos

I	Refleja el promedio de intensidad de tráfico en Erlangs partiendo de cada nodo
Δt	Representa un año en horas de servicio
C	Precio por hora de servicio

Como en los modelos se asume un tráfico dinámico, las conexiones llegan a cada OXC acordes a un proceso de Poisson y se define la intensidad de tráfico promedio como:

$$I = \frac{ht}{iat}$$

Ecuación 21 Ecuación para calcular el promedio de intensidad de tráfico. (Cecilia Cid et al, 2010)

La explicación de variables de la ecuación anterior se encuentra en la tabla siguiente (ver tabla 35)

Tabla 35 Desglose y explicación de variables III.
(Cecilia Cid et al, 2010)

ht Media predefinida para los tiempos de espera de conexión, los cuales son distribuidos exponencialmente

iat	Tiempo medio predefinido de inter-llegada (ver ecuación 21)
-----	---

$$\text{CapEx} = \sum_{\forall n \in N} (C_{\text{Base}} + d_n \cdot C_{\text{Trunk}} + [2 \cdot I] \cdot C_{\text{Transponder}}) + \sum_{\forall e \in E} (L_e \cdot C_{\text{FOKm}} + \left[\frac{L_e}{AS}\right] \cdot C_{\text{OA}})$$

Ecuación 22 Ecuación para calcular el CapEx. (Cecilia Cid et al, 2010)

El Cálculo del CapEx (ver ecuación 22) se divide en dos partes, la primera es correspondiente a los costos por nodo óptico (ver tabla 36):

Tabla 36 Desglose y explicación de variables IV.
(Cecilia Cid et al, 2010)

C_{Base}	El costo base incluye el subrack, un conjunto de tarjetas en común y la instalación.
d_n	El costo por cada interfaz óptica por nodo (Enlaces troncales)
C_{Trunk}	El costo por cada tarjeta troncal WDM
maxPaths	Representa el número máximo de conexiones ópticas que comenzarán o terminarán en cada nodo.
$[2 \cdot I]$	Corresponde al costo de los maxPaths bajo condiciones de tráfico uniformes, dimensionándolos como el doble de la intensidad de tráfico.
$C_{Transponder}$	Costo de acceso a la red. Este costo dependerá de la intensidad de tráfico que la red transportará.

La segunda parte de la ecuación corresponde a los costos generados por longitud de enlace, descritos en la tabla 37:

Tabla 37 Desglose y explicación de variables V.
(Cecilia Cid et al, 2010)

L_e	Longitud total del enlace medida en Km
C_{FOkm}	Costo de la Fibra Óptica
AS	Span del Amplificador
C_{OA}	Costos de Amplificadores ópticos y otros elementos necesarios, como compensadores de dispersión, etc.

Mientras que el OpEx puede calcularse de acuerdo a la ecuación 23:

$$\begin{aligned}
 \text{OpEx}_y &= C_{\text{MYear}} \cdot \text{Team24} \cdot \left[\frac{|N|}{10} \right] \\
 &+ C_{\text{MYear}} \cdot \left[\frac{\Delta t \cdot I}{ht \cdot CX_{hr} \cdot W_{\text{Time}}} \right] \\
 &+ C_{\text{Team24}} \cdot N_{\text{areas}} \cdot \left[\frac{F_y}{365 \cdot \text{MaxFailTeam} \cdot N_{\text{areas}}} \right] \\
 &+ \Sigma (W_{\text{Base}} + d_n \cdot W_{\text{Trunk}} + [2 \cdot I] \cdot W_{\text{Transponder}}) \\
 &+ \Sigma \left[\frac{L_e}{AS} \right] \cdot W_{\text{OA}}
 \end{aligned}$$

Ecuación 23 Ecuación para calcular el OpEx. (Cecilia Cid et al, 2010)

La tabla 38 muestra la explicación de las variables que conforman la ecuación para calcular el OpEx:

Tabla 38 Desglose y explicación de variables VI.
(Cecilia Cid et al, 2010)

C_{MYear}	Costos anuales de operación de red y mantenimiento
Team24	Empleados necesarios para cubrir 24 horas al día los 7 días a la semana
CX_{hr}	Numero promedio de nuevas conexiones por hora que un empleado puede verificar
W_{Time}	Corresponde al número de horas de trabajo por año
C_{Team24}	Costo de los empleados que pertenecen al Team24

N_{areas}	Refleja el número de las áreas de reparación definidas
F_y	Representa el número total de fallas en el año y
MaxFailTeam	Nombre dado al equipo máximo de fallas
W_x	Costo energético debido al consumo de potencia del sistema tipo x. (ver ecuación 24)

$$W_x = C_{wh} \cdot P_x \cdot \Delta t$$

Ecuación 24 Ecuación para calcular los costos energéticos.
(Cecilia Cid et al, 2010)

Donde la tabla 39 describe las variables de la ecuación anterior:

Tabla 39 Desglose y explicación de variables VII.
(Cecilia Cid et al, 2010)

C_{wh} Es el precio de Kilowatt/hora

P_x	Es la potencia consumida de X
-------	-------------------------------

2.2.8 Análisis de la literatura

El principal objetivo de este apartado es saber los puntos remarcables encontrados en los estudios internacionales, de los cuales algunos se tomaron en cuenta para la evaluación del CapEx en el capítulo siguiente:

Se puede resaltar que en el Estudio 1 la tecnología transparente robustece la red y además se minimiza el CapEx, de tal forma que se tendrá en consideración el uso de ROADM para la escalabilidad de la red en diseño, una vez que se cuente con la matriz de tráfico.

Así mismo, se utilizará la idea de normalizar precios con base en un componente de CapEx para presentar los costos obtenidos.

Dentro del segundo se toma la idea que el CapEx debe ser dividido en costos por administración de ancho de banda y costos por transmisión de señales, además de que el tráfico asumido corresponde al número de demandas entre nodos.

El capítulo tres, nos propone que una red óptica es un conjunto de nodos conectados por enlaces bidireccionales, y por cada enlace hay un costo asociado a la distancia. Se define al tráfico como las demandas entre los nodos y finalmente también propone que el costo de los nodos es fijo por lo cual hay que buscar bajar el CapEx a través de los enlaces que a su vez se divide en costos por fibra y por transpondedor.

En el cuarto capítulo encontramos igualmente la división de costos por nodo y por enlace, los costos por nodo corresponden a transpondedores ópticos, multiplexores y demultiplexores y amplificadores ópticos, mientras que los de enlace incluyen la fibra y los amplificadores ópticos.

Dentro del quinto estudio cabe resaltar la utilización de la Matriz descriptiva de OpEx para un operador de telecomunicaciones (ver tabla 31) y la serie de pasos para lograr el cálculo de costo total para un escenario realista de red:

1. Colecta de información acerca del equipamiento.
2. Dimensionamiento de la red.
3. Calculo del CapEx total.
4. Calculo del OpEx de instalación.
5. Calculo del OpEx de la red en operación y su mantenimiento
6. Calculo del costo de distribución después de un lapso de tiempo

Del Estudio 6 se rescata la idea que no todos los nodos son homogéneos, por lo cual cada uno debe considerarse individualmente dependiendo de las características especiales que en el lugar se requieran, el proceso de concepción clásico no toma en cuenta más que el problema de dimensionamiento de red para aprovisionar la demanda es por esto que deja fuera otros tipos de problemas como el abasto de energía eléctrica o la orografía local.

Finalmente, en el estudio 7 se observa otra gama de estimadores económicos que son considerados en proyectos de implementación de redes troncales (VPN, REVENUES, entre otros) además de los indicadores de CapEx y OpEx, mostrando la importancia de los estimadores en la concepción general para la aprobación o desestimación de proyectos.

Capítulo 3. Evaluación del modelo económico para el caso de dos redes troncales en México

Para la integración de la literatura consultada, previamente revisada en el segundo capítulo de este trabajo, se toma en consideración la separación del CapEx en costos por administración de ancho de banda (nodos) y costos por transmisión de señales (enlaces), de acuerdo a lo revisado en los estudios 2, 3, 4 y 7 (ver secciones 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.7) principalmente.

Para la evaluación del estimador CapEx se toma como base la ecuación 22 (ver sección 2.2.7) con la diferencia que como no se cuenta con las matrices de tráfico de las redes troncales en estudio (nuevamente por razones de privacidad), se utiliza las tendencias de equipamiento óptico para redes troncales previamente revisadas en el capítulo 1 (revisar sección 1.3.7) por lo cual, se están considerando para el estudio, transpondedores de 100Gbps.

De acuerdo al estudio de mercado realizado los amplificadores se manejan para dos distancias únicamente, hasta 150 km y hasta 230 km. De forma consecuente las tarjetas troncales ópticas son implementadas para estas mismas distancias.

Ahora bien, siguiendo las recomendaciones del estudio 6, cada nodo es planificado individualmente. Debido a la heterogeneidad de estos varían los componentes requeridos.

Para el cálculo del estimador OpEx se relacionan los costos obtenidos en campo con la ecuación 23 exceptuando el número de áreas de cobertura y los costos por personal.

Finalmente, como lo propone el estudio 1 (ver sección 2.2.1) los costos de las evaluaciones son normalizadas con base en el precio más bajo del modelo CapEx en este caso concreto se toma como costo unitario el precio de un kilómetro de fibra óptica con la instalación ya considerada, tomado de una investigación de mercado.

Para lograr una evaluación de los indicadores económicos CapEx y OpEx de las redes troncales, se toman en consideración dos redes troncales del estudio realizado por la CONAPPTEL (Comité Nacional Permanente de Peritos en Telecomunicaciones) llamado Estudios Asociados a la red Nacional de Banda Ancha, presentado en mayo del año 2013.

El estudio aborda el problema de la insuficiencia de estructura de fibra óptica, pues, reflejan la falta de acceso de calidad, lo cual pudiese solucionarse con inversión a dos niveles de jerarquía: acceso y longhaul.

Se presentan varias situaciones internacionales de países que han tenido un desarrollo integral en comunicaciones por fibra óptica y TICS como Australia, Corea del Sur, Ghana, Sudáfrica, Brasil y Perú.

Para la evaluación se toman en cuenta los mapas de extensión de fibra óptica de las dos redes más grandes que presenta el estudio que, para fines prácticos se nombrarán: Red Troncal 1, la correspondiente a la red de Telmex y como Red Troncal 2 la que pertenece a la CFE.

Para la realización del análisis óptico el estudio estará basado en las tendencias de utilización de equipo, concepto que refleja la demanda de las redes, por lo cual tomaremos en cuenta las ciudades con mayor población en México para sugerir las rutas de implementación, las ciudades se encuentran desglosadas en la tabla 40 y posteriormente son ubicadas geográficamente en la imagen 57.

Tabla 40 Ciudades elegidas para la elaboración del estudio óptico con base en su número de habitantes (Elaboración propia, basado en las cifras consultadas de la base de datos de INEGI, 2018)

Ciudades con población > 1,000,000 habitantes

	Ciudad	Población
	Guadalajara	1,495,182
	Monterrey	1,135,512
	León	1,238,962
	Puebla	1,434,062
	CDMX	8,555,500
	Tijuana	1,300,983
	Ciudad Juárez	1,321,004
Ciudades con población > 100,000 habitantes		
	Saltillo	709,671
	Ensenada	279,765
	Tecate	647,764
	<i>Mexicali</i>	689,775
	<i>San Luis Río Colorado</i>	158,089
	<i>La Paz</i>	215,178
	<i>Nogales</i>	212,533
	<i>Chihuahua</i>	809,232
	<i>Cd. Cuauhtémoc</i>	168,482
	<i>Hermosillo</i>	715,061

	<i>Guaymas</i>	113,082
	<i>Cd. Obregón</i>	298,625
	<i>Navojoa</i>	113,836
	<i>Los Mochis</i>	256,613
	<i>Culiacán</i>	675,773
	<i>Mazatlán</i>	381,583
	<i>Parral</i>	104,836
	<i>Gómez Palacio</i>	257,352
	<i>Torreón Fuentes</i>	608,836
	<i>Monclova</i>	215,271
	<i>Piedras Negras</i>	150,178
	<i>Nuevo Laredo</i>	373,725
	<i>Reynosa</i>	589,466
	<i>Zamora</i>	141,627
	<i>Uruapan</i>	264,439
	<i>Morelia</i>	597,511
	<i>Irapuato</i>	380,941
	<i>Celaya</i>	340,387
	<i>San Juan del Río</i>	138,878
	<i>Cuautitlán</i>	108,449
	<i>Pachuca</i>	256,589
	<i>Tulancingo</i>	102,406

	<i>Chalco</i>	168,720
	<i>Cuautla</i>	154,358
	<i>Cuernavaca</i>	338,650
	<i>Toluca</i>	489,333
	<i>Iguala</i>	118,468
	<i>Acapulco</i>	673,479
	<i>Córdoba</i>	140,896
	<i>Oaxaca</i>	255,029
	<i>Tuxtla Gutiérrez</i>	537,102
	<i>Tapachula</i>	202,672
	<i>Villahermosa</i>	353,577
	<i>Campeche</i>	220,389
	<i>Mérida</i>	777,615
	<i>Cancún</i>	628,306
	<i>Playa del Carmen</i>	149,923
	<i>Chetumal</i>	151,243
	<i>Tepic</i>	332,863
	<i>Puerto Vallarta</i>	203,342
	<i>Manzanillo</i>	130,035
	<i>Colima</i>	137,383
	<i>Fresnillo</i>	120,944
	<i>Zacatecas</i>	129,011

	<i>Aguascalientes</i>	722,250
	<i>Matamoros</i>	449,815
	<i>Cd. Victoria</i>	305,155
	<i>Tampico</i>	297,284
	<i>Jalapa</i>	424,755
	<i>Veracruz</i>	428,323
	<i>Coatzacoalcos</i>	235,983
	<i>Cd. Madero</i>	197,216
	<i>Poza rica</i>	185,242
	<i>Ciudad Delicias</i>	118,071



Imagen 57 Mapa de ubicación de las ciudades elegidas para el estudio óptico (Elaboración propia, 2018)

3.1 Red Troncal 1

3.1.1 Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

La red que se analiza pertenece a la preponderante, la red Telmex. Para comenzar se analizarán los enlaces de punto a punto obtenidos del mapa mostrado en la imagen 58:

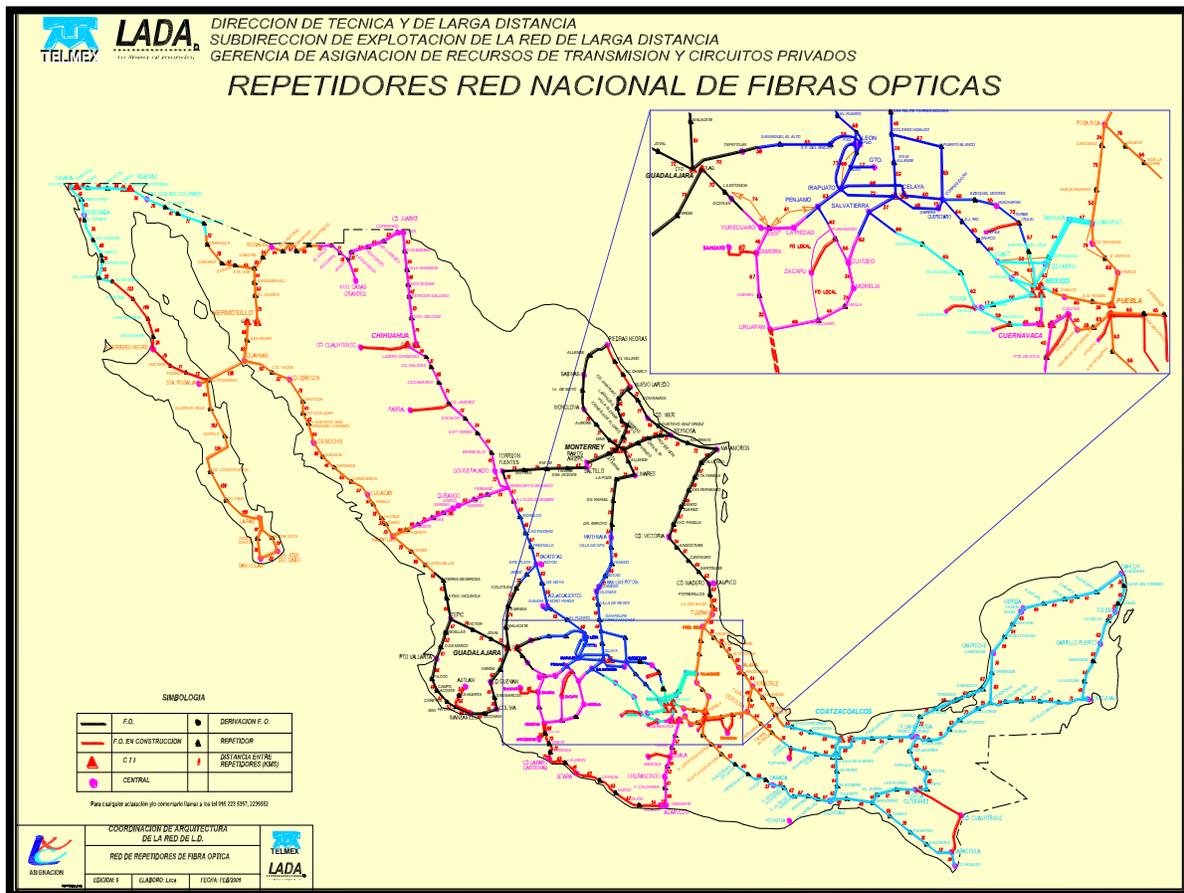


Imagen 58 Mapa del tendido de fibra óptica de Telmex (Conapptel, 2013)

Como propuesta del diseño óptico de la Red Troncal 1 la fibra óptica fue contabilizada dividida por anillos. Dentro de la tabla 41 los enlaces se encuentran especificados con abreviaturas antes del nombre de los sitios si se trata de una central (C.) un repetidor (R.) o una derivación (D.), el número de habitantes hace referencia “únicamente” a la localidad del “Punto B” dentro de la tabla, las ciudades ya contempladas en la Tabla 40 simplemente se designarán como Ciudad de Mayor Población (CMP).

Tabla 41 Anillo A de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 58 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO A		2175 Km		
	Ruta	Km		
	<i>Ruta 1 Tijuana- Tecate</i>	49		
	<i>Ruta 2 Tecate- Mexicali</i>	131		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Tecate	R. Rumorosa	1,836	66
2	R. Rumorosa	CTI. Mexicali	CMP	65
	<i>Ruta 3 Mexicali- San Luis Río Colorado</i>	76		
	<i>Ruta 4 San Luis Río Colorado- Hermosillo</i>	652		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. San Luis Río Colorado	R. La Joyita	3	78
2	R. La Joyita	R. Vidrios	6	67
3	R. Vidrios	R. Sonoyta	12,849	77
4	R. Sonoyta	R. Triángulo	NA	72
5	R. Triángulo	R. Caborca	59,922	78
6	R. Caborca	R. Quihuis	152	42
7	R. Quihuis	R. Santa Ana	11,864	64
8	R. Santa Ana	R. Benjamín Hill	5,071	44
9	R. Benjamín Hill	R. El Charco	2	55
10	R. El Charco	CTI Hermosillo	CMP	75
	<i>Ruta 5 Hermosillo- Guaymas</i>	137		

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Hermosillo	R. San Isidro	7	68
2	R. San Isidro	C. Guaymas	CMP	69
Ruta 6 Guaymas- Ensenada		1016		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Guaymas	C. Santa Rosalía	11,765	178
2	R. El Poseidón	R. Piñuela	NA	73
3	R. Piñuela	R. Vizcano	NA	71
4	R. Vizcano	C. Guerrero Negro	13,054	75
5	C. Guerrero Negro	R. Jesús María	7	25
6	R. Jesus María	R. Planta Prieta	16	88
7	R. Planta Prieta	R. Cata Viña	159	108
8	R. Cata Viña	R. El Rosario	4	123
9	R. El Rosario	R. San Quintin	1	58
10	R. San Quintin	R. Vicente Guerrero	11,455	50
11	R. Vicente Guerrero	R. Camalu	8,621	15
12	R. Camalu	R. San Vicente	4,362	68
13	R. San Vicente	R. El Ciprés	50	76
14	R. El Ciprés	C. Ensenada	CMP	8
Ruta 7 Ensenada- Tijuana		114		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Ensenada	R. Primo Tapia	4,921	65

2	R. Primo Tapia	Tijuana	CMP	49
---	----------------	---------	-----	----

Es necesario aclarar que, por cuestiones prácticas, el resto del estudio del diseño óptico para las rutas de la Red Troncal 1 se puede consultar en el Anexo A de este mismo trabajo.

La suma de los tramos nos arroja 21,534 Km de Fibra óptica contabilizada y dosificada en 17 anillos que interconectan las ciudades indicadas con anterioridad, el kilometraje será tomado en cuenta para la realización de la estimación económica.

3.1.2 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1

Para evaluar los indicadores económicos CapEx y OpEx se utilizarán las recomendaciones sugeridas por los estudios del capítulo dos, por lo cual los costos de CapEx quedarán divididos en dos grandes rubros, el costo por nodo y el costo por enlace, se debe tener en cuenta que cada uno de ellos tiene características diferentes al resto por lo cual el análisis de indicadores debe realizarse individualmente.

Un punto importante a resaltar es que los costos fueron normalizados tomando como costo unitario el precio de un kilómetro de fibra óptica con la instalación ya considerada, tomada de una investigación de mercado, por lo cual se llena la tabla 42 de la siguiente manera:

Tabla 42 Normalización de costos (Elaboración propia, 2018)

Equipamiento Óptico	Acrónimo	Costo
Kilómetro de fibra óptica con instalación	FO	1 / Unitario
Rack outdoor de 19’’	RO19’’	2.5
Tarjeta óptica troncal para 150 Km	TTO150Km	12.5
Tarjeta óptica troncal para 230 Km	TTO230Km	13.5
Transponder óptico de 100 Gbps para 150 Km	T150Km	10
Transponder óptico de 100 Gbps para 230 Km	T230Km	12.5
Amplificador óptico hasta 150 Km	AO150Km	0.75
Amplificador óptico hasta 230 Km	AO230Km	2

Por lo anterior, se presentan los siguientes valores de la estimación de CapEx en la tabla 43 utilizando los valores normalizados de la tabla 42.

Por simplicidad sólo se muestra el Anillo A y sus rutas análogas de la evaluación de CapEx de la Red Troncal 1, los demás anillos y rutas se encuentran agrupados en el anexo B del presente documento.

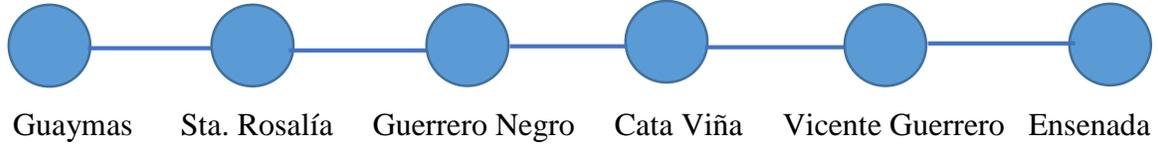
Tabla 43 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1
(Elaboración propia, 2018)

Anillo A (por rutas)		CapEx		
Ruta				
				
Tijuana	Tecate			
	Ruta 1	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5) 5	
		2 T150Km	2(10) 20	
		2 TTO150Km	2(12.5) 25	
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5	
		49 Km de fibra óptica	49 49	
		Total	100.5	
				
Tecate	Mexicali			
	Ruta 2	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5) 5	
		2 T150Km	2(10) 20	
		2 TTO150Km	2(12.5) 25	
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5	
		131 Km de fibra óptica	131 131	
		Total	182.5	
				
Mexicali	San Luis Río Colorado			
	Ruta 3	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5) 5	
		2 T150Km	2(10) 20	
		2 TTO150Km	2(12.5) 25	
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5	
		76 Km de fibra óptica	76 76	
		Total	127.5	
				
San Luis Río Colorado	Sonoyta	Caborca	Santa Ana	Hermosillo
				Ruta 4
		Nodo		
		5 RO19''	5(2.5) 12.5	
		4 T150Km	4(10) 40	
		4 T230Km	4(12.5) 50	
		4 TTO150Km	4(12.5) 50	
		4 TTO230Km	4(13.5) 54	
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75) 3	
		4 AO230Km	4(2) 8	
		652 Km de fibra óptica	652 652	
		Total	869.5	



Ruta 5

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
137 Km de fibra óptica	137	137
Total		188.5



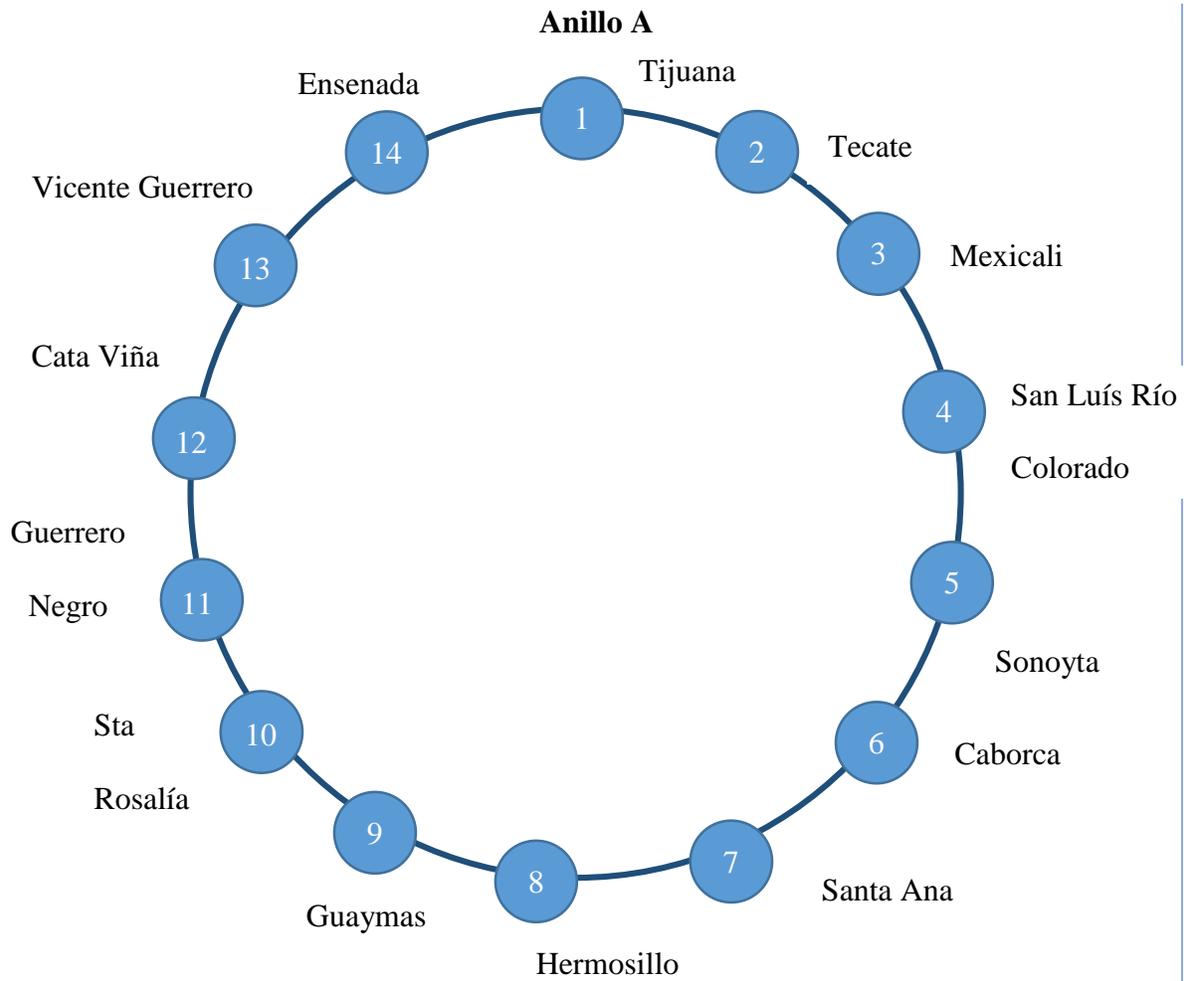
Ruta 6

Nodo		
6 RO19''	6(2.5)	15
8 T230Km	8(12.5)	100
8 TTO230Km	8(13.5)	108
Enlace		
10 AO230Km	10(2)	20
1026 Km de fibra óptica	1026	1026
Total		1269



Ruta 7

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
114 Km de fibra óptica	114	114
Total		165.5



Nodo		
14 RO19''	14(2.5)	35
14 T150Km	14(10)	140
12 T230Km	12(12.5)	150
14 TTO150Km	14(12.5)	175
12 TTO230Km	12(13.5)	162
Enlace		
14 AO150Km	14(0.75)	10.5
14 AO230Km	14(2)	28
2175 Km de fibra óptica	2175	2175
	Total	2875.5
Comparación:	Por Rutas	Por Anillo
	2903 c.u.	2875.5 c.u.

3.1.3 Evaluación de OpEx de la Red Troncal 1

Para poder calcular el estimador económico OpEx se dividirán los gastos en dos rubros, el primero consta en el mantenimiento de nodos y el segundo toma en cuenta los gastos operativos totales del personal.

Se debe hacer mención que normalizando el costo de mantenimiento para el cálculo del OpEx y tomando en cuenta el cambio de peso mexicano a dólar americano del día veintiocho de agosto del año dos mil dieciocho, el costo de mantenimiento por cada nodo constaría de 0.00785 c.u. de acuerdo a los costos obtenidos en campo. De acuerdo a lo anterior se genera la tabla 44:

Tabla 44 Evaluación de OpEx de mantenimiento de la Red Troncal 1
(Elaboración propia, 2018)

<i>Anillo</i>	Número de nodos por rutas	OpEx	Número de nodos por anillo	OpEx
<i>A</i>	21	0.16485 c.u.	14	0.1099 c.u.
<i>B</i>	39	0.30615 c.u.	25	0.19625 c.u.
<i>C</i>	17	0.13345 c.u.	10	0.0785 c.u.
<i>D</i>	21	0.16485 c.u.	15	0.11775 c.u.
<i>E</i>	13	0.10205 c.u.	8	0.0628 c.u.
<i>F</i>	37	0.29045 c.u.	27	0.21195 c.u.
<i>G</i>	28	0.2198 c.u.	18	0.1413 c.u.
<i>H</i>	11	0.08635 c.u.	6	0.0471 c.u.
<i>I</i>	7	0.05495 c.u.	4	0.0314 c.u.

<i>J</i>	11	0.08635 c.u.	7	0.05495 c.u.
<i>K</i>	12	0.0942 c.u.	7	0.05495 c.u.
<i>L</i>	23	0.18055 c.u.	15	0.11775 c.u.
<i>M</i>	23	0.18055 c.u.	13	0.10205 c.u.
<i>N</i>	20	0.157 c.u.	13	0.10205 c.u.
<i>O</i>	17	0.13345 c.u.	13	0.10205 c.u.
<i>P</i>	6	0.0471 c.u.	4	0.0314 c.u.
<i>Q</i>	16	0.1256 c.u.	11	0.08635 c.u.

Para la segunda parte del cálculo del estimador OpEx se deben tomar en cuenta, nuevamente, las ciudades elegidas para el estudio óptico ya que a partir de ellas se formarán los radios de cobertura para la solución de problemas para el MTBF⁸, FIT⁹ y MTTR¹⁰. Los valores que se utilizaron para realizar la estimación son los encontrados en el estudio número 5 en la Tabla 31, tomando como referencia los nominales se genera la tabla 45, siguiente:

Tabla 45 Tabla de valores nominales (Elaboración propia, 2018)

<i>Equipamiento</i>	Equipamiento	MTBF	FIT
		en horas	
<i>WDM</i>	Amplificador óptico bidireccional	2.5E05	4E03
	Mux / Demux bidireccional	1.67E05	6E03
	Tansponder de 10 Gbps	3.5E05	2.86E03

⁸ Mean Time Between Failures: Promedio del tiempo entre fallos

⁹ Failures In Time: Fallas programadas

¹⁰ Mean Time To Repair: Promedio de tiempo para reparación

En el caso del MTTR se utiliza un promedio de 4 horas en todos los equipamientos ya que es lo estipulado para el caso de México.

En el estudio se formarán circunferencias de 300 Km en torno a las ciudades seleccionadas, con el objetivo de planificar un tiempo de respuesta apropiado, tomando en cuenta que se consideran 100 Kilómetros de distancia por cada hora de respuesta, de esta manera se propone una respuesta máxima de 3 horas en caso de fallas en el equipamiento óptico.

Los mapas a continuación muestran la distribución de las áreas de respuesta (ver imágenes 59 a 61).

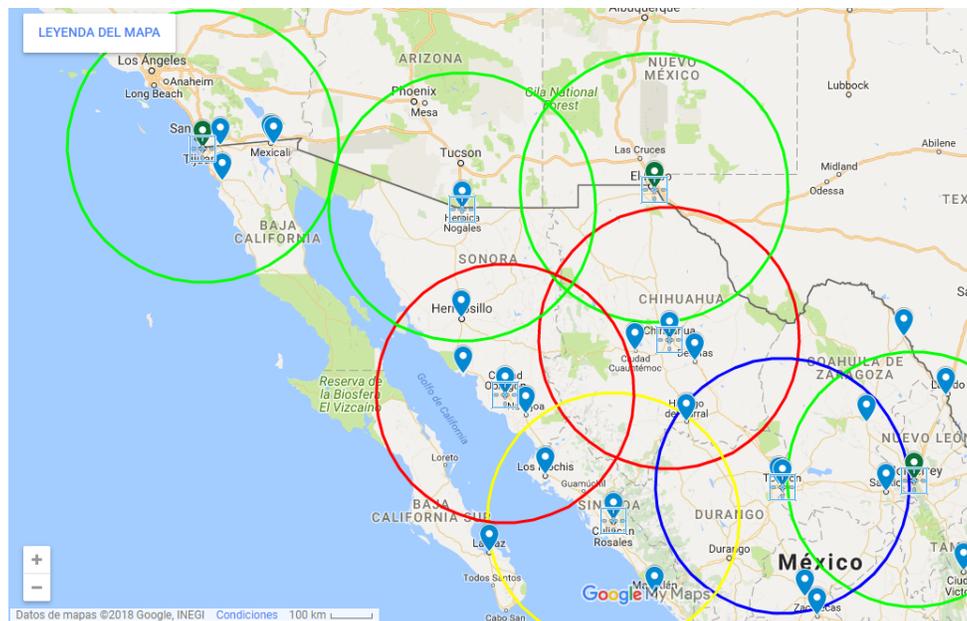


Imagen 59 Áreas de respuesta I (Elaboración propia, 2018)

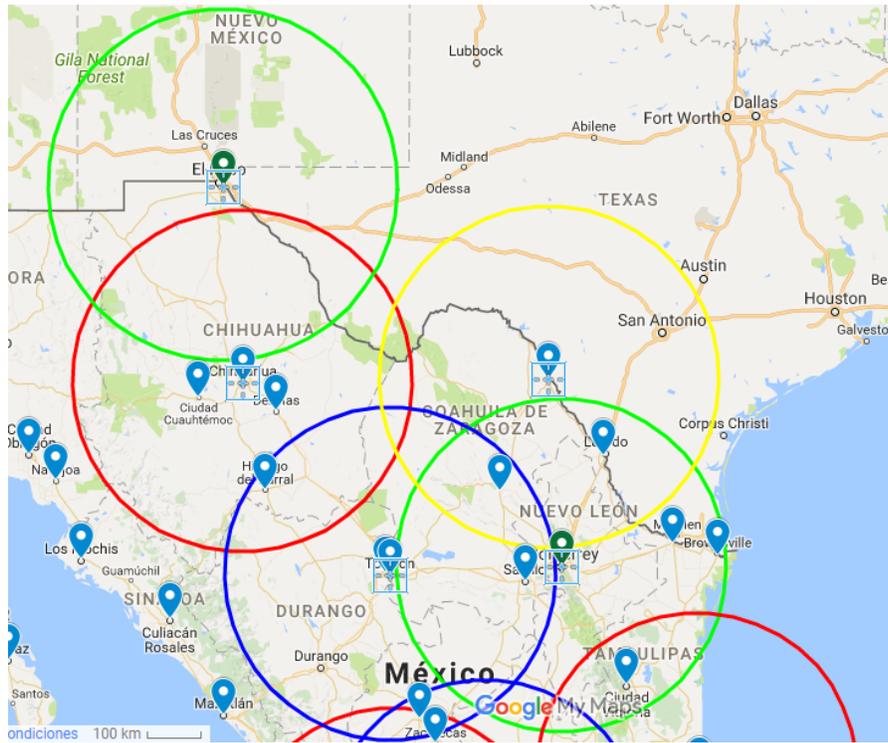


Imagen 60 Áreas de respuesta II (Elaboración propia, 2018)

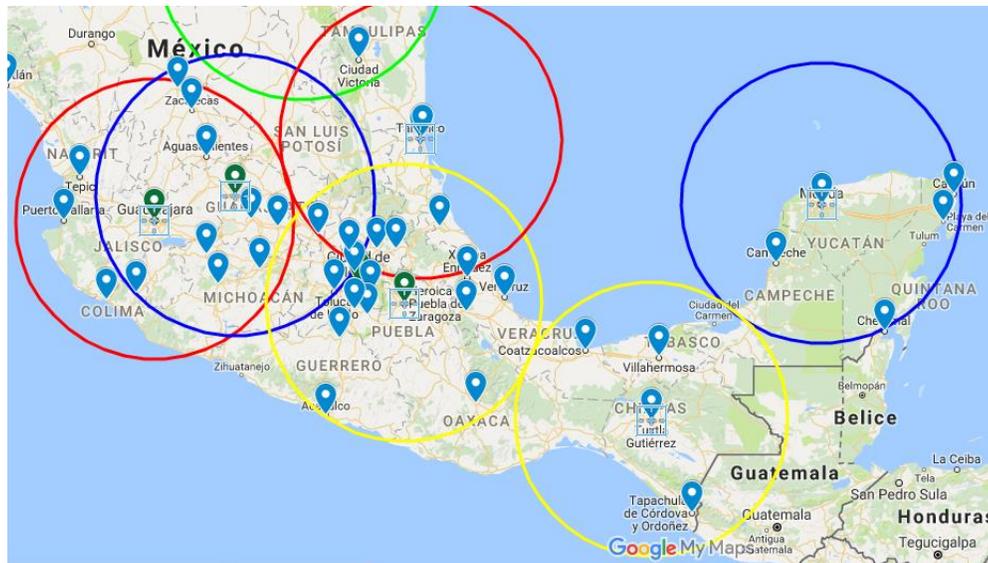


Imagen 61 Áreas de respuesta III (Elaboración propia, 2018)

Se observa que serían 15 áreas las designadas para garantizar el buen funcionamiento de la red, sin embargo, debido a otros factores como la orografía de las ciudades y el tráfico entre ellas, se procedió a realizar una nueva estimación de las áreas que cubren las circunferencias para garantizar las tres horas máximas como tiempo de respuesta.

Finalmente, las ciudades a las que proveerán atención las áreas de coberturas quedaron distribuidas de la siguiente manera (ver imagen 62):

1. Tijuana- Tecate- Ensenada- San Luis Río Colorado- Mexicali

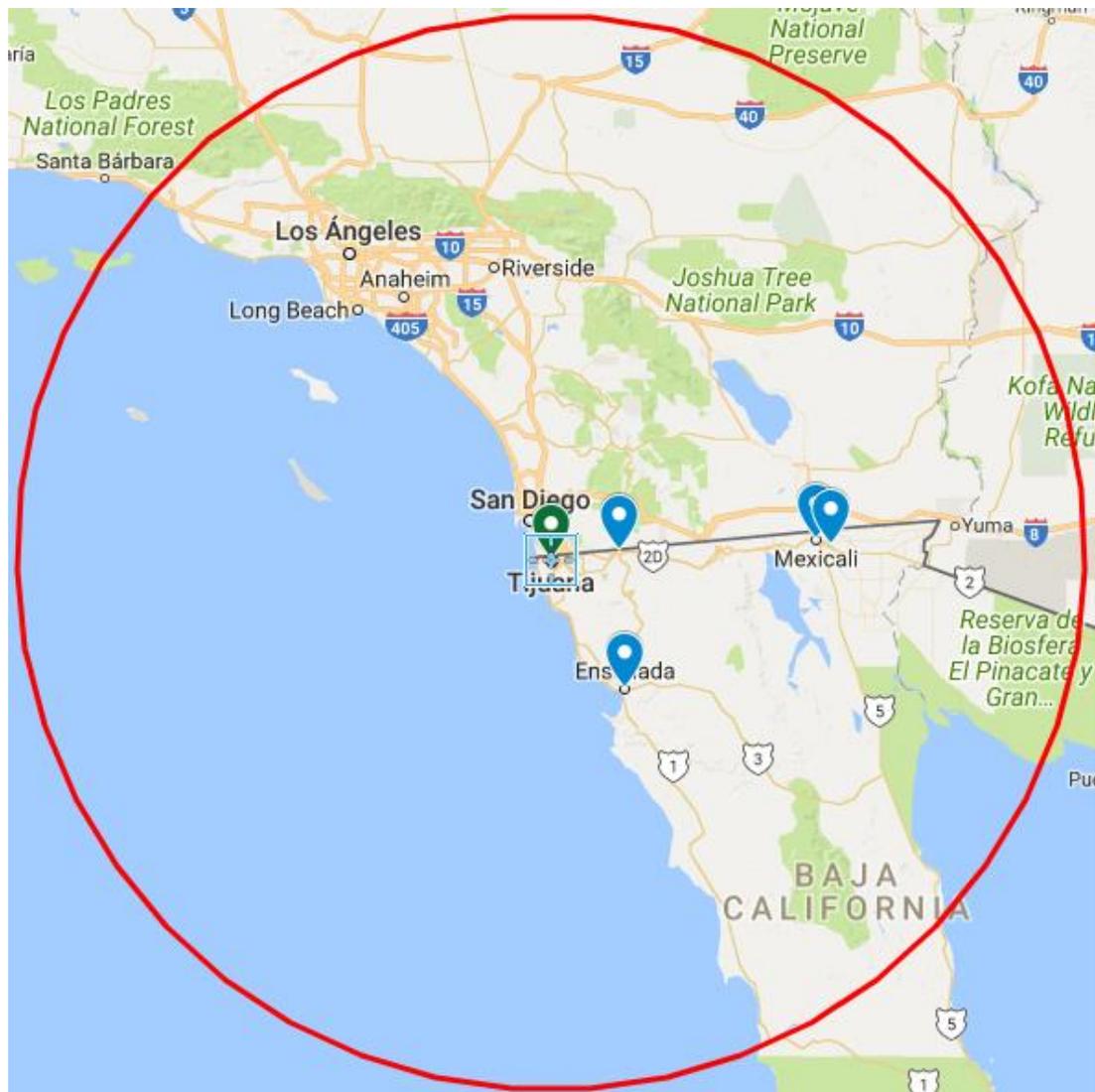


Imagen 62 Área de cobertura 1 (Elaboración propia, 2018)

El resto del estudio que se realizó para delimitar las áreas de cobertura que brindarán atención a las ciudades se encuentra en el Anexo C de este mismo documento.

De acuerdo con lo anterior, contamos con un total de 28 áreas de cobertura, se estima que por cada área se constituye por dos equipos, de cuatro personas cada uno, los cuales serán los responsables del monitoreo de la red, esto con el fin que la red se encuentre protegida durante todo el año, se toma en cuenta 65 horas de trabajo por persona por semana (8 horas de lunes a viernes y 25 horas roladas para realizar guardias tanto en fines de semana como nocturnas), en total se contará con una red de 224 trabajadores, esto significa 8 personas por cada área.

Si normalizamos los costos de OpEx por factor humano nos quedaría de la siguiente manera la estimación. (ver tabla 46)

Tabla 46 Evaluación de OpEx de personal de la Red Troncal 1
(Elaboración propia, 2018)

Costo normalizado por área 0.52415 c.u.

Costo normalizado total por todas las áreas **14.6751 c.u**

El costo obtenido representa el salario y las prestaciones de los 224 trabajadores por mes de trabajo.

3.2 Red Troncal 2

Esta red de transporte pertenece a la red de la CFE (ver imagen 63), la cual se subdivide en ocho regiones: **1. Región Occidental, 2. Región Centro, 3. Región Noroeste, 4. Región Norte, 5. Región Noreste, 6. Región Peninsular, 7. Región Oriental y 8. Región Baja California.**



Imagen 63 Mapa del tendido de fibra óptica de CFE (Conapptel, 2013)

3.2.1 Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 2

Para el estudio óptico se diseñaron los segmentos tomando en cuenta la población, de acuerdo a la lista de las ciudades propuestas al inicio del capítulo. De esta forma se genera la tabla 47, la cual se muestra una parte y el resto del estudio del diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 2 puede ser consultado en el anexo D de este mismo documento:

Tabla 47 Estudio óptico de la Red Troncal 2
(Elaboración propia, basado en la Imagen 61 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

<i>Ruta</i>		Km		
<i>Ruta 1 San Luis Río Colorado- Mexicali</i>		72		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	San Luis Río Colorado (RIC)	Ruiz Cortinez (RZC)	154	11
2	Ruiz Cortinez (RZC)	Mexicali II (MXI)	CMP	61
<i>Ruta 2 Mexicali- Tecate</i>		120		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Mexicali II (MXL)	Rosita (ROA)	32	26
2	Rosita (ROA)	Rumorosa (RUM)	1836	26
3	Rumorosa (RUM)	SECTOR TECATE	CMP	68
<i>Ruta 3 Tecate- Tijuana</i>		64		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	SECTOR TECATE	Herradura (HRA)	10	18
2	Herradura (HRA)	Toyota (TOY)	NA	9
3	Toyota (TOY)	Metrópolis (MTR)	NA	28
4	Metrópolis Potencia (MEP)	Tijuana I (TU)	CMP	9
<i>Ruta 4 Nogales- Hermosillo</i>		303		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	HERMOSILLO IV	Hermosillo V (HLI)	CMP	19
2	Hermosillo V (HLI)	Hermosillo III (HLT)	CMP	19

3	Hermosillo III (HLT)	Santa Ana (STA)	11,864	165
4	Santa Ana (STA)	Nogales Aeropuerto (NGA)	CMP	100
Ruta 5 Nogales- Ciudad Juárez		787		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Santa Ana (STA)	Cananea (SCN)	31,560	107
2	CANANEA	NACOSARI	11,489	103
3	Nacozan (NRI)	Nuevo Casas Grandes (NCG)	55,553	225
4	Nuevo Casas Grandes (NCG)	Moctezuma (MCZ)	154	165
5	Moctezuma (MCZ)	Samalayuca (SYC)	1,474	128
6	Samalayuca (SYC)	Valle de Juarez (VJZ)	CMP	59
Ruta 6 Ciudad Juárez- Chihuahua		241		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Moctezuma (MCZ)	El Encino (ENO)	39	205
2	El Encino (ENO)	Chihuahua	CMP	36
Ruta 7 Chihuahua- Ciudad Cuauhtémoc		120		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	El Encino (ENO)	Cuauhtemoc II (CHD)	CMP	120
Ruta 8 Guaymas- Hermosillo		150		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Guaymas II (PGD)	HERMOSILLO IV	CMP	150
Ruta 9 Guaymas- Ciudad Obregón		140		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

1	Obregon IV (COC)	Guaymas II (PGD)	CMP	140
Ruta 10 Ciudad Obregón- Navojoa		80		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	PUEBLO NUEVO	OBREGON IV	CMP	80
Ruta 11 Navojoa- Los Mochis		214		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Pueblo Nuevo (PNO)	Lousiana (LOU)	855	38
2	Lousiana (LOU)	Los Mochis Industrial (LMI)	CMP	176
Ruta 12 Los Mochis- Culiacán		324		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Lousiana (LOU)	Guamuchil II (GMD)	566	165
2	Guamuchil II (GMD)	Higuera (HGA)	1,648	139
3	HIGUERA	CULIACAN POT	CMP	20
Ruta 13 Culiacán- Mazatlán		230		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Mazatlan Dos (MZD)	Culiacan Potencia (SCP)	CMP	230
Ruta 14 Mazatlán- Tepic		225		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Tepic I (TPD)	Mazatlan Dos (MZD)	CMP	225
Ruta 15 Tepic- Puerto Vallarta		106		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Tepic I (TPD)	Vallarla Potencia (VTP)	CMP	106

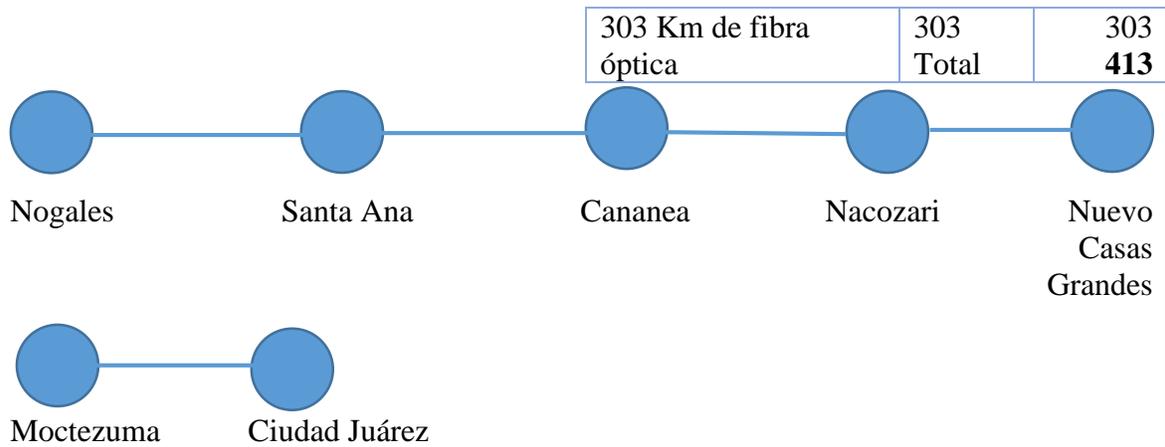
Ruta 16 Chihuahua- Parral		270		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Avalos (AVL)	Francisco Villa (FVL)	CMP	80
2	Francisco Villa (FVL)	Camargo Dos (CGD)	40,221	71
3	Camargo Dos (CGD)	Santiago Dos (SGD)	709	119
Ruta 17 Parral- Gómez Palacio		77		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Parral	Gómez Palacio (GPL)	CMP	77
Ruta 18 Gómez Palacio- Torreón		43		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Gómez Palacio (GPL)	Andalucía (AND)	NA	26
2	Andalucía (AND)	Torreón Sur (TOS)	CMP	17
Ruta 19 Torreón- Mazatlán		438		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Torreón Sur (TOS)	Jerónimo Ortiz (JOM)	NA	218
2	Jerónimo Ortiz (JOM)	Mazatlan Dos (MZD)	CMP	220
Ruta 20 Torreón- Saltillo		230		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Saltillo (SAL)	Salero (SEO)	NA	120
2	Salero (SEO)	Primero de Mayo (PMY)	1,613	80
3	Primero de Mayo (PMY)	Torreón Sur (TRS)	CMP	30

3.2.2 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2

Los costos del proyecto fueron normalizados tomando como costo unitario el precio de un kilómetro de fibra óptica con la instalación ya considerada, por lo cual para la elaboración de los datos contenidos en la tabla 48 se utilizarán los mismos valores expresados en la Tabla 42.

