

VI. Demanda Proyectada de Datos

El tráfico de datos de larga distancia en México, estimado en 22 exabytes (EB¹¹) en 2017, deberá crecer en la próxima década a una tasa anual de crecimiento compuesto de 19.1%, llegando a 136.4 EB en 2028. Este tráfico incluye el generado por servicios de voz, internet y otros tipos de datos (por ejemplo, en líneas privadas que comunican dos puntos) a través de las diferentes plataformas con las que los usuarios finales acceden a estos servicios (banda ancha fija, banda ancha móvil, plataformas de redes privadas, principalmente).

Para 2017, la capacidad de transmisión necesaria para poder transportar esta información, considerando que ésta no fluye de manera constante a lo largo del tiempo, fue de aproximadamente el equivalente a 20,300 circuitos de 1 Gbps. Un circuito permite que se transporte un máximo de información en un momento dado.

De la demanda en 2017, alrededor del 5.8% era generada por usuarios en las redes móviles, 50.3% en las redes de banda ancha fija en domicilios y 44% en redes fijas en unidades económicas (empresas, PyMES y MyPES).

La Red Troncal, con una cobertura de 77.2% de la población, si hubiese estado en operación en 2017 hubiera podido servir 90.7% del tráfico generado en México. Es decir, en las localidades donde se espera que la Red Troncal tenga presencia (tomando como punto de partida la red de referencia utilizada), donde vive 77.2% de la población, se generó aproximadamente 90.7% del tráfico.

Para entender la viabilidad de la Red Troncal, se desarrolló un modelo de demanda detallado explicado más adelante. Es importante sin embargo mencionar que en aquellos mercados en donde la tecnología avanza tan rápido que el mercado frecuentemente sufre discontinuidades, la estimación de la demanda es uno de los mayores desafíos. Lo que hace diez años era considerado de punta, hoy es visto como obsoleto. Tómese como ejemplo la evolución de los terminales móviles o los diferentes formatos de video que hoy están disponibles.

Las telecomunicaciones son uno de los mejores ejemplos de sectores en donde la tecnología genera discontinuidades frecuentes. Piénsese en la rapidez con la que pasamos de un mundo analógico a un mundo digital. O bien, de una telefonía analógica de voz móvil a una digital (2G llegó a México a finales del siglo pasado), o bien, de cuándo por primera vez se ofrecieron

¹¹ Un exabyte equivale a mil millones de gigabytes (GB).

servicios de datos en telecomunicaciones móviles. La llegada y salida de la tecnología 2.5G (GPRS) fue tan fugaz que pocas personas recuerdan los “sitios de internet” a los que se podía acceder con ella¹². De igual manera, hemos pasado por varias tecnologías de telecomunicaciones móviles en los últimos 15 años (2G, 2.5G, 3G, LTE); hoy ya se está preparando el terreno para la llegada de 5G. Cada tecnología se ha distinguido por aumentar la velocidad promedio, muchas veces hasta en un orden de magnitud, al mismo tiempo que se reduce sustancialmente el costo unitario de prestación de servicio.

Sobre estos avances es que fue necesario realizar una estimación de demanda a mediano plazo, período durante el cual probablemente sucederán, si el pasado reciente es un indicador del futuro cercano, al menos dos cambios tecnológicos disruptivos difíciles de imaginar.

No obstante, y con cautela, se procedió a hacer una estimación de la demanda con los mejores supuestos disponibles. Se siguió un proceso de cinco pasos:

1. Se estimó el número de puntos generadores de demanda a lo largo del tiempo. Un punto generador de demanda es un usuario (fijo, móvil, residencial, comercial, objeto) que genera tráfico que necesita ser transportado por la red. No se hizo una división en términos de aplicaciones (voz, internet, video, etc.), sino que se hizo en términos de los accesos generadores.
2. Se estimó una proyección de la evolución del tráfico generado por cada tipo de punto.
3. Se desagregó este tráfico hasta el nivel de localidad y se re-agregó para estimar el tráfico que pasa por las localidades donde existen puntos de presencia de la Red Troncal.
4. Se estimó cuánto tráfico sería transportado por enlaces punto a punto y cuánto requeriría un acceso a internet. Se transformó esta información de tráfico a capacidad, que es lo que vende en el mercado (p.ej., un circuito de 1 Gbps).
5. Se estimó la participación de mercado de la Red Troncal eliminando del mercado “capturable” todo aquel que sería transportado por las empresas verticalmente integradas y suponiendo que la Red Troncal sólo capturaría 10% más que su “participación justa de mercado” (“participación justa” se refiere a la división del mercado disponible en partes iguales entre los competidores actuando en el mercado). Se cree que esta pequeña participación adicional sobre la “participación justa” es altamente posible dado que los costos totales de la Red Troncal deberán ser menores que los demás participantes en el mercado por el hecho de poder utilizar los hilos de fibra óptica de la CFE sin haber realizado esa inversión específica.

¹² Estos “sitios” eran líneas de texto en los teléfonos básicos, parecido a lo que hoy sería un mensaje SMS largo.

Esto se hizo localidad por localidad, para poder reflejar de la mejor manera las condiciones de mercado existentes.