Tabla 48 Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2
(Elaboración propia, 2018)

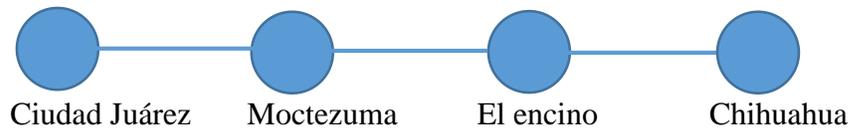
Ruta		CapEx	
 San Luis Río Colorado — Mexicali	Ruta 1	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T150Km	2(10) 20
		2 TTO150Km	2(12.5) 25
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		72 Km de fibra óptica	72 72
		Total	123.5
 Mexicali — Tecate	Ruta 2	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T150Km	2(10) 20
		2 TTO150Km	2(12.5) 25
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		120 Km de fibra óptica	120 120
		Total	171.5
 Tecate — Tijuana	Ruta 3	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T150Km	2(10) 20
		2 TTO150Km	2(12.5) 25
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		64 Km de fibra óptica	64 64
		Total	115.5
 Hermosillo — Santa Ana — Nogales	Ruta 4	Nodo	
		3 RO19''	3(2.5) 7.5
		2 T150Km	2(10) 20
		2 T230Km	2(12.5) 25
		2 TTO150Km	2(12.5) 25
		2 TTO230Km	2(13.5) 27
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		2 AO230Km	2(2) 4



303 Km de fibra óptica	303 Total	303 413
------------------------	-----------	----------------

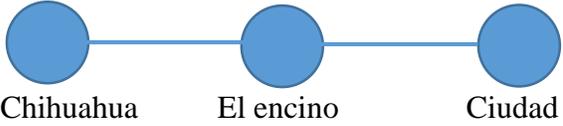
Ruta 5

Nodo		
7 RO19''	7(2.5)	17.5
6 T150Km	6(10)	60
4 T230Km	4(12.5)	50
6 TTO150Km	6(12.5)	75
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
6 AO150Km	6(0.75)	4.5
6 AO230Km	6(2)	12
887 Km de fibra óptica	887	887
	Total	1160

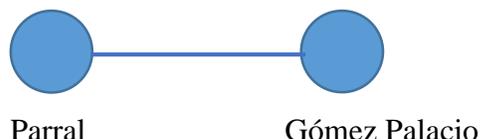
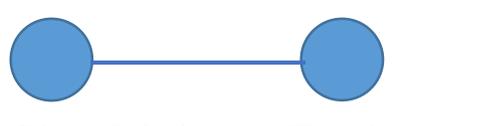
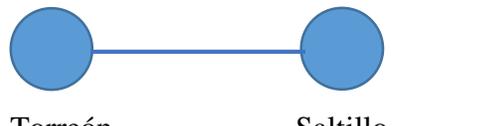


Ruta 6

Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
1 T150Km	1(10)	10
1 T230Km	1(12.5)	12.5
1 TTO150Km	1(12.5)	12.5
1 TTO230Km	1(13.5)	13.5
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
4 AO230Km	4(2)	8
428 Km de fibra óptica	428	428
	Total	496

 <p>Chihuahua El encino Ciudad Cuauhtémoc</p>	Ruta 7	Nodo 3 RO19'' 4 T150Km 4 TTO150Km	3(2.5) 4(10) 4(12.5)	7.5 40 50
		Enlace 4 AO150Km 156 Km de fibra óptica	4(0.75) 156 Total	3 156 256.5
 <p>Guaymas Hermosillo</p>	Ruta 8	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km	2(2.5) 2(10) 2(12.5)	5 20 25
		Enlace 2 AO150Km 150 Km de fibra óptica	2(0.75) 150 Total	1.5 150 201.5
 <p>Guaymas Ciudad Obregón</p>	Ruta 9	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km	2(2.5) 2(10) 2(12.5)	5 20 25
		Enlace 2 AO150Km 140 Km de fibra óptica	2(0.75) 140 Total	1.5 140 191.5
 <p>Ciudad Obregón Navojoa</p>	Ruta 10	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km	2(2.5) 2(10) 2(12.5)	5 20 25
		Enlace 2 AO150Km 80 Km de fibra óptica	2(0.75) 80 Total	1.5 80 131.5
 <p>Navojoa Los Mochis</p>	Ruta 11	Nodo 2 RO19'' 2 T230Km 2 TTO230Km	2(2.5) 2(12.5) 2(13.5)	5 25 27
		Enlace 2 AO230Km 214 Km de fibra óptica	2(2) 214 Total	4 214 275
 <p>Los Mochis Louisiana Guamuchil Culiacán</p>				

		Ruta 12	
	Ruta 12	Nodo	
		4 RO19''	4(2.5) 10
		4 T230Km	4(12.5) 50
		4 TTO230Km	4(13.5) 54
		Enlace	
		6 AO230Km	6(2) 12
		500 Km de fibra óptica	500 500
		Total	626
	Ruta 13	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T230Km	2(12.5) 25
		2 TTO230Km	2(13.5) 27
		Enlace	
		2 AO230Km	2(2) 4
		230 Km de fibra óptica	230 230
		Total	291
	Ruta 14	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T230Km	2(12.5) 25
		2 TTO230Km	2(13.5) 27
		Enlace	
		2 AO230Km	2(2) 4
		225 Km de fibra óptica	225 225
		Total	286
	Ruta 15	Nodo	
		2 RO19''	2(2.5) 5
		2 T150Km	2(10) 20
		2TTO150Km	2(12.5) 25
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		106 Km de fibra óptica	106 106
		Total	157.5
	Ruta 16	Nodo	
		3 RO19''	3(2.5) 7.5
		2 T150Km	2(10) 20
		2 T230Km	2(12.5) 25
		2 TTO150Km	2(12.5) 25
		2 TTO230Km	2(13.5) 27
		Enlace	
		2 AO150Km	2(0.75) 1.5
		2 AO230Km	2(2) 4
		270 Km de fibra óptica	270 270
		Total	380

 <p>Parral Gómez Palacio</p>	Ruta 17	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km Enlace 2 AO150Km 77 Km de fibra óptica Total	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 77 128.5	5 20 25 1.5 77 128.5
 <p>Gómez Palacio Torreón</p>		Ruta 18	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km Enlace 2 AO150Km 43 Km de fibra óptica Total	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 43 94.5
 <p>Torreón Jerónimo Ortíz Mazatlán</p>	Ruta 19		Nodo 3 RO19'' 4 T230Km 4 TTO230Km Enlace 4 AO230Km 438 Km de fibra óptica Total	3(2.5) 4(12.5) 4(13.5) 4(2) 438 505.5
 <p>Torreón Saltillo</p>		Ruta 20	Nodo 2 RO19'' 2 T230Km 2 TTO230Km Enlace 2 AO230Km 230 Km de fibra óptica Total	2(2.5) 2(12.5) 2(13.5) 2(2) 230 291
CapEx Total			19,815 c.u.	

Cabe mencionar que el resto del estudio de la evaluación del CapEx para la Red Troncal 2 puede ser consultado en el anexo E de este mismo documento.

3.2.3 Evaluación de OpEx de la Red Troncal 2

Para poder calcular el estimador económico OpEx se dividen los gastos en dos rubros, el primero consta en el mantenimiento de nodos y el segundo toma en cuenta los gastos operativos totales del personal.

Nuevamente, el costo de mantenimiento para el cálculo del OpEx se normaliza tomando en cuenta el cambio de peso mexicano a dólar americano del día veintiocho de agosto del año dos mil dieciocho, por lo cual, cada nodo constaría de 0.00785 c.u. de acuerdo a los costos obtenidos en campo. (ver tabla 49)

Tabla 49 Evaluación de OpEx de mantenimiento de la Red Troncal 2
(Elaboración propia, 2018)

Número de nodos en la red	OpEx por nodo	OpEx Total de mantenimiento
186	0.00785 c.u.	1.4601 c.u.

La estimación de OpEx de personal se mantendría constante respecto al análisis realizado en la Red Troncal 1, debido a que se trabajan las mismas ciudades de alta población las circunferencias que delimitan las áreas de mantenimiento permanecen iguales.

Por consiguiente, el cálculo del OpEx total para las áreas de cobertura para mantenimiento queda expresado en la tabla 50:

Tabla 50 Evaluación de OpEx de personal de la Red Troncal 2
(Elaboración propia, 2018)

Costo normalizado por área	0.52415 c.u.
Costo normalizado total por todas las áreas	14.6751 c.u

El costo obtenido representa el salario y las prestaciones de los 224 trabajadores por mes de trabajo.

Por último, se presentan ilustrativamente dos fichas técnicas de los enlaces ópticos realizados en el estudio que son correspondientes a las distancias utilizadas 150 km (ver imágenes 64 a 67) y 230 km (ver imágenes 68 a 71).



Ficha técnica de enlace óptico hasta 150 km



1. Mapeo de infraestructura considerada en el diseño del enlace óptico

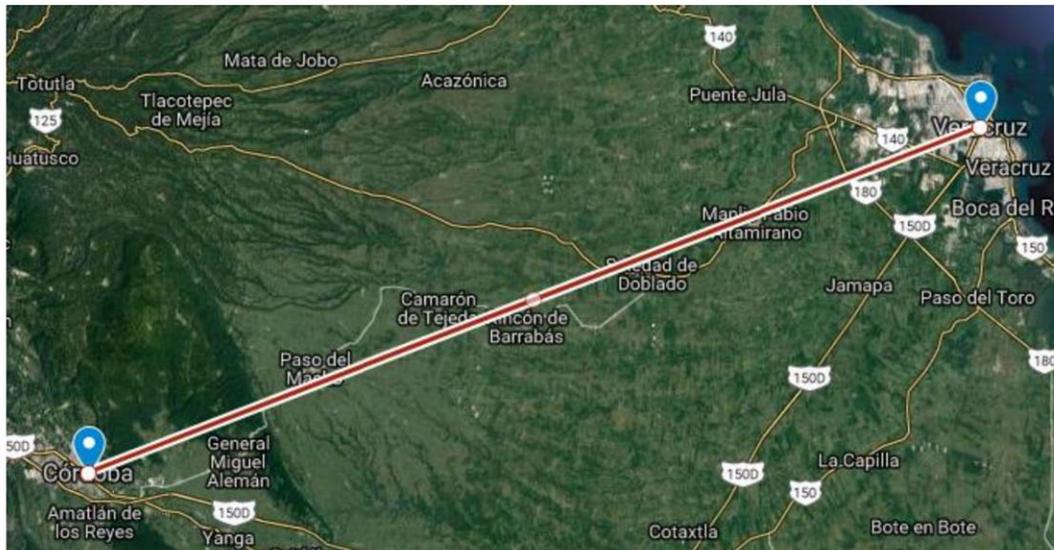


Figura 1. Localización geográfica de Puntos de Agregación y mapeo de infraestructura utilizada.

Fuente: Elaboración propia (2018)

PUNTA A Hotel Córdoba

Longitud	Latitud
-96.92377	18.88389

PUNTA B Hotel Veracruz

Longitud	Latitud
-96.13422	19.17377

Imagen 64 Ficha técnica de enlace óptico 150 km
(Mapeo de infraestructura)
(Elaboración propia, 2018)

2. Ingeniería de enlace óptico

Diseño del enlace óptico

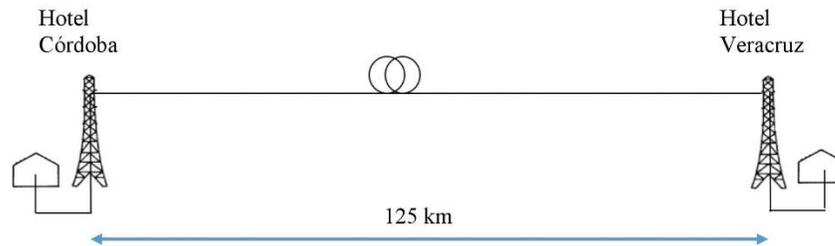


Figura 2. Diagrama del enlace óptico
Fuente: Elaboración propia (2018)

Cálculo de parámetros técnicos

Se considera un enlace de hasta 150 kilómetros de Córdoba hasta Veracruz

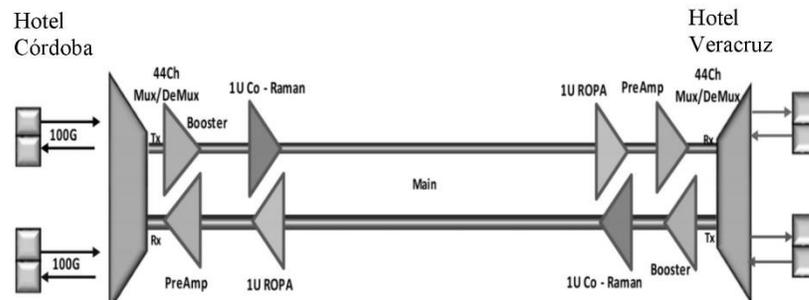


Figura 3. Equipamiento óptico
Fuente: Elaboración propia (2018)

*Imagen 65 Ficha técnica de enlace óptico 150 km
(Diseño del enlace óptico y equipamiento óptico)
(Elaboración propia, 2018)*

Tabla 1. Parámetros del equipamiento óptico de enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Optics Characteristics	Units	Max Specs
CFP2-ACO Tx Power	dB	0
4ch MUX / DEMUX IL	dB	2
8ch MUX / DEMUX IL	dB	2.5
16ch MUX / DEMUX IL	dB	3
44ch MUX / DEMUX IL	dB	3.5
4ch OADM IL	dB	3
EDFA PreAmp gain	dB	20
EDFA Booster gain	dB	9.5
Counter-Propagating Raman Amp Gain	dB	14.5
Co-Propagating Raman Amp Gain	dB	1
ROPA Unit gain	dB	1.5
Optical Switch Splitter IL	dB	3.6



Figura 4. Presupuesto de potencia óptica del enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 2. Calculo del OSNR del enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Span Name - Single Spans	Amplifiers Used	Power/Ch Entering Next Span (dB)	OSNR going into next span (dB)
Hotel Córdoba- Hotel Veracruz	PreAmp + ROPA + Co + Booster	-14.5	18.0
Hotel Veracruz- Hotel Córdoba	PreAmp + ROPA + Co + Booster	-14.5	18.0

Imagen 66 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (Parámetros del equipamiento óptico, presupuesto de potencia y cálculo de OSNR de enlace) (Elaboración propia, 2018)

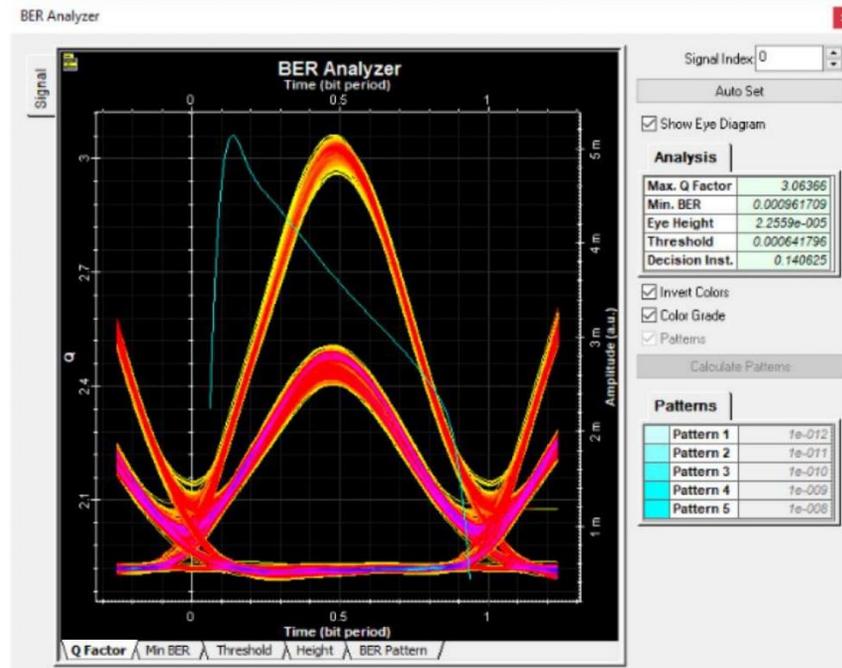


Figura 5. Factor Q y BER, Bit rate= 100 Gbps del enlace.
Fuente: Elaboración propia (2018)

Imagen 67 Ficha técnica de enlace óptico 150 km (factor Q y BER)
(Elaboración propia, 2018)



Ficha técnica de enlace óptico hasta 230 km



1. Mapeo de infraestructura considerada en el diseño del enlace óptico

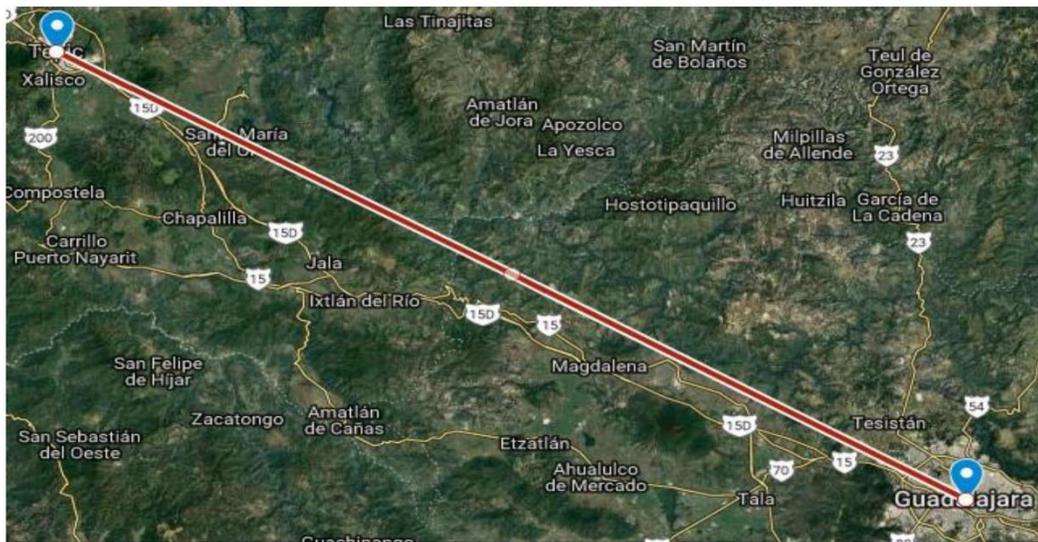


Figura 1. Localización geográfica de Puntos de Agregación y mapeo de infraestructura utilizada.
Fuente: Elaboración propia (2018)

PUNTA A Hotel Guadalajara

Longitud	Latitud
-103.3496	20.65969

PUNTA B Hotel Tepic

Longitud	Latitud
-104.89458	21.50416

Imagen 68 Ficha técnica de enlace óptico 230 km
(Mapeo de infraestructura)
(Elaboración propia, 2018)

2. Ingeniería de enlace óptico

Diseño del enlace óptico

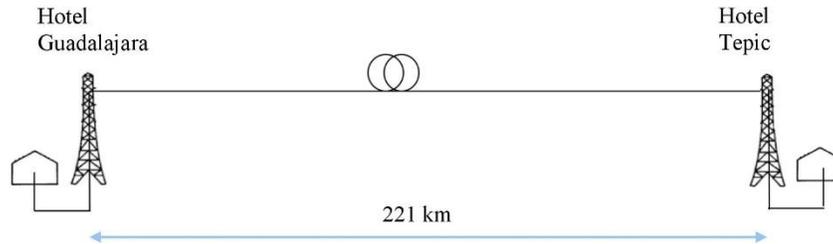


Figura 2. Diagrama del enlace óptico
Fuente: Elaboración propia (2018)

Cálculo de parámetros técnicos

Se considera un enlace de hasta 230 kilómetros de Monterrey hasta Reynosa

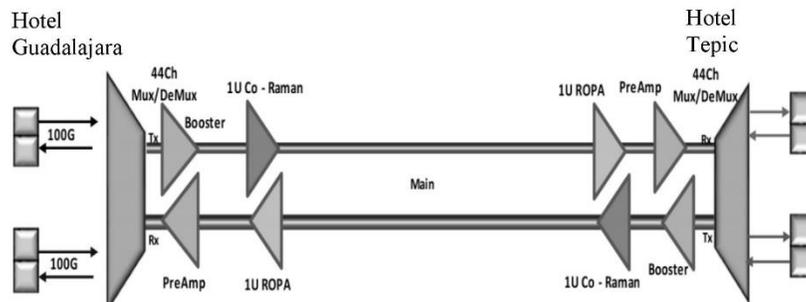


Figura 3. Equipamiento óptico
Fuente: Elaboración propia (2018)

Imagen 69 Ficha técnica de enlace óptico 230 km
(Diseño del enlace óptico y equipamiento óptico)
(Elaboración propia, 2018)

Tabla 1. Parámetros del equipamiento óptico de enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Optics Characteristics	Units	Max Specs
CFP2-ACO Tx Power	dB	0
4ch MUX / DEMUX IL	dB	2
8ch MUX / DEMUX IL	dB	2.5
16ch MUX / DEMUX IL	dB	3
44ch MUX / DEMUX IL	dB	3.5
4ch OADM IL	dB	3
EDFA PreAmp gain	dB	15
EDFA Booster gain	dB	9.5
Counter-Propagating Raman Amp Gain	dB	14.5
Co-Propagating Raman Amp Gain	dB	9
ROPA Unit gain	dB	22
Optical Switch Splitter IL	dB	3.6

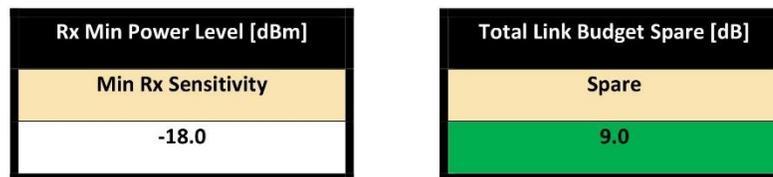


Figura 4. Presupuesto de potencia óptica del enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 2. Cálculo del OSNR del enlace

Fuente: Elaboración propia (2018)

Span Name - Single Spans	Amplifiers Used	Power/Ch Entering Next Span (dB)	OSNR going into next span (dB)
Hotel Guadalajara- Hotel Tepic	PreAmp + ROPA + Co + Booster	-15.0	13.0
Hotel Tepic- Hotel Guadalajara	PreAmp + ROPA + Co + Booster	-15.0	13.0

Imagen 70 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (Parámetros del equipamiento óptico, presupuesto de potencia y cálculo de OSNR de enlace) (Elaboración propia, 2018)

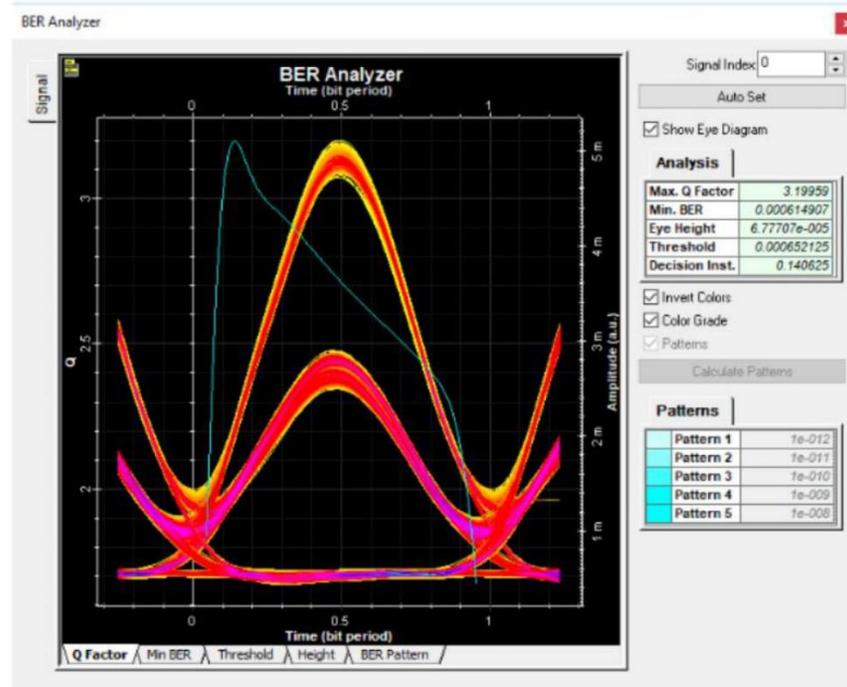


Figura 5. Factor Q y BER, Bit rate= 100 Gbps del enlace.

Fuente: Elaboración propia (2018)

Imagen 71 Ficha técnica de enlace óptico 230 km (factor Q y BER)
(Elaboración propia, 2018)

Cabe mencionar que las características técnicas del equipamiento óptico se encuentran en el Anexo F del presente documento.

Capítulo 4 Análisis de resultados

4.1 Análisis de resultados de la Red Troncal 1

El estudio se realizó de tal forma que se pueda comparar el despliegue si se realiza por rutas o por anillos, ya que estos son el resultado del estudio óptico realizado previamente basado en la conectividad de ciudades de mayor número de habitantes. Para la ubicación de los nodos se tomó en cuenta nuevamente este factor poblacional, ya que se consideró un equipamiento para subir tráfico en las localidades con un número de habitantes mayor a mil personas, en caso contrario simplemente el nodo estará habilitado con equipamiento óptico de amplificación.

Cabe resaltar que los puntos anteriores son considerados solamente para este estudio en particular, pudiesen considerarse otros criterios para la selección de las ciudades, las rutas, la formación de anillos y/o se pudiese considerar también un mayor o menor número de habitantes para equipar o no los nodos ópticos con equipamiento óptico capaz de subir tráfico o considerarlos simplemente con equipo de amplificación.

Tomando en cuenta que la implementación de la red implica 92 rutas físicas y 114 rutas lógicas, las cuales conforman 17 anillos, la comparación total de la estimación de CapEx queda expresada en la tabla 51:

Tabla 51 Comparativa de CapEx entre rutas y anillos de la Red Troncal 1
(Elaboración propia, 2018)

<i>CapEx</i>	Por Rutas	Por Anillos	Diferencia	%
<i>Anillo A</i>	2903 c.u.	2875.5 c.u.	27.5 c.u.	0.9472959
<i>Anillo B</i>	4440 c.u.	4349 c.u.	91 c.u.	2.04954955
<i>Anillo C</i>	2002.5 c.u.	1961.75 c.u.	40.75 c.u.	2.0349563
<i>Anillo D</i>	2593.5 c.u.	2576.5 c.u.	17 c.u.	0.65548487

<i>Anillo E</i>	1451.5 c.u.	1439 c.u.	12.5 c.u.	0.86117809
<i>Anillo F</i>	4189.5 c.u.	4157 c.u.	32.5 c.u.	0.7757489
<i>Anillo G</i>	2860 c.u.	2835 c.u.	25 c.u.	0.87412587
<i>Anillo H</i>	1013.5 c.u.	1001 c.u.	12.5 c.u.	1.23334978
<i>Anillo I</i>	709.5 c.u.	702 c.u.	7.5 c.u.	1.05708245
<i>Anillo J</i>	1147.5 c.u.	1140 c.u.	7.5 c.u.	0.65359477
<i>Anillo K</i>	1128.5 c.u.	1116 c.u.	12.5 c.u.	1.10766504
<i>Anillo L</i>	2615.5 c.u.	2595.5 c.u.	20 c.u.	0.76467215
<i>Anillo M</i>	2201 c.u.	2120 c.u.	81 c.u.	3.68014539
<i>Anillo N</i>	2645 c.u.	2627.5 c.u.	17.5 c.u.	0.66162571
<i>Anillo O</i>	2483 c.u.	2401 c.u.	82 c.u.	3.30245671
<i>Anillo P</i>	1084 c.u.	1079 c.u.	5 c.u.	0.46125461
<i>Anillo Q</i>	1799 c.u.	1791.5 c.u.	7.5 c.u.	0.41689828
CapEx Total	37266.5 c.u.	36767.25 c.u.	499.25 c.u.	1.3396

Debido a que la diferencia entre las estimaciones varía entre el 0.4% y el 3.6% se pudiese decir que el contraste es bastante pequeño y sería deseable proponer el modelo de rutas ya que de esta manera se supone como peor escenario económico obtenible, comparado con él todos los demás podrían considerarse ganancias.

Finalmente, la estimación total de OpEx en este caso específico se expresa de la manera consecuente. (ver tabla 52)

Tabla 52 Comparativa de OpEx entre rutas y anillos de la Red Troncal 1 (Elaboración propia, 2018)

	OpEx por rutas	OpEx por anillos	Diferencia	%
OpEx por mantenimiento	2.5277 c.u.	1.6485 c.u.	0.8792 c.u.	34.78
OpEx por personal	14.6751 c.u	14.6751 c.u	0 c.u.	0
OpEx total por mes	17.2028 c.u.	16.3236 c.u.	0.8792	5.1107

De esta manera se pudiesen estimar los gastos de capital y operación como se observa en la tabla 53:

Tabla 53 Comparativa de indicadores entre rutas y anillos de la Red Troncal 1 (Elaboración propia, 2018)

	CapEx Total	OpEx Total por año	Gastos CapEx y OpEx
<i>Por Rutas</i>	37,266.5 c.u.	206.4336 c.u.	37,472.9336 c.u.
<i>Por Anillos</i>	36,767.25 c.u.	195.8832 c.u.	36,963.1332 c.u.

4.2 Análisis de resultados de la Red Troncal 2

En el caso específico de la red troncal dos, sólo se realizó el análisis por rutas, debido a que el despliegue de la fibra óptica de acuerdo a la topología obtenida exige realizarlo de dicha forma.

Por lo cual se presentan los datos de CapEx obtenidos de las 72 rutas físicas como lógicas sobre las que se realizó el estudio:

CapEx total de las 72 rutas **19,815 c.u.**

Por otra parte, el OpEx quedaría expresado conforme a la tabla 54:

Tabla 54 OpEx de la Red Troncal 2 (Elaboración propia, 2018)

<i>OpEx por mantenimiento</i>	1.4601 c.u.
<i>OpEx por personal</i>	14.6751 c.u
OpEx total	16.1352

Con los valores obtenidos se genera la tabla 55 con los gastos totales de capital y operación:

Tabla 55 Indicadores económicos de la Red Troncal 2 (Elaboración propia, 2018)

	CapEx Total	OpEx Total por	Gastos CapEx y
		año	OpEx
<i>Red Troncal 2</i>	19,815 c.u.	193.6224 c.u.	20,008.6224 c.u.

Por último, se hará una comparación entre las dos redes (ver tabla 56), para comenzar se hace mención al número total de nodos de la Red Troncal 2 que corresponde al 57.7% de los nodos totales contabilizados por rutas de la Red Troncal 1.

Tabla 56 Comparación entre indicadores económicos de la Red Troncal 1 y la Red Troncal 2

(Elaboración propia, 2018)

	Red Troncal 1	Red Troncal 2	Diferencia	%
<i>CapEx</i>	37,266.5 c.u.	19,815 c.u.	17451.5 c.u.	46.8289
<i>OpEx total</i>	206.4336 c.u.	193.6224 c.u.	12.8112 c.u.	6.2
<i>por un año</i>				
<i>Gastos de</i>	37,472.9336 c.u.	20,008.6224 c.u.	17464.3112 c.u.	46.6051
<i>CapEx y</i>				
<i>OpEx</i>				

Conclusiones Generales

La estimación de los factores económicos CapEx y OpEx ayudan a tener una buena planeación de proyectos ya que nos dan un panorama de las inversiones que se deben realizar para lograr tener éxito, como se observó en el estudio 7 (ver apartado 2.2.7) es esencial considerarlos para la óptima planificación de los proyectos, no sólo en lo referente a telecomunicaciones, más bien, en cualquier ámbito donde se requieran proyectos; en este caso específico el de dos redes troncales ópticas en México.

Lo que se pudo observar en los resultados de la tesis es que el OpEx no siempre tiene relación con el CapEx directamente, es decir que caeríamos en un error si se tomara el OpEx como el 5%, 10% e inclusive 15% de los gastos previstos de CapEx, ya que varía bastante de acuerdo al tipo de proyecto sobre el cual se está realizando la estimación, es decir, en algunos casos podría coincidir, ser mayor o, como lo es en el caso de las redes troncales en estudio, resultar mucho menor al estimador económico de CapEx.

Teniendo en cuenta lo anterior la representación gráfica del proyecto tendría la siguiente representación (ver imagen 72).

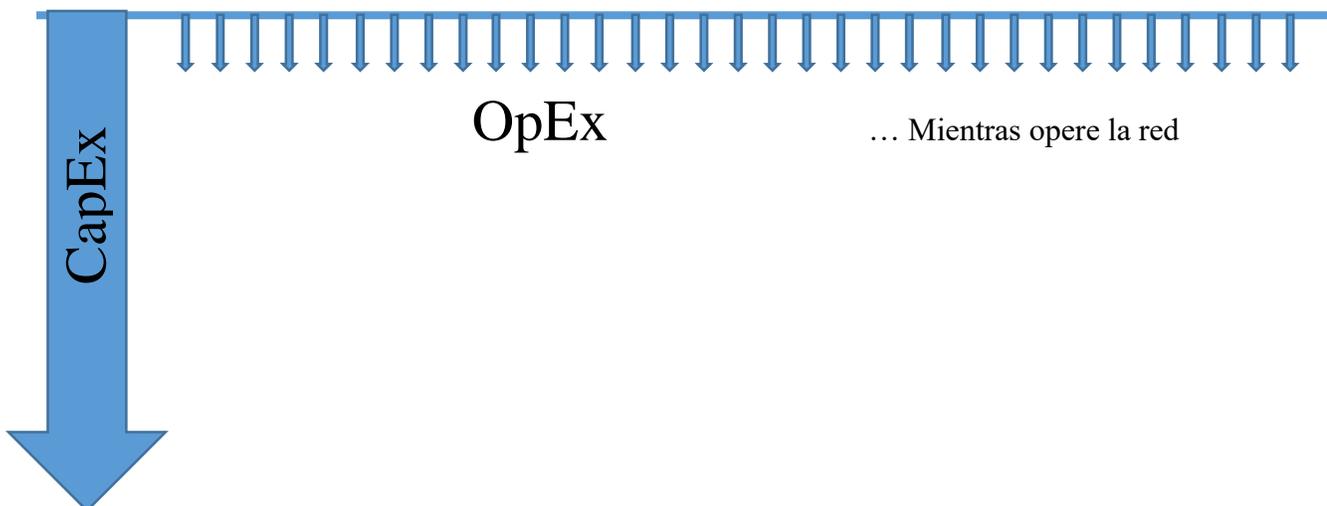


Imagen 72 Representación del CapEx frente al OpEx
(Elaboración propia, 2018)

Como se observa, los indicadores nos reflejan pérdidas de capital, tendríamos que conocer los servicios que soportará la red para de esta manera obtener el tráfico que conlleva, con estos datos extras, pudiesen ser calculados otros factores como lo son el revenue, el VPN o la TIR, los cuales son proyectados a cierto número de años para aceptar o rechazar la propuesta de proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior y contando con la matriz de tráfico, el paso siguiente sería robustecer la red y colocar equipamiento óptico más especializado en dónde se requiera, como colocar OXC entre los anillos para garantizar la intercomunicación en la red óptica troncal, implementar ROADM para aprovechar los beneficios de la tecnología óptica transparente o inclusive se sabría en cuales nodos se debería comenzar a migrar hacia la tecnología UWDM en años posteriores debido al incremento de habitantes y servicios, los cuales es muy probable sean posibles usuarios, reflejándose en demanda en aquella localidad o ciudad.

Cabe mencionar que para el estudio no fueron tomados en cuenta los costos por mantenimiento de fibra óptica, por lo cual el OpEx sólo refleja los gastos de operación por nodo, si se realizara un estudio tomando en cuenta dichos costos el OpEx se dispararía y nos arrojaría el caso contrario que se puede prever como un OpEx elevado contra un CapEx menor.

Un punto importante a destacar es que el proyecto no sólo se considera de manera financiera lo que implicaría concentrarse únicamente en dinero y capital, si no que se aborda desde el punto de vista económico, lo que se refiere además de las finanzas a la distribución de los servicios para ser consumidos y satisfacer las necesidades como sociedad, en este caso específico, necesidades de la sociedad mexicana en el contexto del siglo XXI en materia de telecomunicaciones.

En conclusión, este trabajo se considera como una primera aportación al análisis de los estimadores de CapEx y OpEx en redes troncales de fibra óptica y es deseable que se vea complementado en el futuro por otras tesis.

Recomendaciones generales

Dentro de las recomendaciones se sugiere, en el caso de implementación de las redes por anillos, comenzar en el área del centro del país, ya que la capital cuenta con el mayor número de habitantes, posteriormente comenzar el despliegue hacia las inmediaciones, rodeando al anillo central y a partir de ahí seguir expandiendo hasta alcanzar las ciudades con mayor población.

Por otra parte, se pudiera aprender de los proyectos internacionales mencionados en este trabajo, como lo es la RDNFO en Perú que enfrenta varios problemas actualmente ya que como ésta y las redes regionales no fueron planificadas en conjunto y los contratos están deslindados entre ellos existen para la buena integración de redes, de esta forma la red queda varada y se convierte en un “elefante blanco” lo que se puede entender según la secretaría de transparencia de Colombia como una obra pública de construcción, mantenimiento o instalación de un bien inmueble, la cual tiene un impacto negativo para la comunidad debido a que ha sido abandonada o está inconclusa, sus costos superan los beneficios de su funcionamiento, no es utilizada, o su uso es diferente para aquel que fue creada.

Lo anterior debido a que Azteca no contó con la demanda que esperaba obtener cuando licitó el proyecto, recibiendo como ingresos sólo los costos de operación y mantenimiento (OpEx) y el Estado estaría asumiendo los costos de subsidio para que la red siga en funcionamiento.

El esquema manejado en México es del tipo APP como se puede observar que existe en otros países de Latinoamérica (ver imagen 1), por lo cual se sugiere que en los lugares donde sea más difícil implementar la red debería existir un subsidio con la finalidad de lograr el acceso universal, tal como sucedió en Perú y Colombia; para esos propósitos se debe tener en cuenta el siguiente modelo de brechas propuesto por el Banco Mundial en materia de telecomunicaciones. (ver imagen 73)

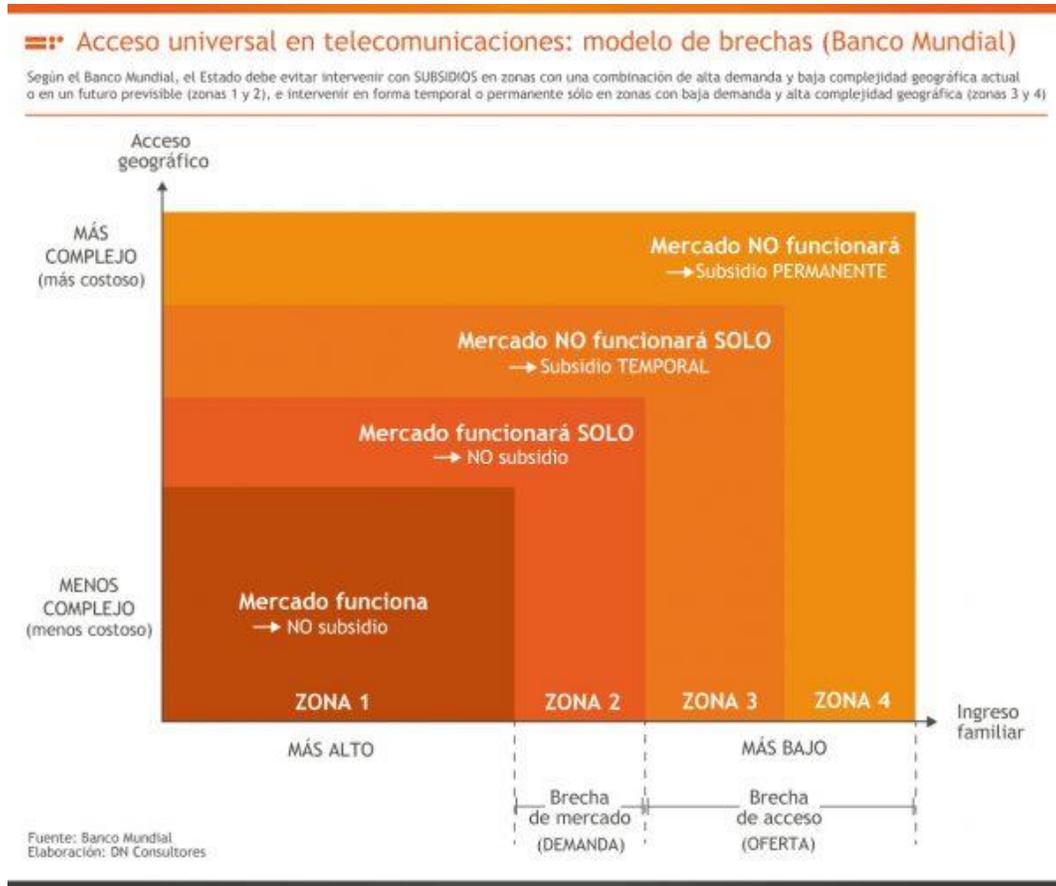


Imagen 73 Modelo de brechas (DN Consultores, consultado 2018)

Contextualizando en México, de acuerdo a la situación de acceso geográfico sólo la parte de la sierra madre se posicionaría en la zona 4 del modelo de brechas.

Se puede entender al subsidio del gobierno como el detonante absolutamente necesario para el movimiento del capital ya que es preciso recordar que con la implementación de infraestructura sólida de telecomunicaciones como lo son las redes troncales de fibra óptica se acorta la brecha digital, trayendo consigo los beneficios de pertenecer a la sociedad de la información como gobierno electrónico, teletrabajo, tele salud, etc.

Las recomendaciones aquí sugeridas van dirigidas sobre todo a inversionistas mexicanos o extranjeros y al gobierno de México con la finalidad que adopten los beneficios de implementación o adaptación de más redes troncales de fibra óptica o en su defecto, robustecer las ya existentes.

Referencias

Bibliográficas

1. J. Hecht. (1999). City of light. Ney York, Oxford: Oxford University Press.
2. S. V. Kartalopoulos. (2003). DWDM. Networks, Devices and Technology. New Jersey: IEEE Press, John Wiley & sons, Inc.

Electrónicas

3. M. Grunkel, R. Leppla, M. Wade, A. Lord, D. Schupke, G. Lehmann, C. Fürst, S. Bodamer, B Bollenz, H. Haunstein, H. Nakajima, J. Martensson. (2006). A cost model for the WDM Layer. Abril 2018, de IEEE Sitio web:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/4350152/>
4. R. M. Morais, C. Pavan, A. Nolasco, C. Requejo. (2011). Genetic Algorithm for the Topological Design of Survivable Optical Transport Networks. Mayo 2018, de Optical Society of America Sitio web:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/5665994/>
5. R. M. Morais, C. Pavan, C. Requejo, A. Nolasco. (2009). Desing of Survivable Optical Networks with Minimum CAPEX. Abril 2018, de Instituto de Telecomunicações Sitio web: <http://www.av.it.pt/conftele2009/Papers/29.pdf>
6. Y. Li, N. Hua, X. Zheng. (2015). CapEx advantages of multi-core fiber networks. Abril 2018, de Springer Link Sitio web:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11107-015-0536-9>

-
7. S. verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester S. Pasqualini, A. Iselt, A. KIRSTÄDTER R. HÜLSERMANN, F.-J. WESTPHAL, M JÄGER. (2006). Methodology and input availability parameters for calculating OpEx and CapEx cost for realistic network scenarios. Abril 2018, de Optical Society of America Sitio web:
<https://biblio.ugent.be/publication/353326/file/570577>
 8. A. Jarray. (2009). Planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances. Mayo 2018, de Université de Montréal Sitio web:
https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/3697/Jarray_Abdallah_2010_these.pdf?sequence=6&isAllowed=y
 9. C. Cid, M. Ruiz, L. Velasco, G. Junyent. (2010). Costs and Revenues Models for Optical Networks Architectures Comparison. Mayo 2018, de ResearchGate Sitio web:
https://www.researchgate.net/publication/216545720_Costs_and_Revenues_Models_for_Optical_Networks_Architectures_Comparison?enrichId=rgreq-4a9c20b887194c481d3b88be33c3f52d-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIxNjU0NTcyMDtBUzoxMDQ4MzEyODQ5NDA4MDhAMTQwMjAwNTEzNDYyNQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf
 10. M.T. Pinto, P. Ramalho. (2014). Performance Analysis of an Optical Link in DWDM Systems. Junio 2018, de IEEE Sitio web:
<https://pdfs.semanticscholar.org/a62c/c131db65bbb30c716fd2ef4f4db9e13d5578.pdf>
-

-
11. A. Jarray, B. Jaumard, A. C. Houle. (2010). Reducing the capex and opex cost of optical backbone networks. Abril 2018, de IEEE Sitio web:
https://www.researchgate.net/publication/221171941_Reducing_the_CAPEX_and_OPEX_costs_of_optical_backbone_networks
 12. S. Türk, S. Sulaiman, A. Haidine, R. Lehnert, T. Michaelis. (2010). Approaches for the migration of optical backbone networks towards carrier ethernet. Junio 2018, de IEEE Sitio web:
https://www.researchgate.net/publication/224093427_Approaches_for_the_migration_of_optical_backbone_networks_towards_Carrier_Ethernet
 13. D. A. Montero. (2004). Ventajas de la nueva tecnología de comunicaciones UDWDM. Abril 2018, de Universidad de Costa Rica Sitio web:
<https://es.scribd.com/document/123287903/pb0424t>
 14. J. Prat, I. N. Cano, M. Presi, I. Tomkos, D. Klondis, G. Vall-llosera, R. Brenot, R. Pous, G. Papastergiou, A. Rafael, E. Ciaramella. (2015). Technologies for Cost-Effective udWDM-PONs. Mayo 2018, de IEEE Sitio web:
<https://core.ac.uk/download/pdf/54937832.pdf>
 15. A. J. Ordoñez. (2015). Diseño y simulación de los efectos de fwm en una red UDWDM PON. Mayo 2018, de Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sitio web:
http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8546/TESIS_ANGEL%20ORDO%20NEZ_MAESTRIA_PUCE_V2.pdf?sequence=1

-
16. J. A. Martín-Pereda . (2015). El largo y sinuoso camino de la fibra óptica. Septiembre 2018, de Upm.es Sitio web:
http://oa.upm.es/35209/1/El_largo_y_sinoso_camino_de_la_fibra_optica.pdf
 17. I. Medina. (1995). Teléfonos de México: modernización, privatización y nuevas relaciones laborales. septiembre 2018, de Espiral Sitio web:
<http://148.202.18.157/sitios/publicacionesite/pperiod/espiral/espiralpdf/Espiral3/133-154.pdf>
 18. K. A. García. (2017). Las comunicaciones ópticas en México: actualidad y tendencias. Septiembre 2018, de UNAM Sitio web:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13920/Tesis%20Completa%20.pdf?sequence=1>
 19. Conapptel. (2013). Estudios asociados a la red nacional de banda ancha presentado por la COFETEL en mayo de 2013. Abril 2018, de Conapptel Sitio web:
http://www.conapptel.org.mx/conferencias/rnba_700.ppt
 20. Optical Ground Wire. (2018). Consultado de
<https://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/Aerial/OPGW.aspx>
 21. Sozaw. (2018). ADSS. Septiembre 2018, de Scribd Sitio web:
<https://es.scribd.com/doc/110422843/Cable-de-fibra-optica-ADSS>.
 22. Fayerwayer. (2018). Cable submarino de Facebook. Septiembre de 2018, de Fayerwayer Sitio web: <https://www.fayerwayer.com/2018/09/facebook-cable-submarino-argentina/>

-
23. UIT. (1997).UIT-T G.911 Parameters and calculation methodologies for reliability and availability of fibre optic systems. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.911-199704-I>
 24. UIT. (2005). UIT-T G.662 Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.662-200507-I>
 25. UIT. (2012). UIT-T G.671 Transmission characteristics of optical components and subsystems. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-I>
 26. UIT. (2012). UIT-T G.694.1 Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I>
 27. UIT. (2003). UIT-T G.694.2 Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-I>
 28. UIT. (2018). UIT-T G.709 Flexible OTN long-reach interfaces. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709.3-201806-I>
 29. UIT. (2013). UIT-T G.798 Types and characteristics of optical transport network equipment. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.798.1-201301-I>

-
30. UIT. (2012). UIT-T G.806 Characteristics of transport equipment – Description methodology and generic functionality. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.806-201708-I!Cor3>
 31. UIT. (2016). UIT-T G.870 Terms and definitions for optical transport networks. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.870-201611-I>
 32. UIT. (2017). UIT-T G.872 Architecture of optical transport networks. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.872-201701-I>
 33. UIT. (2015). UIT-T G.874 Management aspects of optical transport network elements. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.874-201508-S!Amd1>
 34. UIT. (2018). UIT-T G.959 Optical transport network physical layer interfaces. Abril 2018, de UIT Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.959.1-201807-P>
 35. MINTIC (2018). Resumen de la gestión de los recursos asociados al Proyecto de Inversión: AMPLIACIÓN PROGRAMA DE TELECOMUNICACIONES SOCIALES. Febrero 2018, de MINTIC Sitio web: https://spi.dnp.gov.co/App_Themes/SeguimientoProyectos/ResumenEjecutivo/0012052060000.pdf
 36. Secretaría de las TIC (2016). Acta de liquidación de mutuo acuerdo del contrato de compra venta 2223-2016. Abril 2018, de Secretaria de las TIC en Perú Puede consultarse: <https://drive.google.com/open?id=1YVuaPCj13fw0P6EEWPs1DFjkTSL1waqT>

37. CFE. (2015). Anexo 1. Glosario de términos. Abril 2018, de CFE Puede consultarse:

https://drive.google.com/open?id=1c28hTbivDPPUgJPOiYZ3XSjUO_g5Zf1g

38. CFE. (2015). Anexo 16. Descripción de las rutas. Abril 2018, de CFE Puede consultarse:

<https://drive.google.com/open?id=1aiFomDtVzlfFXXZ8fUYPAxECTsFUs8Br>

39. Comisión Interamericana de telecomunicaciones. (2003). Agenda para la conectividad de las américas, Plan de acción de Quito. Septiembre 2018, de Organización de los Estados Americanos (OEA) Sitio web:

<http://portal.oas.org/LinkClick.aspx?fileticket=kDmcx5eKyBE%3D&tabi>

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

ANILLO B

3198 Km

Ruta		Km		
Ruta 8 Guaymas- Cd. Obregón		134		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Guaymas	R. CTL Vicam	759	82
2	R. CTL Vicam	C. Cd. Obregón	CMP	52
Ruta 9 Cd. Obregón- Navojoa		70		
Ruta 10 Navojoa- Los Mochis		167		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Navojoa	R. Est Don Juan	4,385	61
2	R. Est Don Juan	R. El Carrizo	4,926	42
3	R. El Carrizo	C. Los Mochis	CMP	64
Ruta 11 Los Mochis- Culiacán		232		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Los Mochis	R. Guasave	71,196	66
2	R. Guasave	R. Capomos	15	45
3	R. Capomos	R. Caimaneros	NA	64
4	R. Caimaneros	C. Culiacán	CMP	57
Ruta 12 Culiacán- Mazatlán		253		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Culiacán	R. Tabala	724	67

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

2	R. Tabala	R. La Cruz	143	78
3	R. La Cruz	R. Dimas	3,550	33
4	R. Dimas	C. Mazatlán	CMP	75
Ruta 13 Mazatlán- Gómez Palacio			618	
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Mazatlán	R. Chupaderos	382	66
2	R. Chupaderos	R. El Palmito	876	60
3	R. El Palmito	R. Rusias	4	75
4	R. Rusias	R. Navios	67	66
5	R. Navios	C. Serdán	702	59
6	C. Zarco	R. Francisco I. Madero	4,550	62
7	R. Francisco I. Madero	R. Yerbanís	514	88
8	R. Yerbanz	R. Margarito Manchado	288	70
9	R. Margarito Manchado	C. Gómez Palacio	CMP	72
Ruta 14 Gómez Palacio- Parral			321	
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Gómez Palacio	R. Bermejillo	8	45
2	R. Bermejillo	R. Est Yermo	92	69
3	R. Est Yermo	R. Escalón	697	54
4	R. Escalón	R. Cd. Jimenez	34,281	73
5	R. Cd. Jimenez	C. Parral	CMP	80
Ruta 15 Parral- Chihuahua			142	

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Cd. Jimenez	R. Cd. Camargo	7,984	74
2	R. Cd. Camargo	R. Cd. Delicias	CMP	68
<i>Ruta 16 Cd. Delicias- Chihuahua</i>		90		
3	R. Cd. Delicias	R. Lázaro Cárdenas	8,704	31
4	R. Lázaro Cárdenas	CTI Chihuahua	CMP	59
<i>Ruta 17 Chihuahua- Cd. Cuauhtémoc</i>		103		
<i>Ruta 18 Nogales- Cd. Juárez</i>		646		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Nogales	R. San Antonio	8	64
2	R. San Antonio	R. Zaragoza	6	57
3	R. Zaragoza	R. Agua Prieta	77,254	85
4	R. Agua Prieta	R. El Valle	72	73
5	R. El Valle	R. El Corral	12	71
6	R. El Corral	D. Janos	434	18
7	D. Janos	C. Nuevo Casas Grandes	55,553	82
8	D. Janos	R. La Ascensión	13,456	12
9	R. La Ascensión	R. Fronterizo	NA	57
10	R. Fronterizo	R. San Lorenzo	3	65
11	R. San Lorenzo	C. Ciudad Juárez	CMP	62
<i>Ruta 19 Cd. Juárez-Chihuahua</i>		313		
12	C. Ciudad Juárez	R. El Guezabal	NA	62

13	R. El Guezabal	R. Villa Ahumada	123	64
14	R. Villa Ahumada	R. Moctezuma	154	42
15	R. Estación Gallego	R. Nuevo Delicias	25	70
16	R. Nuevo Delicias	Chihuahua	CMP	75
Ruta 20 Nogales- Hermosillo		109		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Santa Ana	R. Quelital	5	55
2	R. Quelital	C. Nogales	CMP	54

Tabla 3.3 Anillo B de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO C

1465 Km

Ruta		Km		
Ruta 21 Monterrey- Monclova		235		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Monclova	R. Aurora	13	79
2	R. Aurora	R. Mina	4,495	71
3	R. Mina	Monterrey	CMP	85
Ruta 22 Monclova- Piedras Negras		246		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Piedras Negras	R. Allende	20,694	58
2	R. Allende	C. Sabinas	54,905	73
3	C. Sabinas	R. 1ro de Mayo	1,613	72
4	R. 1ro de Mayo	C. Monclova	CMP	43

Ruta 23 Piedras Negras- Nuevo Laredo		177		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Nuevo Laredo	R. El Charly	NA	72
2	R. El Charly	R. El Villano	NA	77
3	R. El Villano	C. Piedras Negras	CMP	28
Ruta 24 Nuevo Laredo- Reynosa		257		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Reynosa	R. Gustavo Díaz Ordaz	11,523	41
2	R. Gustavo Díaz Ordaz	C. Cd. Mier	4,762	67
3	C. Cd. Mier	R. Don Ramón	3	77
4	R. Don Ramón	C. Nuevo Laredo	CMP	72
Ruta 25 Reynosa- Monterrey		224		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Monterrey	R. Paraiso	32	70
2	R. Paraiso	R. Loma Alta	19	65
3	R. Loma Alta	R. Providencia	16	68
4	R. Providencia	C. Reynosa	CMP	21
Ruta 26 Monterrey- Nuevo Laredo		326		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Monterrey	R. Ciénega de Flores	15,162	37
2	R. Ciénega de Flores	R. Sabinas Hidalgo	33,068	86
3	R. Sabinas Hidalgo	R. Villa Aldama	4	25

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

4	R. Villa Aldama	R. Lampazos	4	60
5	R. Lampazos	R. Cd. Anahuac	18,480	46
6	R. Cd. Anahuac	C. Nuevo Laredo	CMP	72

Tabla 3.4 Anillo C de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO D

1379 Km

Ruta		Km		
<i>Ruta 27 Mazatlán- Fresnillo</i>		263		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Margarito Manchado	R. EJ 12 de Diciembre	909	61
2	R. EJ 12 de Diciembre	R. Morelos	6,602	69
3	R. Morelos	R. Las Piedras	235	66
4	R. Las Piedras	R. Fresnillo	CMP	67
<i>Ruta 28 Fresnillo- Zacatecas</i>		71		
<i>Ruta 29 Zacatecas- Guadalajara</i>		502		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Guadalupe Plata	R. Jerez	43,064	62
2	R. Jerez	R. Colotlán	13,256	77
3	R. Colotlán	R. La Manga	67	67
4	R. La Manga	R. Malacate	38	74
5	R. Malacate	Guadalajara	CMP	222
<i>Ruta 30 Guadalajara- Tepic</i>		221		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

1	C. Tepic	R. Victor	NA	76
2	R. Victor	R. Joval	NA	73
3	CTI Guadalajara	R. Joval	CMP	72
Ruta 31 Tepic- Mazatlán		322		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Mazatlán	R. Otates	1,009	70
2	R. Otates	R. O. A. Palmillas	7	65
3	R. O. A. Palmillas	R. Tierra Generosa	384	59
4	R. Tierra Generosa	R. Santiago Ixcuintla	18,241	62
5	R. Santiago Ixcuintla	C. Tepic	CMP	66

Tabla 3.5 Anillo D de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO E

807 Km

Ruta		Km		
Ruta 32 Tepic- Puerto Vallarta		190		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Tepic	R. Mesillas	280	57
2	R. Mesillas	R. Lo de Marco	1,792	52
3	R. Lo de Marco	C. Puerto Vallarta	CMP	81
Ruta 33 Puerto Vallarta- Manzanillo		283		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Puerto Vallarta	R. Piloto	NA	66
2	R. Piloto	R. Campo Acosta	2,638	49

3	R. Campo Acosta	R. Carretes	22	47
4	R. Carretes	R. San Patricio	7,569	57
5	R. San Patricio	C. Manzanillo	CMP	64
Ruta 34 Manzanillo- Colima		127		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Manzanillo	R. Tecoman	85,689	66
2	R. Tecoman	C. Colima	CMP	61
Ruta 35 Colima- Guadalajara		207		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Colima	R. San Marcos	10	35
2	R. San Marcos	C. Cd. Guzmán	97,750	40
3	C. Cd. Guzmán	R. Verdía	775	62
4	R. Verdía	CIT Guadalajara	CMP	70

Tabla 3.6 Anillo C de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56 y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO F

2648 Km

Ruta		Km		
Ruta 36 Matamoros- Cd. Victoria		339		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Matamoros	R. Valle Hermoso	48,918	43
2	R. Valle Hermoso	R. Santa Teresa	53	47
3	R. Santa Teresa	R. San Fernando	29,665	59
4	R. San Fernando	R. Benito Juárez	376	85

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

5	R. Benito Juárez	R. Nuevo Padilla	140	57
6	R. Nuevo Padilla	C. Cd. Victoria	CMP	48
<i>Ruta 37 Cd. Victoria- Cd. Madero</i>		238		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Cd. Victoria	R. Angostura	23	54
2	R. Angostura	R. Centauro	331	61
3	R. Centauro	R. Gertrudis	325	60
4	R. Gertrudis	C. Cd. Madero	CMP	63
<i>Ruta 38 Cd. Madero- Tampico</i>		7		
<i>Ruta 39 Cd. Madero- Poza Rica</i>		257		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Cd. Madero	R. Potrerillos	18	67
2	R. Potrerillos	R. Co del Bajo	NA	69
3	R. Co del Bajo	C. Tuxpan	84,750	65
4	C. Tuxpan	C. Poza rica	CMP	56
<i>Ruta 40 Poza Rica- Tulancingo</i>		161		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Poza rica	R. San Diego	433	34
2	R. San Diego	R. Huauchinango	56,206	75
3	R. Huauchinango	C. Tulancingo	CMP	52
<i>Ruta 41 Tulancingo- Pachuca</i>		94		
<i>Ruta 42 Pachuca- CDMX</i>		251		

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI CDMX	C. Venta de Carpio	NA	62
2	C. Venta de Carpio	R. Teotihuacán	23,325	21
3	R. Teotihuacán	C. Pachuca	CMP	168
<i>Ruta 43 CDMX- Cuautitlán</i>		58		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Cuautitlán	C. Satélite	NA	23
2	C. Satélite	CTI CDMX	CMP	35
<i>Ruta 44 Cuautitlán- San Juan del Río</i>		130		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. San Juan del Río	R. San Francisco	1573	65
2	R. San Francisco	C. Cuautitlán	CMP	65
<i>Ruta 45 San Juan del Río- Celaya</i>		122		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Celaya	C. Obrera	NA	48
2	C. Obrera	C. Corregidora	91	10
3	C. Corregidora	R. San Juan del Río	CMP	64
<i>Ruta 46 Celaya- Monterrey</i>		893		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Monterrey	R. Allende	826	57
2	R. Allende	C. Linares	63,104	74
3	C. Linares	R. La poza	180	72

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

4	R. La poza	R. San Rafael	483	71
5	R. San Rafael	R. Dr. Arroyo	NA	75
6	R. Dr. Arroyo	C. Matehuala	77,328	53
7	C. Matehuala	R. Villa de Guadalupe	971	41
8	R. Villa de Guadalupe	R. Venado	5,743	78
9	R. Venado	R. Bocas	1,033	66
10	R. Bocas	R. Alameda	23	71
11	R. Alameda	C. Colonias	883	47
12	C. Colonias	R. Villa de Reyes	10,383	11
13	R. Villa de Reyes	R. San Felipe torre 3	5	49
14	R. San Felipe torre 3	R. Dolores Hidalgo	59,240	49
15	R. Dolores Hidalgo	R. San Miguel Allende	69,811	38
16	R. San Miguel Allende	CIT Celaya	CMP	52
Ruta 47 Reynosa- Matamoros		98		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Reynosa	R. Río Bravo	95,647	26
2	R. Río Bravo	C. Matamoros	CMP	72

Tabla 3.7 Anillo F de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO G

1130 Km

Ruta		Km		
Ruta 48 Torreón Fuentes- Saltillo		259		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

1	C. Torreón Fuentes	R. Mayran	1,507	75
2	R. Mayran	R. Km 130	NA	49
3	R. Km 130	R. Tanque San Vicente	129	72
4	R. Tanque San Vicente	C. Saltillo	CMP	63
<i>Ruta 49 Saltillo- Santa Catarina</i>		65		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Saltillo	C. Ramos Arizpe	66,554	7
2	C. Ramos Arizpe	R. Santa Catarina	CMP	58
<i>Ruta 50 Santa Catarina- Monterrey</i>		18		
<i>Ruta 51 Celaya- Irapuato</i>		140		
<i>Ruta 52 Irapuato- León</i>		146		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Irapuato	R. Silao	74,242	35
2	R. Silao	C. León	CMP	34
3	C. Irapuato	C. León	CMP	77
<i>Ruta 53 León- Aguascalientes</i>		133		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. León	R. El puerto	58	68
2	R. El puerto	C. Pedro Parga	CMP	65
<i>Ruta 54 Aguascalientes- Zacatecas</i>		125		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Guadalupe Plata	R. Luis Moya	6,335	60

2	R. Luis Moya	C. Pedro Parga	CMP	65
Ruta 55 Fresnillo- Torreón Fuentes		70		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Margarito Manchado	C. Torreón Fuentes	CMP	70

Tabla 3.8 Anillo G de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO H

567 Km

	Ruta	Km		
	Ruta 56 Irapuato- Zamora	208		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Irapuato	C. Penjamo	40,070	53
2	C. Penjamo	C. La Piedad	83,323	48
3	C. La Piedad	R. Monte León	NA	61
4	R. Monte León	C. Zamora	CMP	46
Ruta 57 Zamora- Uruapan		99		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Zamora	R. Cheran	14,245	67
2	R. Cheran	C. Uruapan	CMP	32
Ruta 58 Uruapan- Morelia		127		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Uruapan	R. Patzcuaro	55,298	59
2	R. Patzcuaro	R. Capula	5,086	44
3	R. Capula	C. Morelia	CMP	24

Ruta 59 Morelia- Celaya		133		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Morelia	C. Cuitzeo	10,239	34
2	C. Cuitzeo	C. Salvatierra	37,203	62
3	C. Salvatierra	CIT Celaya	CMP	37

Tabla 3.9 Anillo H de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO I		360 Km		
Ruta		Km		
Ruta 60 Guadalajara- Irapuato		144		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Monte León	C. Yurecuaro	23,843	39
2	C. Yurecuaro	C. Ocotlán	83,769	35
3	C. Ocotlán	R. La Estancia	346	10
4	R. La Estancia	CTI Guadalajara	CMP	60
Ruta 61 Guadalajara- León		216		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CIT Guadalajara	C. Tepatitlán	91,959	70
2	C. Tepatitlán	R. San Miguel el Alto	608	58
3	R. San Miguel el Alto	R. San Francisco del Rincón	71,139	65
4	R. San Francisco del Rincón	C. León	CMP	23

Tabla 3.10 Anillo I de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO J		741 Km		
Ruta		Km		
<i>Ruta 62 Celaya- Toluca</i>		192		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Salvatierra	R. Maravatio	NA	65
2	R. Maravatio	R. Atlacomulco	22,774	65
3	R. Atlacomulco	C. Toluca	CMP	62
<i>Ruta 63 Toluca- Cuernavaca</i>		107		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Toluca	R. Malinalco	8,045	59
2	R. Malinalco	CTI Cuernavaca	CMP	48
<i>Ruta 64 Cuernavaca- CDMX</i>		69		
<i>Ruta 65 CDMX- Celaya</i>		373		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Celaya	C. Corregidora	91	60
2	C. Corregidora	R. Ezequiel Montes	14,053	66
3	R. Ezequiel Montes	C. Huichapan	9,051	55
4	C. Huichapan	R. Iturbide	202	73
5	R. Iturbide	R. Barrio Santa Cruz	726	57
6	R. Barrio Santa Cruz	CTI CDMX	CMP	62

Tabla 3.11 Anillo J de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO K

409 Km

Ruta		Km		
Ruta 66 CDMX- Chalco		56		
Ruta 67 Chalco- Puebla		101		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Puebla	R. San Miguel Texmel	75,518	36
2	R. San Miguel Texmel	C. Chalco	CMP	65
Ruta 68 Puebla- Tulancingo		252		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Tulancingo	C. Cd. Sahagún	28,556	59
2	C. Cd. Sahagún	R. Emiliano Zapata	2,360	78
3	R. Emiliano Zapata	C. Apizaco	49,506	69
4	C. Apizaco	CTI Puebla	CMP	46

Tabla 3.12 Anillo K de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO L

1059 Km

Ruta		Km		
Ruta 69 Uruapan- Acapulco		670		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Uruapan	R. San Martín	64	116
2	R. San Martín	C. Apatzingan	99,010	34
3	R. San Martín	R. Vinata	113	70
4	R. Vinata	R. Arteaga	10,537	71
5	R. Arteaga	C. Cd. Lázaro Cárdenas	79,200	75

Anexo A Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 1

6	C. Cd. Lázaro Cárdenas	R. La Unión	3,241	63
7	R. La Unión	C. Ixtapa	8,992	46
8	C. Ixtapa	R. Cayacal	249	63
9	R. Cayacal	R. Nuxco	1,993	63
10	R. Nuxco	R. Tejón	22	61
11	R. Tejón	C. Hidalgo	327	54
12	C. Hidalgo	C. Acapulco	CMP	12
Ruta 70 Acapulco- Chilpancingo		160		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Acapulco	R. Tierra Colorada	11,540	99
2	R. Tierra Colorada	C. Chilpancingo	CMP	61
Ruta 71 Chilpancingo- Acapulco		106		
3	C. Chilpancingo	R. Mezcala	3,763	52
4	R. Mezcala	C. Iguala	CMP	54
Ruta 72 Iguala- Cuernavaca		123		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Iguala	R. Taxco	52,217	36
2	R. Taxco	R. Puente de Ixtla	21,098	47
3	R. Puente de Ixtla	CTI Cuernavaca	CMP	40

Tabla 3.13 Anillo L de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO M

889 Km

Ruta		Km		
Ruta 73 Poza Rica- Jalapa		275		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Poza rica	R. Vigueta	614	76
2	R. Vigueta	R. Manuel de la Torre	60,074	55
3	R. Manuel de la Torre	R. Altotonga	19,722	76
4	R. Altotonga	C. Jalapa	CMP	68
Ruta 74 Jalapa- Veracruz		113		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Jalapa	R. Rinconada	5	49
2	R. Rinconada	C. Veracruz	CMP	64
Ruta 75 Veracruz- Córdoba		125		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Córdoba	R. Tejada	18,715	57
2	R. Tejada	C. Veracruz	CMP	68
Ruta 76 Córdoba- Puebla		181		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Puebla	R. Tecamachalco	28,679	65
2	R. Tecamachalco	R. Esperanza	3	45
3	R. Esperanza	C. Córdoba	CMP	71
Ruta 77 Puebla- Cuautla		153		

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Cuautla	R. Axochiapan	17,508	50
2	R. Axochiapan	R. Izúcar de Matamoros	43,006	38
3	R. Izúcar de Matamoros	CTI Puebla	CMP	65
Ruta 78 Cuautla- Cuernavaca			42	

Tabla 3.14 Anillo M de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO N

1741 Km

Ruta	Km			
Ruta 79 Veracruz- Coatzacoalcos	314			
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Veracruz	R. Alvarado	23,128	65
2	R. Alvarado	R. Santiago Tuxtla	15,459	70
3	R. Santiago Tuxtla	R. JD Covarrubias	6,091	65
4	R. JD Covarrubias	R. Acayucán	50,934	45
5	R. Acayucán	CTI Coatzacoalcos	CMP	69
Ruta 80 Coatzacoalcos- Oaxaca			552	
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Coatzacoalcos	R. Saluya de Alemán	13,980	80
2	R. Saluya de Alemán	R. Jaltepec	25	65
3	R. Jaltepec	R. Matías Romero	18,944	64
4	R. Matías Romero	C. Juchitán	74,825	62
5	C. Juchitán	R. El Marquez	58	57

6	R. El Marquez	R. Reforma	175	40
7	R. Reforma	R. San José de García	348	67
8	R. San José de García	R. San Dionisio Ocoatepec	5,459	62
9	R. San Dionisio Ocoatepec	C. Oaxaca	CMP	55
Ruta 81 Oaxaca- Puebla		405		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Oaxaca	R. Huitzo	5,519	33
2	R. Huitzo	R. Cieneguilla	903	69
3	R. Cieneguilla	R. Huajuapán de León	53,043	69
4	R. Huajuapán de León	R. Acatlán de Osorio	16,307	62
5	R. Acatlán de Osorio	R. San Juan Ixcaquitla	4,922	64
6	R. San Juan Ixcaquitla	R. Atoyatempan	6,154	55
7	R. Atoyatempan	CTI Puebla	CMP	53
Ruta 82 Córdoba- Coahuila		470		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Córdoba	R. Tezonapa	5,376	64
2	R. Tezonapa	R. Tierra Blanca	47,824	55
3	R. Tierra Blanca	R. Loma Bonita	6	76
4	R. Loma Bonita	R. Rodríguez Clara	526	61
5	R. Rodríguez Clara	R. Sayula de Alemán	13,980	54
6	R. Sayula de Alemán	CTI Coahuila	CMP	160

Tabla 3.15 Anillo N de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO O		Km		
Ruta		Km		
<i>Ruta 83 Coatzacoalcos- Tuxtla Gutierrez</i>		279		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Juchitán	R. Tuleñito	NA	49
2	R. Tuleñito	R. Tapantepec	7,441	68
3	R. Tapantepec	R. El Jardín	NA	46
4	R. El Jardín	R. Las Flores	17	51
5	R. Las Flores	C. Tuxtla Gutierrez	CMP	65
<i>Ruta 84 Tuxtla Gutierrez- Villahermosa</i>		1035		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Villahermosa	R. Centla	774	72
2	R. Centla	R. Atasta	2,535	70
3	R. Atasta	R. Términos	2	58
4	R. Términos	R. Sabancuy	7,286	82
5	R. Sabancuy	R. Esperanza	7	67
6	R. Esperanza	R. Escárcega	29,477	83
7	R. Escárcega	R. San Jorge	1	55
8	R. San Jorge	R. Salsipuedes	NA	72
9	R. Salsipuedes	R. Catazaja	2,973	63
10	R. Catazaja	R. Chichonal	156	76
11	R. Chichonal	C. Juárez	NA	40

12	C. Juárez	R. Los Azufres	NA	68
13	R. Los Azufres	R. Tapilula	7,491	66
14	R. Tapilula	R. Jitotol	4,427	53
15	R. Jitotol	R. Ixtapa	6,086	60
16	R. Ixtapa	C. Tuxtla Gutierrez	CMP	50
Ruta 85 Villahermosa- Coatzacoalcos		180		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	CTI Coatzacoalcos	R. Pejelagartero	1,817	73
2	R. Pejelagartero	R. Cárdenas	91,558	54
3	R. Cárdenas	C. Villahermosa	CMP	53

Tabla 3.16 Anillo O de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO P

Km

Ruta		Km		
Ruta 86 Tuxtla Gutierrez- Tapachula		392		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Tuxtla Gutierrez	C. Cd. Cuauhtemoc	2,325	226
2	C. Cd. Cuauhtemoc	C. Tapachula	CMP	166
Ruta 87 Tapachula- Tuxtla Gutierrez		291		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Tapachula	R. Escuintla	9,570	73
2	R. Escuintla	R. Pijijiapan	16,917	75
3	R. Pijijiapan	R. Tonalá	35,322	78

4	R. Tonalá	R. Tapantepec	CMP	65
---	-----------	---------------	-----	----

Tabla 3.17 Anillo P de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

ANILLO Q

1254 Km

Ruta		Km		
Ruta 88 Mérida- Campeche		177		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Campeche	R. Hecelchacan	NA	58
2	R. Hecelchacan	R. Maxcanu	794	54
3	R. Maxcanu	C. Mérida	CMP	65
Ruta 89 Mérida- Cancún		314		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Mérida	R. Kantunil	3,941	65
2	R. Kantunil	R. Kahua	2,340	64
3	R. Kahua	R. Chemax	14,885	47
4	R. Chemax	R. San Edipo	NA	67
5	R. San Edipo	C. Cancún	CMP	71
Ruta 90 Cancún- Playa del Carmen		36		
Ruta 91 Playa del Carmen- Chetumal		374		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	R. Playa del Carmen	R. Akumal	1,310	95
2	R. Akumal	C. Tulum	18,233	28
3	C. Tulum	R. La Selva	NA	33

4	R. La Selva	C. Carrillo Puerto	25,744	62
5	C. Carrillo Puerto	R. Mahahual	920	50
6	R. Mahahual	R. La Laguna	860	57
7	R. La Laguna	C. Chetumal	CMP	49
Ruta 92 Chetumal- Campeche		353		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	C. Chetumal	R. Nicolás Bravo	4,011	71
2	R. Nicolás Bravo	R. Xpujil	36	50
3	R. Xpujil	R. Konhuas	NA	53
4	R. Konhuas	R. Centenario	942	49
5	R. Centenario	R. Escárcega	29,477	54
6	R. Esperanza	C. Campeche	CMP	76

Tabla 3.18 Anillo Q de la red troncal Telmex (Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

Para dar un panorama completo de la red se anexan los enlaces complementarios que no fueron incluidos en el estudio, pero que pueden ser utilizados en otro estudio que tome en cuenta características diversas de implementación.

Enlaces complementarios

Km

	Punto A	Punto B	Km
1	C. San Lucas	C. San José del cabo	33
2	C. San José del cabo	R. Buenavista	79
3	R. Buenavista	C. La Paz	91

4	C. La Paz	R. Todos Santos	91
5	R. Todos Santos	C. San Lucas	76
6	C. La Paz	R. El Cien	100
7	R. El Cien	R. Cd. Construcción	109
8	R. Cd. Construcción	R. Nopolo	134
9	R. Nopolo	R. Gustavo Felix	107
10	R. Gustavo Felix	R. El Poseidón	94
11	C. Manzanillo	R. La Huerta	52
12	R. La Huerta	C. Autlán	53
13	R. Silao	C. Guanajuato	17
14	C. Zamora	C. Sahuayo	60
15	C. Cuitzeo	R. Puruandiro	55
16	R. Puruandiro	C. Penjamo	62
17	R. Puruandiro	C. Zacapu	63
18	R. Dolores Hidalgo	R. Puerto Blanco	67
19	R. Puerto Blanco	C. Corregidora	65
20	C. Nevado	C. Valle de Bravo	74
21	R. Malinalco	C. Tenancingo	22
22	C. Satélite	CTI CDMX	25
23	CTI CDMX	R. Lerma	50
24	R. Lerma	C. Mer	17
25	R. Iturbide	C. Tepeji	19

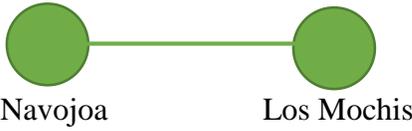
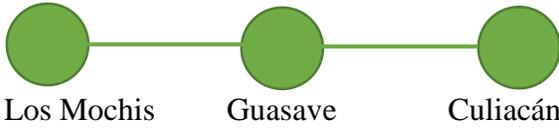
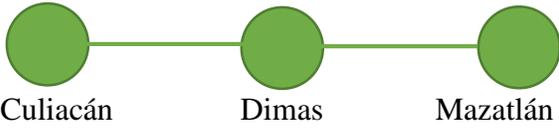
26	C. Cuautitlán	C. V. de Corpio	50
27	CTI	C. Cuautla	42
28	R. Puente de Ixtla	C. Cuautla	62
29	CTI Cuernavaca	R. Atlixco	121
30	R. Esperanza	C. Tehuacán	50
31	CTI Puebla	C. Tehuacán	133
32	C. Iguala	C. Acatempan	68
33	R. Loma Bonita	C. Tuxtepec	37
34	C. Tapachula	C. Cd. Hidalgo	39

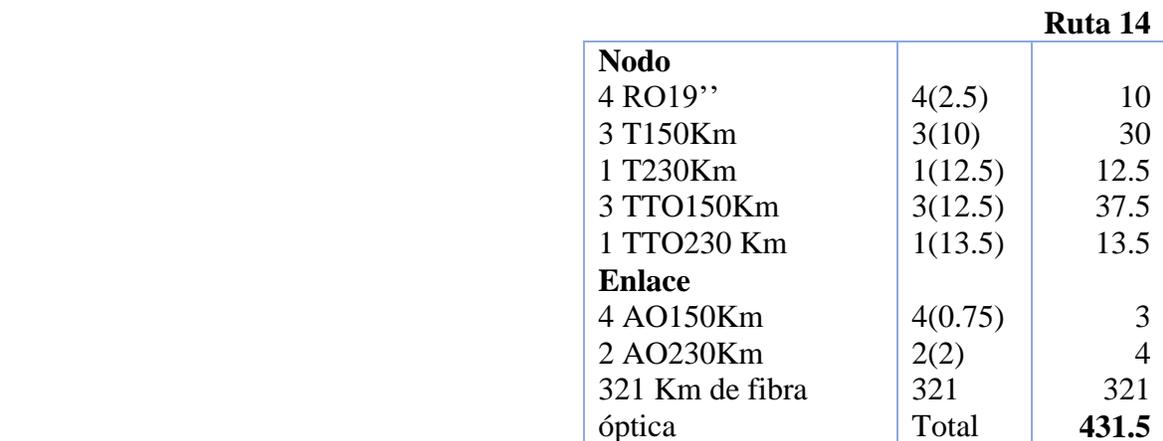
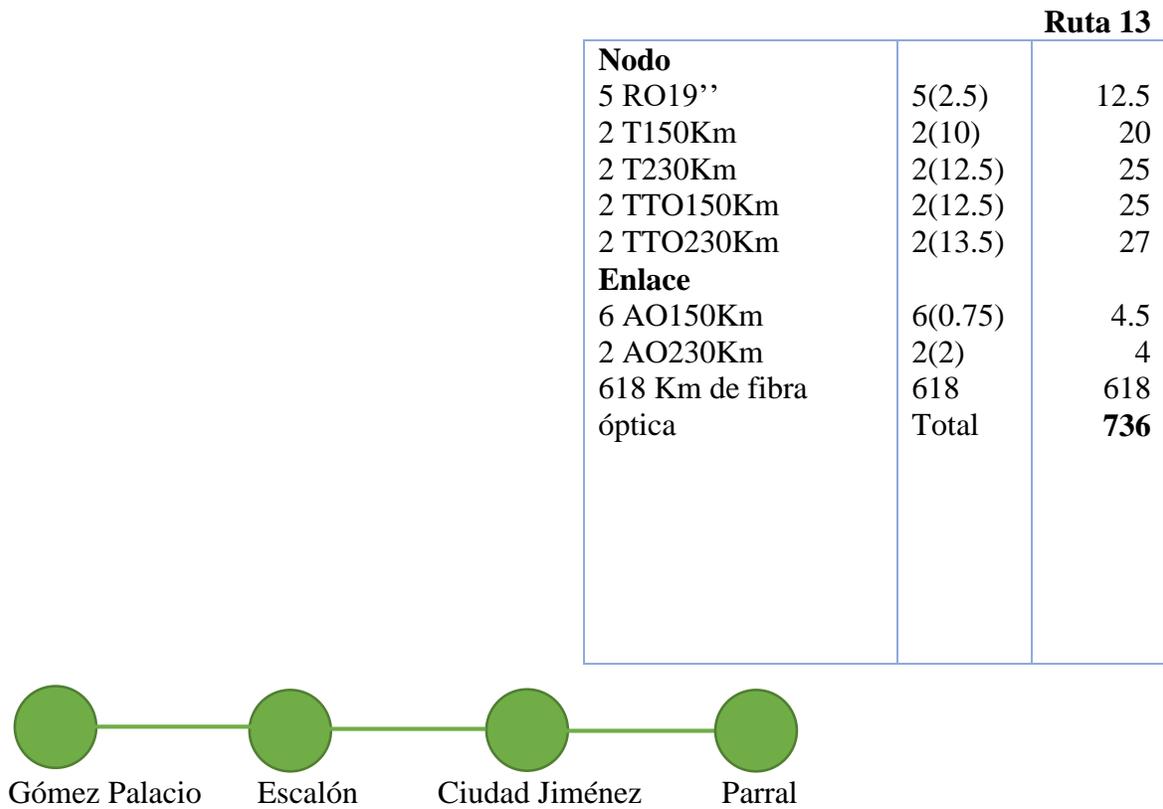
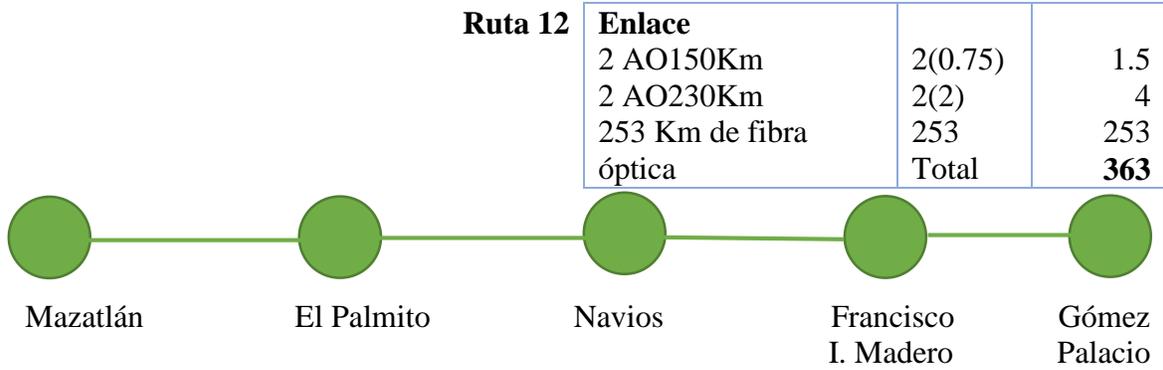
Tabla 3.19. Enlaces complementarios de la red troncal Telmex

(Elaboración propia, basado en la Imagen 56y datos poblacionales de INEGI, 2018)

Anexo B Evaluación de CapEx de la Red Troncal 1

Anillo B (por rutas)

Ruta		CapEx		
 <p>Guaymas Ciudad Obregón</p>	Ruta 8	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		134 Km de fibra óptica	134	134
		Total		185.5
 <p>Ciudad Obregón Navojoa</p>	Ruta 9	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		70 Km de fibra óptica	70	70
		Total		121.5
 <p>Navojoa Los Mochis</p>	Ruta 10	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
		167 Km de fibra óptica	167	167
		Total		228
 <p>Los Mochis Guasave Culiacán</p>	Ruta 11	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		2 AO230Km	2(2)	4
		233 Km de fibra óptica	233	233
		Total		343
 <p>Culiacán Dimas Mazatlán</p>		Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27

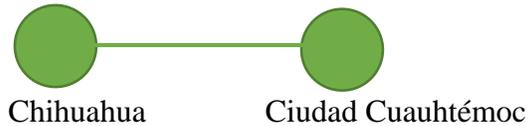




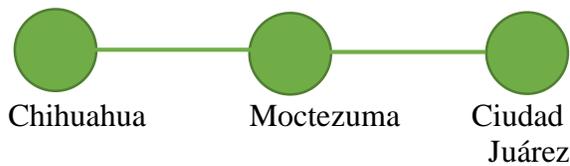
Ruta 15



Ruta 16

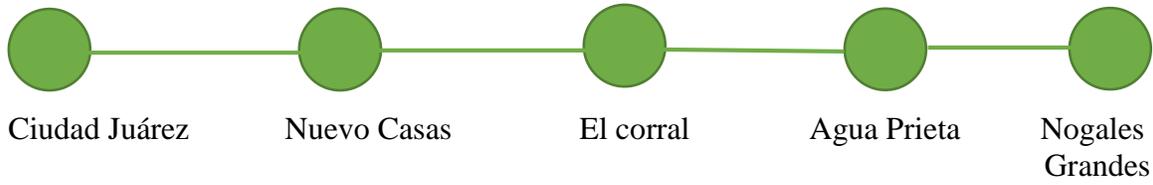


Ruta 17



Ruta 18

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
142 Km de fibra óptica	142	142
Total		193.5
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
90 Km de fibra óptica	90	90
Total		141.5
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
103 Km de fibra óptica	103	103
Total		154.5
Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
1 T150Km	1(10)	10
1 T230Km	1(12.5)	12.5
1 TTO150Km	1(12.5)	12.5
1 TTO230Km	1(13.5)	13.5
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
313 Km de fibra óptica	313	313
Total		374.5



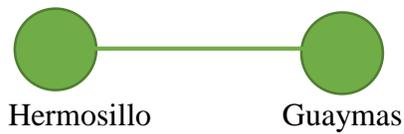
Ruta 19

Nodo		
5 RO19''	5(2.5)	12.5
2 T150Km	2(10)	20
4 T230Km	4(12.5)	50
2 TTO150Km	2(12.5)	25
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
4 AO230Km	4(2)	8
646 Km de fibra óptica	646	646
	Total	818.5



Ruta 20

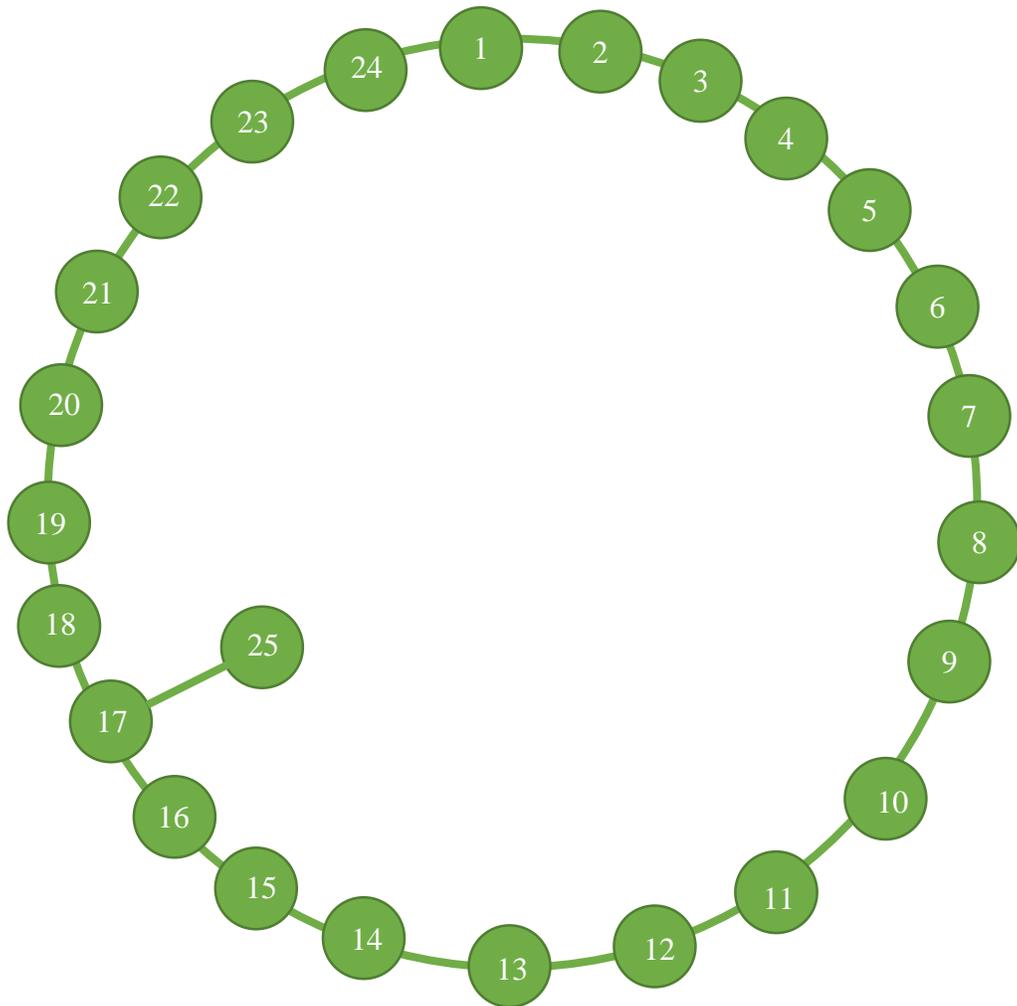
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
109 Km de fibra óptica	109	109
	Total	160.5



Ruta 21

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
137 Km de fibra óptica	137	137
	Total	188.5

Anillo B



1. Guaymas	Nodo		
2. Ciudad Obregón	25 RO19''	25(2.5)	62.5
	26 T150Km	26(10)	260
3. Navojoa	12 T230Km	12(12.5)	150
4. Los Mochis	26 TTO150Km	26(12.5)	325
5. Guasave	12 TTO230Km	12(13.5)	162
6. Culiacán	Enlace		
7. Dimas	34 AO150Km	34(0.75)	25.5
8. Mazatlán	14 AO230Km	14(2)	28
9. El palmito	3336 Km de fibra óptica	3336	3336
10. Navios			
11. Francisco I. Madero		Total	4349
12. Gómez Palacio			
13. Escalón			
14. Ciudad Jiménez			
15. Parral			
16. Ciudad Delicias			
17. Chihuahua			
18. Moctezuma			
19. Ciudad Juárez			
20. Nuevo Casas Grandes			
21. El corral			
22. Agua prieta			
23. Nogales			
24. Hermosillo			
25. Ciudad Cuauhtémoc			

Comparación

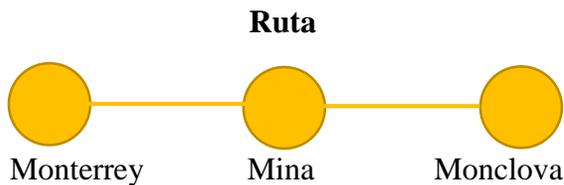
Por Rutas

Por Anillo

4440 c.u.

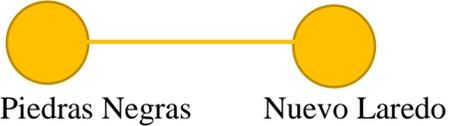
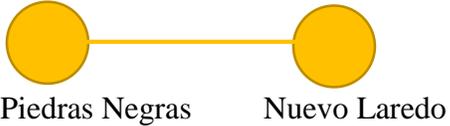
4349 c.u.