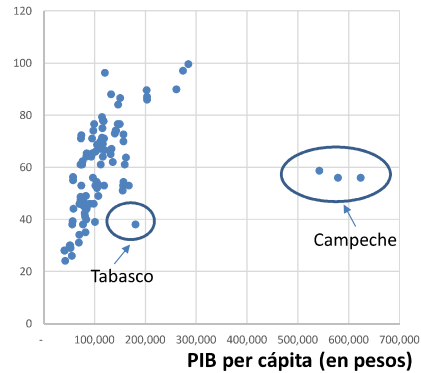
Para todos los casos se utilizó la información publicada por el IFT, que está disponible mensual o trimestralmente de 2013 a septiembre de 2017.

Para la estimación de los puntos generadores de tráfico se calcularon los valores de los parámetros relevantes con regresiones múltiples, utilizando como variables independientes el PIB (o medidas afines, tales como el valor económico generado por las unidades económicas); variables “dummy” para los años, para capturar el efecto generalizado del crecimiento del mercado; y variables “dummy” para capturar ciertas diferencias estructurales en los estados del país. Así por ejemplo, Campeche y Tabasco tienen un comportamiento atípico, ya que son estados de alto PIB pero con relativo poco derrame económico local, lo que hace que los indicadores de penetración y uso de los servicios no sean compatibles con los indicadores de PIB estatales. También existe un comportamiento peculiar en Nuevo León y Chihuahua, donde existe PIB de exportación. Por otro lado, los estados con alta población migrante o ligados al turismo (Quintana Roo, Baja California y Baja California Sur) muestran indicadores por encima de la media nacional, aún después de ajustar por las otras variables.

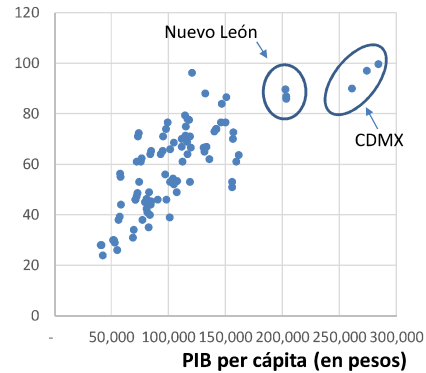
Se llevó a cabo este ejercicio para cada tipo de unidad generadora de tráfico (banda ancha móvil (BAM), banda ancha fija residencial (BAFr) y banda ancha comercial (BAFnR)). En todos los casos el ajuste es muy bueno (R^2 de 64% para BAM, 77% para BAFr y 90% para BAFnr). Todas las estimaciones son estadísticamente significativas con un alto grado de confianza (los valores t de todos los parámetros estimados son superiores a $|2|$; para la variable de riqueza económica el valor de la t excedió $|10|$). Esto es mostrado en las figuras siguientes.

Estimación de la relación entre riqueza y penetración de banda ancha móvil

Penetración de BAM en la población



Penetración de BAM en la población (ex Camp. y Tab)



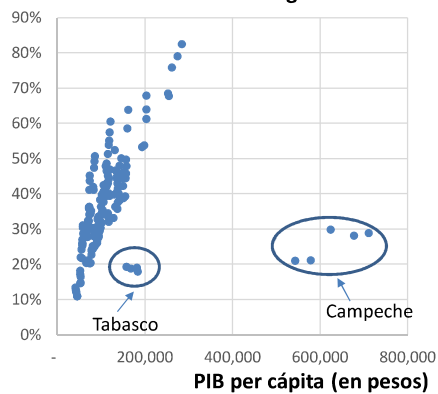
$$\text{Penetración} = 0.216 + 2.023 \times 10^{-6} \text{ PIB per cápita} + \text{Dummy año}$$

valor t (6.7) (11.9) (3.4, 3.8)

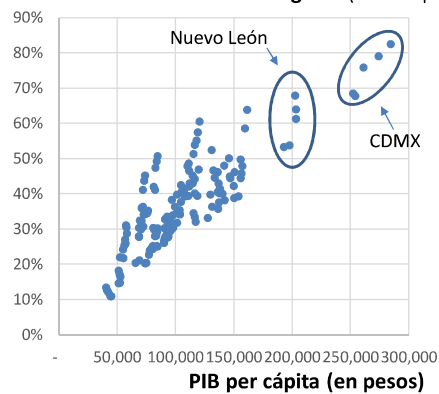
R^2 (aj) = 64.4%

Estimación de la relación entre riqueza y penetración de banda ancha fija residencial

Penetración de BAF en los hogares



Penetración de BAF en los hogares (ex Camp. y Tab)



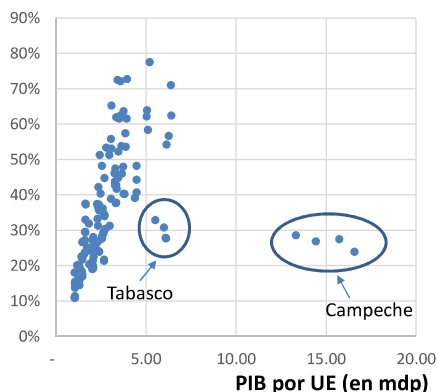
$$\text{Penetración} = 0.81 + 2.44 \times 10^{-6} \text{ PIB per cápita} + \text{Dummy año}$$

valor t (4.93) (21.5) (-0.8, 2.3, 3.2, 4.3)