Anillo C (Por rutas)



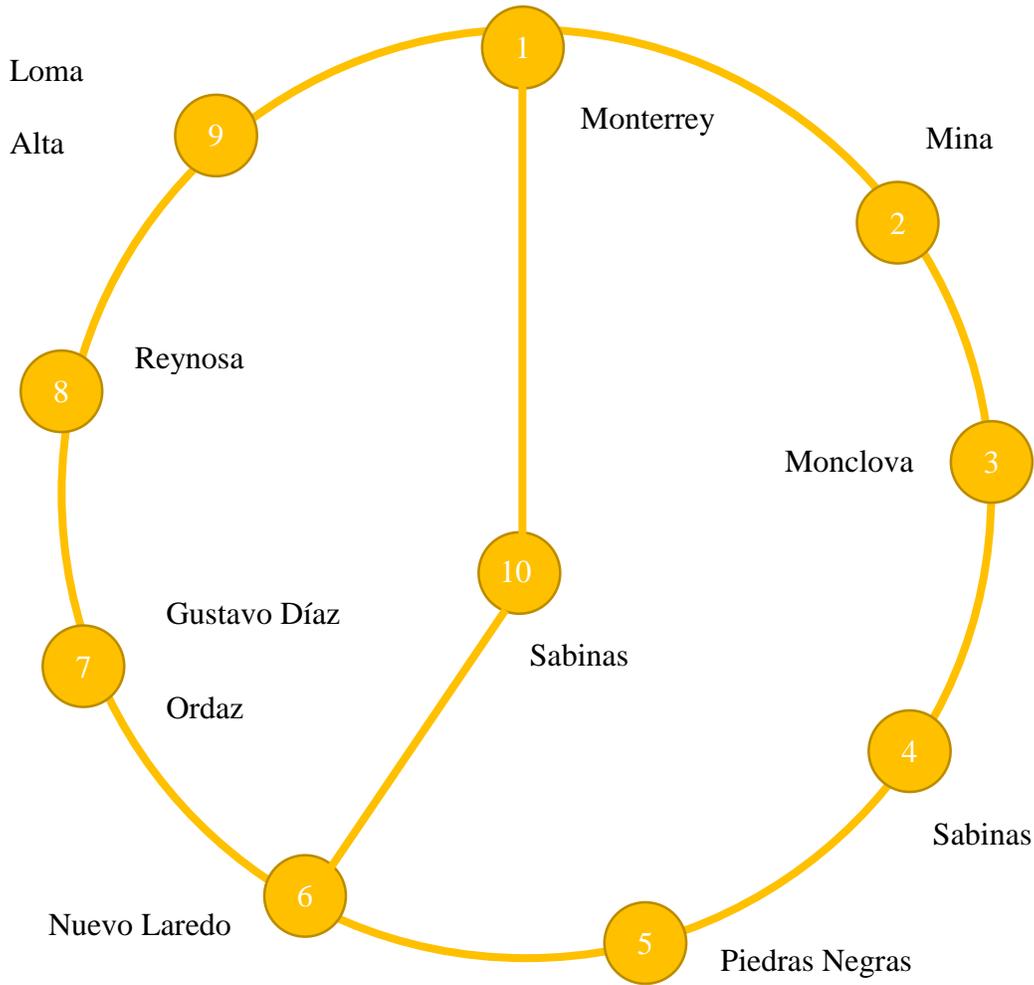
Capex

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T150Km	4(10)	40
4 TTO150Km	4(12.5)	50

			Ruta 22		
			Enlace 4 AO150Km 235 Km de fibra óptica Total	4(0.75) 235 335.5	3 235 335.5
			Ruta 23		
			Enlace 4 AO150Km 246 Km de fibra óptica Total	4(0.75) 246 346.5	3 246 346.5
			Ruta 24		
			Nodo 2 RO19'' 2 T230Km 2 TTO230Km Enlace 2 AO230Km 177 Km de fibra óptica Total	2(2.5) 2(12.5) 2(13.5) 2(2) 177 238	5 25 27 4 177 238
			Ruta 25		
			Nodo 3 RO19'' 2 T150Km 2 T230Km 2 TTO150Km 2 TTO230Km Enlace 2 AO150Km 2 AO230Km 257 Km de fibra óptica Total	3(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(12.5) 2(13.5) 2(0.75) 2(2) 257 367	7.5 20 25 25 27 1.5 4 257 367
			Ruta 26		
			Nodo 3 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km Enlace 4 AO150Km 224 Km de fibra óptica Total	3(2.5) 2(10) 2(12.5) 4(0.75) 224 279.5	7.5 20 25 3 224 279.5
			Ruta 27		
			Nodo 3 RO19'' 2 T150Km 2 T230Km 2 TTO150Km 2 TTO230Km	3(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(12.5) 2(13.5)	7.5 20 25 25 27

Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
326 Km de fibra óptica	326	326
	Total	436

Anillo C



Nodo		
10 RO19''	10(2.5)	25
13 T150Km	13(10)	130
6 T230Km	6(12.5)	75
13 TTO150Km	13(12.5)	162.5
6 TTO230Km	6(13.5)	81
Enlace		
15 AO150Km	15(0.75)	11.25
6 AO230Km	6(2)	12
1465 Km de fibra óptica	1465	1465
	Total	1961.75

Comparación		Por Rutas	Por Anillo
		2002.5 c.u.	1961.75 c.u.
Anillo D (por rutas)		CapEx	
Ruta			
Mazatlán	El Palmito	Navios	Francisco I. Madero
			Margarito Manchado
		Ruta 28	
Nodo			
5 RO19''		5(2.5)	12.5
4 T150Km		4(10)	40
1 T230Km		1(12.5)	12.5
4 TTO150Km		4(12.5)	50
1 TTO230Km		1(13.5)	13.5
Enlace			
6 AO150Km		6(0.75)	4.5
2 AO230Km		2(2)	4
546 Km de fibra óptica		546	546
		Total	683
Margarito Manchado	Morelos	Fresnillo	
		Ruta 29	
Nodo			
3 RO19''		3(2.5)	7.5
4 T150Km		4(10)	40
4 TTO150Km		4(12.5)	50
Enlace			
4 AO150Km		4(0.75)	3
263 Km de fibra óptica		263	263
		Total	363.5
Fresnillo	Zacatecas		
		Ruta 30	
Nodo			
2 RO19''		2(2.5)	5
2 T150Km		2(10)	20
2 TTO150Km		2(12.5)	25
Enlace			
2 AO150Km		2(0.75)	1.5
71 Km de fibra óptica		71	71
		Total	122.5
Zacatecas	Jeréz	Colotlán	Malacate
			Guadalajara
		Ruta 31	



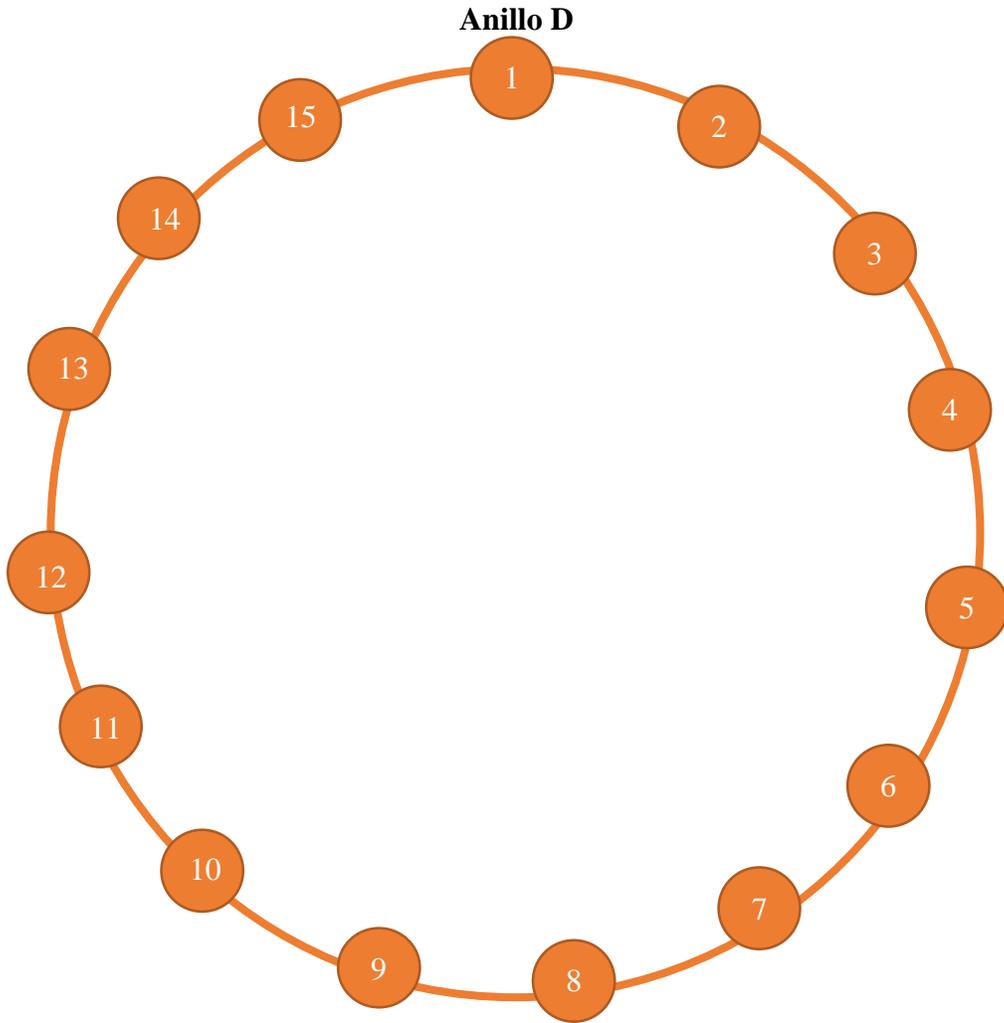
Ruta 32

Nodo		
5 RO19''	5(2.5)	12.5
5 T150Km	5(10)	50
1 T230Km	1(12.5)	12.5
5 TTO150Km	5(12.5)	62.5
1 TTO230Km	1(13.5)	13.5
Enlace		
6 AO150Km	6(0.75)	4.5
2 AO230Km	2(2)	4
502 Km de fibra óptica	502	502
	Total	661.5
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO230Km	2(2)	4
221 Km de fibra óptica	221	221
	Total	282



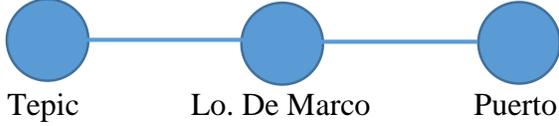
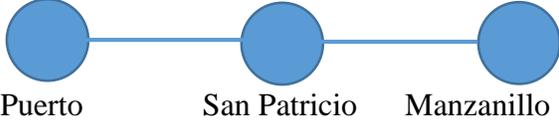
Ruta 33

Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
4 T150Km	4(10)	40
2 T230Km	2(12.5)	25
4 TTO150Km	4(12.5)	50
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
322 Km de fibra óptica	322	322
	Total	481



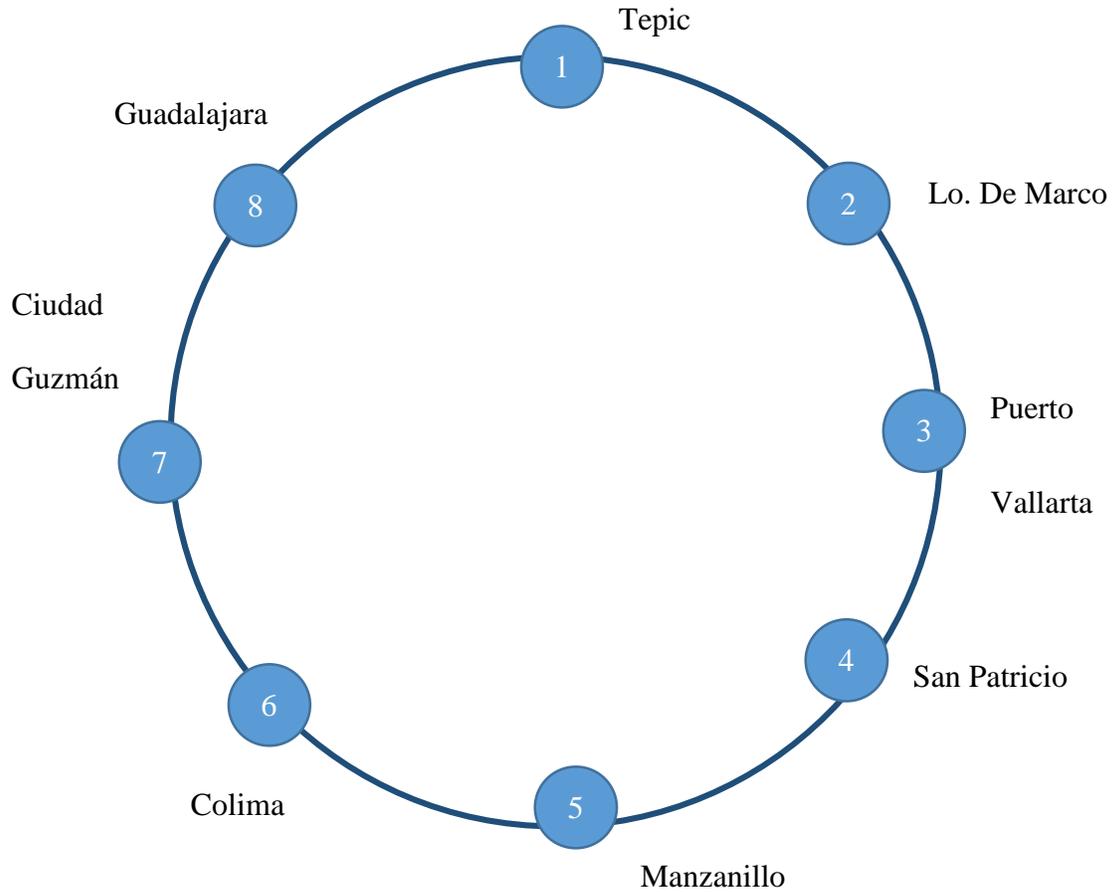
1. Mazatlán
2. El Palmito
3. Navios
4. Francisco I. Madero
5. Margarito Manchado
6. Morelos
7. Fresnillo
8. Zacatecas
9. Jeréz
10. Colotlán
11. Malacate
12. Guadalajara
13. Tepic
14. Santiago Ixcuintla
15. Otates

Nodo		
15 RO19''	15(2.5)	37.5
19 T150Km	19(10)	190
6 T230Km	6(12.5)	75
19 TTO150Km	19(12.5)	237.5
6 TTO230Km	6(13.5)	81
Enlace		
22 AO150Km	22(0.75)	16.5
7 AO230Km	7(2)	14
1925 Km de fibra óptica	1925	1925
	Total	2649.5

Comparación		Por Rutas	Por Anillo
		2593.5 c.u.	2576.5 c.u.
Anillo E (por rutas)			
Ruta		CapEx	
 <p>Tepic Lo. De Marco Puerto Vallarta</p>	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	4 T150Km	4(10)	40
	4 TTO150Km	4(12.5)	50
	Enlace		
	4 AO150Km	4(0.75)	3
	Ruta 34	190 Km de fibra óptica	190
		Total	290.5
 <p>Puerto Vallarta San Patricio Manzanillo</p>	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 T230Km	2(12.5)	25
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	2 TTO230Km	2(13.5)	27
	Enlace		
	2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	2 AO230Km	2(2)	4
	Ruta 35	283 Km de fibra óptica	283
		Total	393
 <p>Manzanillo Colima</p>	Nodo		
	2 RO19''	2(2.5)	5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	Enlace		
	2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	Ruta 36	127 Km de fibra óptica	127
		Total	178.5
 <p>Colima Ciudad Guzmán Guadalajara</p>	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	4 T150Km	4(10)	40
	4 TTO150Km	4(12.5)	50
	Enlace		
	4 AO150Km	4(0.75)	3
	Ruta 37	207 Km de fibra óptica	207
		Total	307.5
 <p>Guadalajara Tepic</p>	Nodo		
	2 RO19''	2(2.5)	5
	2 T230Km	2(12.5)	25
	2 TTO230Km	2(13.5)	27

Ruta 38	Enlace		
	2 AO230Km	2(2)	4
	221 Km de fibra óptica	221	221
	Total		282

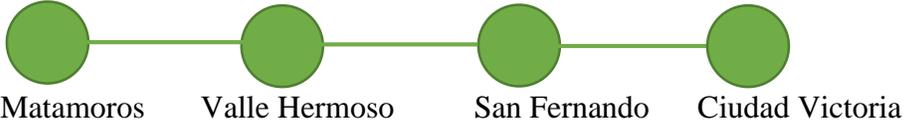
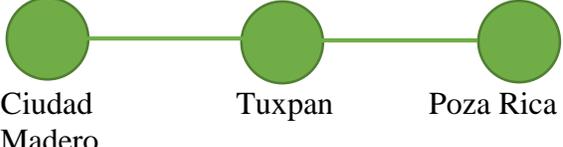
Anillo E

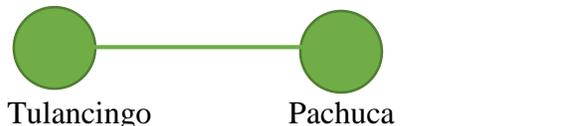
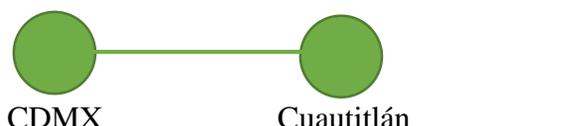


Nodo		
8 RO19''	8(2.5)	20
12 T150Km	12(10)	120
4 T230Km	4(12.5)	50
12 TTO150Km	12(12.5)	150
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
12 AO150Km	12(0.75)	9
4 AO230Km	4(2)	8
1028 Km de fibra óptica	1028	1028
Total		1439

Comparación

Por Rutas	Por Anillo
1451.5 c.u.	1439 c.u.

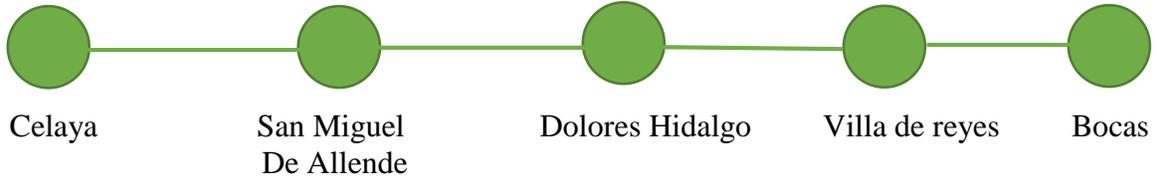
Anillo F (por rutas)		CapEx	
Rutas			
			
	Ruta 39		
		Nodo 4 RO19'' 4(2.5) 10 4 T150Km 4(10) 40 2 T230Km 2(12.5) 25 4 TTO150Km 4(12.5) 50 2 TTO230Km 2(13.5) 27 Enlace 4 AO150Km 4(0.75) 3 2 AO230Km 2(2) 4 339 Km de fibra 339 339 óptica Total 498	
		Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 2 T150Km 2(10) 20 2 TTO150Km 2(12.5) 25 Enlace 4 AO150Km 4(0.75) 3 238 Km de fibra 238 238 óptica Total 293.5	Ruta 40
		Nodo 2 RO19'' 2(2.5) 5 2 T150Km 2(10) 20 2 TTO150Km 2(12.5) 25 Enlace 7 Km de fibra óptica 7 7 Total 57	Ruta 41
		Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 2 T150Km 2(10) 20 2 T230Km 2(12.5) 25 2 TTO150Km 2(12.5) 25 2 TTO230Km 2(13.5) 27 Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 2 AO230Km 2(2) 4 257 Km de fibra 257 257 óptica Total 367	Ruta 42

 <p>Poza Rica Huauchinango Tulancingo</p>	<p>Ruta 43</p>	<p>Nodo 3 RO19'' 4 T150Km 4 TTO150Km</p>	<p>3(2.5) 7.5 4(10) 40 4(12.5) 50</p>
		<p>Enlace 4 AO150Km 161 Km de fibra óptica</p>	<p>4(0.75) 3 161 161 Total 261.5</p>
 <p>Tulancingo Pachuca</p>	<p>Ruta 44</p>	<p>Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km</p>	<p>2(2.5) 5 2(10) 20 2(12.5) 25</p>
		<p>Enlace 2 AO150Km 94 Km de fibra óptica</p>	<p>2(0.75) 1.5 94 94 Total 145.5</p>
 <p>Pachuca Teotihuacán CDMX</p>	<p>Ruta 45</p>	<p>Nodo 3 RO19'' 2 T150Km 2 T230Km 2 TTO150Km 2 TTO230Km</p>	<p>3(2.5) 7.5 2(10) 20 2(12.5) 25 2(12.5) 25 2(13.5) 27</p>
		<p>Enlace 2 AO150Km 2 AO230Km 251 Km de fibra óptica</p>	<p>2(0.75) 1.5 2(2) 4 251 251 Total 361</p>
 <p>CDMX Cuautitlán</p>	<p>Ruta 46</p>	<p>Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km</p>	<p>2(2.5) 5 2(10) 20 2(12.5) 25</p>
		<p>Enlace 2 AO150Km 58 Km de fibra óptica</p>	<p>2(0.75) 1.5 58 58 Total 109.5</p>
 <p>Cuautitlán San Juan del Río</p>	<p>Ruta 47</p>	<p>Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2 TTO150Km</p>	<p>2(2.5) 5 2(10) 20 2(12.5) 25</p>
		<p>Enlace 2 AO150Km 130 Km de fibra óptica</p>	<p>2(0.75) 1.5 130 130 Total 181.5</p>



Ruta 48

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
122 Km de fibra óptica	122	122
	Total	173.5



Ruta 49

Nodo		
9 RO19''	9(2.5)	22.5
10 T150Km	10(10)	100
4 T230Km	4(12.5)	50
10 TTO150Km	10(12.5)	125
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
12 AO150Km	12(0.75)	9
4 AO230Km	4(2)	8
944 Km de fibra óptica	944	944
	Total	1312.5



Ruta 50

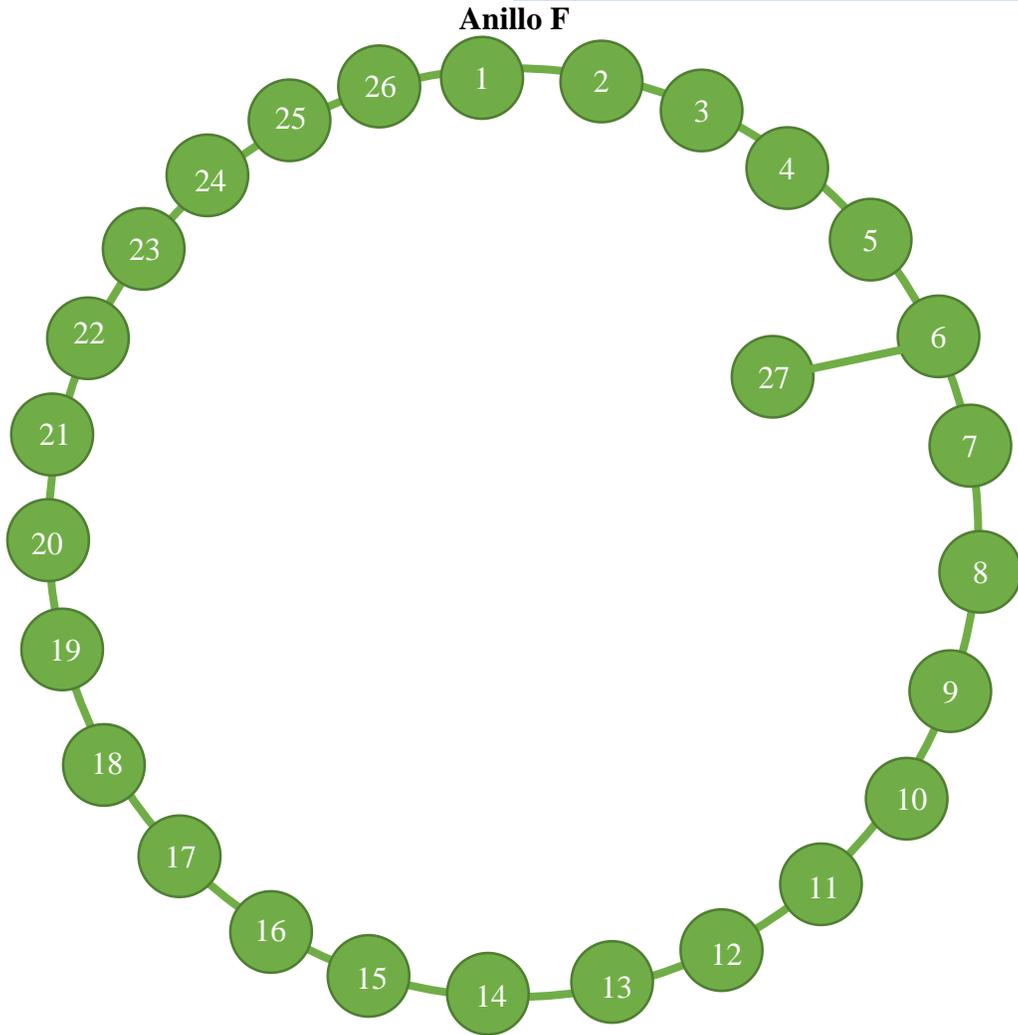
Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
224 Km de fibra óptica	224	224
	Total	279.5



Ruta 51

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	98	98

98 Km de fibra óptica	Total	149.5
-----------------------	-------	--------------



1. Matamoros
2. Valle Hermoso
3. San Fernando
4. Ciudad Victoria
5. Centauro
6. Ciudad Madero
7. Tuxpan
8. Poza Rica
9. Huauchinango
10. Tulancingo
11. Pachuca
12. Teotihuacán
13. CDMX
14. Cuautitlán
15. San Juan del Río

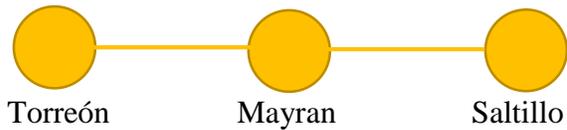
Nodo		
27 RO19''	27(2.5)	67.5
38 T150Km	38(10)	380
10 T230Km	10(12.5)	125
38 TTO150Km	38(12.5)	475
10 TTO230Km	10(13.5)	135
Enlace		
42 AO150Km	42(0.75)	31.5
10 AO230Km	10(2)	20
2923 Km de fibra óptica	2923	2923
	Total	4157

- 16. Celaya
- 17. San Miguel de Allende
- 18. Dolores Hidalgo
- 19. Villa de Reyes
- 20. Bocas
- 21. Matehuala
- 22. San Rafael
- 23. Linares
- 24. Monterrey
- 25. Loma Alta
- 26. Reynosa
- 27. Tampico

Comparación

	Por Rutas	Por Anillo
	4189.5 c.u.	4157 c.u.

Anillo G (por rutas)



Ruta 53

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
259 Km de fibra óptica	259	259
	Total	369



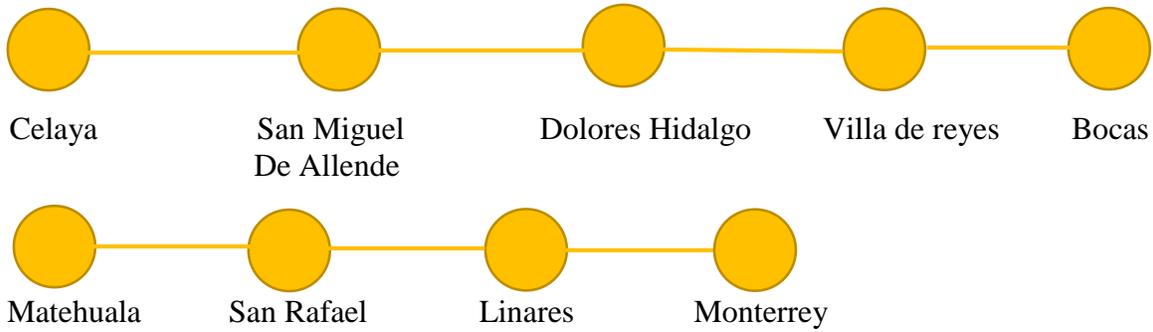
Ruta 54

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
65 Km de fibra óptica	65	65
	Total	116.5



Ruta 55

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
18 Km de fibra óptica	18	18
	Total	68



Ruta 56

Nodo		
9 RO19''	9(2.5)	22.5
10 T150Km	10(10)	100
4 T230Km	4(12.5)	50
10 TTO150Km	10(12.5)	125
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
12 AO150Km	12(0.75)	9
4 AO230Km	4(2)	8
944 Km de fibra óptica	944	944
Total		1312.5



Ruta 57

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
140 Km de fibra óptica	140	140
Total		191.5



Ruta 58

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
146 Km de fibra óptica	146	146
Total		197.5



Ruta 59

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
133 Km de fibra óptica	133	133
Total		184.5



Ruta 60

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
125 Km de fibra óptica	125	125
	Total	176.5



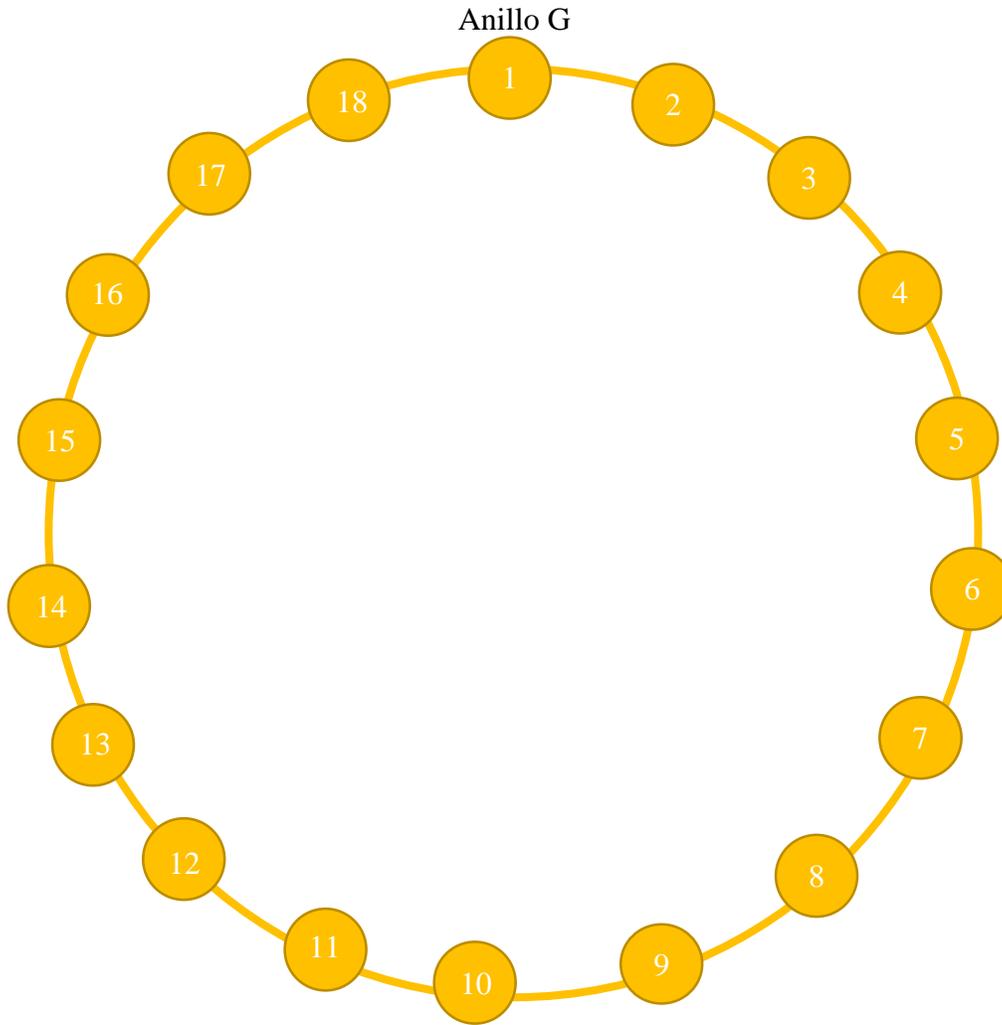
Ruta 61

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
71 Km de fibra óptica	71	71
	Total	122.5



Ruta 62

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
70 Km de fibra óptica	70	70
	Total	121.5

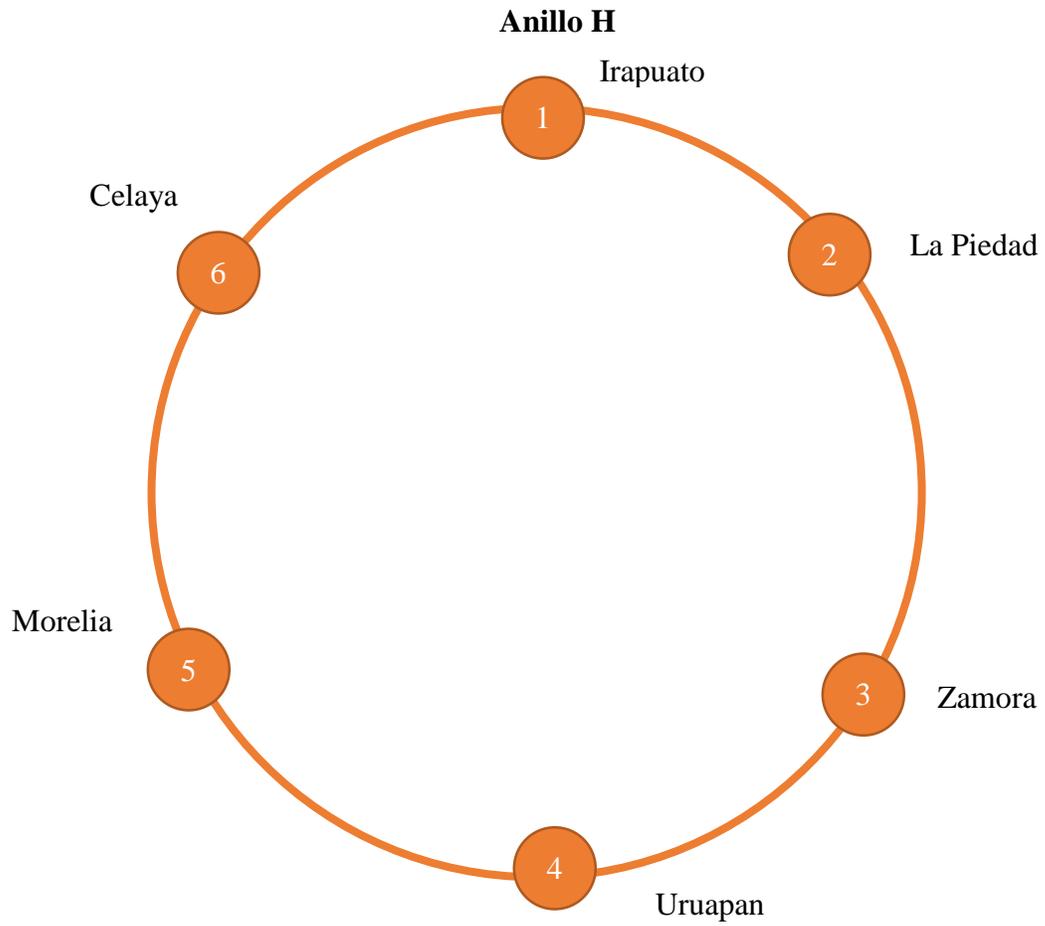


- 1. Torreón
- 2. Mayrán
- 3. Saltillo
- 4. Santa Catarina
- 5. Monterrey
- 6. Linares
- 7. San Rafael
- 8. Matchuale
- 9. Bocas
- 10. Villa de Reyes
- 11. Dolores Hidalgo
- 12. San Miguel de Allende
- 13. Celaya
- 14. Irapuato
- 15. León
- 16. Aguascalientes
- 17. Zacatecas

Nodo		
18 RO19''	18(2.5)	45
28 T150Km	28(10)	280
6 T230Km	6(12.5)	75
28 TTO150Km	28(12.5)	350
6 TTO230Km	6(13.5)	81
Enlace		
28 AO150Km	28(0.75)	21
6 AO230Km	6(2)	12
1971 Km de fibra óptica	1971	1971
	Total	2835

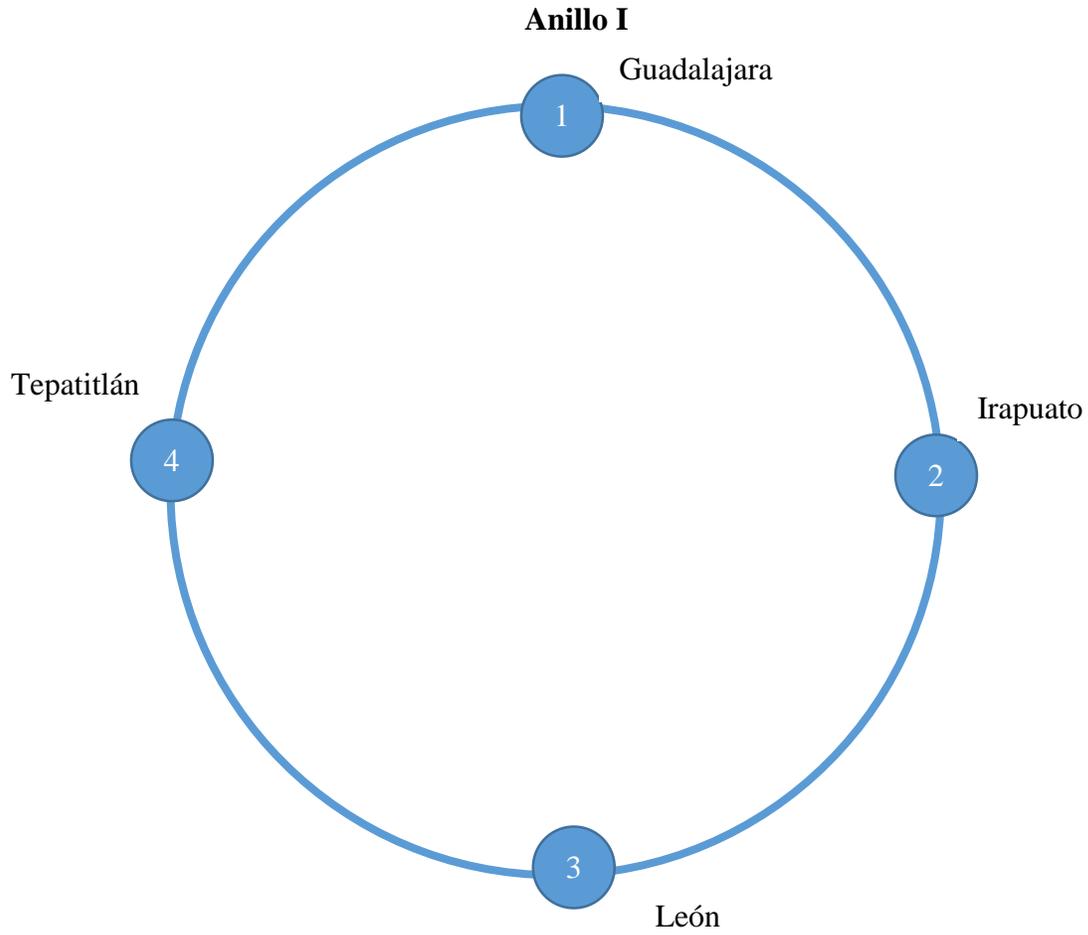
18. Fresnillo

		Comparación		
		Por Rutas	Por Anillo	
		2860 c.u.	2835 c.u.	
Anillo H (por rutas)				
Rutas		CapEx		
 <p>Irapuato La piedad Zamora</p>	Ruta 63	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		4 T150Km	4(10)	40
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		208 Km de fibra óptica	208	208
		Total		308.5
 <p>Zamora Uruapan</p>	Ruta 64	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		99 Km de fibra óptica	99	99
		Total		150.5
 <p>Uruapan Morelia</p>	Ruta 65	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		127 Km de fibra óptica	127	127
		Total		178.5
 <p>Morelia Celaya</p>	Ruta 66	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		133 Km de fibra óptica	133	133
		Total		184.5
 <p>Celaya Irapuato</p>	Ruta 67	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		140 Km de fibra óptica	140	140
		Total		191.5



Nodo		
6 RO19''	6(2.5)	15
12 T150Km	12(10)	120
12 TTO150Km	12(12.5)	150
Enlace		
12 AO150Km	12(0.75)	9
707 Km de fibra óptica	707	707
	Total	1001
Comparación	Por Rutas	Por Anillo
	1013.5 c.u.	1001 c.u.

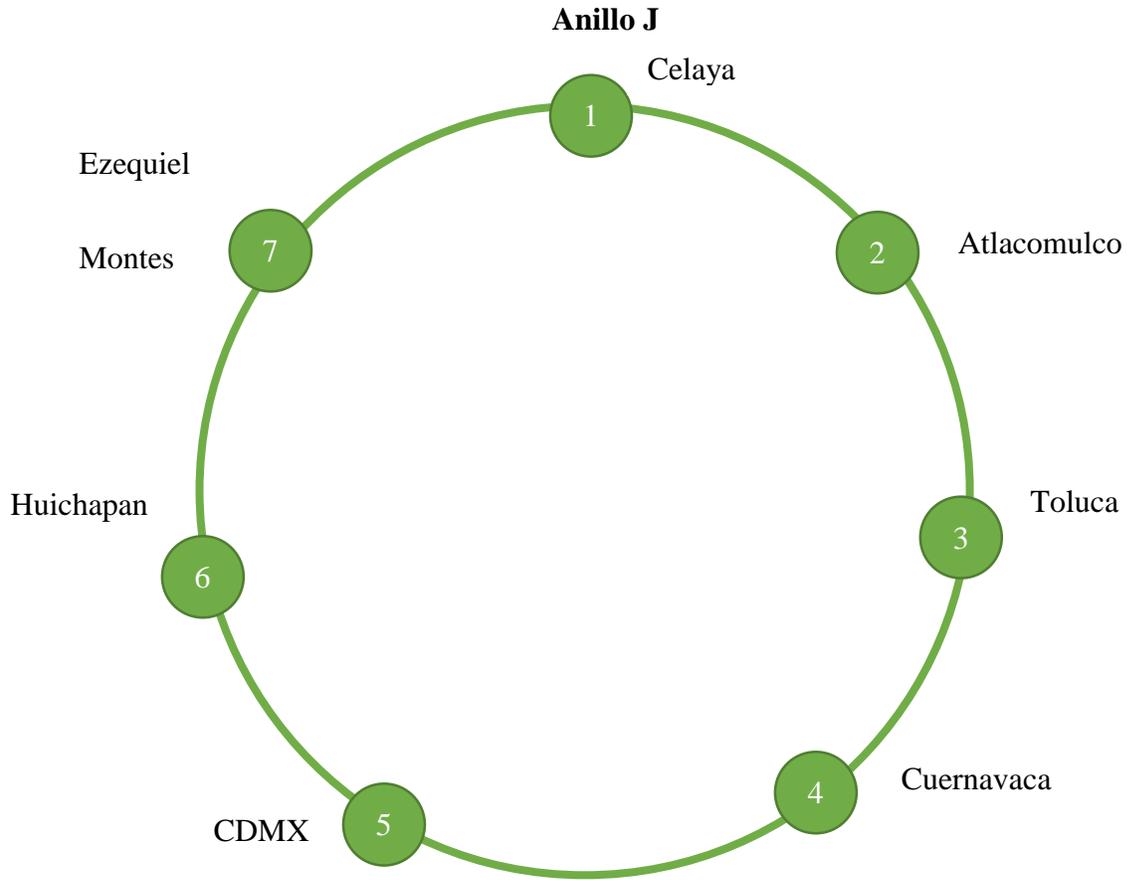
Rutas		Anillo I (por rutas)		
		CapEx		
 <p>Guadalajara Irapuato</p>	Ruta 68	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		144 Km de fibra óptica	144	144
		Total		195.5
 <p>Irapuato León</p>	Ruta 69	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		146 Km de fibra óptica	146	146
		Total		197.5
 <p>León Tepatitlán Guadalajara</p>	Ruta 70	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		4 T150Km	4(10)	40
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		216 Km de fibra óptica	216	216
		Total		316.5



Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
8 T150Km	8(10)	80
8 TTO150Km	8(12.5)	100
Enlace		
8 AO150Km	8(0.75)	6
506 Km de fibra óptica	506	506
	Total	702

Comparación	Por Rutas	Por Anillo
	709.5 c.u.	702 c.u.

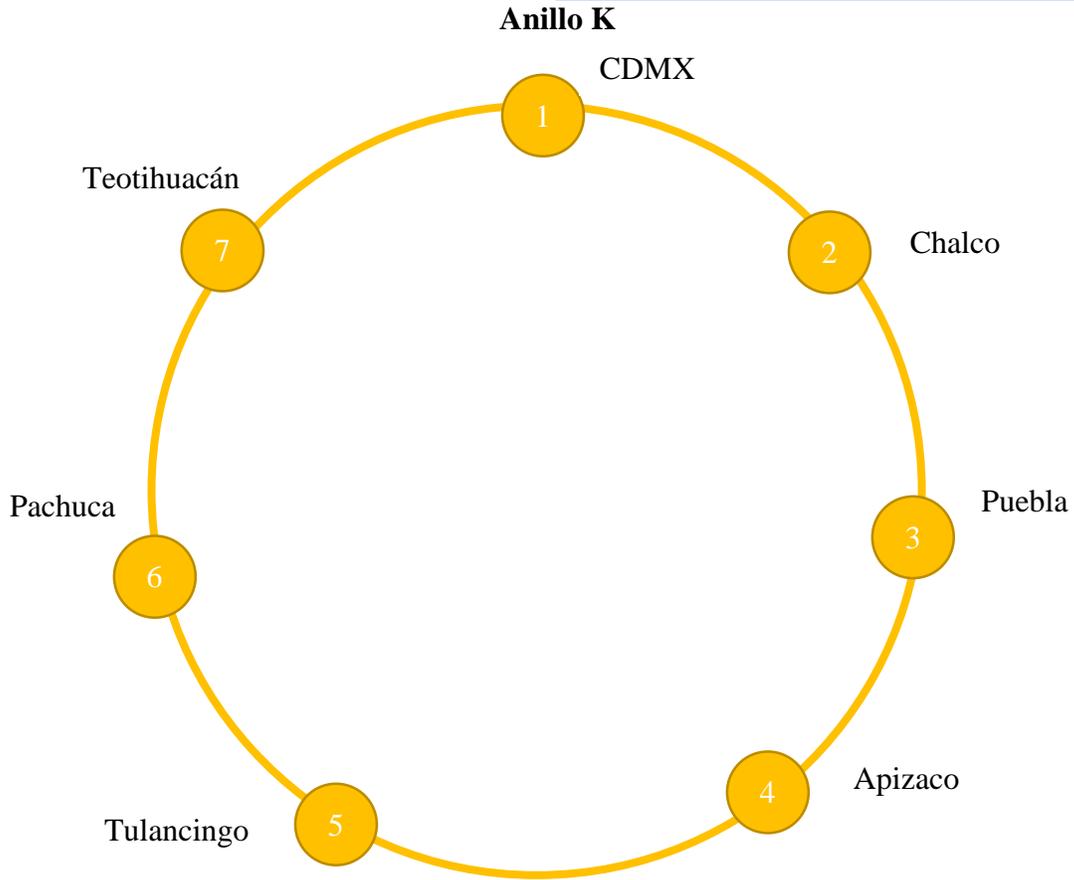
Rutas		Anillo J		
		CapEx		
 <p>Celaya Atlacomulco Toluca</p>	Ruta 71	Nodo		
		3 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		2 AO230Km	2(2)	4
		229 Km de fibra óptica	229	229
		Total		336.5
 <p>Toluca Cuernavaca</p>	Ruta 72	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		107 Km de fibra óptica	107	107
		Total		158.5
 <p>Cuernavaca CDMX</p>	Ruta 73	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		69 Km de fibra óptica	69	69
		Total		120.5
 <p>CDMX Huichapan Ezequiel Montes Celaya</p>	Ruta 74	Nodo		
		4 RO19''	4(2.5)	10
		4 T150Km	4(10)	40
		2 T230Km	2(12.5)	25
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		2 AO230Km	2(2)	4
		373 Km de fibra óptica	373	373
		Total		532



Nodo		
7 RO19''	7(2.5)	17.5
10 T150Km	10(10)	100
4 T230Km	4(12.5)	50
10 TTO150Km	10(12.5)	125
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
10 AO150Km	10(0.75)	7.5
4 AO230Km	4(2)	8
778 Km de fibra óptica	778	778
	Total	1140
Comparación	Por Rutas	Por Anillo
	1147.5 c.u.	1140 c.u.

Rutas		Anillo K (por rutas)		
		CapEx		
 <p>CDMX — Chalco</p>	Ruta 75	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		56 Km de fibra óptica	56	56
		Total		107.5
 <p>Chalco — Puebla</p>	Ruta 76	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		101 Km de fibra óptica	101	101
		Total		152.5
 <p>Puebla — Apizaco — Tulancingo</p>	Ruta 77	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		2 AO230Km	2(2)	4
		252 Km de fibra óptica	252	252
		Total		362
 <p>Tulancingo — Pachuca</p>	Ruta 78	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		94 Km de fibra óptica	94	94
		Total		145.5
 <p>Pachuca — Teotihuacán — CDMX</p>	Ruta 79	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		2 AO230Km	2(2)	4

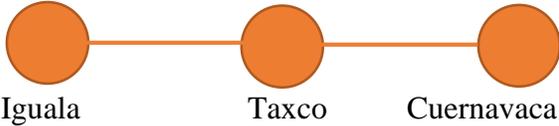
251 Km de fibra óptica	251 Total	251 361
------------------------	-----------	----------------



Nodo		
7 RO19''	7(2.5)	17.5
10 T150Km	10(10)	100
4 T230Km	4(12.5)	50
10 TTO150Km	10(12.5)	125
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
10 AO150Km	10(0.75)	7.5
4 AO230Km	4(2)	8
754 Km de fibra óptica	754	754
	Total	1116

Comparación

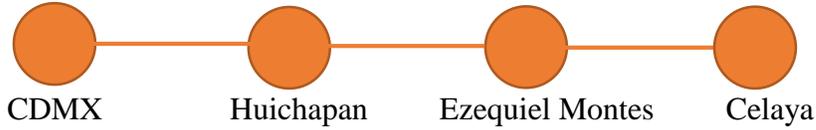
Por Rutas	Por Anillo
1128.5 c.u.	1116 c.u.

Anillo L (por rutas)		CapEx	
Rutas			
	Ruta 80		
	Nodo		
	6 RO19''	6(2.5)	15
	8 T150Km	8(10)	80
	2 T230Km	2(12.5)	25
	8 TTO150Km	8(12.5)	100
	2 TTO230Km	2(13.5)	27
	Enlace		
	8 AO150Km	8(0.75)	6
	2 AO230Km	2(2)	4
	728 Km de fibra óptica	728	728
	Total		985
	Ruta 81		
	Nodo		
	2 RO19''	2(2.5)	5
	2 T230Km	2(12.5)	25
	2 TTO230Km	2(13.5)	27
	Enlace		
	2 AO230Km	2(2)	4
	160 Km de fibra óptica	160	160
	Total		221
	Ruta 82		
	Nodo		
	2 RO19''	2(2.5)	5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	Enlace		
	2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	106 Km de fibra óptica	106	106
	Total		157.5
	Ruta 83		
	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	4 T150Km	4(10)	40
	4 TTO150Km	4(12.5)	50
	Enlace		
	4 AO150Km	4(0.75)	3
	123 Km de fibra óptica	123	123
	Total		223.5



Ruta 84

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
69 Km de fibra óptica	69	69
Total		120.5



Ruta 85

Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
4 T150Km	4(10)	40
2 T230Km	2(12.5)	25
4 TTO150Km	4(12.5)	50
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
373 Km de fibra óptica	373	373
Total		532



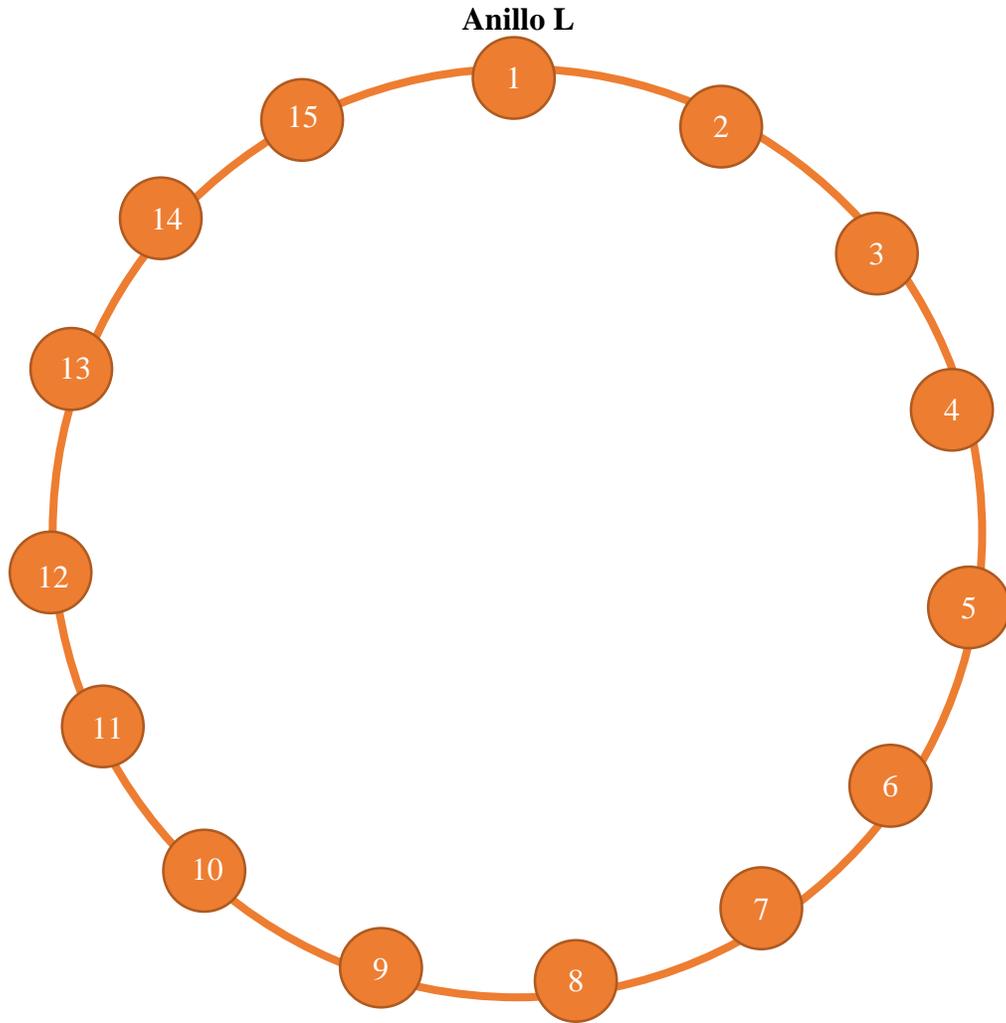
Ruta 86

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
133 Km de fibra óptica	133	133
Total		184.5



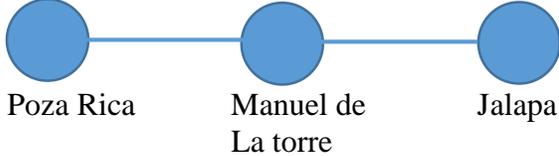
Ruta 87

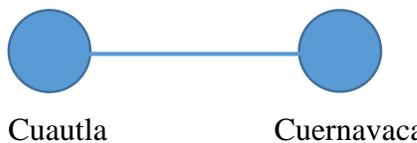
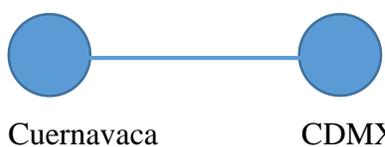
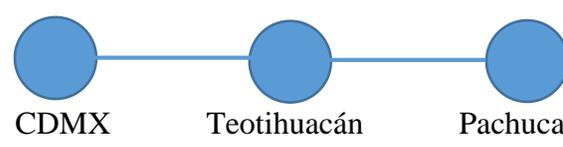
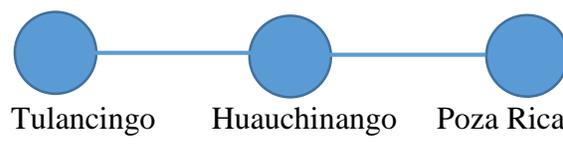
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
140 Km de fibra óptica	140	140
Total		191.5

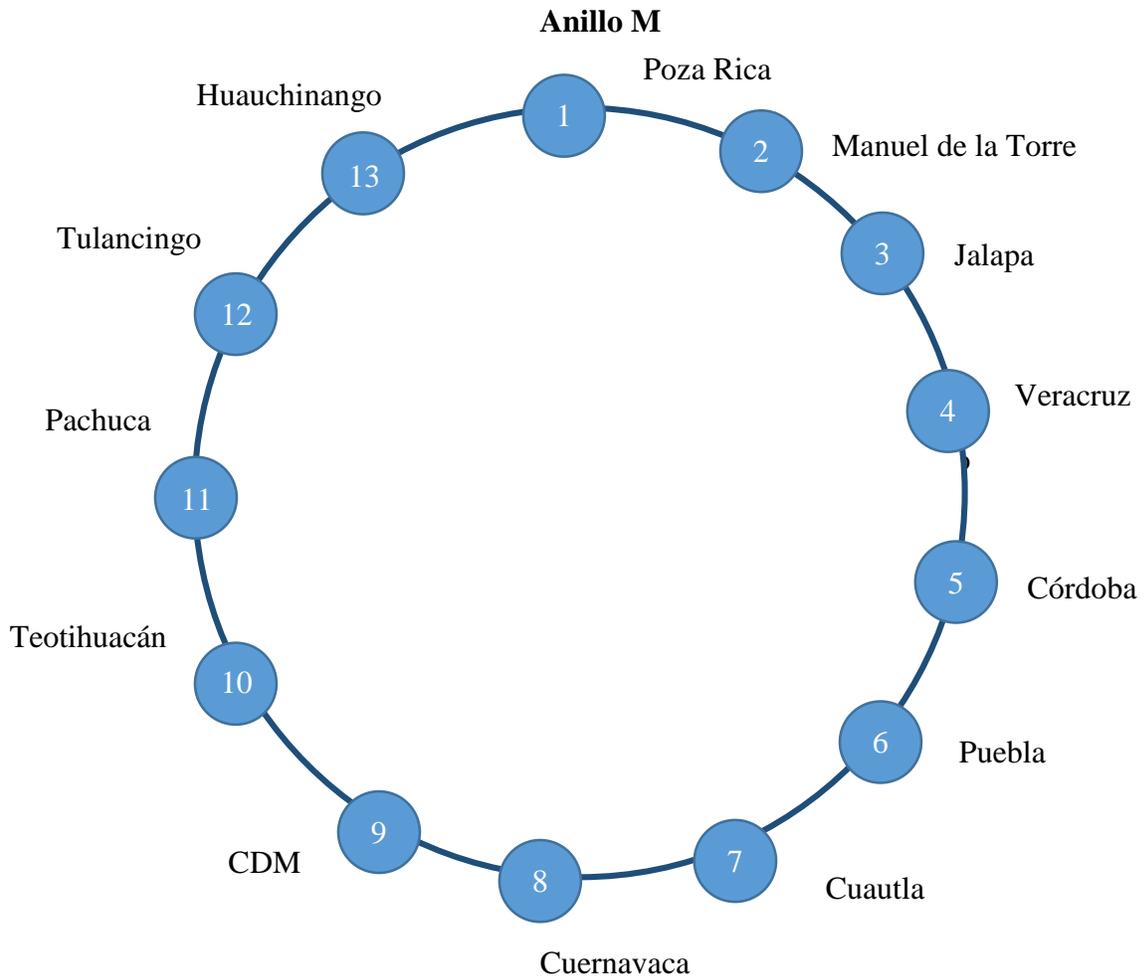


- 1. Uruapan
- 2. Apatzingan
- 3. Lázaro Cárdenas
- 4. Ixtapa
- 5. Nuxco
- 6. Acapulco
- 7. Chilpancingo
- 8. Iguala
- 9. Taxco
- 10. Cuernavaca
- 11. CDMX
- 12. Huichapan
- 13. Ezequiel Montes
- 14. Celaya
- 15. Morelia

Nodo		
15 RO19''	15(2.5)	37.5
24 T150Km	24(10)	240
6 T230Km	6(12.5)	75
24 TTO150Km	24(12.5)	300
6 TTO230Km	6(13.5)	81
Enlace		
24 AO150Km	24(0.75)	18
6 AO230Km	6(2)	12
1832 Km de fibra óptica	1832	1832
	Total	2595.5

		Comparación		
		Por Rutas	Por Anillo	
		2615.5 c.u.	2595.5 c.u.	
Anillo M (por rutas)				
Rutas		CapEx		
 <p>Poza Rica Manuel de La torre Jalapa</p>	Ruta 88	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		6 T150Km	6(10)	60
		6 TTO150Km	6(12.5)	75
		Enlace		
		6 AO150Km	6(0.75)	4.5
		275 Km de fibra óptica	275	275
		Total		422
 <p>Jalapa Veracruz</p>	Ruta 89	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		113 Km de fibra óptica	113	113
		Total		164.5
 <p>Veracruz Córdoba</p>	Ruta 90	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		125 Km de fibra óptica	125	125
		Total		176.5
 <p>Córdoba Puebla</p>	Ruta 91	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
		181 Km de fibra óptica	181	181
		Total		242
 <p>Puebla Cuautla</p>	Ruta 92	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
		153 Km de fibra óptica	153	153
		Total		214

 <p>Cuautla Cuernavaca</p>	Ruta 93	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		42 Km de fibra óptica	42	42
		Total		93.5
 <p>Cuernavaca CDMX</p>	Ruta 94	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		69 Km de fibra óptica	69	69
		Total		120.5
 <p>CDMX Teotihuacán Pachuca</p>	Ruta 95	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		2 AO230Km	2(2)	4
		251 Km de fibra óptica	251	251
		Total		361
 <p>Pachuca Tulancingo</p>	Ruta 96	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		94 Km de fibra óptica	94	94
		Total		145.5
 <p>Tulancingo Huauchinango Poza Rica</p>	Ruta 97	Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		4 T150Km	4(10)	40
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		161 Km de fibra óptica	161	161
		Total		261.5



Nodo		
13 RO19''	13(2.5)	32.5
22 T150Km	22(10)	220
4 T230Km	4(12.5)	50
22 TTO150Km	22(12.5)	275
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
22 AO150Km	22(0.75)	16.5
4 AO230Km	4(2)	8
1464 Km de fibra óptica	1464	1464
	Total	2120
Comparación:	Por Rutas	Por Anillo
	2201 c.u.	2120 c.u.

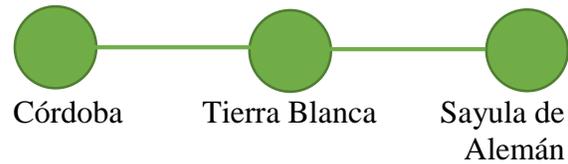
Rutas		Anillo N		CapEx
Veracruz	Santiago Tuxtla	Acayucán	Coatzacoalcos	
				Ruta 98
		Nodo		
		4 RO19''	4(2.5)	10
		6 T150Km	6(10)	60
		6 TTO150Km	6(12.5)	75
		Enlace		
		6 AO150Km	6(0.75)	4.5
		314 Km de fibra óptica	314	314
			Total	463.5
Coatzacoalcos	Sayula de Alemán	Juchitán	San Dionisio	Oaxaca Ocoatepec
				Ruta 99
		Nodo		
		5 RO19''	5(2.5)	12.5
		4 T150Km	4(10)	40
		4 T230Km	4(12.5)	50
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		4 TTO230Km	4(13.5)	54
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		4 AO230Km	4(2)	8
		552 Km de fibra óptica	552	552
			Total	769.5
Oaxaca	Huajuapán de León	Acatlán de Osorio	Puebla	
				Ruta 100
		Nodo		
		4 RO19''	4(2.5)	10
		2 T150Km	2(10)	20
		4 T230Km	4(12.5)	50
		2 TTO150Km	2(12.5)	25
		4 TTO230Km	4(13.5)	54



Ruta 101

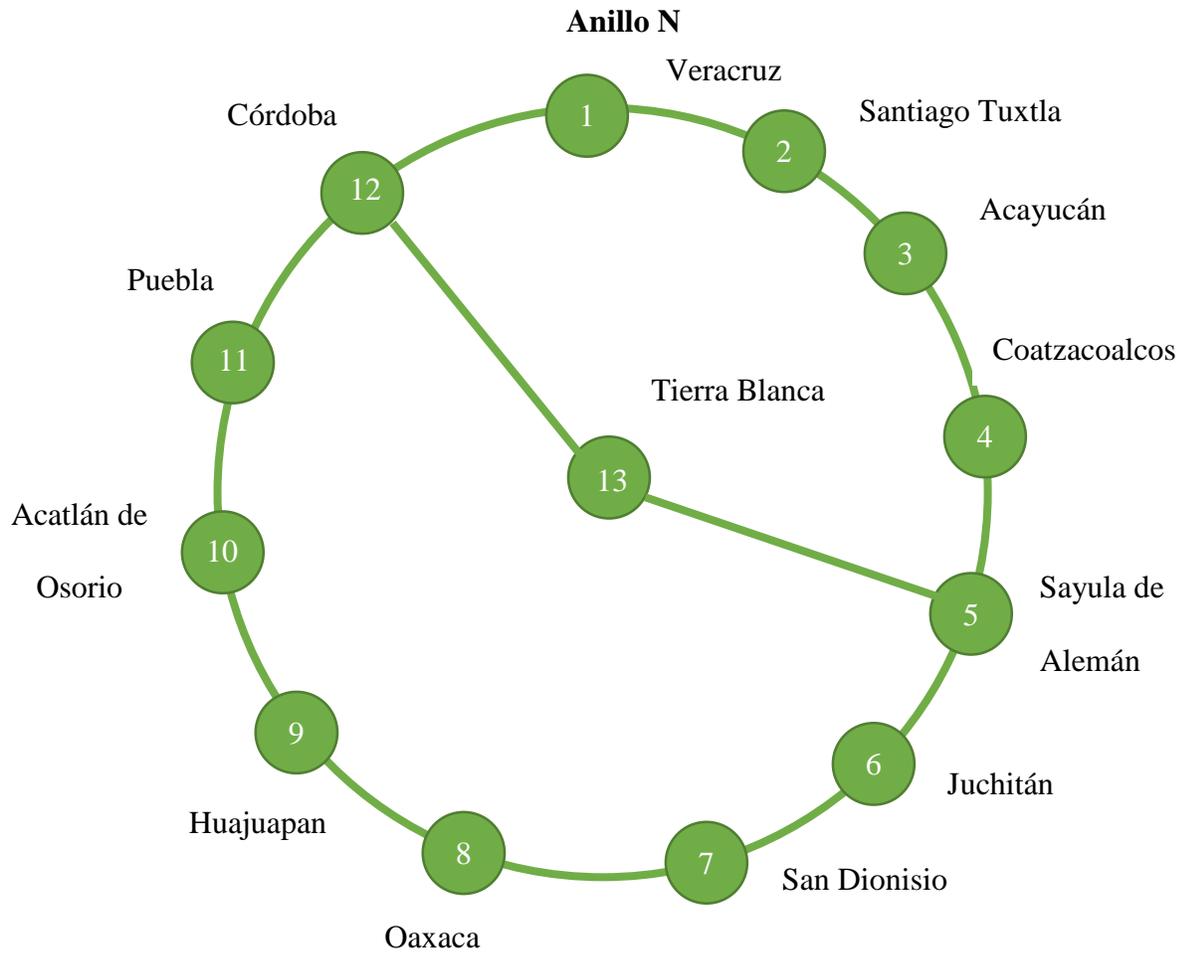


Ruta 102



Ruta 103

Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
4 AO230Km	4(2)	8
405 Km de fibra óptica	405	405
	Total	573.5
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO230Km	2(2)	4
181 Km de fibra óptica	181	181
	Total	242
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
125 Km de fibra óptica	125	125
	Total	176.5
Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
310 Km de fibra óptica	310	310
	Total	420



Nodo		
13 RO19''	13(2.5)	32.5
16 T150Km	16(10)	160
12 T230Km	12(12.5)	150
16 TTO150Km	16(12.5)	200
12 TTO230Km	12(13.5)	162
Enlace		
16 AO150Km	16(0.75)	12
12 AO230Km	12(2)	24
1887 Km de fibra óptica	1887	1887
	Total	2627.5
Comparación:	Por Rutas	Por Anillo
	2645 c.u.	2627.5 c.u.

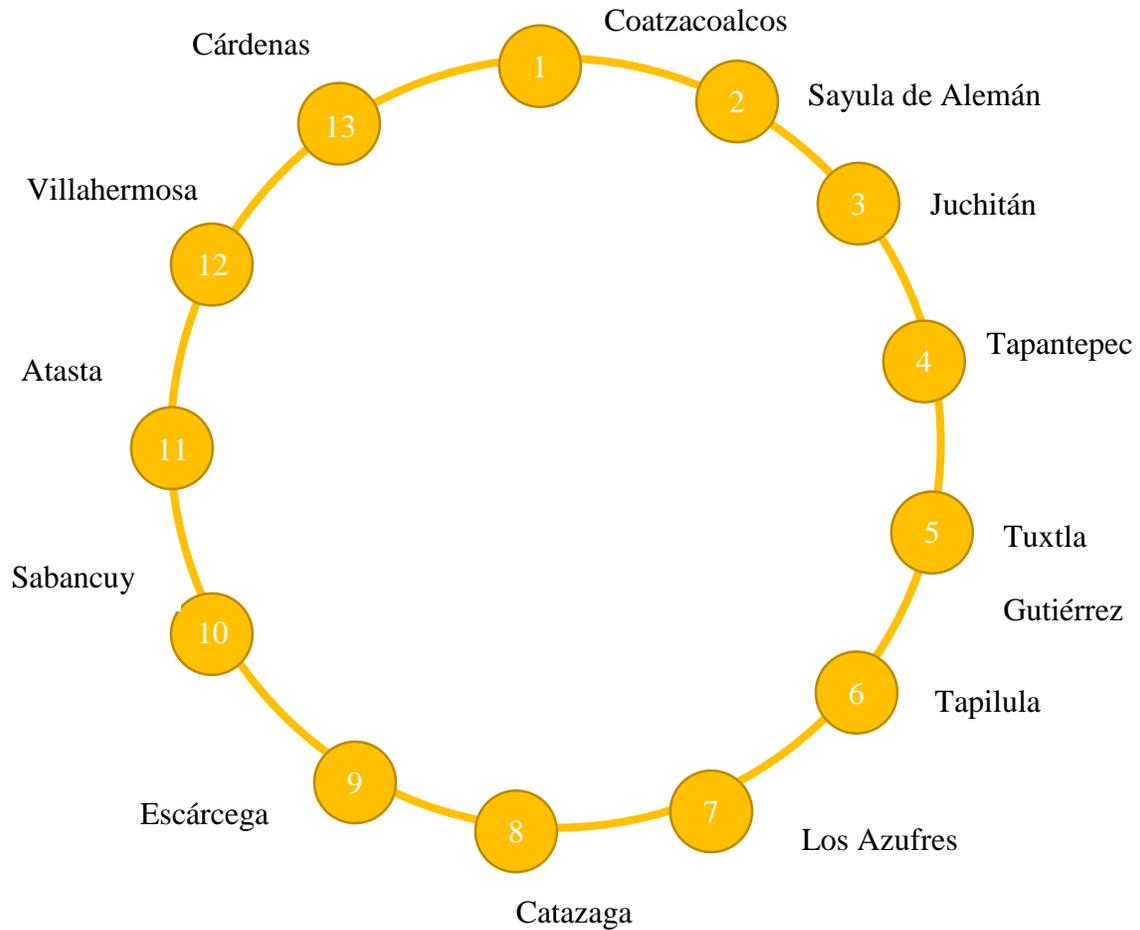
Anillo O (por rutas)			CapEx	
Rutas				
				
Coatzacoalcos	Sayula de Alemán	Juchitán		
Ruta 104				
Nodo				
3 RO19''			3(2.5)	7.5
2 T150Km			2(10)	20
2 T230Km			2(12.5)	25
2 TTO150Km			2(12.5)	25
2 TTO230Km			2(13.5)	27
Enlace				
2 AO150Km			2(0.75)	1.5
2 AO230Km			2(2)	4
271 Km de fibra óptica			271	271
			Total	381
				
Juchitán	Tapantepec	Tuxtla Gutiérrez		
Ruta 105				
Nodo				
3 RO19''			3(2.5)	7.5
2 T150Km			2(10)	20
2 T230Km			2(12.5)	25
2 TTO150Km			2(12.5)	25
2 TTO230Km			2(13.5)	27
Enlace				
2 AO150Km			2(0.75)	1.5
2 AO230Km			2(2)	4
279 Km de fibra óptica			279	279
			Total	389
				
Tuxtla Gutiérrez	Tapilula	Los Azufres	Catatzaja	Escárcega
				
Sabancuy	Atasta	Villahermosa		
Ruta 106				
Nodo				
8 RO19''			8(2.5)	20
7 T150Km			7(10)	70
5 T230Km			5(12.5)	62.5
7 TTO150Km			7(12.5)	87.5
5 TTO230Km			5(13.5)	67.5
Enlace				
8 AO150Km			8(0.75)	6
6 AO230Km			6(2)	12
1035 Km de fibra óptica			1035	1035
			Total	1360.5



Ruta 107

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T150Km	4(10)	40
4 TTO150Km	4(12.5)	50
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
252 Km de fibra óptica	252	252
Total		352.5

Anillo O

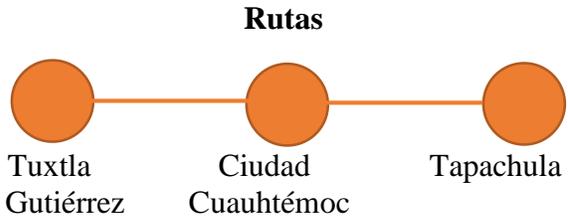


Nodo		
13 RO19''	13(2.5)	32.5
15 T150Km	15(10)	150
9 T230Km	9(12.5)	112.5
15 TTO150Km	15(12.5)	187.5
9 TTO230Km	9(13.5)	121.5
Enlace		
16 AO150Km	16(0.75)	12
10 AO230Km	10(2)	20
1765 Km de fibra óptica	1765	1765
Total		2401

Comparación:

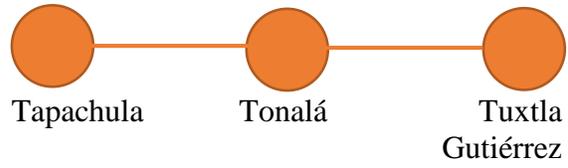
Por Rutas	Por Anillo
2483 c.u.	2401 c.u.

Anillo P (por rutas)



Ruta 108

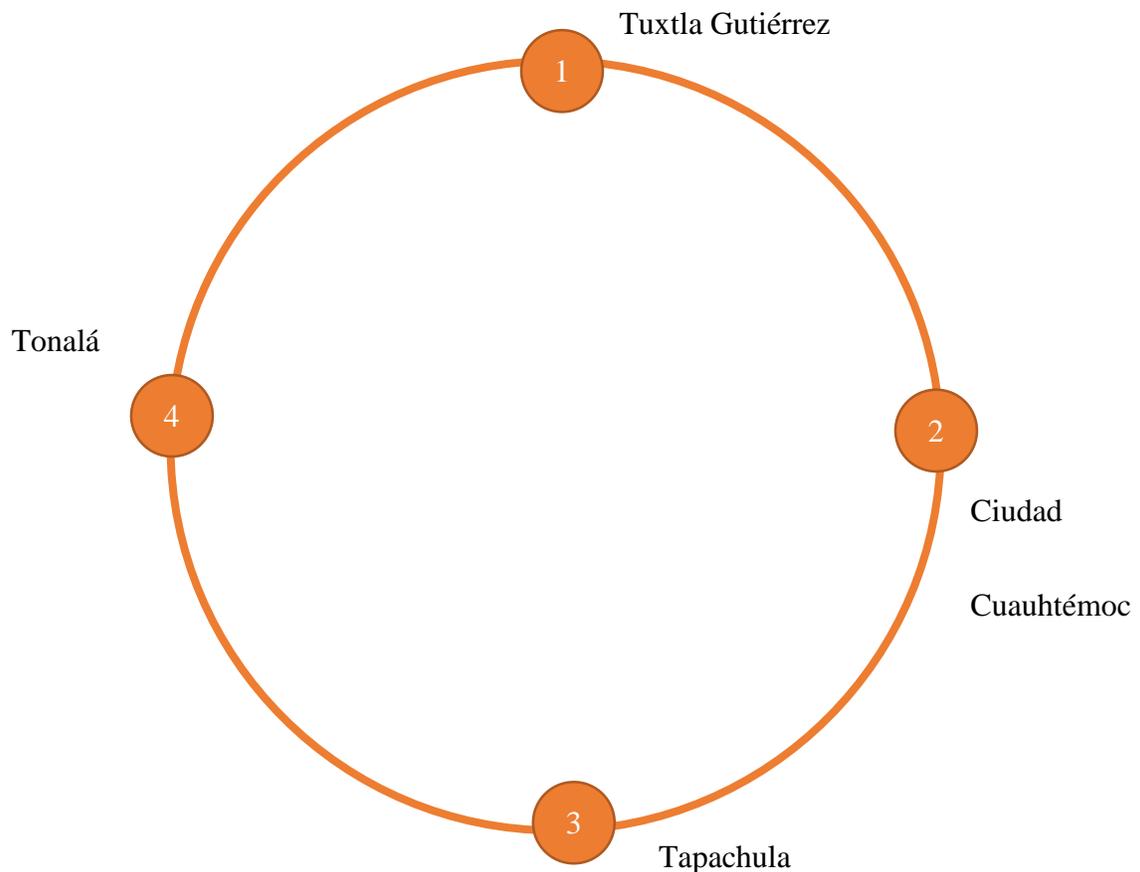
CapEx		
Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T230Km	4(12.5)	50
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
4 AO230Km	4(2)	8
392 Km de fibra óptica	392	392
Total		511.5



Ruta 109

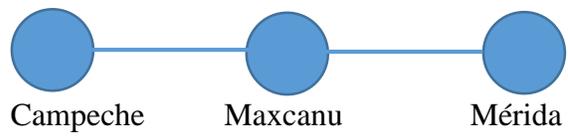
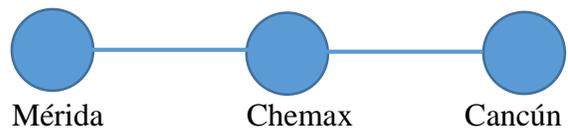
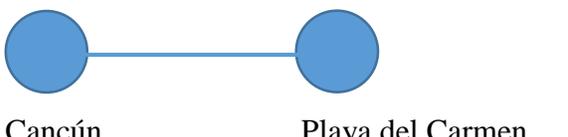
Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T230Km	4(12.5)	50
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
4 AO230Km	4(2)	8
453 Km de fibra óptica	453	453
Total		572.5

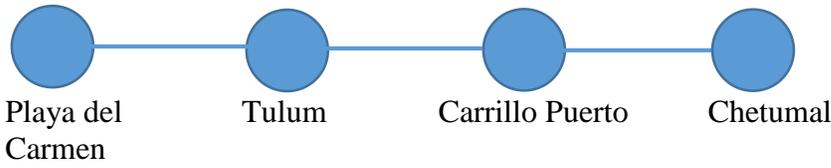
Anillo P



Comparación	Nodo		
	4 RO19''	4(2.5)	10
	8 T230Km	8(12.5)	100
	8 TTO230Km	8(13.5)	108
	Enlace		
	8 AO230Km	8(2)	16
	845 Km de fibra óptica	845	845
	Total		1079
	Por Rutas	Por Anillo	
	1084 c.u.	1079 c.u.	

Anillo Q (por rutas)

Rutas		CapEx	
 <p>Campeche Maxcanu Mérida</p>	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	Enlace		
	4 AO150Km	4(0.75)	3
	177 Km de fibra óptica	177	177
Total		232.5	
 <p>Mérida Chemax Cancún</p>	Nodo		
	3 RO19''	3(2.5)	7.5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 T230Km	2(12.5)	25
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	2 TTO230Km	2(13.5)	27
	Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5	
2 AO230Km	2(2)	4	
314 Km de fibra óptica	314	314	
Total		424	
 <p>Cancún Playa del Carmen</p>	Nodo		
	2 RO19''	2(2.5)	5
	2 T150Km	2(10)	20
	2 TTO150Km	2(12.5)	25
	Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5	
36 Km de fibra óptica	36	36	
Total		87.5	



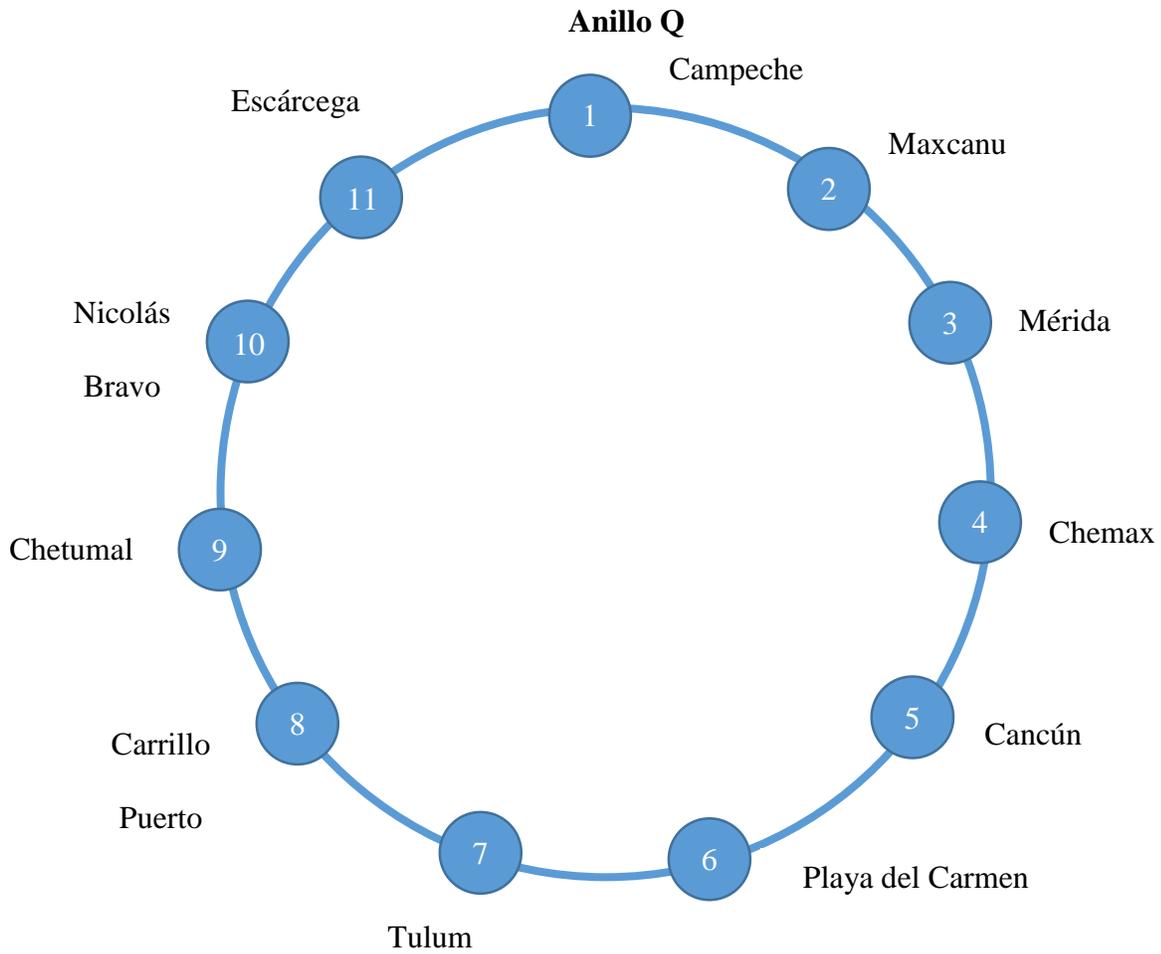
Ruta 113

Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
4 T150Km	4(10)	40
2 T230Km	2(12.5)	25
4 TTO150Km	4(12.5)	50
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
384 Km de fibra óptica	384	384
	Total	543



Ruta 114

Nodo		
4 RO19''	4(2.5)	10
4 T150Km	4(10)	40
2 T230Km	2(12.5)	25
4 TTO150Km	4(12.5)	50
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
353 Km de fibra óptica	353	353
	Total	512



Nodo		
13 RO19''	13(2.5)	32.5
14 T150Km	14(10)	140
6 T230Km	6(12.5)	75
14 TTO150Km	14(12.5)	175
6 TTO230Km	6(13.5)	81
Enlace		
16 AO150Km	16(0.75)	12
6 AO230Km	6(2)	12
1264 Km de fibra óptica	1264	1264
	Total	1791.5

Comparación:

Por Rutas	Por Anillo
1799 c.u.	1791.5 c.u.

Anexo C Áreas de cobertura

2. Nogales- Hermosillo

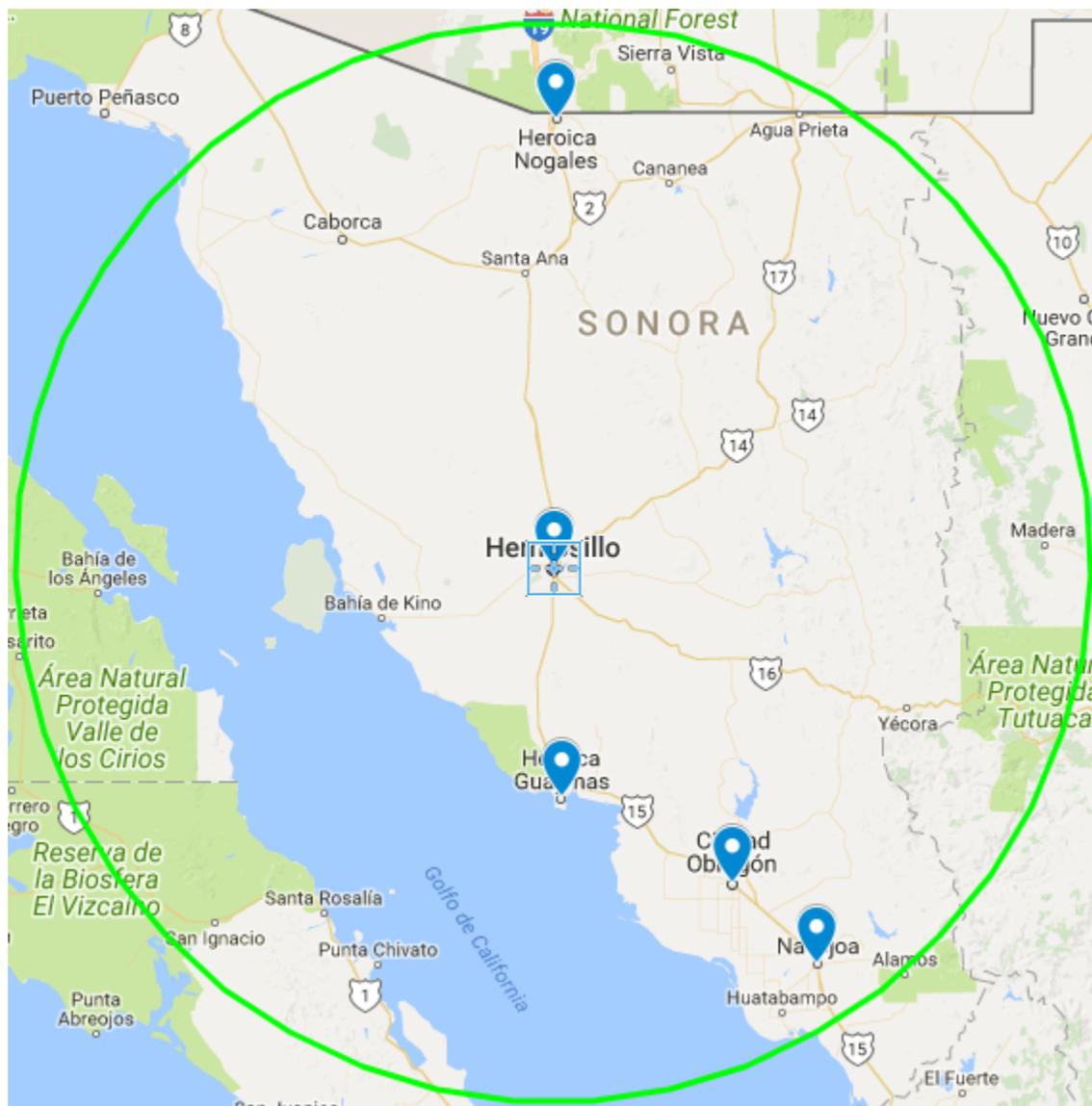


Imagen 3.7 Área de cobertura 2 (Elaboración propia, 2018)

3. Guaymas- Ciudad Obregón- Navojoa- Los Mochis

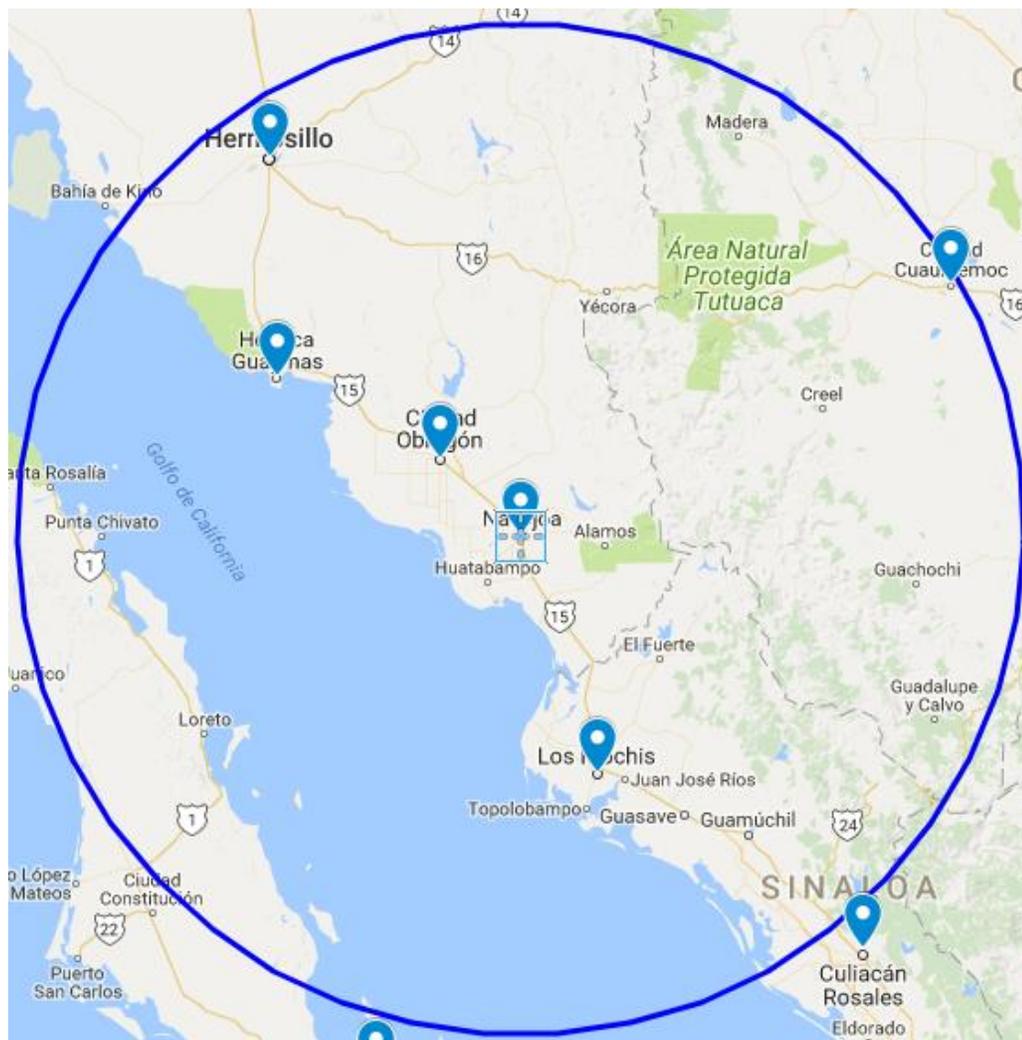


Imagen 3.8 Área de cobertura 3 (Elaboración propia, 2018)

4. Ciudad Juárez- Chihuahua- Ciudad Delicias- Ciudad Cuauhtémoc

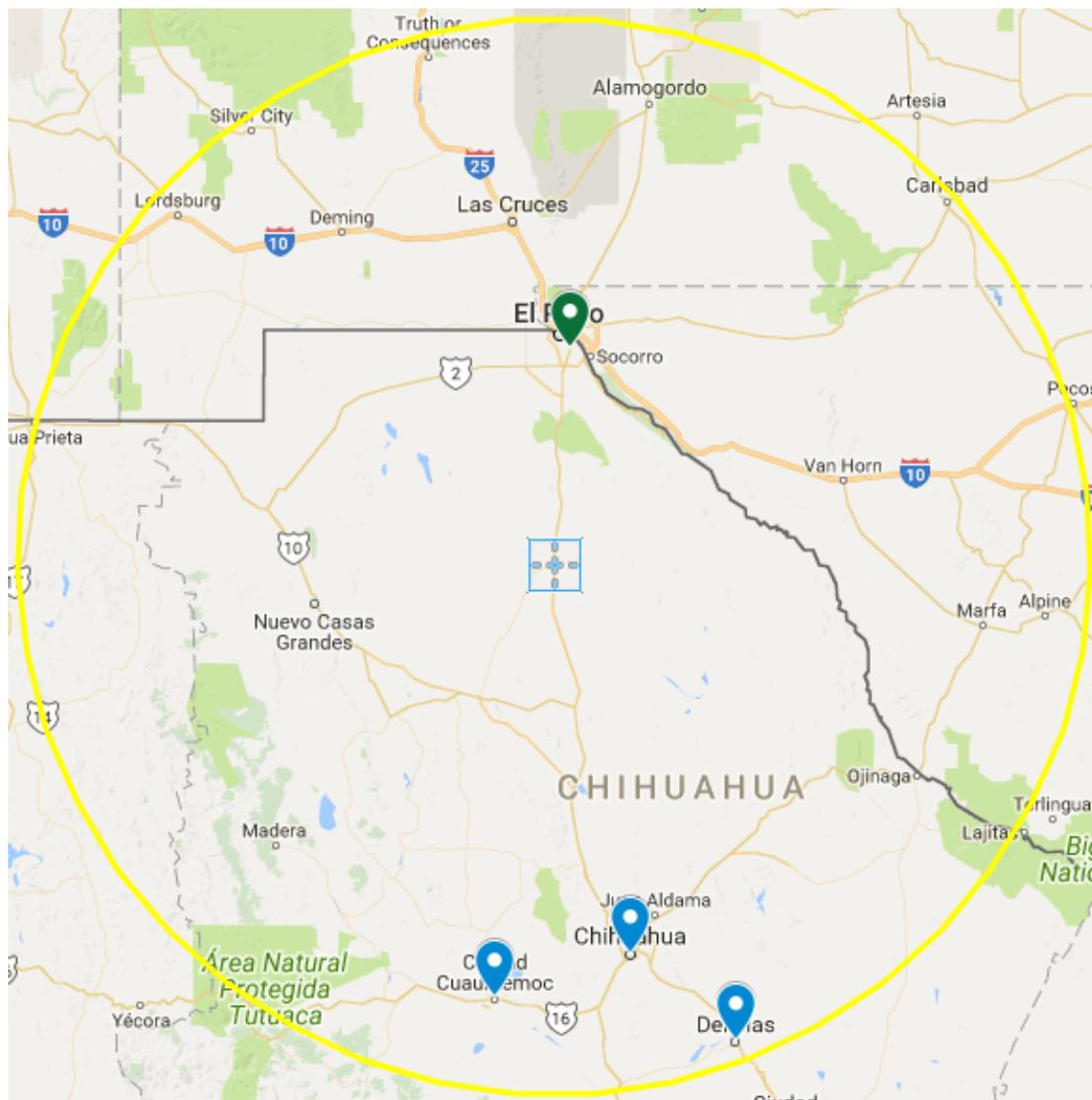


Imagen 3.9 Área de cobertura 4 (Elaboración propia, 2018)

5. Parral

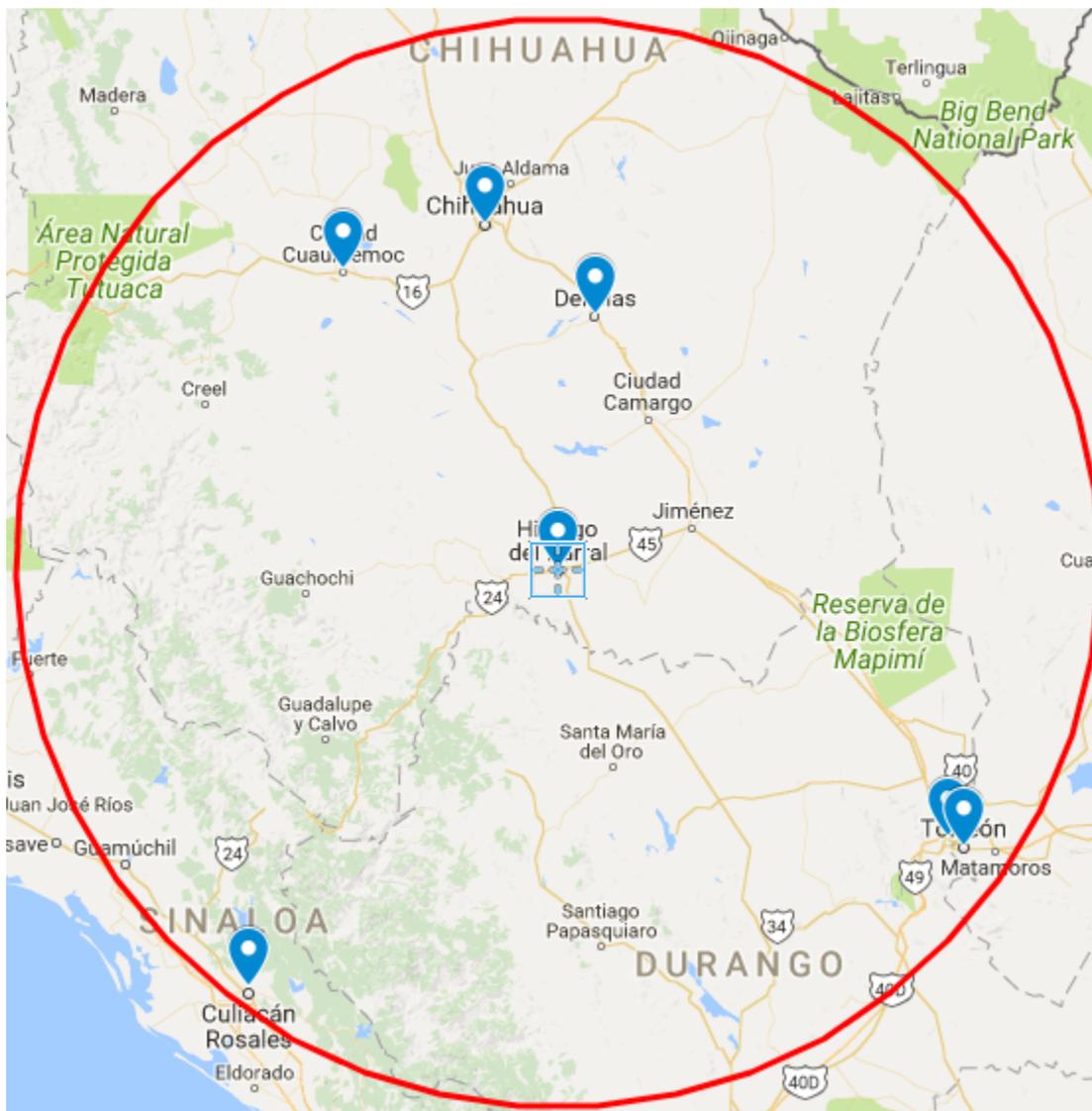


Imagen 3.10 Área de cobertura 5 (Elaboración propia, 2018)