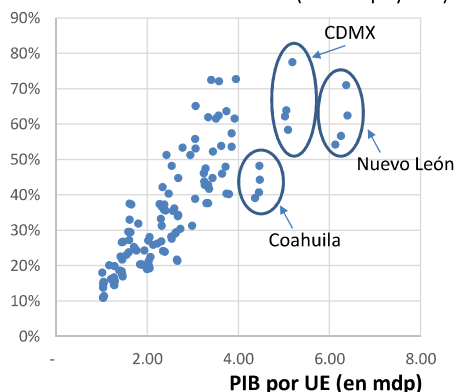
R^2 (aj) = 77.3%

Estimación de la relación entre riqueza y penetración de banda ancha fija no residencial (en UE)

Penetración de BAF en las UE



Penetración de BAF en las UE (ex Camp. y Tab)



$$\text{Penetración} = 0.011 + 0.085 \text{ PIB/UE} - 0.157 (\text{NL y Coahuila}) + 0.179 \text{ Turismo} + \text{Dummy año}^*$$

<i>valor t</i>	(0.67)	(22.7)	(-6.2)	(10.4)	(-0.7, 1.5, 5.9)
----------------	--------	--------	--------	--------	------------------

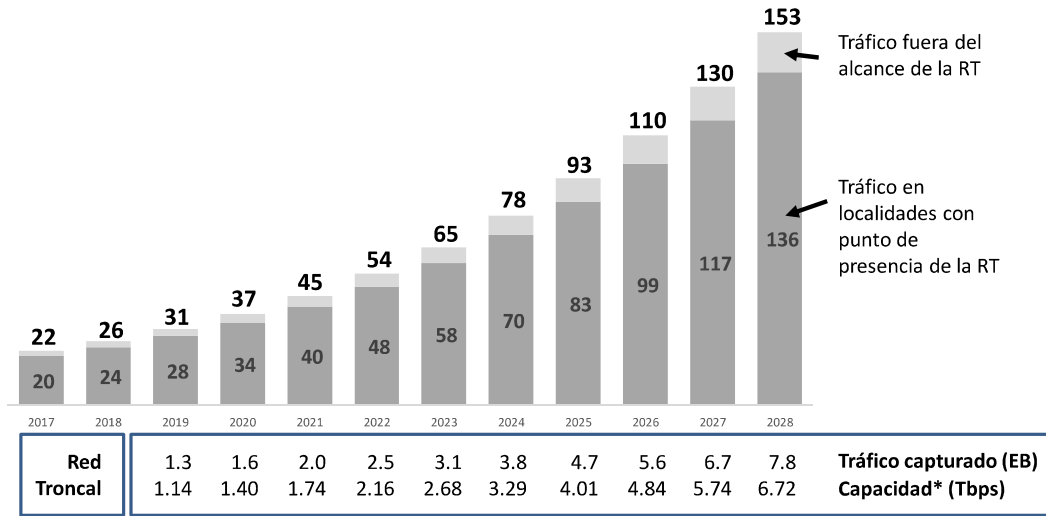
R² (aj) = 89.6%

Estas estimaciones posteriormente se utilizaron para estimar la evolución de la penetración de los generadores de acceso por municipio, tomando como punto de partida la estimación de PIB municipal realizada por el PNUD/CONAPO¹³.

Una vez obtenidas estas evoluciones, se desagregaron las estimaciones municipales, con base en el número de habitantes, a indicadores a nivel localidad. A este último nivel de desagregación, se procedió a estimar el tráfico, de tal manera que después se pudiera consolidar para obtener el tráfico que pasa por cada una de las localidades donde la Red Troncal tiene presencia, de acuerdo a la definición de cobertura utilizada.

Estimación de la demanda total de tráfico a nivel nacional y estimación de captura de tráfico por la Red Troncal (en EB por año)

¹³ PNUD México. (Marzo 2014). *Índice de Desarrollo Municipal en México*. En <http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/idh-municipal-en-mexico--nueva-metodologia.html>



El tráfico capturado por la Red Troncal, es decir, el tráfico que termina pasando por su red, fue estimado eliminando los tráficos no “capturables”. Por tráfico “no capturable” se considera todo aquel que es generado por usuarios de empresas que están verticalmente integradas. Eliminando este tráfico de la demanda total, el resto fue dividido entre el número de competidores existentes sirviendo este mercado. También se incorporó el hecho de que una parte importante de la demanda está atada a contratos plurianuales por otros proveedores ya actuando en el mercado (se supuso que la media de los contratos de este tipo es de cuatro años), por lo que no inmediatamente puede ser tráfico atendido por la Red Troncal. Para el mercado de transmisión, el tráfico se comercializa en capacidad de los circuitos (p.ej., Gbps).¹⁴

Posteriormente, el tráfico fue transformado a capacidad utilizando las relaciones descritas en los Cuadros explicativos 1 y 2, que se han incluido en este documento en aras de evitar posibles confusiones con las unidades de medida utilizadas.

Cuadro explicativo 1

El tráfico es la información cursada por la red, codificada digitalmente. Es el equivalente a lo que serían los minutos de voz en una red tradicional de telecomunicaciones.

La unidad básica de tráfico es el **byte (B)**, que es un conjunto ordenado de 8 **bits (b)**. Los bytes se van agregando en múltiplos de 1000¹⁵, para conformar el sistema internacional de medida de información digital. Es importante resaltar que estas unidades son estáticas y absolutas.

¹⁴ Por ejemplo, una empresa cablera contrata un acceso a internet de 1 Gbps por una renta acordada al mes.

¹⁵ En estricto sentido, en múltiplos de 1,024, pero esto se ha obviado para pasar a un sistema digital de fácil manipulación.

Un **kilobyte (kB)** son 1,000 bytes (10^3 bytes) y 1000 kB son un **megabyte (MB)**.

Las siguientes agregaciones son:

- **gigabyte (GB)** (1,000 MB)
- **terabyte (TB)** (1,000 GB)
- **petabyte (PB)** (1,000 TB)
- **exabyte (EB)** (1,000 PB)

A manera de comparación, considérese que un DVD contiene aproximadamente 4 GB de información.

Cuadro explicativo 2

Una red de telecomunicaciones transporta la información, la cual se mide como se ha explicado en Cuadro explicativo II.1. Para saber cuánta información consigue transmitirse en un tiempo dado, se utilizan las medidas de velocidad de transferencia de información. Típicamente son expresadas en unidades transmitidas por segundo, pero es posible transformarlas a unidades de tiempo mayores (minutos, días, horas, años).

La unidad básica es el **kilobit por segundo**, abreviado **kbps**, aunque frecuentemente también se utilizan las abreviaciones **kbit/s** y **kb/s**.

Al igual que las unidades de información, el sistema internacionalmente aceptado utiliza múltiplos de 1000 para velocidades mayores. De esta manera, **1 Mbps (megabit por segundo)** equivale a 1,000 kbps y **1 Gbps (gigabit por segundo)** a 1,000 Mbps.

Es menester resaltar que lo que se mide está midiendo es una velocidad de transferencia: es decir, una capacidad de 1 Mbps consigue transferir 1 Mb en un segundo. Para conseguir transferir más unidades de tráfico, o bien es necesario contar con más capacidad o bien aumentar el tiempo de transferencia.

También es necesario resaltar que la diferencia entre utilizar “b” y “B” no es un error sino una convención. La “b” significa “bit”, mientras que la “B” significa “byte”. Como se explicó anteriormente, un byte está formado por 8 bits.

De aquí se deduce que para poder transferir **1 MB en un segundo** es necesaria una velocidad de transferencia de **8 Mbps**.

Las unidades utilizadas para la venta de circuitos en el mercado son velocidades de transferencia, frecuentemente referidas como “capacidad”. Así, lo que se adquiere son circuitos de múltiplos de 1 Mbps.

La unidad estándar hace 20 años era un circuito E1, con una capacidad de 2.048 Mbps. Con los avances tecnológicos, las referencias han cambiado y actualmente muchos operadores utilizan como unidad mínima de venta los circuitos de 1 Gbps.

Es importante destacar que la demanda de tráfico de datos tiene dos peculiaridades.

- Su distribución a lo largo del país es muy poco homogénea y está correlacionada positivamente con dos variables principales: el bienestar económico y el tamaño de la población. Sin embargo, el crecimiento no es lineal con respecto a la variable de bienestar. Esto explica el que la Ciudad de México, con 7.3% de la población del país y 12.3% del PIB, genere el 12.5% del tráfico nacional, mientras que Chiapas, con 4.4% de la población y 1.4% de la riqueza, genere tan sólo el 1.8% del tráfico.
- Dado que el sector está conformado en su mayoría por empresas que están verticalmente integradas, una parte importante de la demanda existente está siendo satisfecha por ellas mismas. Ésta sería demanda que no podría capturar la Red Troncal.

La demanda total es generada por prácticamente todos los operadores que actúan en el mercado. No existe ningún operador que no requiera de servicios de transmisión, sea para enlaces dedicados o para acceso a internet. Por lo tanto, una parte importante de la demanda está relativamente pulverizada, siendo generada por empresas de telecomunicaciones de porte pequeño y que requieren enlaces de poca capacidad.

Además de las grandes empresas con red propia que prestan servicios al usuario final (América Móvil, Grupo Televisa, Megacable y Telefónica), existen muchos grupos de empresas que demandan capacidad de transmisión y que podrían ser atendidas por la Red Troncal:

- AT&T: AT&T es la mayor empresa en el mercado al usuario final que no posee una red de transmisión suficientemente capilar para poder satisfacer su propia demanda. Es uno de los grandes compradores de capacidad y no parece haber mostrado interés en invertir en fibra óptica de larga distancia más allá de lo estrictamente indispensable. Conforme evoluciona su red hacia 5G y consolida su posición en el mercado, AT&T requerirá cada más capacidad, especialmente para poder conectar sus radiobases. De haber generado aproximadamente 1.2% de la demanda total de tráfico¹⁶ en 2017, deberá pasar a generar alrededor del 5% hacia 2023.

¹⁶ El tráfico generado por todos los usuarios de banda ancha móvil en México, a pesar del crecimiento tan acelerado, representó poco menos del 6% del total de tráfico. Las estimaciones de demanda indican que para 2023, esta participación aumentará a alrededor del 20% del tráfico total.