6. Piedras Negras- Laredo

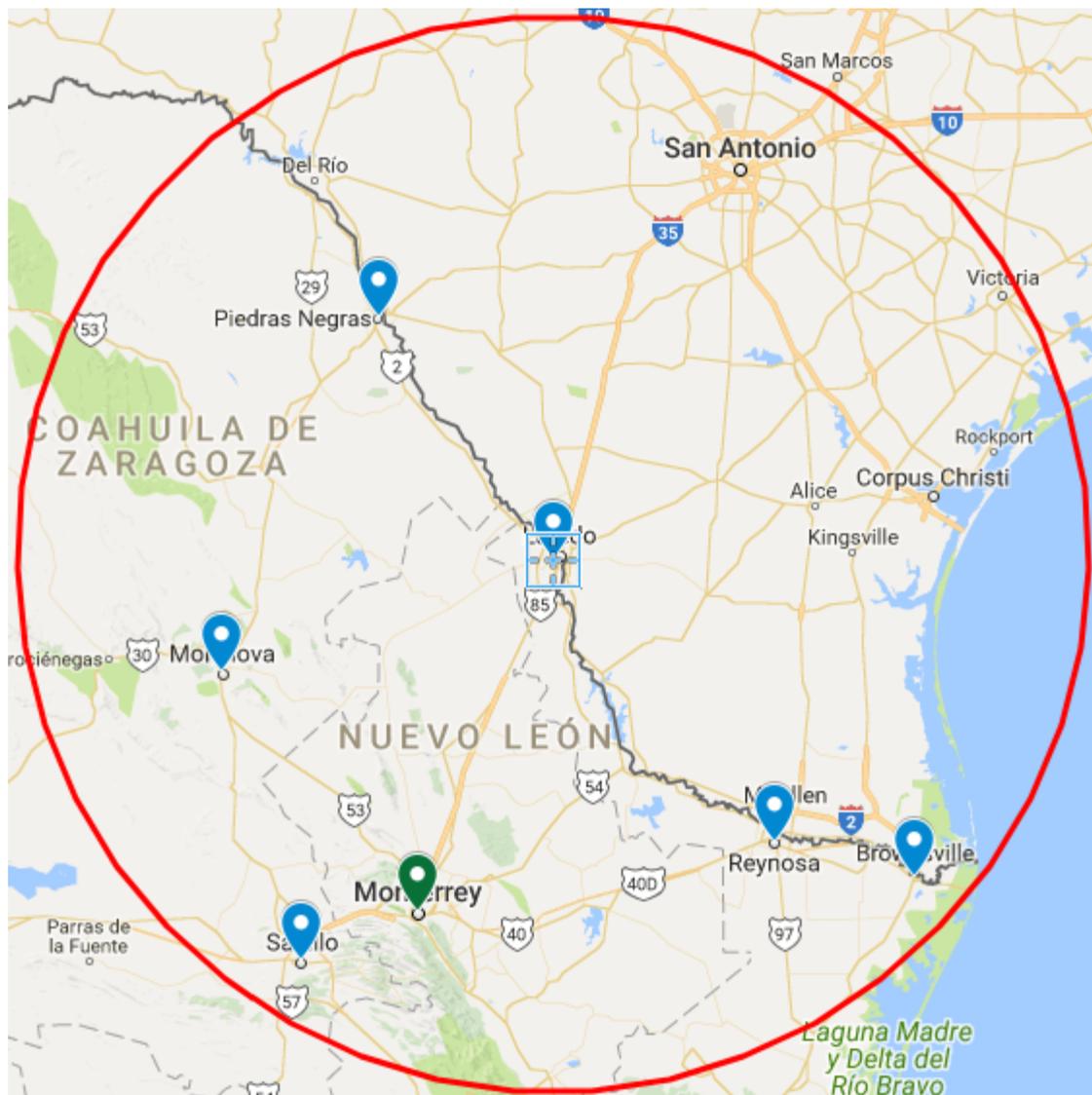


Imagen 3.11 Área de cobertura 6 (Elaboración propia, 2018)

7. Reynosa- Matamoros

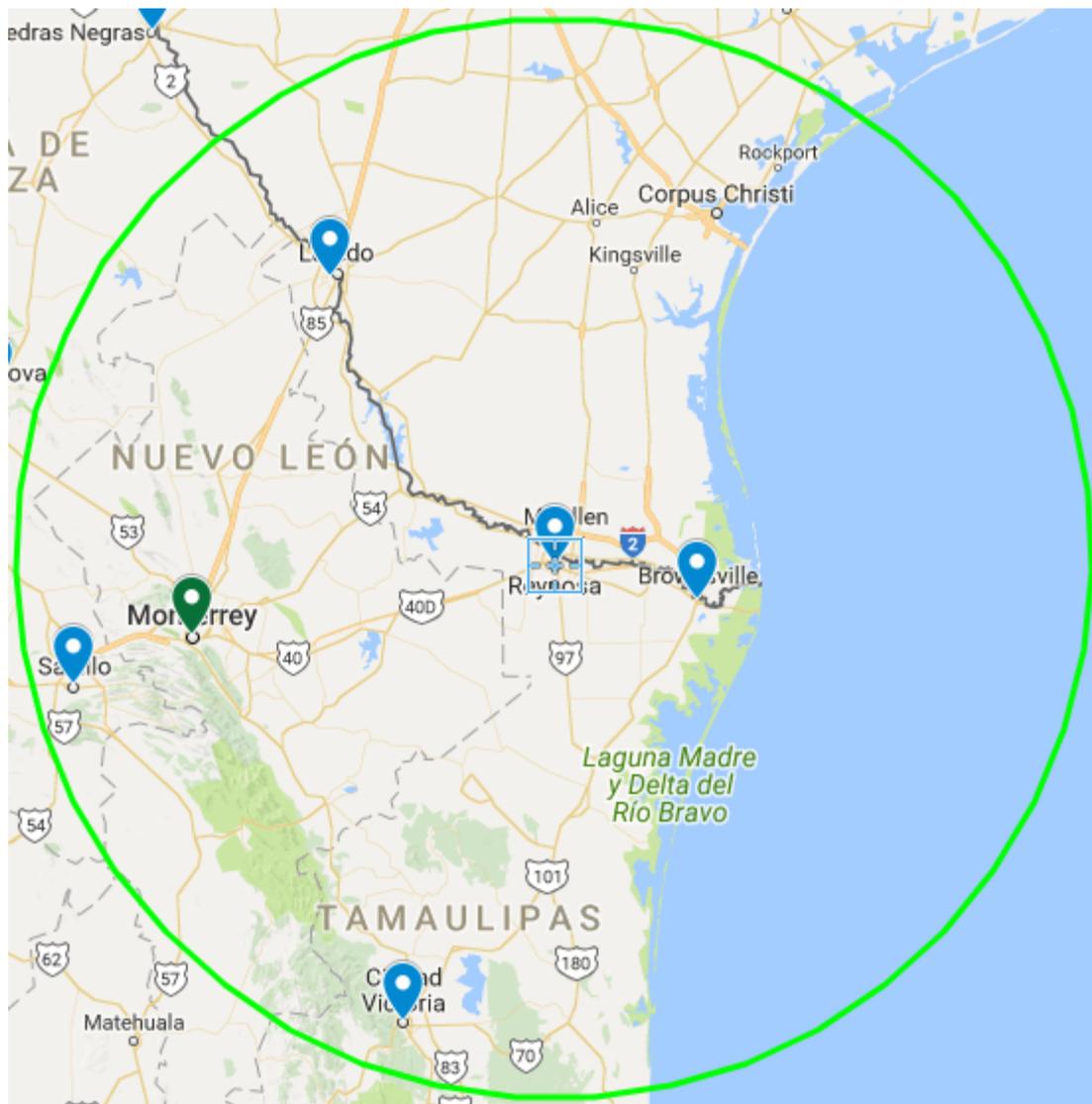


Imagen 3.12 Área de cobertura 7 (Elaboración propia, 2018)

8. Monterrey- Saltillo- Monclova

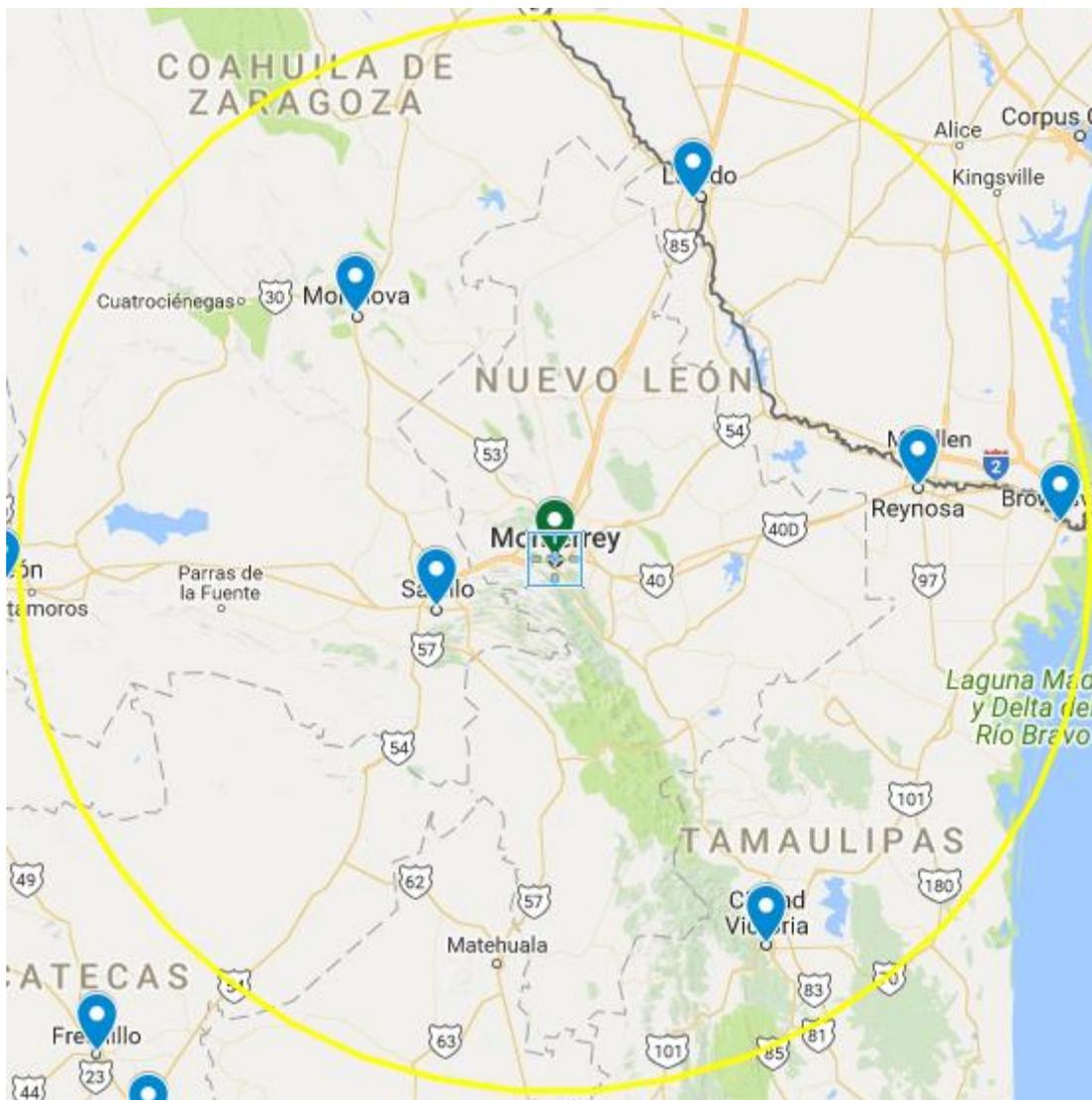


Imagen 3.13 Área de cobertura 8 (Elaboración propia, 2018)

9. Torreón- Gómez Palacio

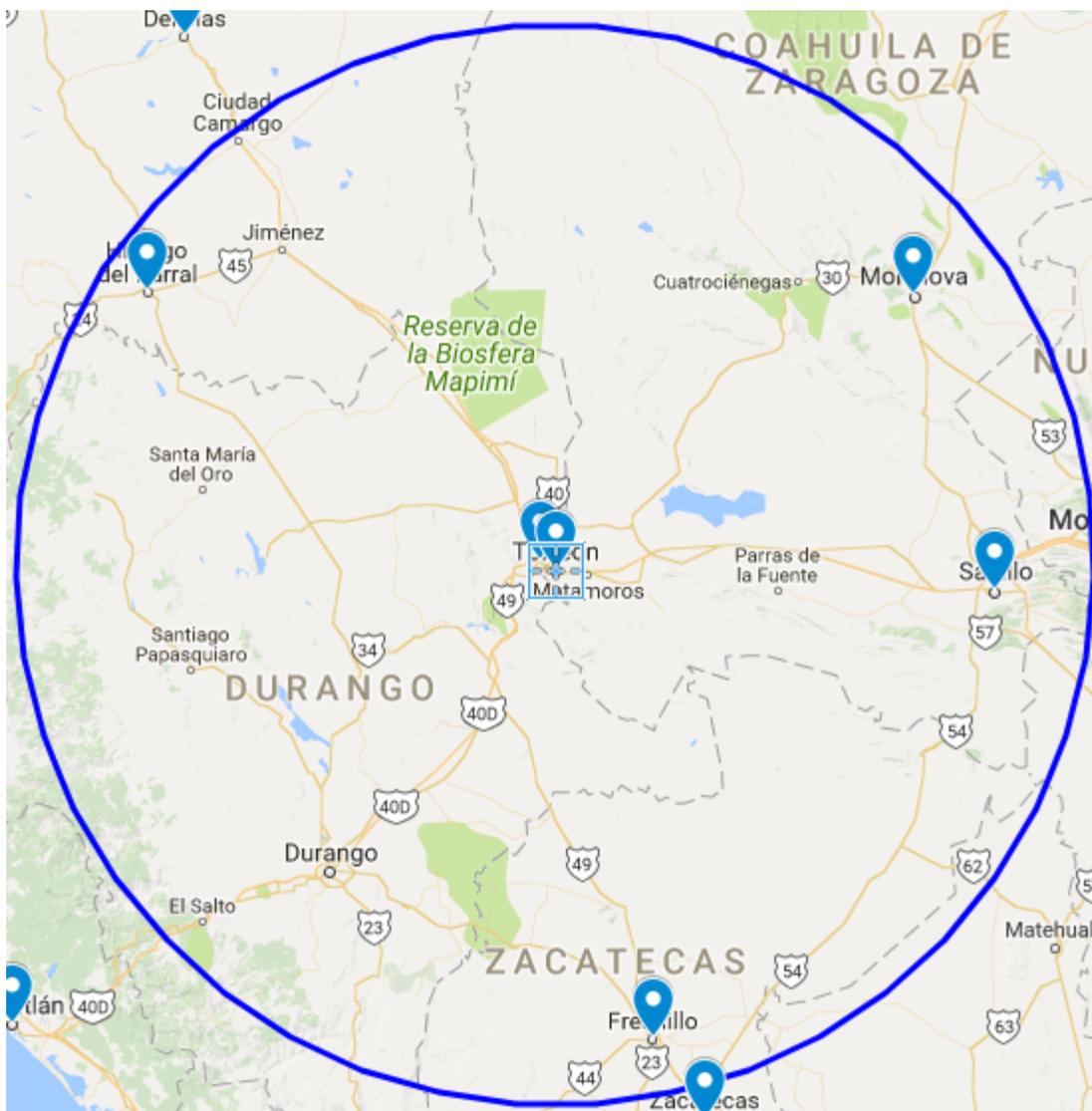


Imagen 3.14 Área de cobertura 9 (Elaboración propia, 2018)

10. Ciudad Victoria- Tampico

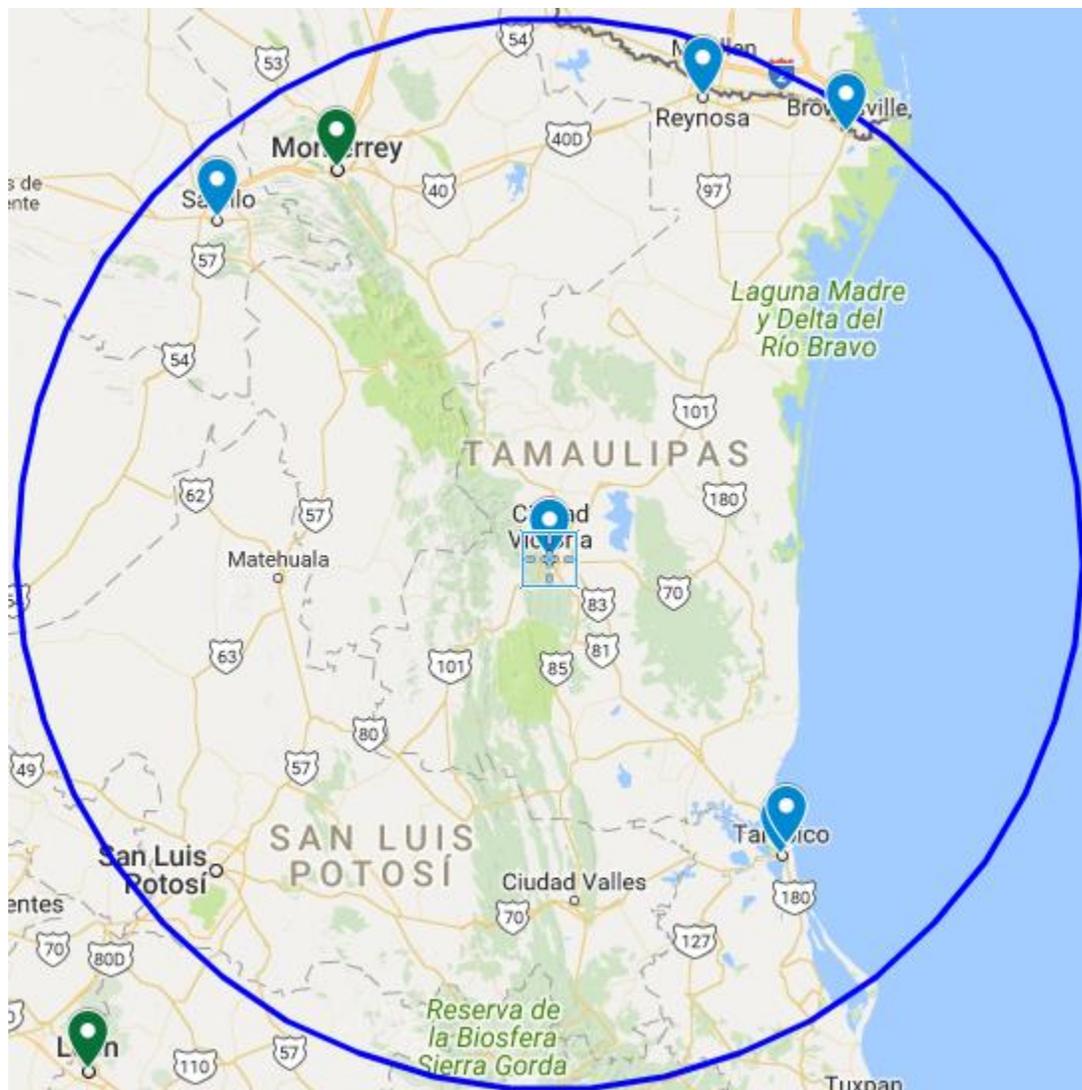


Imagen 3.15 Área de cobertura 10 (Elaboración propia, 2018)

11. Culiacán- Mazatlán

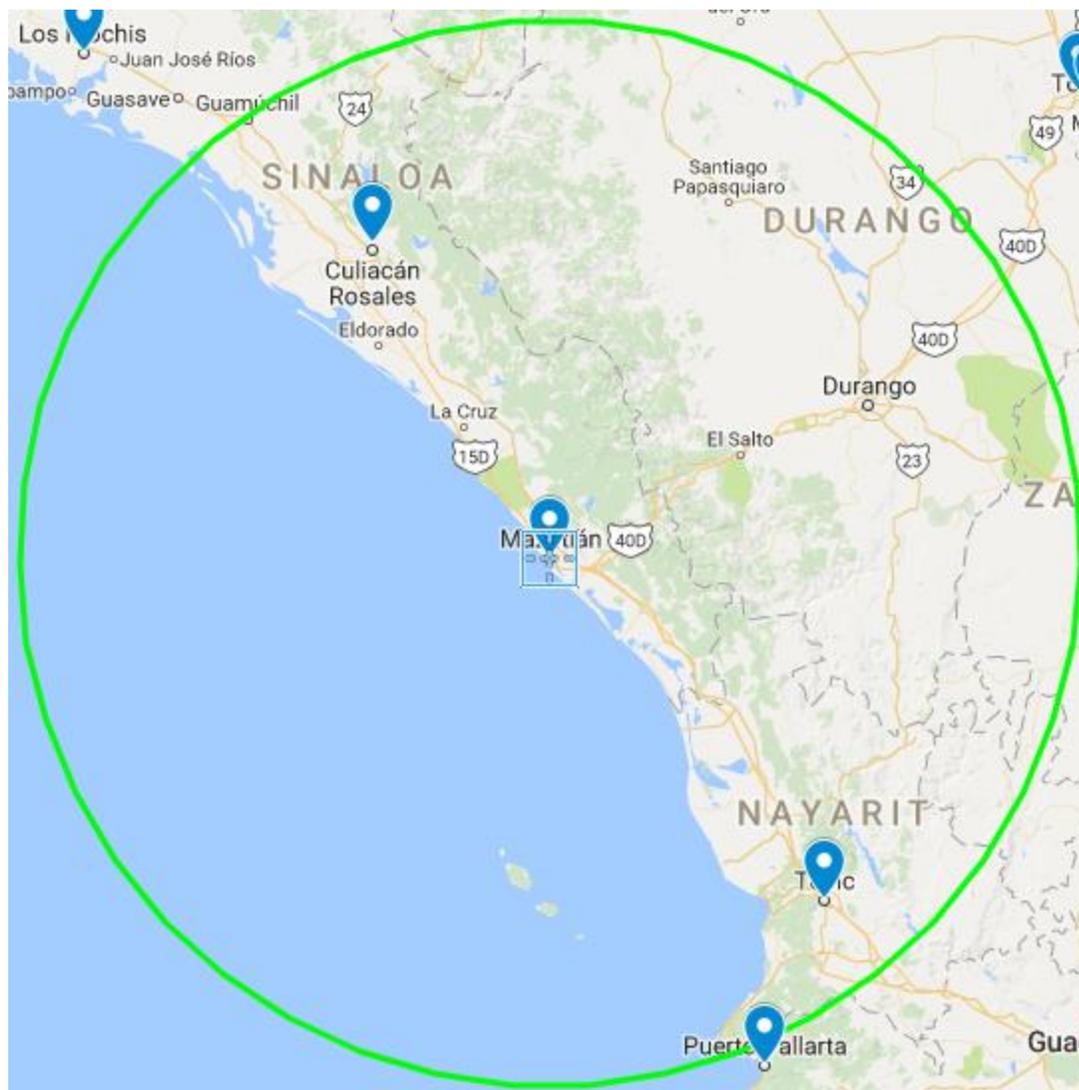


Imagen 3.16 Área de cobertura 11 (Elaboración propia, 2018)

12. Zacatecas- Fresnillo

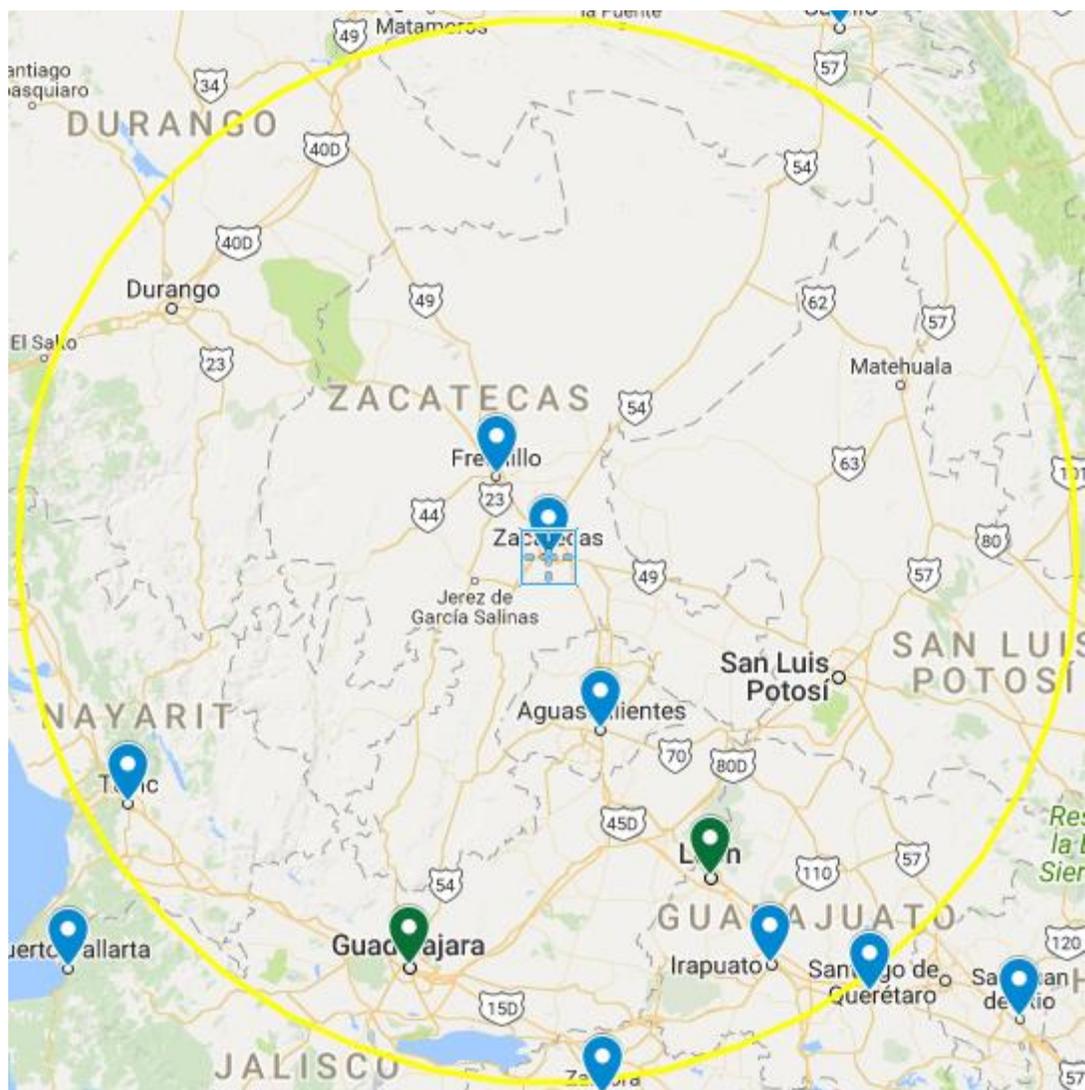


Imagen 3.17 Área de cobertura 12 (Elaboración propia, 2018)

13. Aguascalientes

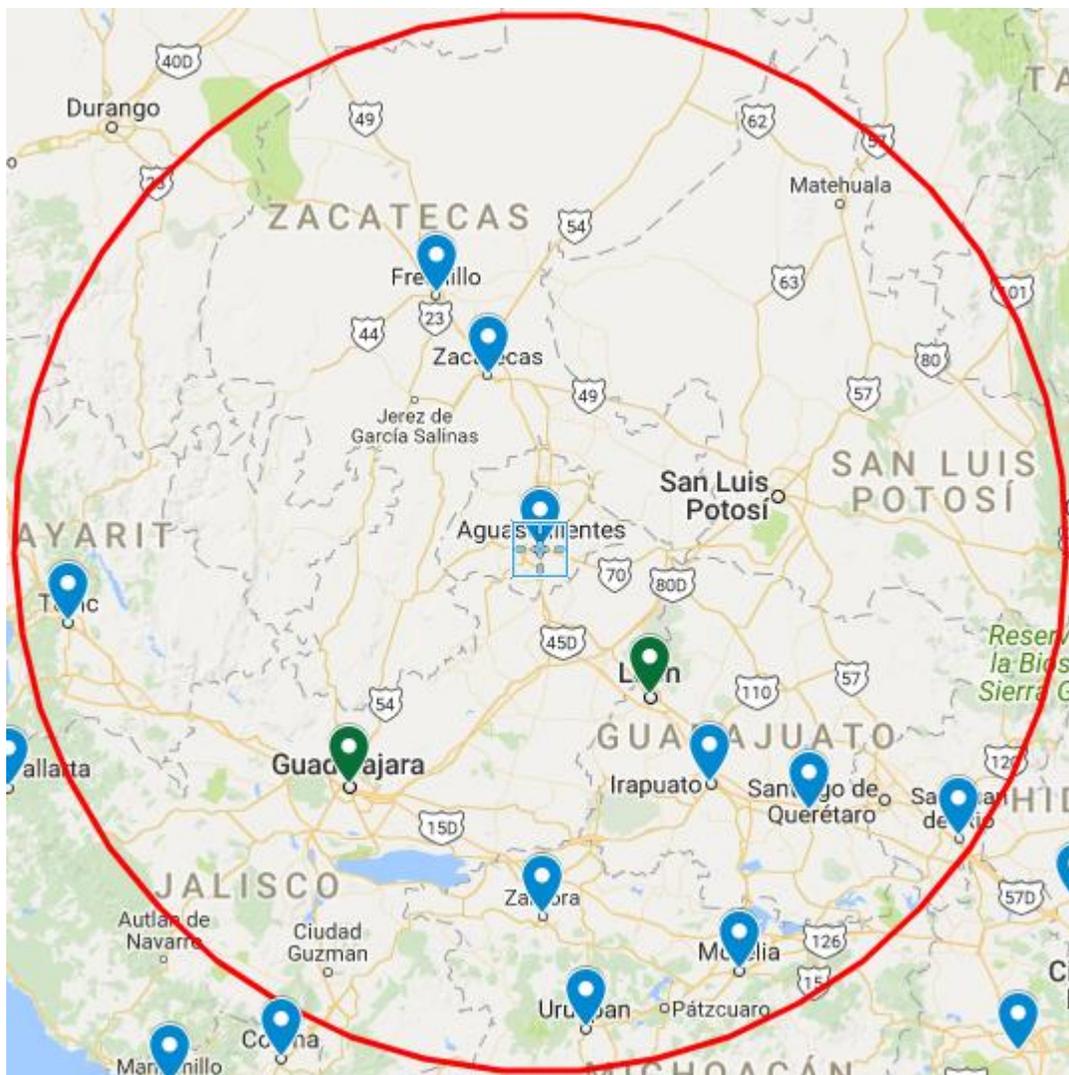


Imagen 3.18 Área de cobertura 13 (Elaboración propia, 2018)

14. Tepic- Puerto Vallarta

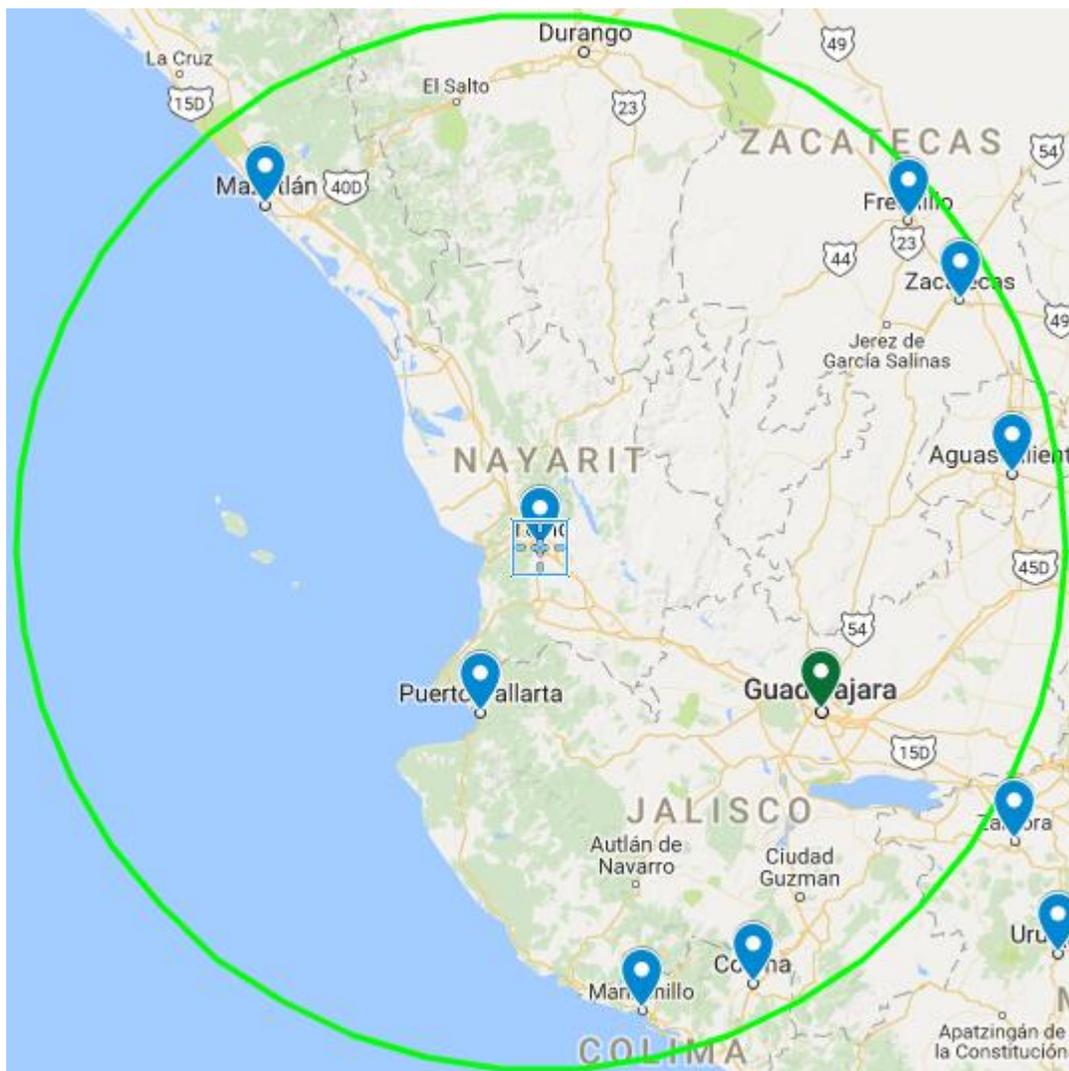


Imagen 3.19 Área de cobertura 14 (Elaboración propia, 2018)

15. Manzanillo- Colima

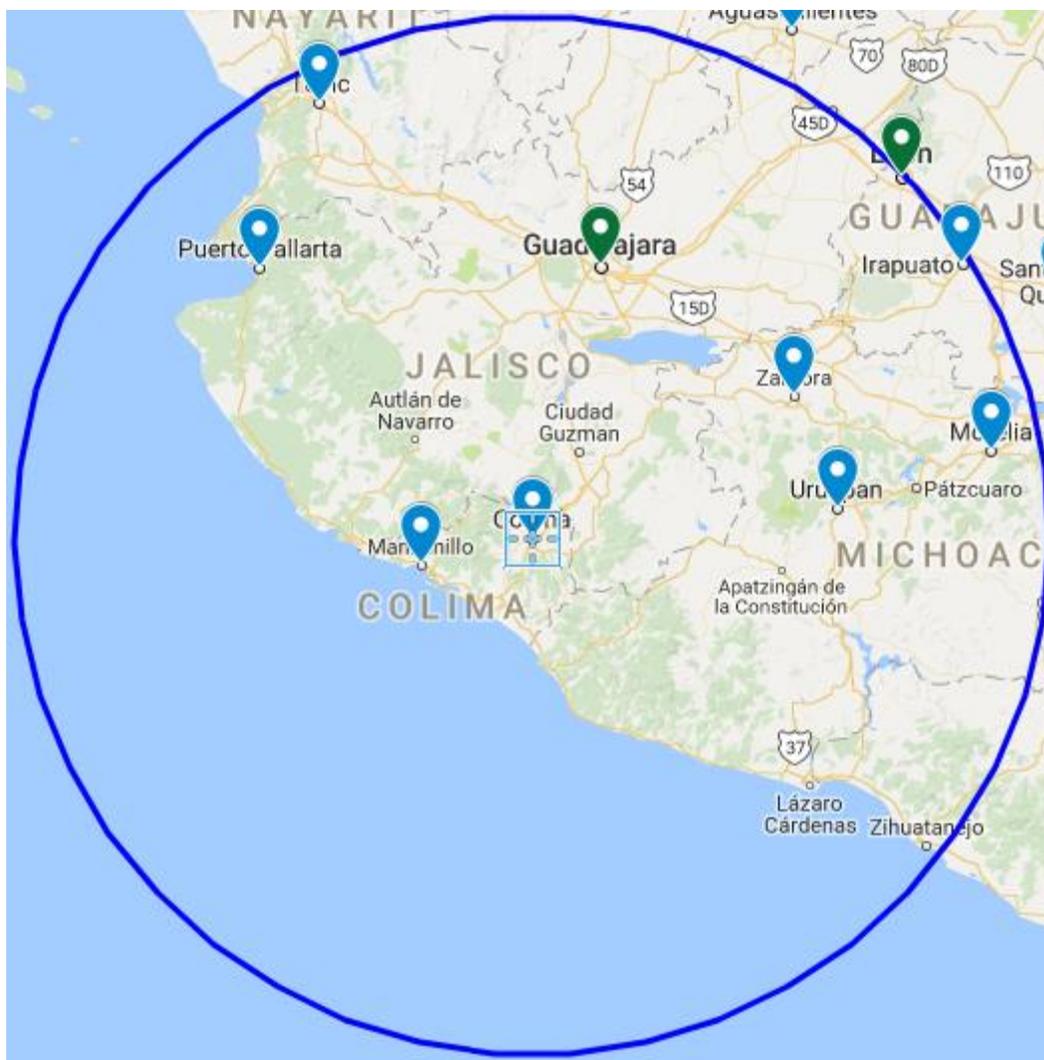


Imagen 3.20 Área de cobertura 15 (Elaboración propia, 2018)

16. Guadalajara

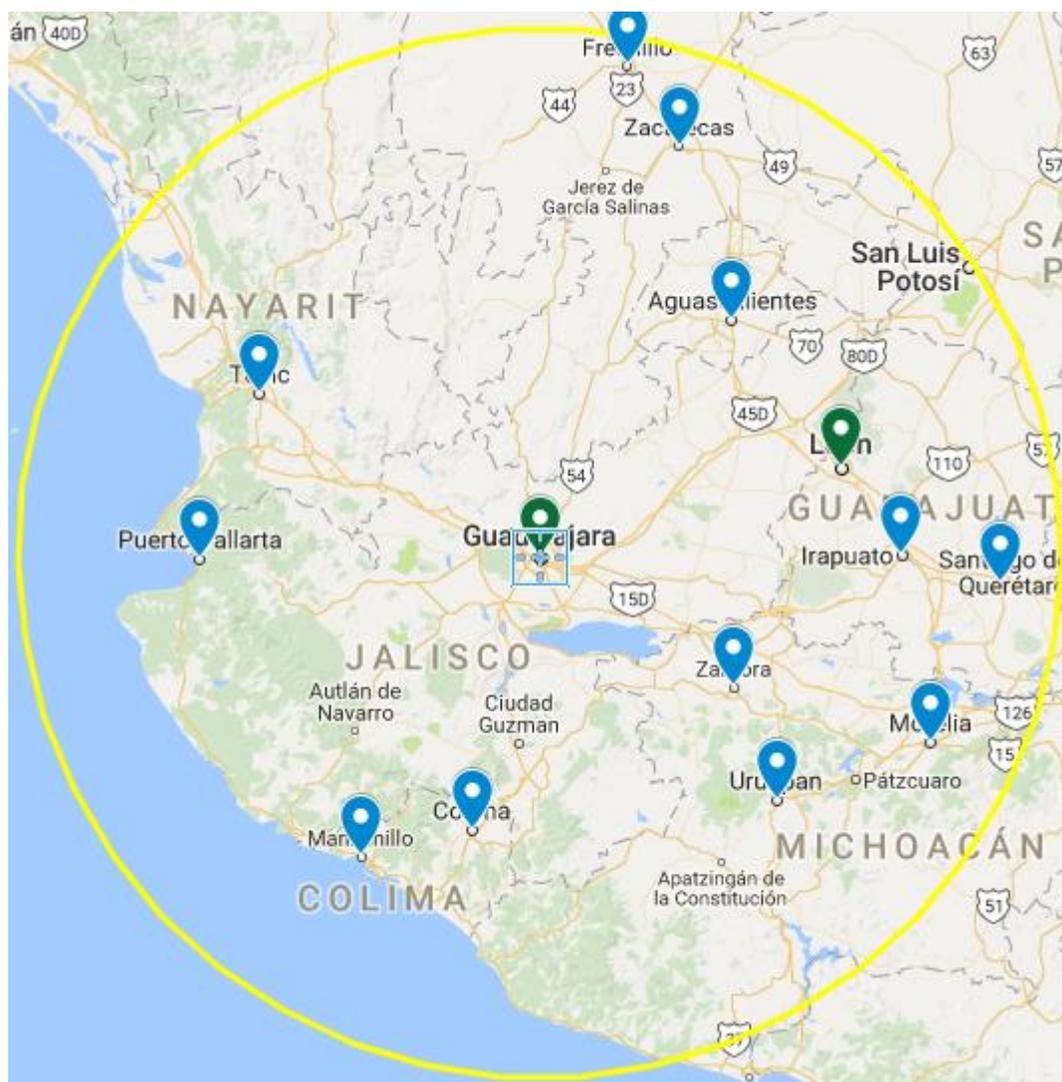


Imagen 3.21 Área de cobertura 16 (Elaboración propia, 2018)

17. Zamora- Uruapan- Morelia

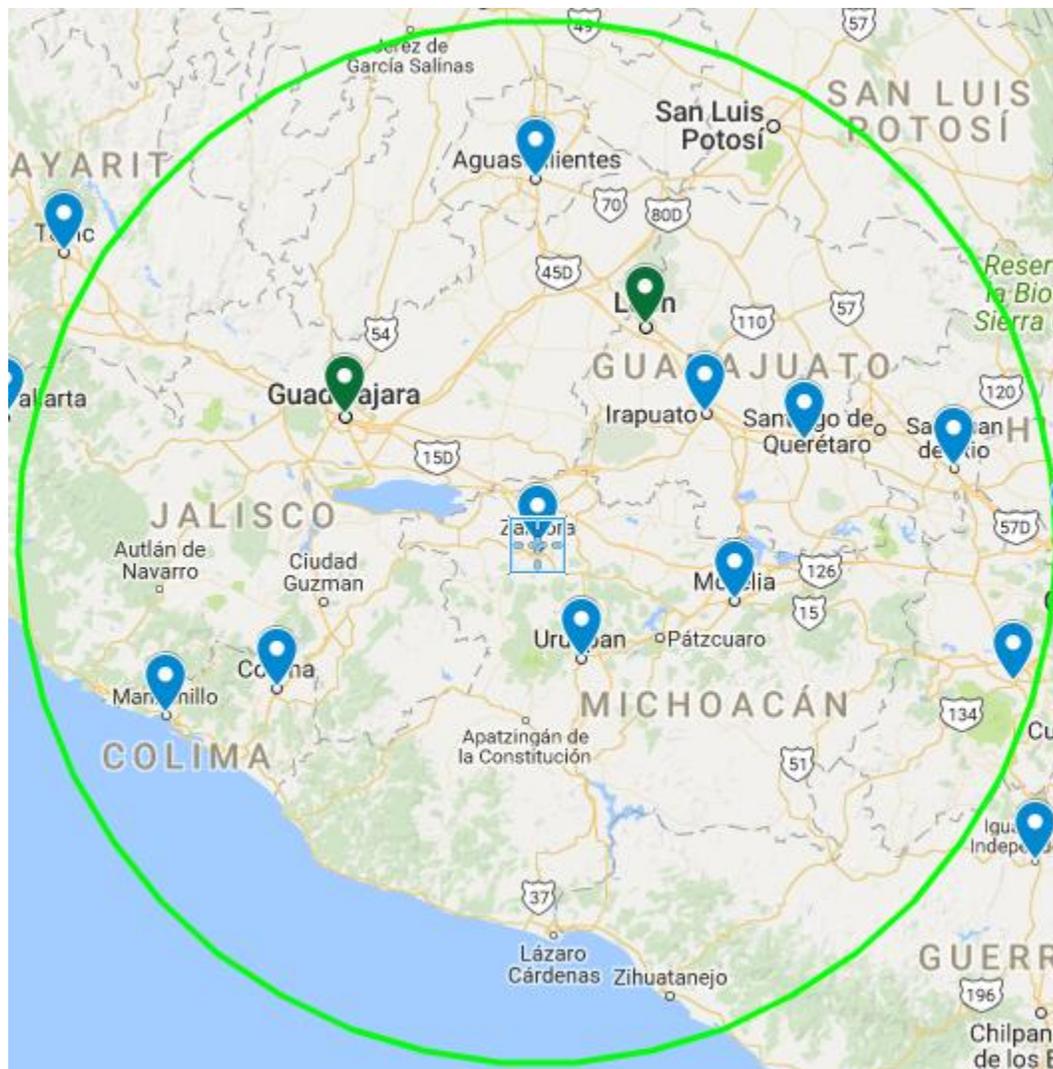


Imagen 3.22 Área de cobertura 17 (Elaboración propia, 2018)

18. León- Irapuato- Celaya

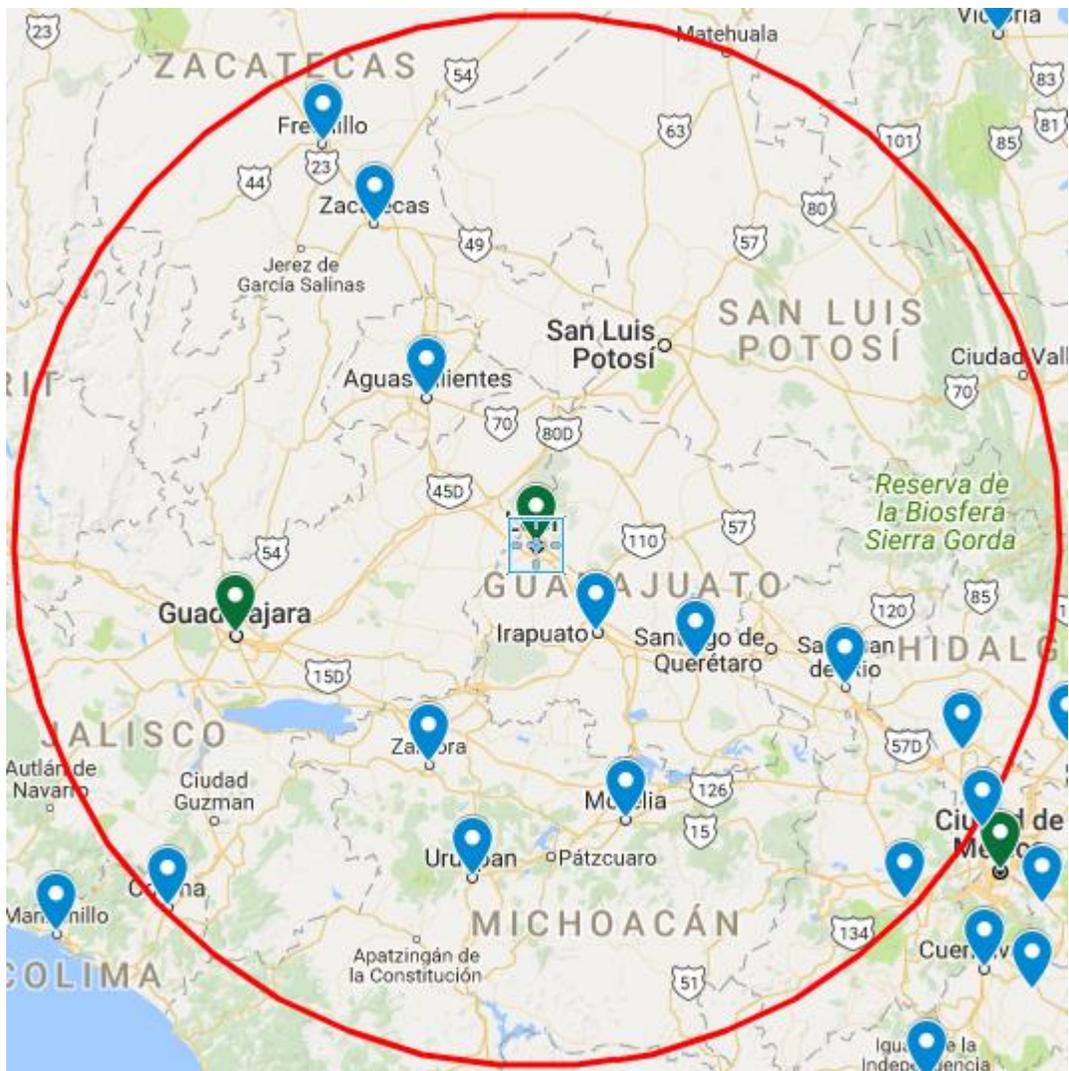


Imagen 3.23 Área de cobertura 18 (Elaboración propia, 2018)

19. San Juan del Río- Tula- Pachuca- Tulancingo

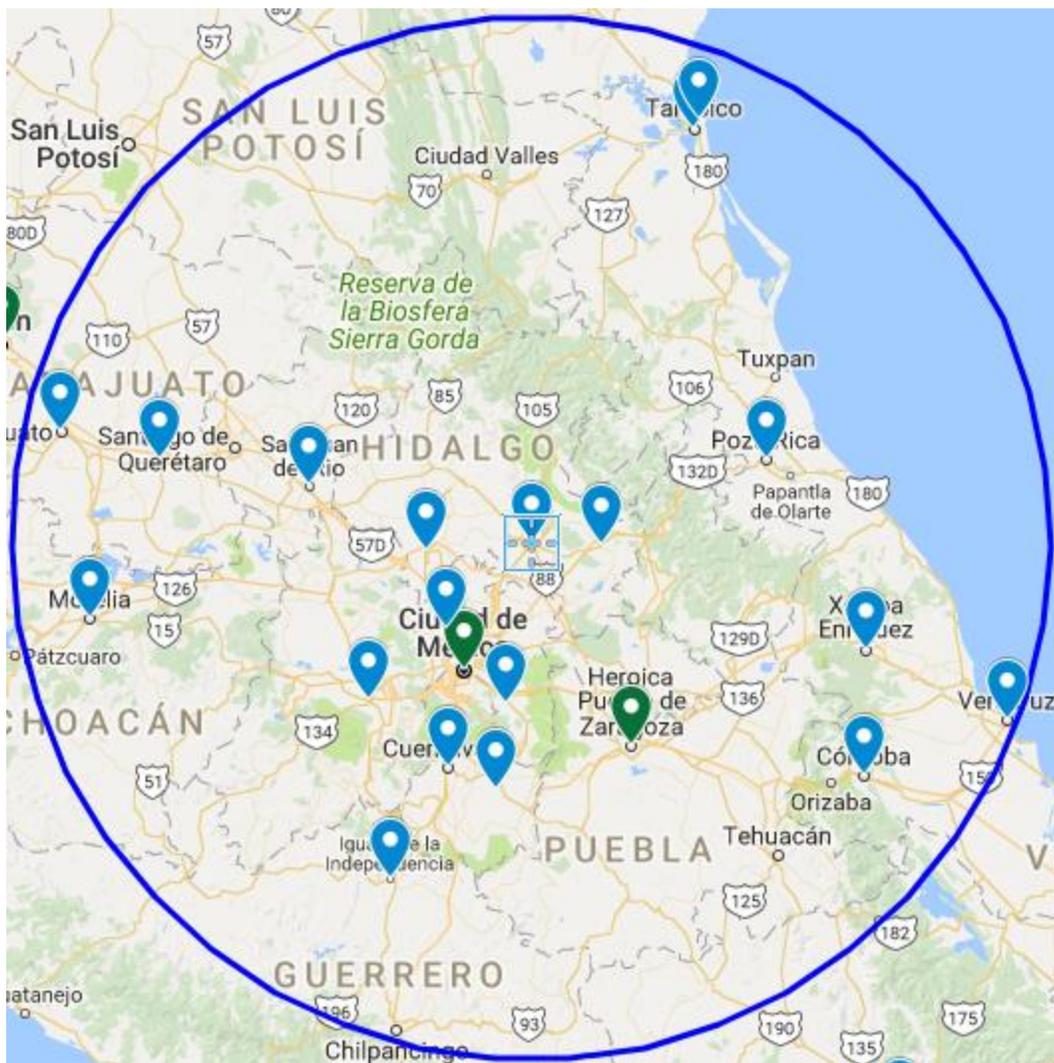


Imagen 3.24 Área de cobertura 19 (Elaboración propia, 2018)

20. Cuautitlán-CDMX- Chalco- Toluca- Cuautla-Cuernavaca- Iguala

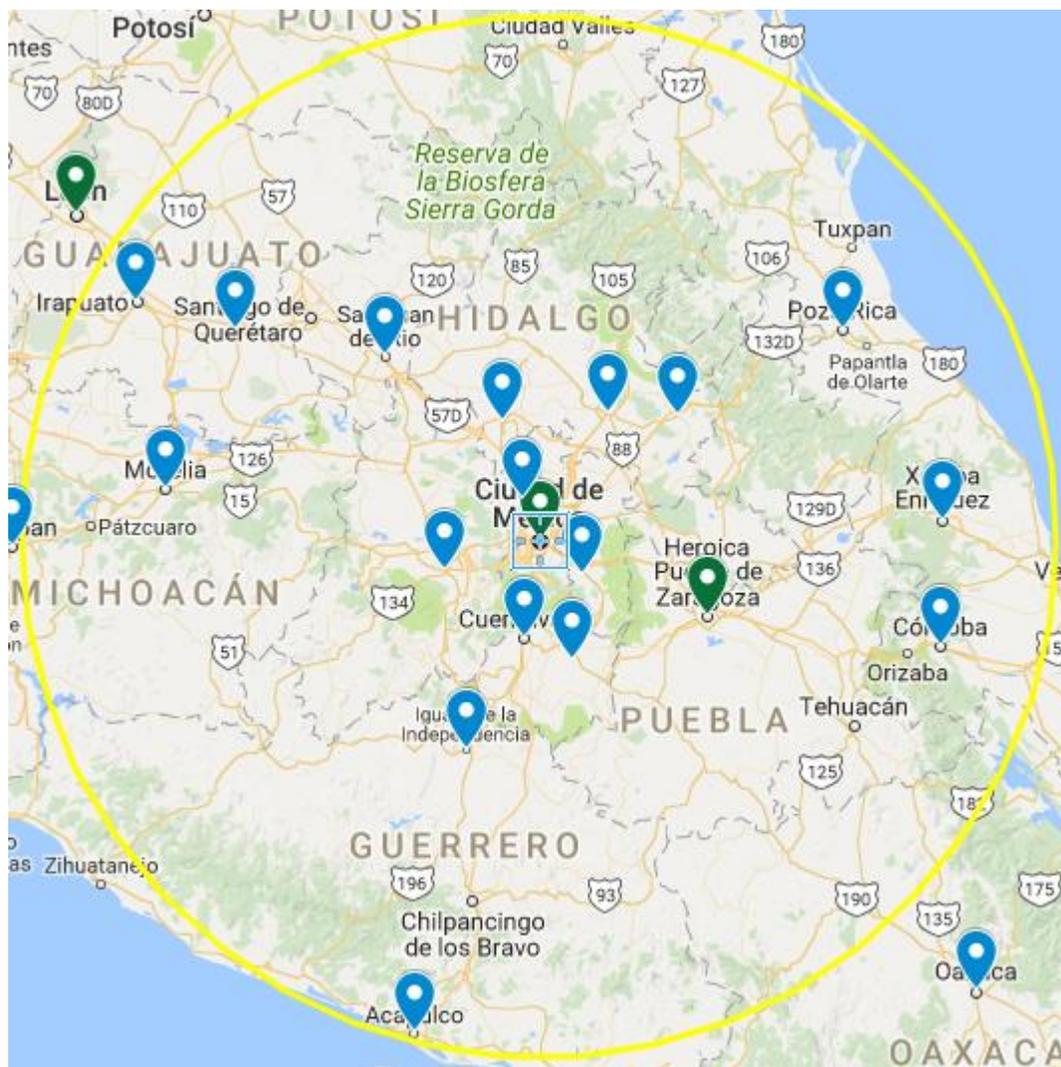


Imagen 3.25 Área de cobertura 20 (Elaboración propia, 2018)

21. Puebla

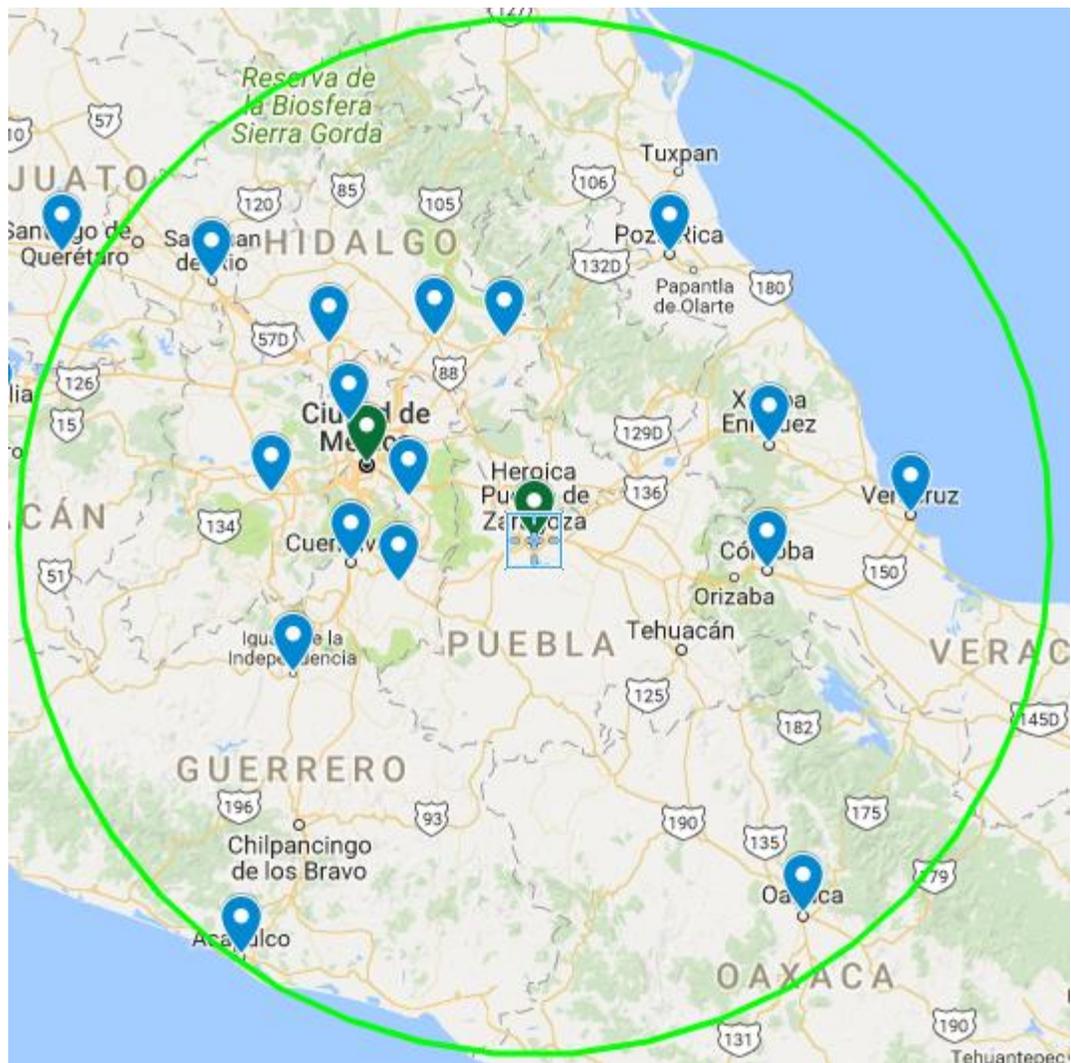


Imagen 3.26 Área de cobertura 21 (Elaboración propia, 2018)

22. Poza Rica- Jalapa- Córdoba- Veracruz- Coatzacoalcos

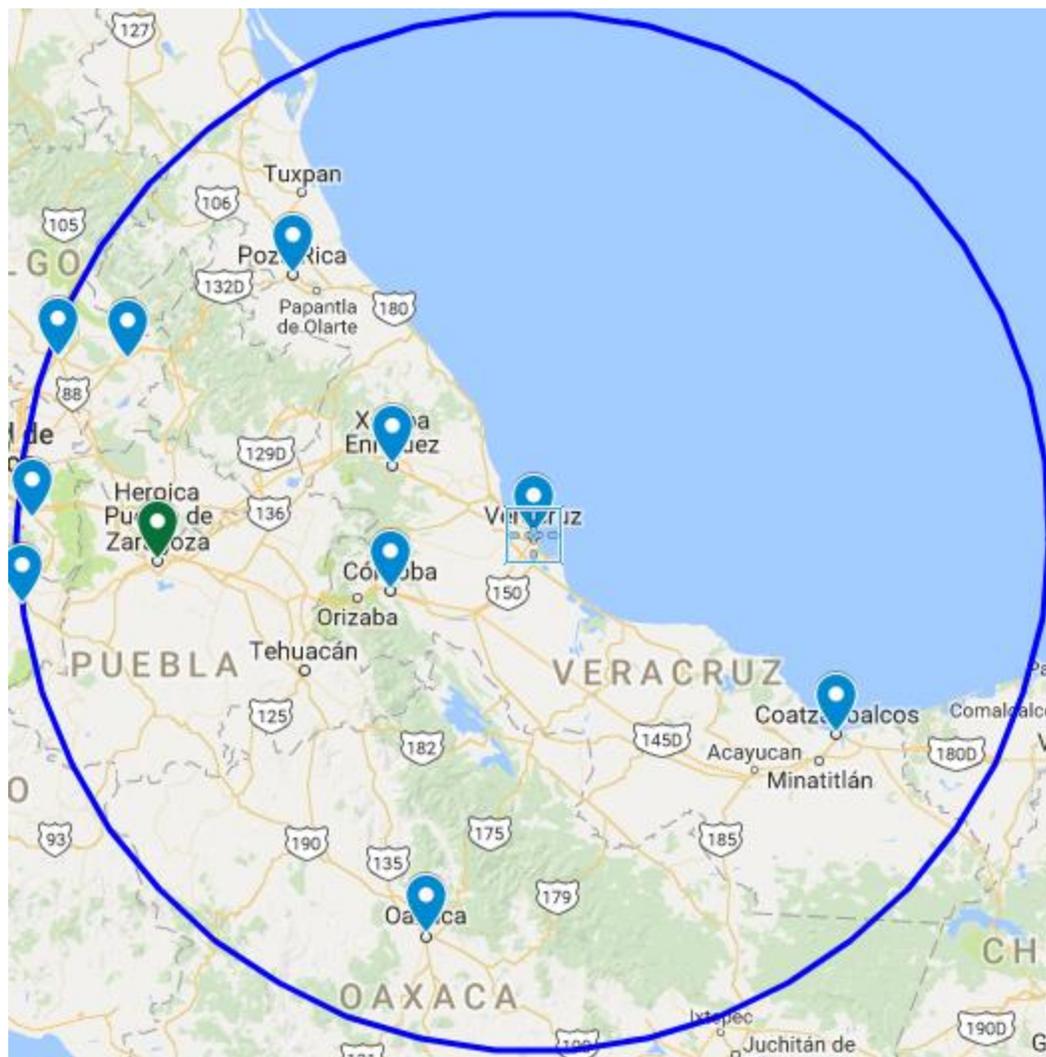


Imagen 3.27 Área de cobertura 22 (Elaboración propia, 2018)

23. Oaxaca

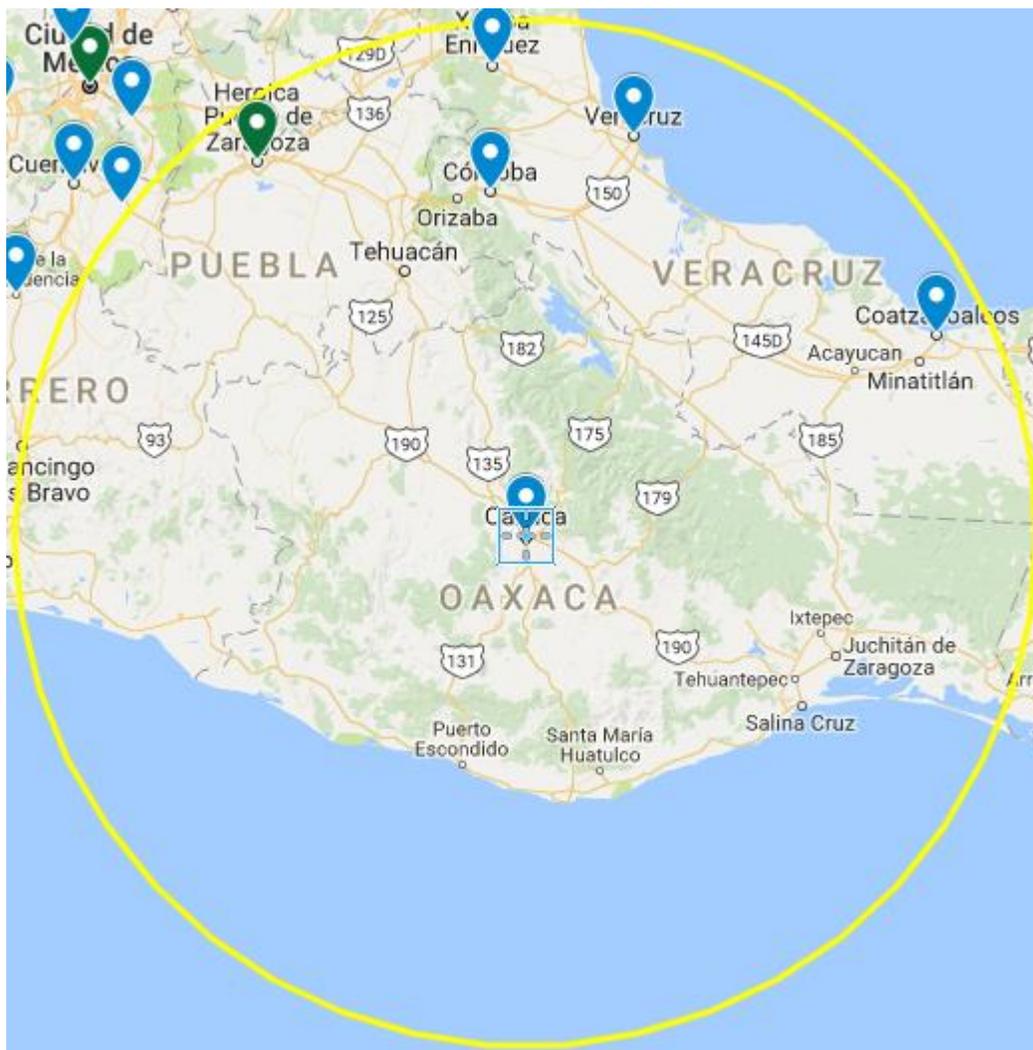


Imagen 3.28 Área de cobertura 23 (Elaboración propia, 2018)

24. Acapulco- Chilpancingo

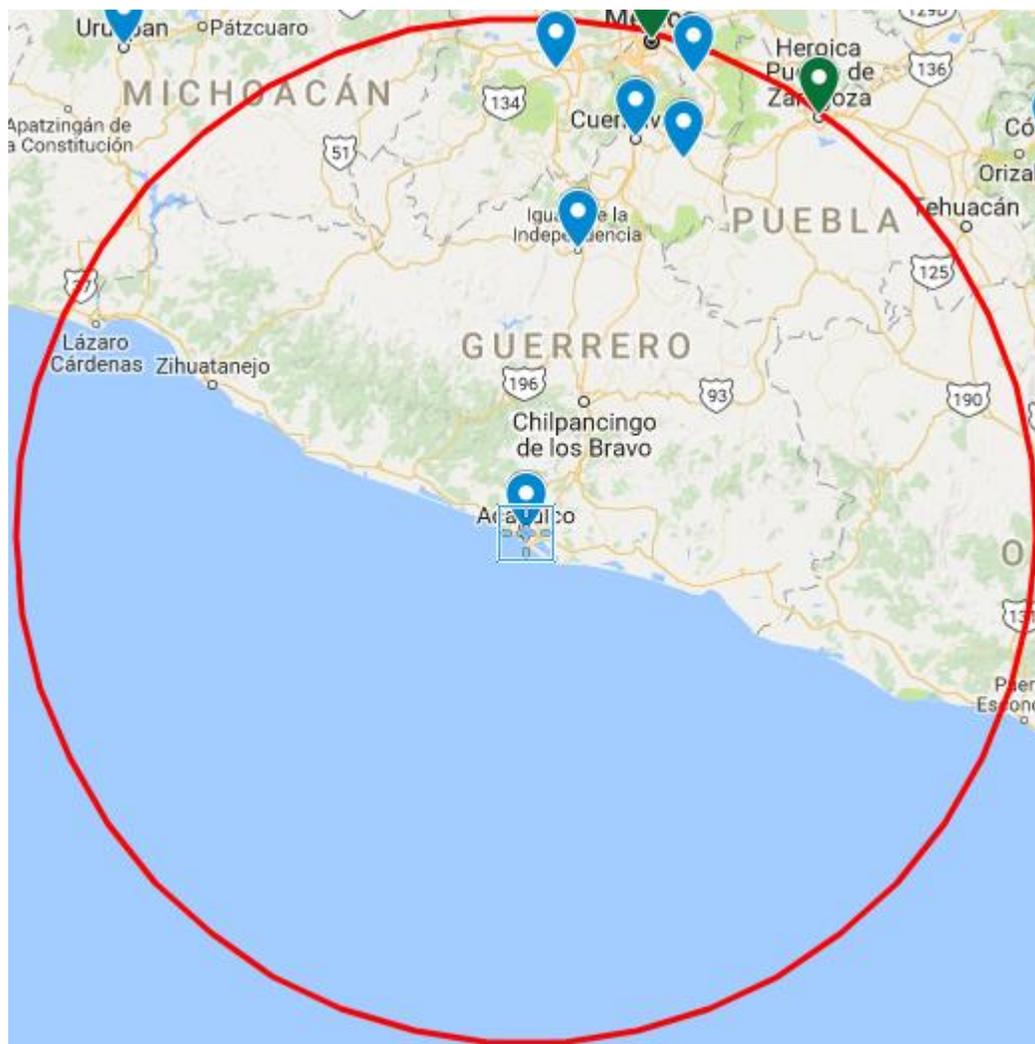


Imagen 3.29 Área de cobertura 24 (Elaboración propia, 2018)

25. Tuxtla Gutiérrez- Villahermosa- Tapachula

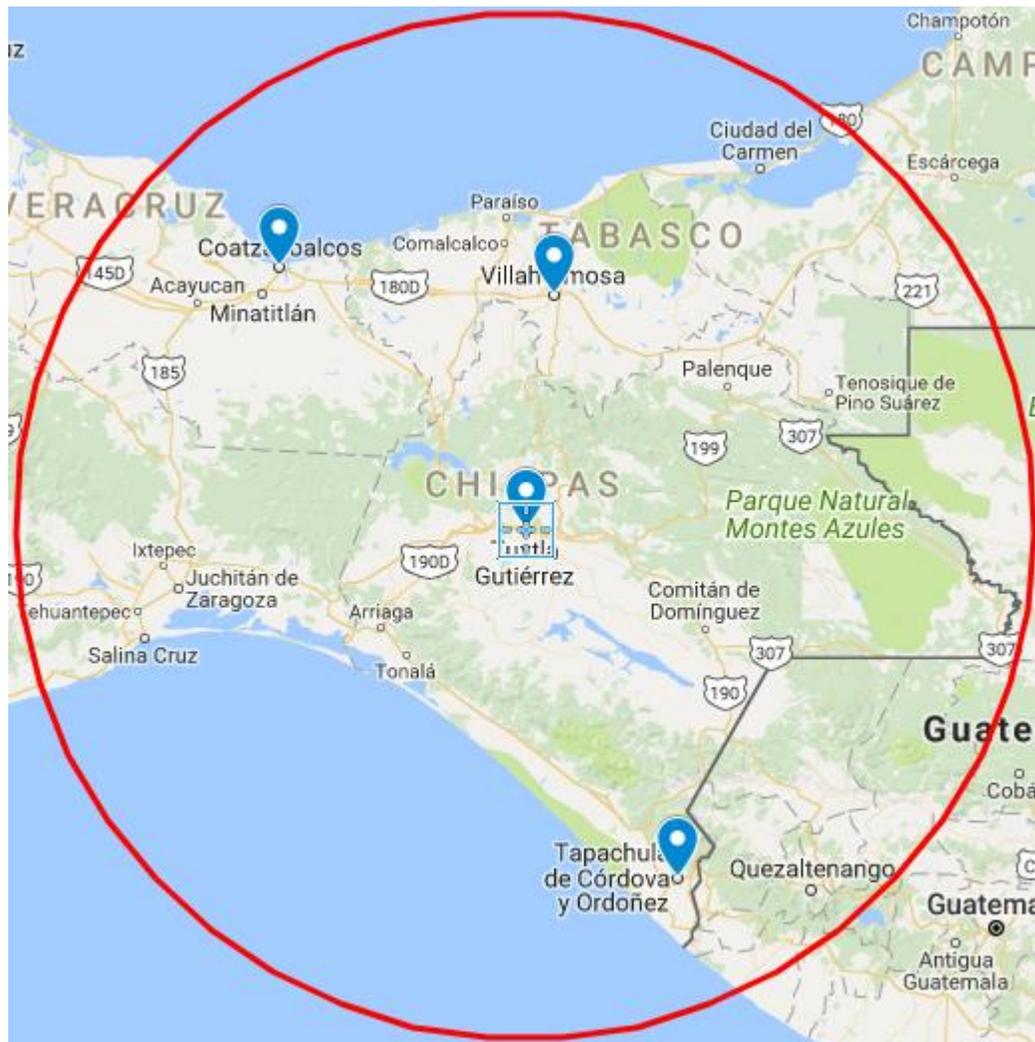


Imagen 3.30 Área de cobertura 25 (Elaboración propia, 2018)

26. Mérida- Campeche

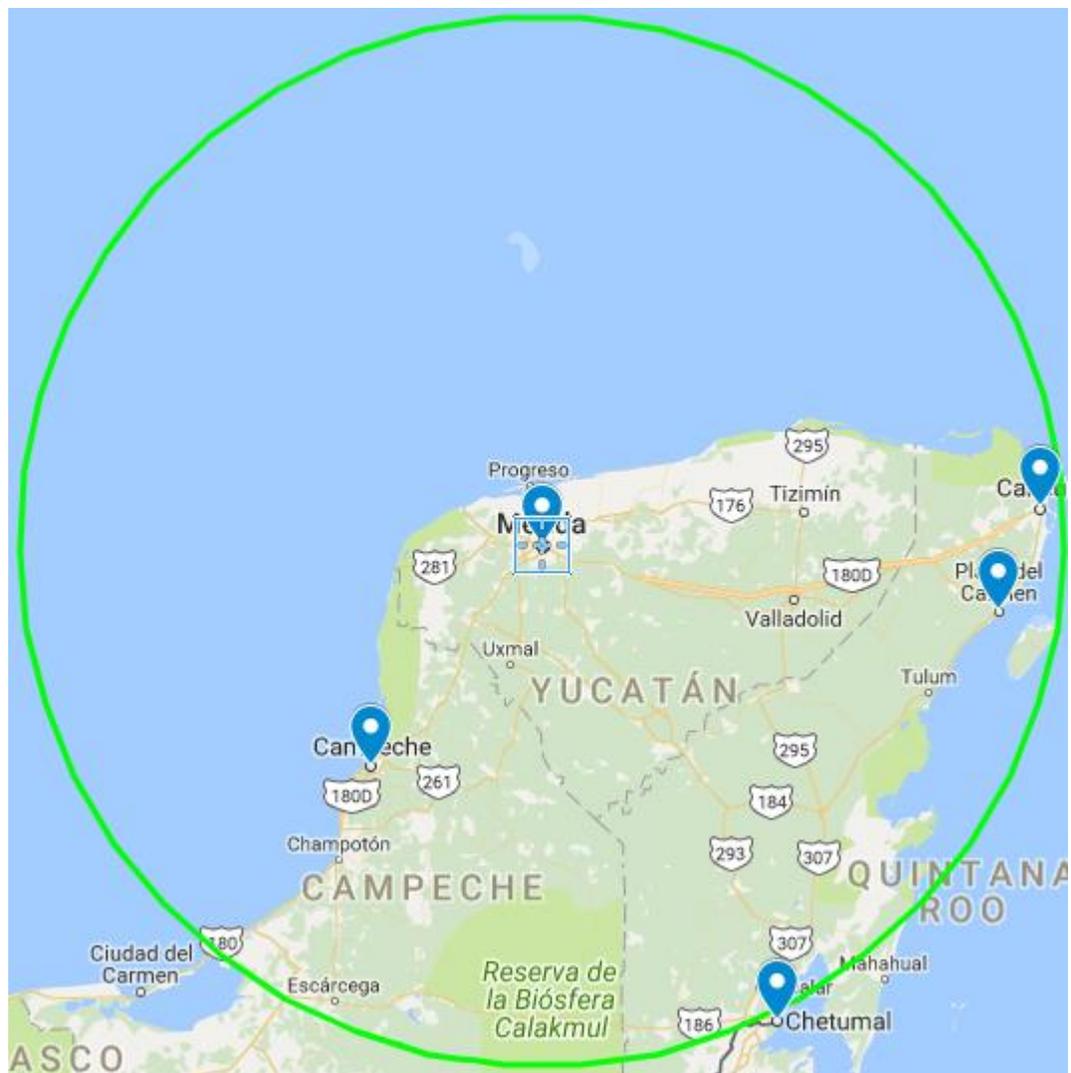


Imagen 3.31 Área de cobertura 26 (Elaboración propia, 2018)

27. Chetumal

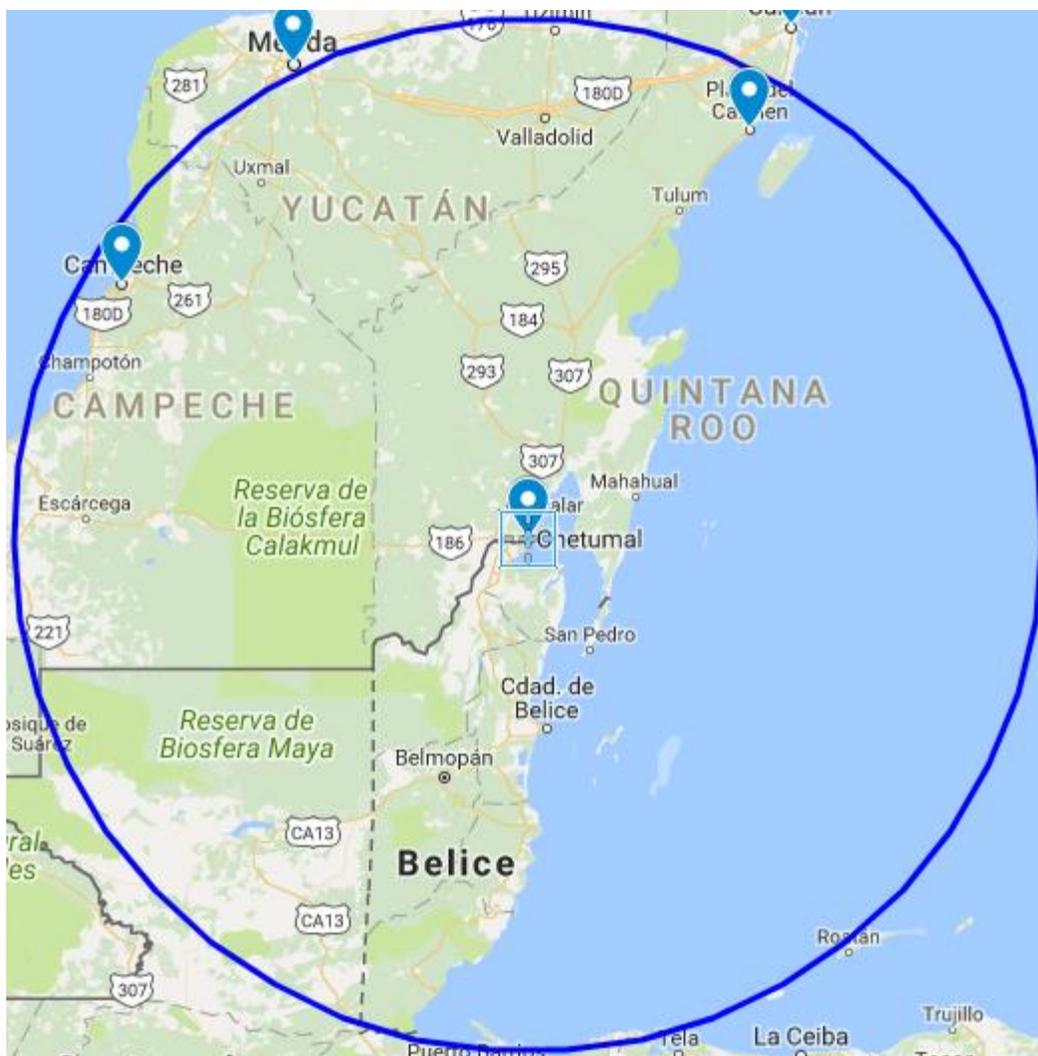


Imagen 3.32 Área de cobertura 27 (Elaboración propia, 2018)

28. Cancún- Playa del Carmen

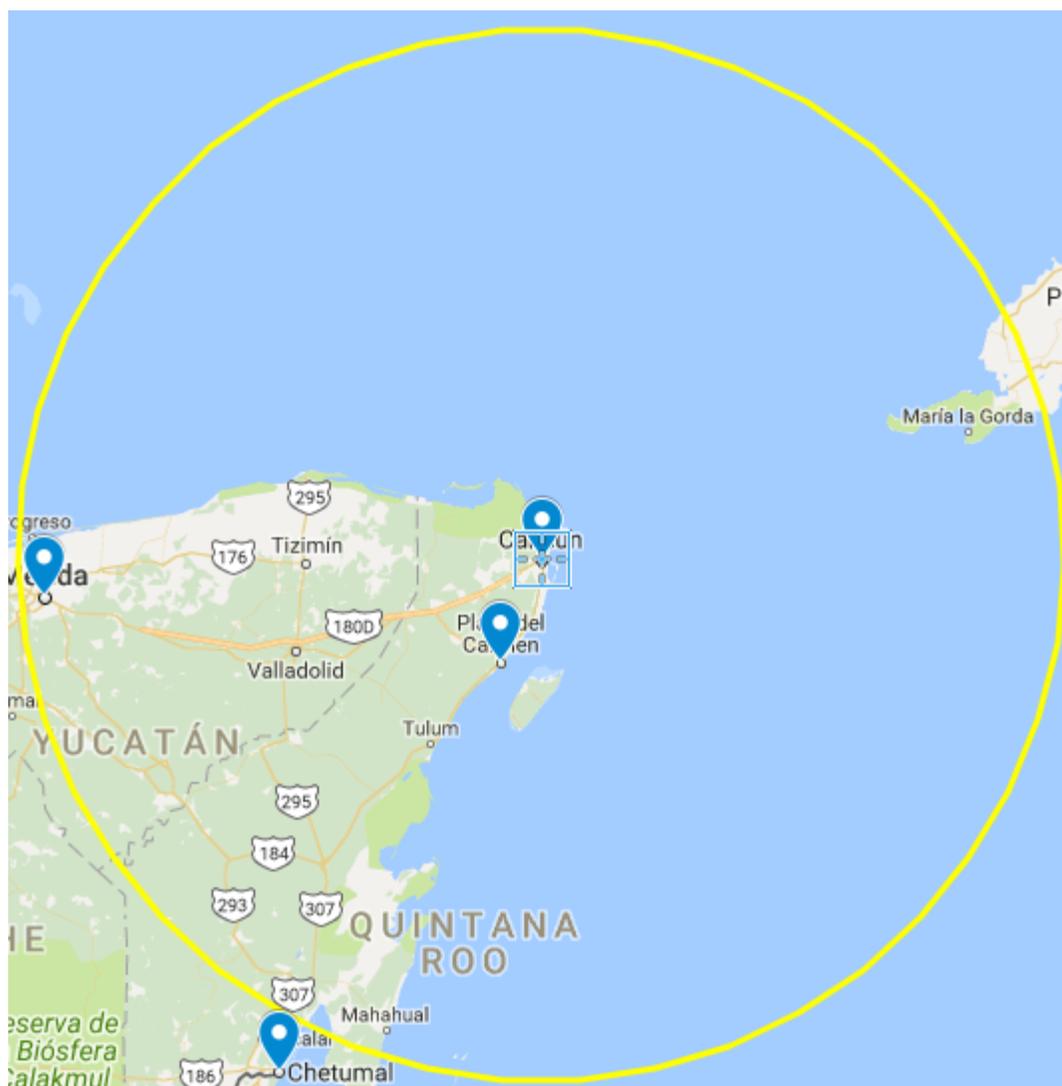


Imagen 3.33 Área de cobertura 28 (Elaboración propia, 2018)

Anexo D Diseño óptico de las rutas para la Red Troncal 2

Ruta 21 Saltillo- Monclova

233

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Ramos Potencia (RAP)	Villa de Garcia (VDG)	NA	47
2	Villa de Garcia (VDG)	Escobedo (ESC)	533	26
3	Escobedo (ESC)	Monclova (MON)	CMP	160

Ruta 22 Monclova- Piedras Negras

241

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Monclova (MON)	Nueva Rosita (NUR)	38,158	125
2	Nueva Rosita (NUR)	Nava (NAV)	NA	73
3	Nava (NAV)	RIO ESCONDIDO	94	29
4	RIO ESCONDIDO	PIEDRAS NEGRAS	CMP	14

Ruta 23 Piedras Negras- Laredo

162

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	RIO ESCONDIDO	CD. INDUSTRIAL	CMP	162

Ruta 24 Matamoros- Reynosa

68

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Matamoros Potencia (MTP)	AHANUAC TAMPS POT	NA	17
2	AHANUAC TAMPS POT	AEROPUERTO	NA	41
	AEROPUERTO	Reynosa	CMP	10

Ruta 25 Reynosa- Monclova

270

Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
-------	---------	---------	------	----

1	Villa de Garcia (VDG)	Aeropuerto (AER)	NA	260
2	Aeropuerto (AER)	Reynosa	CMP	10
Ruta 26 Monterrey- Ciudad Victoria		272		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Guemez (GUE)	Zona Transmisión Victoria (ZTV)	NA	16
2	Guemez (GUE)	Lajas (LAJ)	1,018	132
3	Lajas (LAJ)	HUINALA II	NA	98
4	HUINALA II	Monterrey	CMP	26
Ruta 27 Monterrey- Saltillo		17		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Escobedo	Monterrey	CMP	17
Ruta 28 Ciudad Victoria- Ciudad Madero		198		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Champayan (CPY)	Guemez (GUE)	NA	165
2	CHAMPAYAN	ALTAMIRA	CMP	33
Ruta 29 Ciudad Madero- Tampico		48		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Tampico (TPC)	Altamira (ALT)	CMP	48
Ruta 30 Ciudad Madero- Poza Rica		227		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Altamira (ALT)	Tamos (TMO)	3,883	25
2	Tamos (TMO)	Pantepec (PPC)	1,820	140

3	Pantepec (PPC)	Poza Rica I (PRU)	CMP	62
Ruta 31 Poza Rica- Tulancingo		162		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Poza Rica I (PRU)	Km Ciento Diez	NA	162
Ruta 32 Tulancingo- Pachuca		40		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Km Ciento Diez	Pachuca Potencia	CMP	40
Ruta 33 Pachuca- Tula de Allende		85		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Pachuca Potencia	Tula II (TUD)	CMP	85
Ruta 34 Tula de Allende- San Juan del Río		145		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Tula II (TUD)	Queretaro Potencia (QRP)	CMP	145
Ruta 35 San Juan del Río- Celaya		49		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Celaya II (CYA)	Queretaro Potencia (QRP)	CMP	49
Ruta 36 Celaya- Irapuato		60		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Irapuato Dos (IRA)	Salamanca (SLM)	CMP	20
2	Salamanca (SLM)	Celaya II (CYA)	CMP	40
Ruta 37 Irapuato- León		60		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

1	León I (LNI)	Silao Potencia (SIP)	74,242	30
2	Silao Potencia (SIP)	Irapuato Dos (IRA)	CMP	30
Ruta 38 León- Aguascalientes		88		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Aguascalientes Potencia (APT)	León III (LNT)	CMP	88
Ruta 39 Aguascalientes- Zacatecas		123		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Zacatecas (ZCD)	Cañada (KDA)	NA	93
2	Cañada (KDA)	Aguascalientes Potencia (APT)	CMP	30
Ruta 40 Zacatecas- Fresnillo		75		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Fresnillo Potencia (FRP)	Zacatecas (ZCD)	CMP	75
Ruta 41 Fresnillo- Torreón				
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
Ruta 42 Guadalajara- Tepic		278		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Guadalajara 1 (GDU)	Acatlán (ATN)	10,461	33
2	Acatlán (ATN)	Tesistan (TSN)	62,397	60
3	Tesistan (TSN)	Tepic I (TPD)	CMP	185
Ruta 43 Guadalajara- Zamora		205		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

1	Zamora Potencia (ZRP)	Ocotlán (OCT)	83,769	70
2	Ocotlán (OCT)	Atequiza (ATQ)	6,498	67
3	Atequiza (ATQ)	Acatlán (ATN)	10,461	35
4	Acatlán (ATN)	Guadalajara I (GDU)	CMP	33
Ruta 44 Zamora- Uruapan		82		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Zamora Potencia (ZRP)	Carapán (CRP)	6,379	30
2	Carapán (CRP)	Uruapan Potencia (UPT)	CMP	52
Ruta 45 Uruapan- Colima		619		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Uruapan Potencia (UPT)	Pitirera (PIT)	NA	138
2	Pitirera (PIT)	Mazamitla (MTA)	7,865	225
3	Mazamitla (MTA)	Acatlan (ATN)	10,461	85
4	Acatlan (ATN)	Cd. Guzman (CGM)	97,750	99
5	Cd. Guzman (CGM)	Colima (CMD)	CMP	72
Ruta 46 Colima- Manzanillo		73		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Manzanillo Dos (MNZ)	Tepeixtles (TPX)	NA	10
2	Tepeixtles (TPX)	Colima (CMD)	CMP	63
Ruta 47 Uruapan- Morelia		85		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Morelia potencia (MOP)	Carapán (CRP)	NA	85

		Ruta 48 Morelia- Celaya		113	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Carapán (CRP)	Salamanca II (SMD)	CMP	113
		Ruta 49 Tula- Cuautitlán		59	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Tula	Las Américas	NA	7
	2	Las Américas	Xochitla	828	41
	3	Xochitla	Cuautitlán	CMP	11
		Ruta 50 Cuautitlán- CDMX		46	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Cuautitlán	Victoria	NA	38
	2	Victoria	Valle de México	CMP	8
		Ruta 51 CDMX- Toluca		62	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Valle de México	Toluca	CMP	62
		Ruta 52 CDMX- Chalco		42	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Valle de México	Chalco	CMP	42
		Ruta 53 CDMX- Cuernavaca		158	
Trama		Punto A	Punto B	Hab.	Km
	1	Valle de México	Taxqueña	NA	15
	2	Taxqueña	Topilejo (TOP)	34,603	44

3	Topilejo (TOP)	Yautepec (Y AU)	42,731	76
4	Yautepec	Zapata (ZAP)	CMP	23
Ruta 54 Cuernavaca- Cuautla		23		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Yautepec	Cuautla	CMP	23
Ruta 55 Cuernavaca- Iguala		69		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Mezcala (MZL)	Zapata (ZAP)	CMP	69
Ruta 56 Iguala- Acapulco		189		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Mezcala (MZL)	El Quemado (QMD)	CMP	189
Ruta 57 Tula- Puebla		176		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Puebla II (PBD)	San Lorenzo Potencia (LRP)	13,217	14
2	San Lorenzo Potencia (LRP)	San Martin Martin Potencia (MPT)	75,518	30
3	San Martin Martin Potencia (MPT)	Texcoco (TEX)	99,165	55
4	Texcoco (TEX)	Tula II (TUD)	CMP	77
Ruta 58 Puebla- Córdoba		232		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Puebla II (PBD)	Tecali (TCL)	5,156	37
2	Tecali (TCL)	Cerro de Oro (EDO), Temascal, Oaxaca	415	187

3	Cerro de Oro (EDO), Temascal, Oaxaca	Temascal II (TMD)	CMP	8
Ruta 59 Córdoba- Veracruz		111		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Veracruz II (VRD)	Temascal II (TMD)	CMP	111
Ruta 60 Veracruz- Jalapa		96		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	VERACRUZ II	JALAPA	CMP	96
Ruta 61 Córdoba- Oaxaca		140		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Oaxaca Potencia (OXP)	Temascal II	CMP	140
Ruta 62 Córdoba- Coatzacoalcos		234		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	COATZACOALCOS	MINATITLAN II	NA	11
2	MINATITLAN II	Temascal II (TMD)	CMP	223
Ruta 63 Coatzacoalcos- Villahermosa		257		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
1	Minatitlan II (MID)	Malpaso (MPS)	NA	143
2	Malpaso (MPS)	Peñitas (PEA)	NA	36
3	Peñitas (PEA)	Cárdenas II (CDD)	NA	78
4	Cárdenas II (CDD)	Villahermosa Norte (VHN)	CMP	48
Ruta 64 Villahermosa- Tuxtla Gutierrez		104		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

<i>1</i>	Malpaso (MPS)	Manuel Moreno Torres (MMT)	CMP	104
<i>Ruta 65 Tuxtla Gutiérrez- Tapachula</i>		119		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	ANGOSTURA	TAPACHULA	CMP	119
<i>Ruta 66 Villahermosa- Campeche</i>		451		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	Lerma	Escarcega (ESA)	29,477	146
<i>2</i>	Escarcega (ESA)	Santa Lucía (SLC)	979	2
<i>3</i>	Santa Lucía (SLC)	Los Ríos (LRS)	NA	30
<i>4</i>	Los Ríos (LRS)	Macuspana II (MCD)	32,225	110
<i>5</i>	Macuspana II (MCD)	Malpaso (MPS)	NA	163
<i>Ruta 67 Campeche- Mérida</i>		179		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	Lerma	Kanasin	77,240	119
<i>2</i>	KANASIN	TUCUL II	32,796	60
<i>Ruta 68 Mérida- Cancún</i>		302		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	MERIDA POT	KANASIN	77,240	24
<i>2</i>	Kanasin	Valladolid (VAD)	48,913	87
<i>3</i>	Valladolid (VAD)	Nizuc (NIZ)	CMP	191
<i>Ruta 69 Cancún- Playa del Carmen</i>		62		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km

<i>1</i>	Nizuc (NIZ)	Playa del Carmen (PCN)	CMP	62
<i>Ruta 70 Mérida- Playa del Carmen</i>		190		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	Valladolid (VAD)	Playa del Carmen (PCN)	CMP	190
<i>Ruta 71 Mérida- Chetumal</i>		284		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	Chetumal (CHE)	Xul Ha (XUL)	2,037	16
<i>2</i>	Xul Ha (XUL)	Ticul (TIC)	120	268
<i>Ruta 72 Chetumal- Campeche</i>		256		
Trama	Punto A	Punto B	Hab.	Km
<i>1</i>	Xul Ha (XUL)	Xpujil	36	104
<i>2</i>	Xpujil	Escarcega (ESA)	29,477	152

Para mantener el panorama completo de la Red Troncal 2 perteneciente a CFE, se anexan los enlaces complementarios que no fueron incluidos en el estudio, pero pudieran ser incluidos en otro que tome en cuenta otras características de implementación.