- Altán Redes: Partiendo del supuesto de que la Red Compartida será un proyecto exitoso, Altán Redes deberá ser un enorme generador de tráfico. A pesar de que actualmente aún no tiene clientes operando comercialmente, sí ha adquirido capacidad de transmisión como parte de la primera fase del despliegue de su red. Ha contratado enlaces de 40 y 100 Gbps a corto plazo bajo la expectativa de una reducción de precio en el futuro cercano. Su despliegue continuará hasta el 2022 para conseguir su compromiso de cubrir al 92.2% de la población. Durante el proceso de adjudicación, Altán recibió la posibilidad de utilizar un par de hilos de fibra óptica oscura sobre la red de CFE, similar a la infraestructura que podrá utilizar la Red Troncal. Altán ha hecho saber que por el momento no es de su interés el invertir para iluminar esta infraestructura, pero que lo hará en el momento en que la relación de costo beneficio de invertir en vez de rentar le sea económicamente preferible. También ha indicado que no ha descartado la posibilidad de entrar en un arreglo con un tercero para que éste explote el par de hilos. Dada esta dinámica competitiva y las prioridades del operador, Altán podrá ser uno de los principales clientes de la Red Troncal o uno de los principales competidores.
- Transtelco, Maxcom, Axtel, Marcatel, Redit, C3entro: Además de ofrecer servicios al usuario final, estas empresas actúan activamente en el mercado mayorista de transmisión. Como sus redes tienen cobertura parcial, frecuentemente requieren adquirir capacidad en el mercado para extender su huella o para contar con redundancia. Estas empresas serán tanto competidoras como clientes potenciales de la Red Troncal.
- Pequeños operadores locales: Existen varias centenas de operadores de porte pequeño prestando servicios locales, generalmente de televisión restringida. Por ejemplo, la Asociación de Telecomunicaciones Independientes de México, AC. (Atim) agrupa 206 sistemas de televisión por cable en 27 estados, cuenta con “más de 520 mil suscriptores en poblaciones semi-urbanas y rurales, impactando a un total de 3.7 millones de personas”, donde “en algunos casos, somos el único medio de comunicación en la comunidad”.¹⁷ Uno de sus miembros ha indicado que 70% de los asociados no tienen acceso a servicios de transmisión. Parte importante de la demanda futura y del beneficio social que generará la Red Troncal será viabilizando los servicios de banda ancha para este tipo de operadores.

Las condiciones de mercado permiten dividir la demanda en dos grupos. Por un lado se encuentran las empresas grandes verticalmente integradas. Por otro, se tiene al resto de las empresas, las cuales no tienen infraestructura de transmisión adecuada a sus necesidades.

¹⁷ www.atim.org.mx

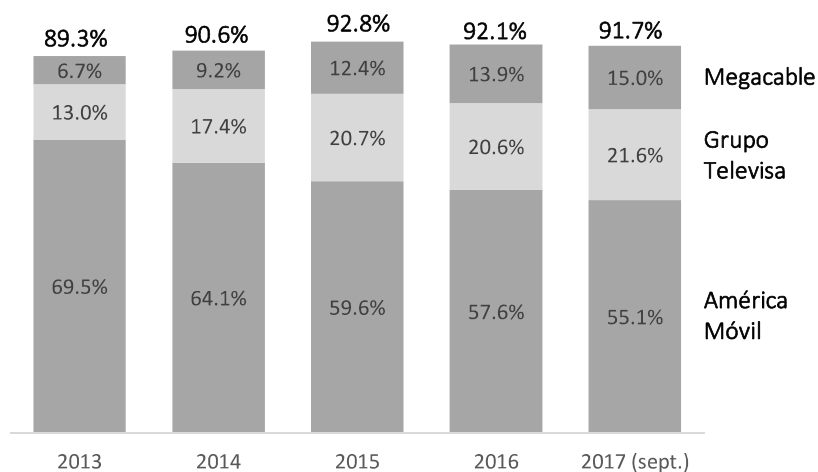
Las tres mayores empresas que ofrecen servicios de banda ancha fija (América Móvil/Telmex, Grupo Televisa y Megacable) tanto al mercado residencial como al comercial (PyMES y grandes empresas) tienen redes de transmisión a nivel nacional. En el agregado, tienen una participación nacional de 91.7% (ver Figura II.5); esta participación no ha cambiado de manera relevante en los últimos años.

Telmex es la propietaria de la mayor red de transmisión a nivel nacional. Por otro lado, Grupo Televisa y Megacable son parte del consorcio GTAC, que posee un par de hilos de fibra óptica en la red de CFE. Estas dos empresas, antes de la formación de GTAC, ya tenían desplegadas redes de fibra óptica y han continuado haciéndolo, por lo que su presencia es mayor que la presencia que obtienen con la red de GTAC.

De las cuatro empresas actuando en el mercado móvil, dos de ellas (América Móvil/Telcel y Telefónica) también tienen redes de transmisión nacionales. Telefónica es el tercer miembro del consorcio GTAC y, al igual que Grupo Televisa y Megacable, la empresa ya contaba con una red de transmisión previa a la formación del consorcio. Ambas empresas tienen una participación superior a 80% en el mercado de banda ancha móvil (ver Figura II.6).

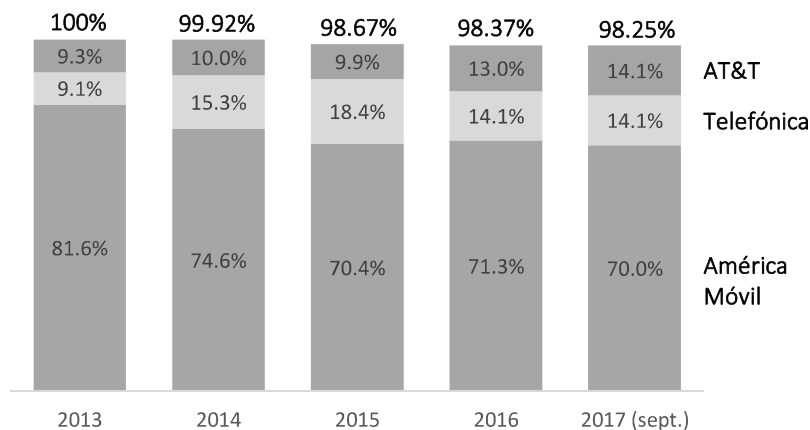
De los 22.2 exabytes que conforman el total del tráfico nacional, estimamos que entre 20% y 22% no es generado por las cuatro empresas verticalmente integradas. Sin embargo, este grupo de empresas integradas también participa en el mercado mayorista de transmisión (la principal prestadora de enlaces en México es Telmex); se ha estimado que cerca de la mitad de ese tráfico está capturado por ellas a través de la venta de enlaces y acceso a internet.

Participaciones de mercado en el mercado de banda ancha fija



Fuente: IFT. Banco de Información de Telecomunicaciones (BIT)

Participaciones de mercado en el mercado de banda ancha móvil



Fuente: IFT. Banco de Información de Telecomunicaciones (BIT)

Las estadísticas sectoriales y la estructura de mercado parecen indicar que la demanda generada por las empresas del segundo grupo no está totalmente satisfecha. Esta demanda reprimida es de dos tipos. La primera se debe a la situación de precios practicados, que aún son caros en un entorno internacional¹⁸. La segunda se debe a la falta de infraestructura, que hace imposible la contratación de infraestructura de transmisión.

Aunque el tráfico actual que muchas de estas empresas generan es pequeño, la existencia de infraestructura a precios asequibles podrá detonar su desarrollo. El generar las condiciones correctas para la satisfacción de la demanda de este segundo grupo de empresas apoyará de manera importante su crecimiento y el aumento de la competencia en el sector.

A manera de resumen, puede aseverarse que la demanda generada por las empresas verticalmente integradas no podrá ser atendida por la Red Troncal¹⁹. La Red Troncal sólo podrá capturar parte de la demanda que estas empresas atienden en la modalidad de mayoreo a terceros. Esta estructura de mercado reduce de manera importante el mercado “capturable” de la Red Troncal.

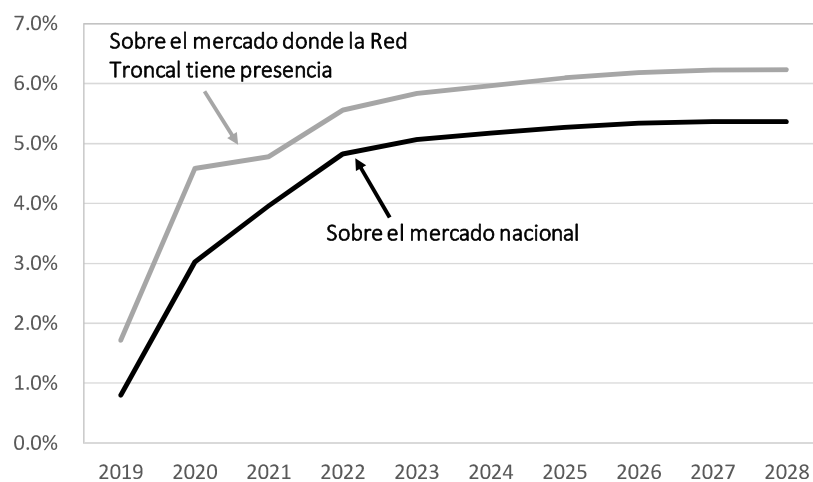
¹⁸ Un enlace dedicado en México puede llegar a costar hasta cinco veces más que en Estados Unidos. El acceso directo a internet en México, conectándose directamente a infraestructura Tier 1 en Estados Unidos, puede costar hasta 20 veces más.

¹⁹ Existen excepciones, pero son poco indicativas de la estructura del sector. La Red Troncal podrá ser uno de los prestadores de redundancia a esas empresas, pero la tercerización de estas empresas es pequeña porque prácticamente toda su infraestructura posee las redundancias adecuadas.

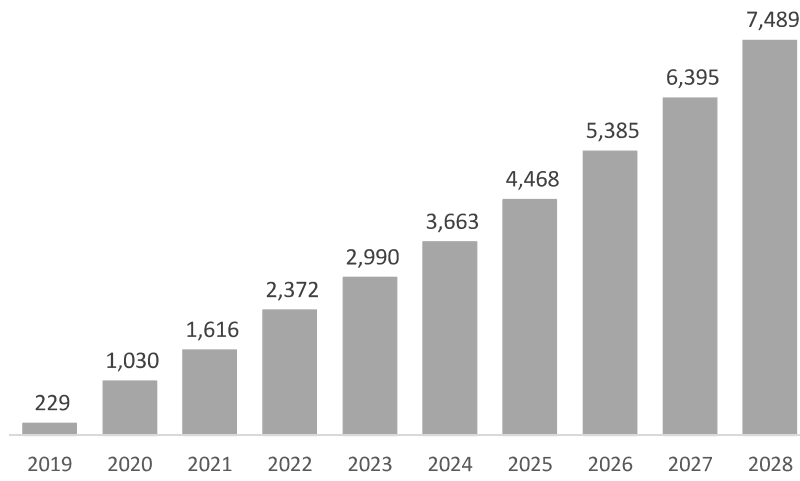
Sin embargo, a pesar de ser un mercado pequeño en el contexto nacional, la Red Troncal jugará un papel fundamental en satisfacer el resto de la demanda en manos de los centenares de empresas actuando en el mercado nacional. Sobre el mercado nacional deberá conseguir una participación de mercado de alrededor de 5.4% una vez que haya alcanzado la cobertura de 77.2% y se haya establecido en los mercados que atiende. Se ha estimado que le tomará, en cada localidad a la que ingresa, dos años para llegar a su participación de mercado de equilibrio.