Enlace	Punto A	Punto B	Km
<i>1</i>	San Luis Rio Colorado (RIC)	Parque Industrial (PID)	11
<i>2</i>	Rio Nuevo (RIN)	Centro (CRO)	4
<i>3</i>	Rio Nuevo (RIN)	Nacozari (NRI)	7
<i>4</i>	Nacozari (NRI)	Cetys (CTY)	7

5	Cetys (CTY)	Tecnológico (TEK)	13
6	Cetys (CTY)	Mexicali II (MXI)	7
7	Mexicali II (MXI)	Orizaba (OZA)	11
8	Siderúrgica (SCC)	Mexicali II (MXI)	18
9	Cerro Prieto III (CPT)	Siderúrgica (SCC)	16
10	Cerro Prieto III (CPT)	Cerro Prieto II (CPD)	3
11	Cerro Prieto I (CPU)	Cerro Prieto IV (CPC)	4
12	Rosita (ROA)	Cerro Prieto II (CPD)	49
13	Cerro Prieto II (CPD)	Chapultepec (CHQ)	24
14	Chapultepec (CHQ)	Parque Industrial (PID)	38
15	Mexicali II (MXI)	Xochimilco (XOC)	7
16	Xochimilco (XOC)	Wisteria (WIS)	4
17	Wisteria (WIS)	Rosita (ROA)	15
18	Sánchez Taboada (STB)	Rosita (ROA)	35
19	Mexicali II (MXI)	Sánchez Taboada (STB)	6
20	Tijuana I (TU)	Industrial (IND)	7
21	Industrial (IND)	Universidad (UNÍ)	4
22	Universidad (UNÍ)	Hipódromo (HIP)	4
23	Hipódromo (HIP)	Rio (RIO)	5
24	Rio (RIO)	Panamerica Potencia (PAP)	11
25	Panamerica Potencia (PAP)	Tijuana I (TU)	23
26	Presidente Juárez (PJZ)	Lomas (LOS)	88

27	Lomas (LOS)	Ensenada (EDA)	7
28	Turbo Gas Los Cabos (TCB)	Cabo San Lucas (CAD)	14
29	Cabo San Lucas (CAD)	El Palmar (ELP)	19
30	El Palmar (ELP)	San José del cabo (SJC)	15
31	El Palmar (ELP)	Cabo del Sol (CAS)	14
32	Cabo del Sol (CAS)	Cabo Bello (CAB)	12
33	Cabo Bello (CAB)	Cabo San Lucas (CAD)	10
34	San José del cabo (SJC)	Palmilla (PLM)	14
35	Palmilla (PLM)	Cabo Real (CAR)	15
36	Cabo Real (CAR)	El Palmar (ELP)	5
37	San José del cabo (SJC)	Santiago (SNT)	48
38	Santiago (SNT)	El Triunfo (ETR)	58
39	El Triunfo (ETR)	Olas Altas (OLA)	48
40	Olas Altas (OLA)	Bledales (BLE)	6
41	Bledales (BLE)	La Paz (LPZ)	13
42	La Paz (LPZ)	Palmira (PAL)	10
43	Palmira (PAL)	Punta Prieta II (PUD)	5
44	Punta Prieta II (PUD)	Olas Altas (OLA)	28
45	Olas Altas (OLA)	Corumuel (COR)	24
46	Olas Altas (OLA)	Las Pilas (PIL)	115
47	Las Pilas (PIL)	Constitución (VIO)	85
48	Puerto Peñasco (PPA)	Seis de Abril (SSA)	110

49	Seis de Abril (SSA)	Industrial Caborca (ICA)	49
50	Industrial Caborca (ICA)	Santa Ana (STA)	110
51	Seis de Abril (SSA)	Puerto Libertad (PLD)	100
52	Puerto Libertad (PLD)	Santa Ana (STA)	170
53	Cananea (SCN)	Observatorio (OBS)	12
54	Nacozan (NRI)	El Fresnal (EFR)	100
55	Nuevo Casas Grandes (NCG)	Asencion II (ASC)	65
56	Tepic I (TPD)	Tepic II (TPU)	10
57	Tepic II (TPU)	Zona Tranas Nayarit CTN)	6
58	Tepic I (TPD)	Aguamilpa (AGN)	34
59	Mazatlan Dos (MZD)	El Habal (HBL)	16
60	Lousiana (LOU)	Topolobampo (TPO)	30
61	Obregon III (COT)	Obregon IV (COC)	40
62	Guaymas II (PGD)	Hermosillo V (HLI)	149
63	HERMOSILLO IV	Esperanza (ESP)	52
64	Hermosillo V (HLI)	Novillo (NVL)	140
65	Olivar de los Padres (OLV)	Donato Guerra (DOG)	110
66	Donato Guerra (DOG)	Almoleya (AML)	47
67	Nopala (NOP)	Almoleya (AML)	54
68	Almoleya (AML)	Atacomulco Potencia (AMP)	28
69	Donato Guerra (DOG)	Morelia potencia (MOP)	190
70	Guadalajara I (GDU)	Guadalajara II (GDD)	37

71	Atequiza (ATQ)	Zapotlanejo (ZPO)	39
72	Zapotlanejo (ZPO)	Tesistan (TSN)	54
73	Tesistan (TSN)	La Yesca (YES)	88
74	La Yesca (YES)	Cerro Blanco (CBL)	105
75	Cerro Blanco (CBL)	El Cajón (CJN)	22
76	Guadalajara I (GDU)	Zapopan (ZPA)	10
77	Zapopan (ZPA)	Tesistan (TSN)	24
78	Olivar de los Padres (OLV)	Taxqueña	19
79	Yautepec (Y AU)	Tecali (TCL)	122
80	Tecali (TCL)	Puebla II (PBD)	37
81	Manzanillo Dos (MNZ)	Colomo (COL)	6
82	Tepeixtles (TPX)	Colomo (COL)	8
83	Pitirera (PIT)	Lázaro Cárdenas Potencia (LCP)	46
84	Mezcala (MZL)	El Caracol (CRL)	151
85	Pilirera (PIT)	Carapan (CRP)	180
86	Carapan (CRP)	Lázaro Cárdenas Polencia (LCP)	180
87	Reforma (REA)	Paso del Norte (PAN)	48
88	Valle de Juarez (VJZ)	Terranova (TER)	21
89	Terranova (TER)	Samalayuca (SYC)	36
90	Avalos (AVL)	Chuviscar (CHU)	8
91	El Encino (ENO)	Chuviscar (CHU)	29

92	Quevedo (QVD)	Cuauhtemoc II (CHD)	93
93	Gómez Palacio (GPL)	Grcia Reg Transmisión Norte (GRTN)	7
94	Torreón Sur (TOS)	Lerdo (LED)	31
95	Jerónimo Ortiz (JOM)	Durango Dos (DGD)	23
96	Durango Dos (DGD)	Canatlan II (CND)	57
97	Cedras (CED)	Saltillo (SAL)	13
98	Salero (SEO)	PEÑASQUITO	38
99	Fresnillo Potencia (FRP)	Calera (CAL)	41
100	Calera (CAL)	Zacatecas (ZCD)	36
101	SONA BAJIO	Aguascalientes Potencia (APT)	4
102	Cañada (KDA)	El Potosí (EPS)	139
103	Aguascalientes Potencia (APT)	El Potosí (EPS)	181
104	Potrerrillos (POS)	Aguascalientes Potencia (APT)	120
105	Cañada (KDA)	Primero de Mayo (PMY)	220
106	Aguascalientes Potencia (APT)	San Juan de los Lagos (SJD)	52
107	Puebla II (PBD)	Zocac (ZOC)	50
108	Tula II (TUD)	Nochistongo (NOC)	20
109	Tula II (TUD)	Héroes Carranza (HCA)	24
110	Héroes Carranza (HCA)	Dañu (DAN)	32
111	Dañu (DAN)	Zimapan (ZMP)	88
112	Atequiza (ATQ)	Aguascalientes Potencia (APT)	180

113	Alamos (ALS)	Zona de Transmisión Jalisco (ZTJ)	5
114	Silao Potencia (SIP)	División Distribución Bajío (DDB)	32
115	Queretaro Potencia (QRP)	Queretaro (QRU)	23
116	Queretaro (QRU)	Santa Fe (SFE)	36
117	Conin (CNI)	El Sauz (ESZ)	23
118	Queretaro (QRU)	Celaya II (CYA)	44
119	Celaya II (CYA)	Salamanca (SLM)	40
120	Salamanca (SLM)	Santa María (STM)	65
121	Santa María (STM)	Queretaro Potencia (QRP)	33
122	Oaxaca Potencia (OXP)	La Ciénega (CIG)	32
123	Manuel Moreno Torres (MMT)	Juile (JUI)	243
124	Matias Romero Potencia (MSP)	Juchitan II (JUD)	59
125	Juchitan II (JUD)	Juchitan 1 (JUJ)	10
126	Juchitan II (JUD)	La Venta (LVT)	18
127	Juchitan II (JUD)	Salina Cruz 1 (SAC)	47
128	Gcia. Reg Transmisión Sureste (GRTSE)	El Sabino (SAB)	10
129	El Sabino (SAB)	Angostura (ANG)	65
130	Escobedo (ESC)	San Nicolás (NIC)	14
131	Villa de Garcia (VDG)	Jerónimo (JER)	26
132	Jerónimo (JER)	San Jorge (JOR)	6
133	Monclova (MON)	Frontera (FRO)	15

134	Monclova (MON)	Sabinas (SAB)	130
135	Sabinas (SAB)	Nueva Rosita (NUR)	21
136	Cumbres (CUM)	Frontera (Sherylan, EE.UU.)	12
137	Matamoros Potencia (MTP)	Llano Grande (LLG)	20
138	Llano Grande (LLG)	Lauro del Villar (LVI)	7
139	Queretaro Potencia (QRP)	Queretaro Maniobras (QRM)	25
140	Queretaro Maniobras (QRM)	Las Mesas (LME)	220
141	Las Mesas (LME)	Champayan (CPY)	160
142	HUINALA II	Pemex Cadereyta (PCD)	24
143	Pemex Cadereyta (PCD)	Cuchillo (CCL) Los Ramones NL	27
144	San Luis Potencia (SLP)	Villa de Reyes (VDR)	32
145	Anahuac Potencia (ANP)	Cemex (CMX)	3
146	Plaza (PZA)	Tecnológico (TEC)	6
147	Tecnológico (TEC)	Área de Control Noreste (ACNÉ)	5
148	Área de Control Noreste (ACNÉ)	Fundidora (FUN)	4
149	Fundidora (FUN)	Plaza (PZA)	8
150	Poza Rica I (PRU)	Poza Rica II (PRO)	3
151	El castillo (CAS)	Jalancingo (JAL)	54
152	Jalancingo (JAL)	Mazatepec (MZT)	48
153	Mazatepec (MZT)	Poza Rica II (PRD)	66
154	Poza Rica II (PRD)	Laguna Verde (LAV)	147

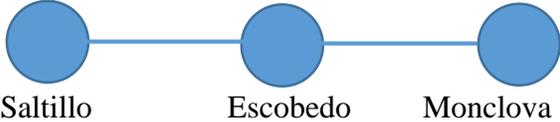
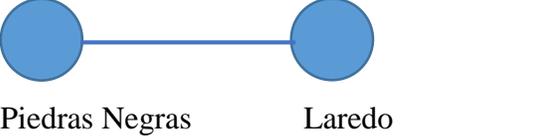
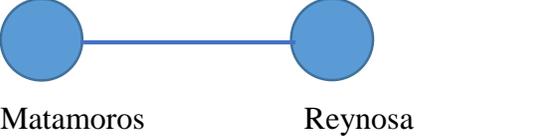
155	Laguna Verde (LAV)	Veracruz II (VRD)	78
156	Veracruz II (VRD)	Dos Bocas (DBC)	15
157	Cerro de Oro (EDO), Temascal, Oaxaca	Juile (JUI), San Juan Evangelista, Ver.	165
158	Juile (JUI), San Juan Evangelista, Ver.	Acayucan (ACY)	26
159	Acayucan (ACY)	Chinameca Potencia (CHP)	26
160	Chinameca Potencia (CHP)	Minatitlan II (MID)	38
161	Temascal II (TMD)	Ojo de Agua Potencia (OJP)	101
162	Temascal I (TMU)	La Granja (LGR)	20
163	Samula (SAM)	Ticul (TIC)	120
164	Ticul (TIC)	Escarcega (ESA)	265
165	Escarcega (ESA)	Sabancuy (SBY)	61
166	Sabancuy (SBY)	Ciudad del Carmen (CRE)	78
167	Cárdenas II (CDD)	La Choca (LCH)	10
168	Nizuc (NIZ)	Balam (BLM)	39
169	Balam (BLM)	Zona Transmisión Cancun (ZTC)	2
170	Balam (BLM)	Sub Área de Control Cancun (SAC)	8
171	Valladolid (VAD)	Zona de Transmisión Valladolid (ZTVAD)	9
172	Kanasin Potencia (KNP)	Almacen GRTP	12
173	Kanasin Potencia (KNP)	Norte (NTE)	30
174	Kanasin Potencia (KNP)	Nachicom (NCM)	12

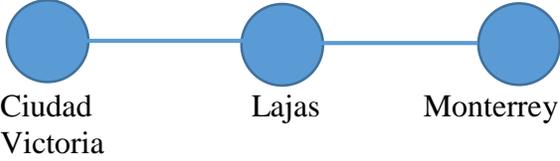
175	Nachicom (NCM)	División Distribución Peninsular (DDP)	5
176	División Distribución Peninsular (DDP)	Gcia Reg Tranmision Peninsular (GRTP)	4
177	Gcia Reg Tranmision Peninsular (GRTP)	Área Control Peninsular (ACP)	4
178	Merida II (MOA)	Merida Potencia (MDP)	2
179	PANAMERICANA POT	PRESIDENTE JUAREZ	14
180	ATEQUIZA	ALAMOS	36
181	SAMALAYUCA	REFORMA	27
182	REFORMA	SUB. TRANS. JUAREZ	28
183	RAMOS ARIZPE	SALTILLO	26
184	AGUASCALIENTES POT	AGUASCALIENTES	18
185	CAÑADA	AGUASCALIENTES	15
186	EL POTOSÍ	SAN LUIS POTOSI	43
187	LEON III	POTRERILLOS	29
188	LEON I	POTRERILLOS	19
189	POTRERILLOS	SALAMANCA	54
190	TULA	TRES ESTRELLAS	85
191	MANUEL MORENO TORRES	SABINO	34
192	JUILE	MATIAS ROMERO POT	89
193	ACUÑA	PIEDRAS NEGRAS	37
194	RIO ESCONDIDO	ARROYO DEL COYOTE	174
195	CUMBRES	AEROPUERTO	30

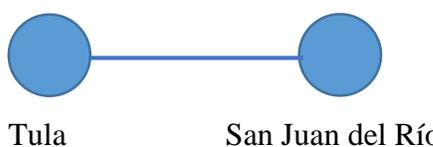
196	AEROPUERTO	RIO BRAVO	29
197	EL POTOSÍ	ANAHUAC POT	258
198	POZA RICA	TRES ESTRELLAS	54
199	VILLAHERMOSA	KM VEINTE	30
200	KM VEINTE	MACUSPANA	40
201	SAMULA	CAMPECHE	12

Tabla 3.26. Enlaces de Fibra Óptica de la red CFE, (Elaboración propia, basado en el Anexo 16 de las prebases de la Red Troncal, Telecomm 2018).

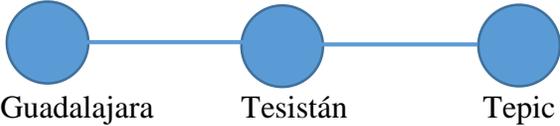
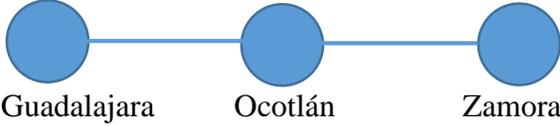
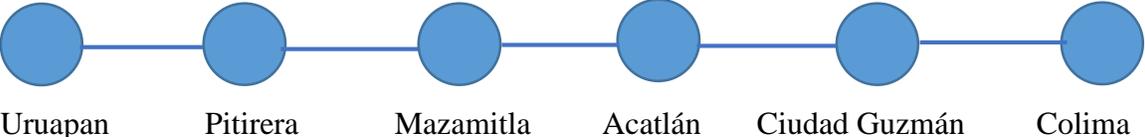
Anexo E Evaluación de CapEx de la Red Troncal 2

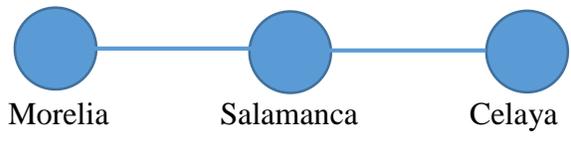
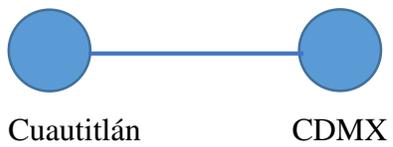
 <p>Saltillo Escobedo Monclova</p>	<p>Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 1 T150Km 1(10) 10 1 T230Km 1(12.5) 12.5 1 TTO150Km 1(12.5) 12.5 1 TTO230Km 1(13.5) 13.5</p>	
<p>Ruta 21</p>	<p>Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 2 AO230Km 2(2) 4 257 Km de fibra óptica 257 257 Total 318.5</p>	
	 <p>Monclova Nueva Rosita Piedras Negras</p>	<p>Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 4 T150Km 4(10) 40 4 TTO150Km 4(12.5) 25</p>
	<p>Ruta 22</p>	<p>Enlace 4 AO150Km 2(0.75) 1.5 241 Km de fibra óptica 241 241 Total 315</p>
		 <p>Piedras Negras Laredo</p>
	<p>Ruta 23</p>	<p>Enlace 2 AO230Km 2(2) 4 176 Km de fibra óptica 176 176 Total 237</p>
 <p>Matamoros Reynosa</p>		<p>Nodo 2 RO19'' 2(2.5) 5 2 T150Km 2(10) 20 2TTO150Km 2(12.5) 25</p>
<p>Ruta 24</p>	<p>Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 68 Km de fibra óptica 68 68 Total 119.5</p>	
	 <p>Reynosa Huinalá Monclova</p>	<p>Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 2 T230Km 4(12.5) 50 2 TTO230Km 4(13.5) 54</p>
<p>Enlace</p>		

 <p>Ciudad Victoria Lajas Monterrey</p>	Ruta 25	4 AO230Km	2(2)	4
		408 Km de fibra óptica	408	408
		Nodo		
		3 RO19''	3(2.5)	7.5
		4 T150Km	4(10)	40
		4 TTO150Km	4(12.5)	50
		Enlace		
		4 AO150Km	4(0.75)	3
		272 Km de fibra óptica	272	272
		Total		523.5
 <p>Monterrey Saltillo</p>	Ruta 26	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		114 Km de fibra óptica	114	114
		Total		165.5
 <p>Ciudad Victoria Ciudad Madero</p>	Ruta 27	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
		214 Km de fibra óptica	214	214
		Total		275
 <p>Ciudad Madero Tampico</p>	Ruta 28	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
		48 Km de fibra óptica	48	48
		Total		99.5
 <p>Ciudad Madero Poza Rica</p>	Ruta 29	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
		227 Km de fibra óptica	227	227
		Total		288

 <p>Poza Rica Tulancingo</p>	Ruta 31	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T230Km	2(12.5)	25
		2 TTO230Km	2(13.5)	27
		Enlace		
		2 AO230Km	2(2)	4
	162 Km de fibra óptica	162	162	
		Total	223	
 <p>Tulancingo Pachuca</p>	Ruta 32	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	40 Km de fibra óptica	40	40	
		Total	91.5	
 <p>Pachuca Tula</p>	Ruta 33	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	85 Km de fibra óptica	85	85	
		Total	136.5	
 <p>Tula San Juan del Río</p>	Ruta 34	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	145 Km de fibra óptica	145	145	
		Total	196.5	
 <p>San Juan del Río Celaya</p>	Ruta 35	Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25
		Enlace		
		2 AO150Km	2(0.75)	1.5
	49 Km de fibra óptica	49	49	
		Total	100.5	
 <p>Celaya Irapuato</p>		Nodo		
		2 RO19''	2(2.5)	5
		2 T150Km	2(10)	20
		2TTO150Km	2(12.5)	25

 <p>Irapuato León</p>	Ruta 36	<table border="1"> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>60 Km de fibra óptica</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>111.5</td> </tr> </table>	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	60 Km de fibra óptica	60	60	Total		111.5																		
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
60 Km de fibra óptica	60	60																														
Total		111.5																														
 <p>León Aguascalientes</p>	Ruta 37	<table border="1"> <tr> <td>Nodo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 RO19''</td> <td>2(2.5)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2 T150Km</td> <td>2(10)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2TTO150Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>60 Km de fibra óptica</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>111.5</td> </tr> </table>	Nodo			2 RO19''	2(2.5)	5	2 T150Km	2(10)	20	2TTO150Km	2(12.5)	25	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	60 Km de fibra óptica	60	60	Total		111.5						
Nodo																																
2 RO19''	2(2.5)	5																														
2 T150Km	2(10)	20																														
2TTO150Km	2(12.5)	25																														
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
60 Km de fibra óptica	60	60																														
Total		111.5																														
 <p>León Aguascalientes</p>	Ruta 38	<table border="1"> <tr> <td>Nodo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 RO19''</td> <td>2(2.5)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2 T150Km</td> <td>2(10)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2TTO150Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>88 Km de fibra óptica</td> <td>88</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>139.5</td> </tr> </table>	Nodo			2 RO19''	2(2.5)	5	2 T150Km	2(10)	20	2TTO150Km	2(12.5)	25	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	88 Km de fibra óptica	88	88	Total		139.5						
Nodo																																
2 RO19''	2(2.5)	5																														
2 T150Km	2(10)	20																														
2TTO150Km	2(12.5)	25																														
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
88 Km de fibra óptica	88	88																														
Total		139.5																														
 <p>Aguascalientes Zacatecas</p>	Ruta 39	<table border="1"> <tr> <td>Nodo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 RO19''</td> <td>2(2.5)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2 T150Km</td> <td>2(10)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2TTO150Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>118 Km de fibra óptica</td> <td>118</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>169.5</td> </tr> </table>	Nodo			2 RO19''	2(2.5)	5	2 T150Km	2(10)	20	2TTO150Km	2(12.5)	25	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	118 Km de fibra óptica	118	118	Total		169.5						
Nodo																																
2 RO19''	2(2.5)	5																														
2 T150Km	2(10)	20																														
2TTO150Km	2(12.5)	25																														
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
118 Km de fibra óptica	118	118																														
Total		169.5																														
 <p>Zacatecas Fresnillo</p>	Ruta 40	<table border="1"> <tr> <td>Nodo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 RO19''</td> <td>2(2.5)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2 T150Km</td> <td>2(10)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2TTO150Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>75 Km de fibra óptica</td> <td>75</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>126.5</td> </tr> </table>	Nodo			2 RO19''	2(2.5)	5	2 T150Km	2(10)	20	2TTO150Km	2(12.5)	25	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	75 Km de fibra óptica	75	75	Total		126.5						
Nodo																																
2 RO19''	2(2.5)	5																														
2 T150Km	2(10)	20																														
2TTO150Km	2(12.5)	25																														
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
75 Km de fibra óptica	75	75																														
Total		126.5																														
 <p>Fresnillo Jerónimo Ortíz Torreón</p>	Ruta 41	<table border="1"> <tr> <td>Nodo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 RO19''</td> <td>3(2.5)</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>2 T150Km</td> <td>2(10)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2 T230Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>2 TTO150Km</td> <td>2(12.5)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>2 TTO230Km</td> <td>2(13.5)</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AO150Km</td> <td>2(0.75)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>2 AO230Km</td> <td>2(2)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>328</td> <td>328</td> </tr> </table>	Nodo			3 RO19''	3(2.5)	7.5	2 T150Km	2(10)	20	2 T230Km	2(12.5)	25	2 TTO150Km	2(12.5)	25	2 TTO230Km	2(13.5)	27	Enlace			2 AO150Km	2(0.75)	1.5	2 AO230Km	2(2)	4	Total	328	328
Nodo																																
3 RO19''	3(2.5)	7.5																														
2 T150Km	2(10)	20																														
2 T230Km	2(12.5)	25																														
2 TTO150Km	2(12.5)	25																														
2 TTO230Km	2(13.5)	27																														
Enlace																																
2 AO150Km	2(0.75)	1.5																														
2 AO230Km	2(2)	4																														
Total	328	328																														

 <p>Guadalajara Tesistán Tepic</p>			<p>328 Km de fibra óptica</p> <p>Total 438</p>
<p>Ruta 42</p>			<p>Nodo</p> <p>3 RO19'' 3(2.5) 7.5</p> <p>2 T150Km 2(10) 20</p> <p>2 T230Km 2(12.5) 25</p> <p>2 TTO150Km 2(12.5) 25</p> <p>2 TTO230Km 2(13.5) 27</p> <p>Enlace</p> <p>2 AO150Km 2(0.75) 1.5</p> <p>2 AO230Km 2(2) 4</p> <p>278 Km de fibra óptica</p> <p>Total 388</p>
 <p>Guadalajara Ocotlán Zamora</p>			<p>Nodo</p> <p>3 RO19'' 3(2.5) 7.5</p> <p>4 T150Km 4(10) 40</p> <p>4 TTO150Km 4(12.5) 50</p> <p>Enlace</p> <p>4 AO150Km 4(0.75) 3</p> <p>205 Km de fibra óptica</p> <p>Total 305.5</p>
 <p>Zamora Uruapan</p>			<p>Nodo</p> <p>2 RO19'' 2(2.5) 5</p> <p>2 T150Km 2(10) 20</p> <p>2TTO150Km 2(12.5) 25</p> <p>Enlace</p> <p>2 AO150Km 2(0.75) 1.5</p> <p>82 Km de fibra óptica</p> <p>Total 133.5</p>
 <p>Uruapan Pitirera Mazamitla Acatlán Ciudad Guzmán Colima</p>			<p>Ruta 6</p> <p>Nodo</p> <p>6 RO19'' 6(2.5) 15</p> <p>7 T150Km 7(10) 70</p> <p>1 T230Km 1(12.5) 12.5</p> <p>7 TTO150Km 7(12.5) 87.5</p> <p>1 TTO230Km 1(13.5) 13.5</p> <p>Enlace</p> <p>8 AO150Km 8(0.75) 6</p> <p>2 AO230Km 2(2) 4</p>

 <p>Colima Manzanillo</p>	Ruta 46	619 Km de fibra óptica	619 Total	619 827.5
		Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 73 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 73 Total	5 20 25 1.5 73 124.5
 <p>Uruapan Morelia</p>	Ruta 47	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 137 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 137 Total	5 20 25 1.5 137 188.5
		Nodo 3 RO19'' 2 T150Km 2 T230Km 2 TTO150Km 2 TTO230Km Enlace 2 AO150Km 2 AO230Km 238 Km de fibra óptica	3(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(12.5) 2(13.5) 2(0.75) 2(2) 238 Total	7.5 20 25 25 27 1.5 4 238 348
 <p>Morelia Salamanca Celaya</p>	Ruta 48	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 59 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 59 Total	5 20 25 1.5 59 110.5
		Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 46 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 46 Total	5 20 25 1.5 46 110.5
 <p>Tula Cuautitlán</p>	Ruta 49	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 59 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 59 Total	5 20 25 1.5 59 110.5
		Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 46 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 46 Total	5 20 25 1.5 46 110.5
 <p>Cuautitlán CDMX</p>	Ruta 50	Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 46 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 46 Total	5 20 25 1.5 46 110.5
		Nodo 2 RO19'' 2 T150Km 2TTO150Km Enlace 2 AO150Km 46 Km de fibra óptica	2(2.5) 2(10) 2(12.5) 2(0.75) 46 Total	5 20 25 1.5 46 110.5



Ruta 51

	Total	97.5
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
62 Km de fibra óptica	62	62
Total		113.5



Ruta 52

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
42 Km de fibra óptica	42	42
Total		93.5



Ruta 53

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T150Km	4(10)	40
4 TTO150Km	4(12.5)	50
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
158 Km de fibra óptica	158	158
Total		257



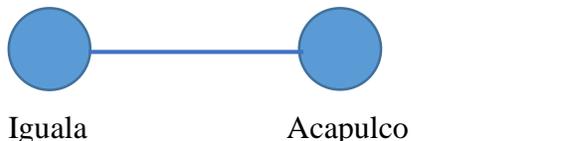
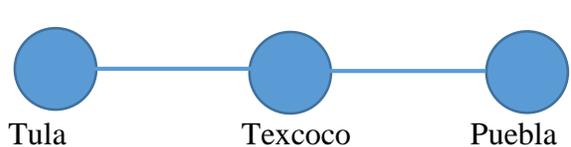
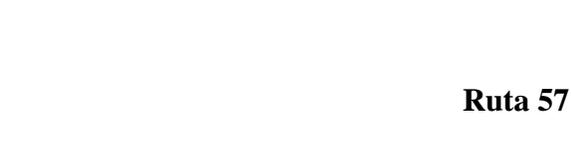
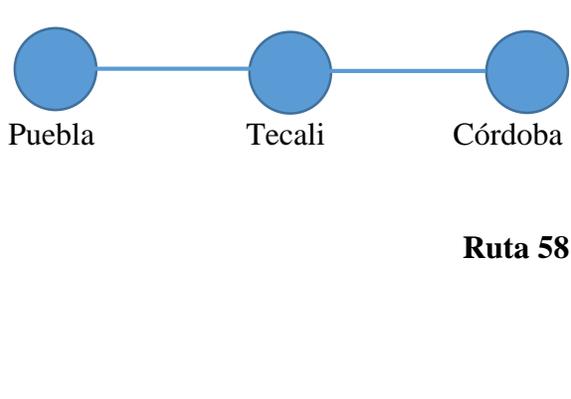
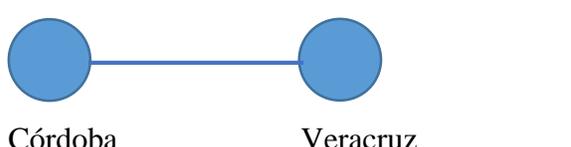
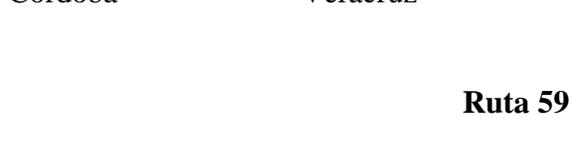
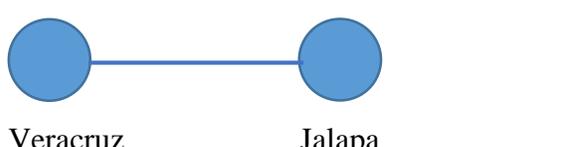
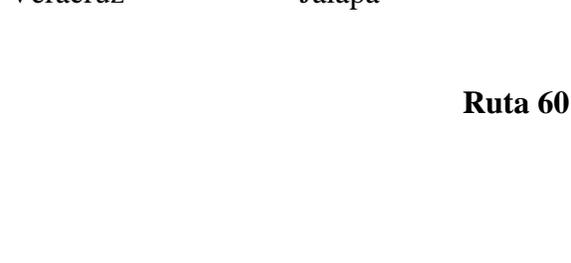
Ruta 54

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
46 Km de fibra óptica	46	46
Total		97.5



Ruta 55

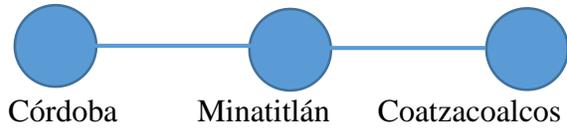
Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
69 Km de fibra óptica	69	69
Total		120.5

 <p>Iguala Acapulco</p>	<p>Ruta 56</p> <p>Nodo 2 RO19'' 2(2.5) 5 2 T230Km 2(12.5) 25 2 TTO230Km 2(13.5) 27</p> <p>Enlace 2 AO230Km 2(2) 4 189 Km de fibra 189 189 óptica Total 250</p>
 <p>Tula Texcoco Puebla</p>	
 <p>Puebla Tecali Córdoba</p>	<p>Ruta 57</p> <p>Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 4 T150Km 4(10) 40 4 TTO150Km 4(12.5) 50</p> <p>Enlace 4 AO150Km 4(0.75) 3 176 Km de fibra 158 176 óptica Total 276.5</p>
 <p>Córdoba Veracruz</p>	
 <p>Veracruz Jalapa</p>	<p>Ruta 58</p> <p>Nodo 3 RO19'' 3(2.5) 7.5 2 T150Km 2(10) 20 2 T230Km 2(12.5) 25 2 TTO150Km 2(12.5) 25 2 TTO230Km 2(13.5) 27</p> <p>Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 2 AO230Km 2(2) 4 232 Km de fibra 232 232 óptica Total 342</p>
 <p>Córdoba Veracruz</p>	
 <p>Veracruz Jalapa</p>	<p>Ruta 59</p> <p>Nodo 2 RO19'' 2(2.5) 5 2 T150Km 2(10) 20 2TTO150Km 2(12.5) 25</p> <p>Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 111 Km de fibra 111 111 óptica Total 162.5</p>
 <p>Veracruz Jalapa</p>	<p>Ruta 60</p> <p>Nodo 2 RO19'' 2(2.5) 5 2 T150Km 2(10) 20 2TTO150Km 2(12.5) 25</p> <p>Enlace 2 AO150Km 2(0.75) 1.5 96 Km de fibra óptica 96 96 Total 147.5</p>



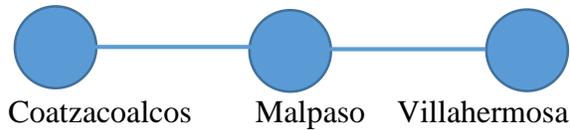
Ruta 61

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2 TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
140 Km de fibra óptica	140	140
Total		191.5



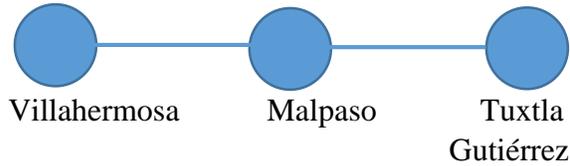
Ruta 62

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO 150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO230Km	2(2)	4
234 Km de fibra óptica	234	234
Total		342.5



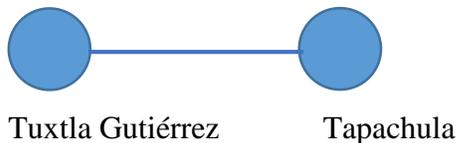
Ruta 63

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
4 T230Km	4(12.5)	25
4 TTO230Km	4(13.5)	27
Enlace		
4 AO230Km	4(2)	8
316 Km de fibra óptica	316	316
Total		383.5



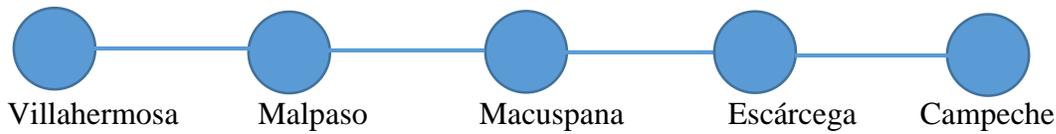
Ruta 64

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
266 Km de fibra óptica	266	266
Total		376



Ruta 65

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
119 Km de fibra óptica	119	119
Total		170.5



Ruta 66

Nodo		
5 RO19''	5(2.5)	12.5
4 T150Km	4(10)	40
4 T230Km	4(12.5)	50
4 TTO150Km	4(12.5)	50
4 TTO230Km	4(13.5)	54
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
4 AO230Km	4(2)	8
613 Km de fibra óptica	613	613
	Total	830.5



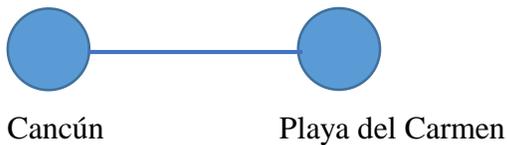
Ruta 67

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
143 Km de fibra óptica	143	143
	Total	194.5



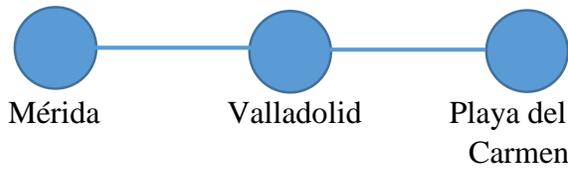
Ruta 68

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
302 Km de fibra óptica	302	302
	Total	412



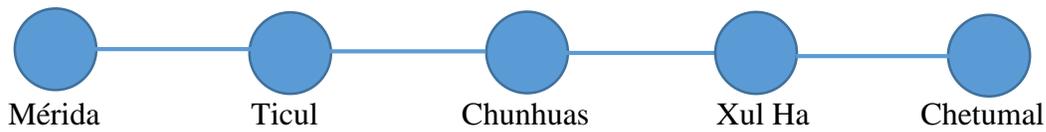
Ruta 69

Nodo		
2 RO19''	2(2.5)	5
2 T150Km	2(10)	20
2TTO150Km	2(12.5)	25
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
62 Km de fibra óptica	62	62
	Total	113.5



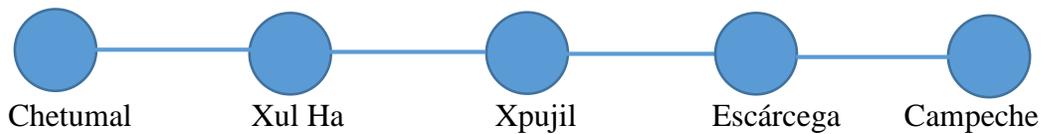
Ruta 70

Nodo		
3 RO19''	3(2.5)	7.5
2 T150Km	2(10)	20
2 T230Km	2(12.5)	25
2 TTO150Km	2(12.5)	25
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
2 AO150Km	2(0.75)	1.5
2 AO230Km	2(2)	4
301 Km de fibra óptica	301	301
	Total	411



Ruta 71

Nodo		
5 RO19''	5(2.5)	12.5
5 T150Km	5(10)	50
1 T230Km	1(12.5)	12.5
5 TTO150Km	5(12.5)	62.5
1 TTO230Km	1(13.5)	13.5
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
368 Km de fibra óptica	368	368
	Total	526



Ruta 72

Nodo		
5 RO19''	5(2.5)	12.5
6 T150Km	6(10)	60
2 T230Km	2(12.5)	25
6 TTO150Km	6(12.5)	75
2 TTO230Km	2(13.5)	27
Enlace		
4 AO150Km	4(0.75)	3
2 AO230Km	2(2)	4
419 Km de fibra óptica	419	419
	Total	625.5

Anexo F Equipamiento de red de transporte óptico



1.6T TRANSPONDER

PL-2000DC

1.6T DCI Optical Transport Platform



1.6T high capacity platform in 1U, for data center interconnect, cloud and colocation providers, and high capacity applications

Features Overview

- Pay-as-you-grow architecture based on pluggable 400G transponder drawers and optical modules
- Supported clients: 100G LAN, OTU4
- Supported FEC modes:
 - Line: GFEC/UFEC + SD-FEC for metro and long haul applications
 - OTU4 service: ITU G.709 GFEC
 - 100GbE service: IEEE Clause 91 RS-FEC
- Standard MSA pluggable:
 - CFP2 ACO tunable DWDM for 100G/200G line interface
 - QSFP28 SR4/LR4/CWDM4 for 100G client interface
- Comprehensive line and service performance monitoring
- Remote management with in-band GCC, or out-of-band OSC
- Easy maintenance with field-replaceable parts:
 - Dual pluggable power supply units AC/DC
 - Fan unit
 - Equipment controller card
- Operates with dual or single fiber infrastructure

For 200G Short Haul and Metro Applications

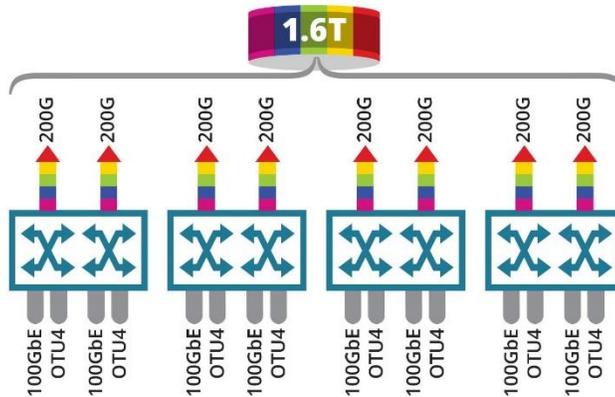
The PL-2000DC is a modular and cost-effective solution for rolling out 100G services or increasing existing network capacity. The device has four 400G pluggable drawers and pluggable optical modules, delivering up to 1.6T in a 1U chassis, and enabling pay-as-you-grow architecture.

Main Benefits

- High transport capacity of 1.6T in 1U
- Managed service platform
- Modular and cost-effective for future growth and maintenance

Flexible Pay-as-you-grow Architecture, with Redundancy

The solution provides full demarcation point between the service and the uplink DWDM side and is interoperable with any third party switch or router. This provides full visibility and performance monitoring of both line optical transport layer (OTN) and service interfaces 100G LAN/OTU4.



Recommended for the following applications:

- 1.6T connectivity for DCI and colocation providers
- 1.6T connectivity for cloud and internet exchange
- High capacity, 16 x 100G managed service platform
- 8 x 100G transponders for carriers' long haul links



Pluggable 4 drawers



1U rack mount



Cost effective solution

Technical Specifications

Product Configuration

4 x Drawers: Pluggable, 400G each

Uplink Characteristics

Bit Rate: 2 x 200G (OTUC2)

Optical Interface: 2 x CFP2 ACO

FEC Support: Standard ITU-T G.709 GFEC/UFEC, SD-FEC

Optical Reach: Up to 600 km for 200G, and 4,000 km for 100G

Optical Monitoring: Tx and Rx power

Service Characteristics

Service Types: 4 x 100GbE / OTU4, per single 400G drawer

Optical Interfaces: QSFP28: LR-4 (1310nm) / SR-4 (850nm) / CWDM4

FEC Support:

- OTU4: ITU-T G.709 GFEC
- 100GbE: RS-FEC

Network Management

Management Ports:

- 3xRJ-45 LAN port 10/100MBase-T
- 2xSFP MNG ports 100/1000MBase-X
- RJ-45 serial port
- OTN in-band GCC channel

Protocols: SNMP v1/v2/v3, HTTP/HTTPS, Telnet/SSH, Syslog, RADIUS, SNTP, TFTP and FTP

Management:

- Web browser over HTTP/HTTPS
- PacketLight LightWatch™ NMS/EMS
- Third party NMS over SNMP
- CLI over RS-232
- CLI over Telnet/SSH

OAM: Facility loopback and PRBS (client and line interfaces), event log, automatic laser shut-down (ALS)

Performance Monitoring:

- Layer-1 PM for all services
- Layer-2 PM for Ethernet
- OTN PM for uplinks
- Optical power Tx and Rx levels for all optical ports

Visual Indicators:

- LED indicators for:
 - Client and line ports
 - Management and LAN ports
 - System critical/major/minor
 - Power supply alarms

Software Upgrade: Hitless traffic – dual image

Power Supply

AC/DC: 100 to 240 VAC, 50/60 Hz, -36 to -60 VDC, 540W max (>100W per drawer)

PSU Redundancy: Single/dual feeding, hot swappable

Cooling Unit: Hot swappable fan unit

Environmental

Operating Temperature: -5°C to 50°C (+23°F to +122°F) operational

Humidity: 5% to 85% RH

Physical Dimensions

1U:

- 1.77" (H) x 17.32" (W) x 20.87" (D)
- 45mm (H) x 440mm (W) x 530mm (D)

Weight: 8.5kg / 18.75lb (max)

Mounting: 19"

Approvals & Standards

- CE, FCC
- RoHS, REACH



For more information please contact us at www.packetlight.com

© 2017 PacketLight Networks Ltd | All rights reserved | Information subject to change without notice.



200G ADM ◊ MUXPONDER ◊ TRANSPONDER

PL-2000ADS

200G Short Haul ADM Encryption Solution



200G multi-protocol multi-rate muxponder/transponder/ADM for short haul optical transport solutions and Layer-1 encryption

Features Overview

- Supports multiple, user-configurable, operation modes: muxponder, transponder, and ADM
- Supported clients: 10G/40G/100G LAN, 8G/16G/32G Fibre Channel, STM-64/OC-192, OTU2/OTU2e, OTU4
- Standards-based forward error correction (FEC) for short haul applications
- Dual pluggable QSFP28 interfaces for uplink and client
- Layer-1 GCM-AES-256 based encryption
- Low latency muxponder/transponder/ADM
- Comprehensive line and service performance monitoring
- Remote management with in-band or out-of-band optical supervisory channel (OSC)
- Supports standard MSA pluggable SFP+ (8G/10G/16G/32G client), QSFP+ (40G client), QSFP28 (100G client) and QSFP28 (100G uplink)
- Dual AC or DC pluggable power supply and pluggable fan unit

For Short Haul 200G Applications

The PL-2000ADS provides modular and cost-effective high transport capacity of up to 200G by aggregating multiple services into dual 100G OTU4 uplinks. The solution is low power consumption and saves rack space, reducing overall CAPEX and OPEX, and enabling to easily and cost-effectively increase capacity of short haul networks.

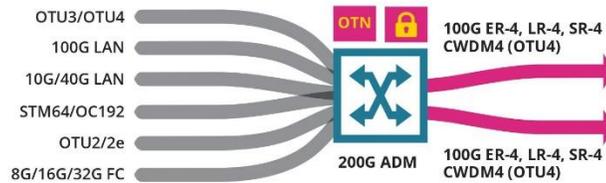
Main Benefits

- Easy deployment and management of dual 100G short haul / access networks
- Versatile 1U chassis platform, with very low power consumption
- Embedded GCM-AES-256 encryption for all protocols
- Encryption feeder in front of any third party OTU4 interface

Secured and Encrypted Communication for all Services

The PL-2000ADS is a cost-effective 200G solution for short haul and access networks, incorporating GCM-AES-256 Layer-1 encryption.

The unit can also function as a standalone 200G encryption machine for any mix of the featured client services.



Multiple Client Services Aggregate into Dual 100G OTU4 Uplinks

Recommended for the following applications

- Last mile access/aggregation CPE for 10G/40G/100G managed service
- High capacity, short haul enterprise and campus networks
- Dynamic add/drop of services in ring and linear add/drop topologies
- Feeder solution to third party OTU4 transponder card
- Up to 200G Layer-1 encryption solution for 10G/40G/100G services
- High bandwidth connectivity for data center and cloud computing



Layer-1 encryption



Low power consumption



1U rack mount



Multi operation modes

Technical Specifications

Product Configurations

Dual 10x10G Muxponder: Up to 20 multi-service 10G clients aggregated to 2xOTU4 uplinks

Dual 40G and 12x10G Muxponder: 2x40G LAN and up to 12 multi-service 10G clients aggregated to 2xOTU4 uplinks

Dual 100G Transponder: 2x100GbE LAN mapped to 2xOTU4 uplinks

100G Transponder and 10x10G Muxponder: 100GbE LAN mapped to one OTU4 uplink and up to 10 multi-service 10G clients aggregated to second OTU4 uplink

Uplink Characteristics

Bit Rate: 112Gbps (OTU4)

Optical Interface: 2xQSFP28

FEC Support: Standard ITU-T G.709 GFEC

Optical Reach: Up to 40km with ER-4

Optical Output Power: 2dBm to -2dBm

Optical Monitoring: Tx and Rx power

Client Interfaces

Service type: 10GbE LAN/WAN, 40GbE LAN, 100GbE, 8G/16G/32G FC, STM-64/OC-192, OTU2, OTU2e, OTU3, OTU4

Optical Interface:

- SFP+: LR (1310nm), SR (850nm), ER (1550nm), ZR (1550nm) and C/DWDM
- QSFP+: LR-4 (1310nm), SR-4 (850nm)
- QSFP28: LR-4 (1310nm), SR-4 (850nm)

Management:

- Web browser over HTTP/HTTPS,
- PacketLight LightWatch™ NMS/EMS, or 3rd party NMS over SNMP
- CLI over RS-232 or CLI over Telnet/SSH

OAM:

- Facility loopback (client and line interfaces), PRBS, event log, external alarms (input and output)
- Automatic laser shut-down (ALS)

Network Management

Management Ports:

- 2xRJ-45 LAN port 10/100MBase-T
- 2xSFP MNG ports 100/1000MBase-X
- RJ-45 serial port
- RJ-45 external alarm port
- OTN in-band GCC channel

Protocols: SNMP, v1/v2/v3 HTTP, HTTPS, Telnet, SSH, Syslog, RADIUS, SNTP, TFTP & FTP

Performance Monitoring:

- Layer-1 PM for all services
- Layer-2 PM for Ethernet
- OTN PM for uplinks
- Optical power Rx levels for all optical ports
- Egress PM for all services

Visual Indicators: LED status indicators for: client and line ports, Management and LAN ports, system Critical/Major/Minor and Power Supply

Software Upgrade: Hitless traffic – dual image

Power Supply

AC/DC: 100 to 240 VAC, 50/60 Hz, -36 to -60 VDC, 170W max

PSU Redundancy: Single/dual feeding, hot swappable

Cooling Unit: Hot swappable fan unit

Environmental

Operating Temperature: -5°C to 50°C (+23°F to +122°F) operational

Humidity: 5% to 85% RH

Physical Dimensions

1U:

- 1.77" (H) x 17.32" (W) x 11.22" (D)
- 45mm (H) x 440mm (W) x 285mm (D)

Weight: 8.5kg / 18.75lb (max)

Mounting: 19", ETSI, 23"

Encryption

Functionality: Full speed transparent Layer-1 encryption for selected clients or for the OTU4 uplinks

Compliance:

- FIPS 140-2 Level 2
- CNSA Top Secret Suite 2015

Algorithms:

- Encryption/decryption: GCM-AES-256
- Key exchange: ECC Cofactor Diffie-Hellman with P-384 curve
- Message digest: SHA-384

Authentication:

- Role-based user/password

Approvals & Standards

- CE, FCC, RoHS, REACH
- NEBS ready



For more information please contact us at www.packetlight.com

© 2017 PacketLight Networks Ltd | All rights reserved | Information subject to change without notice.