Para 2028, esta participación de mercado se traduce en que deberá contar con al menos una capacidad en servicio de 7,489 Gbps, comercializada en circuitos de diferentes capacidades (en un inicio, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps y 100 Gbps).

Participación de mercado la Red Troncal en el mercado de transmisión de datos



Estimación de la capacidad total vendida por la Red Troncal
(en Gbps a final de año)



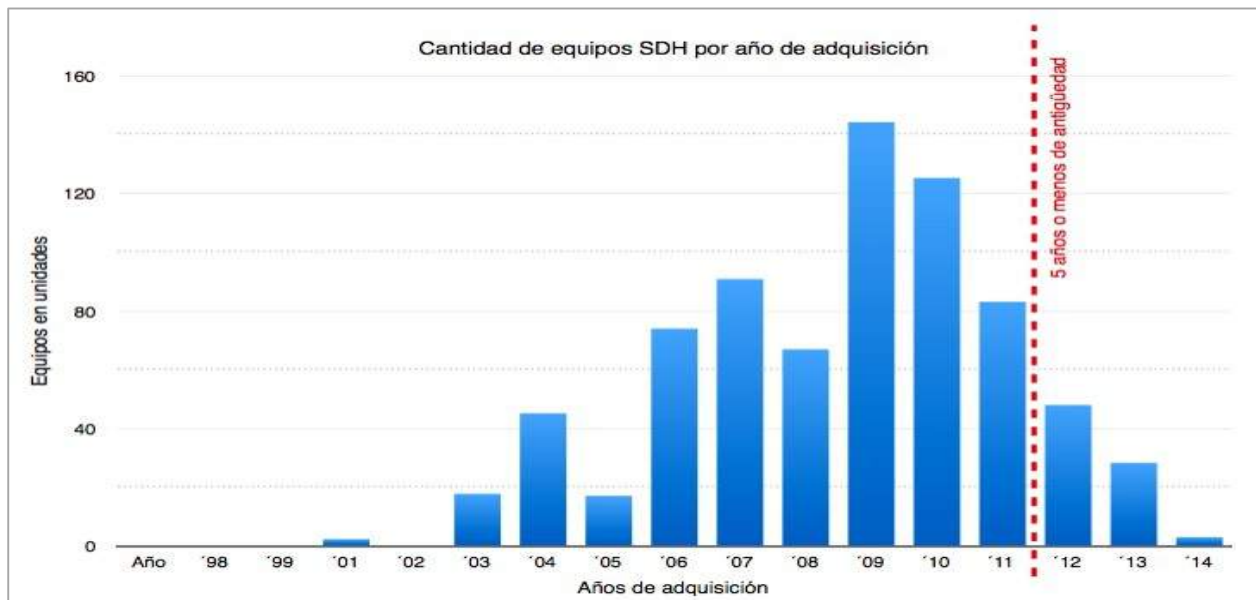
VII. Especificaciones Técnicas – Proyecto de Referencia

En esta sección se describe el Proyecto de Referencia, es decir, el proyecto que cumple con las especificaciones de cobertura requerida. Se describe también la infraestructura activa y pasiva utilizada. Por un lado, la infraestructura activa se refiere a los elementos de las redes de telecomunicaciones o radiodifusión que almacenan, emiten, procesan, reciben o transmiten escritos, imágenes, sonidos, señales, signos o información de cualquier naturaleza. Por otro lado, la Infraestructura pasiva se refiere a los elementos accesorios que proporcionan soporte a la infraestructura activa, entre otros, bastidores, cableado subterráneo y aéreo, canalizaciones, construcciones, ductos, obras, postes, sistemas de suministro y respaldo de energía eléctrica, sistemas de climatización, sitios, torres y demás aditamentos, incluyendo derechos de vía, que sean necesarios para la instalación y operación de las redes, así como para la prestación de servicios de telecomunicaciones y radiodifusión.

A. Tecnologías de Transmisión

La CFE comenzó a desplegar equipo de iluminación de fibra óptica para transmisión de datos a partir de 1999, y la tecnología de transporte empleada fue SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*, por sus siglas en inglés). Esta tecnología fue muy popular entre operadores de telefonía durante las décadas de los 80's y 90's, para el establecimiento de circuitos de voz y datos.

Equipos “Core SDH” por año de adquisición



Fuente: Telecomunicaciones de México, con datos proporcionados de la CFE.

La antigüedad promedio del equipamiento que ilumina la red es de 8.4 años. Sin embargo, la mayoría de los equipos “core” se adquirieron del 2004 al 2009 siendo de una tecnología que empezó a ser reemplazada por operadores de clase mundial a partir de 2002.

A continuación, se presenta un mapa donde se representa la red de fibra óptica SDH que implementó la CFE.

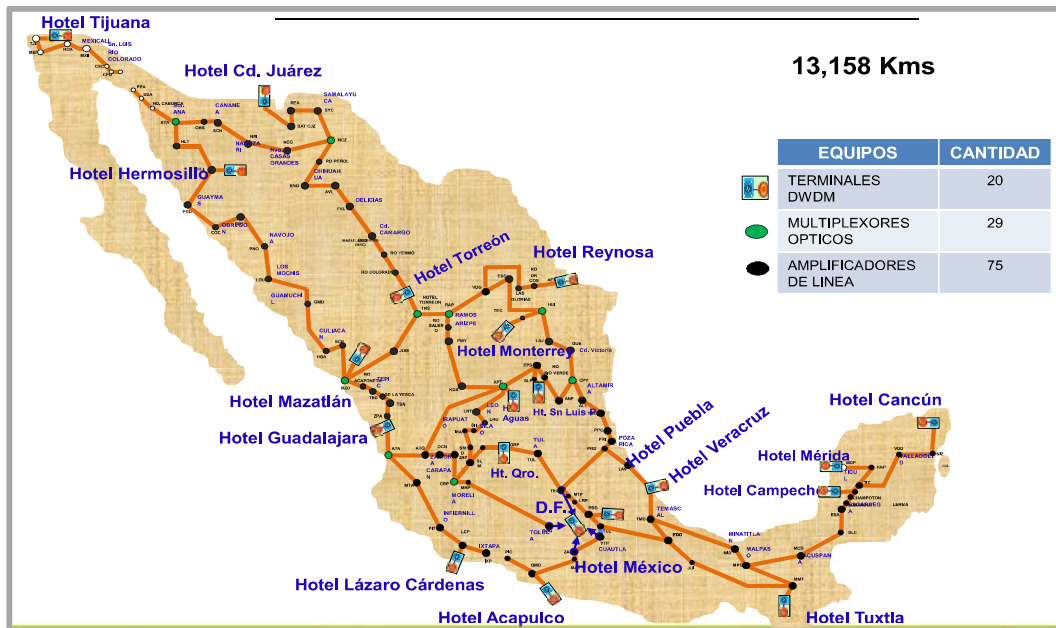
Red de fibra óptica SDH de la CFE



Fuente: Alcatel Lucent – proveedor de los equipos SDH de la CFE

Al final del 2009, la CFE instaló una pequeña red de 26 nodos con la nueva tecnología DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*, por sus siglas en inglés), por lo que ambas tecnologías han sido utilizadas con éxito en la red de fibra óptica de CFE, de la cual TELECOMM tiene IRUs (*Indefeasible Right of Use*, por sus siglas en inglés). El kilometraje de la red de DWDM de la CFE es de 13,158 kilómetros.

Red de fibra óptica DWDM de la CFE



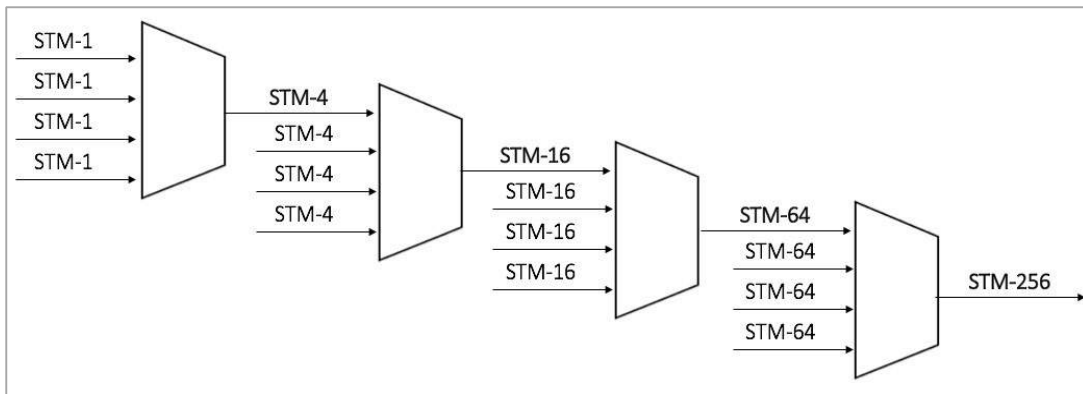
Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

B. SDH

SDH (o SONET para Estados Unidos, Canadá, Corea, Taiwán y Hong Kong) es una tecnología para la transmisión síncrona en la capa 1 del modelo OSI (*Open System Interconnection*, por sus siglas en inglés), tanto SDH como SONET toman un número n determinado de flujos de bits con la misma tasa de transferencia cada uno, los multiplexan y los modulan ópticamente en una señal, inyectándola usando un dispositivo emisor de luz para fibra, y la tasa de transferencia del enlace por fibra será equivalente a n (tasa de transferencia).

Las tramas transportadas en SDH son encapsuladas en una estructura denominada contenedor, que contiene la carga útil (información a transmitir) y se agregan cabeceras de control para identificar el contenido, todo esto se integra dentro de un STM-1 (Módulo de Transporte Síncrono de primer nivel), la cual, acorde a la recomendación de la ITU G.707, se define como la estructura básica de transmisión, un STM-1 equivale a 155.520 Mbps.

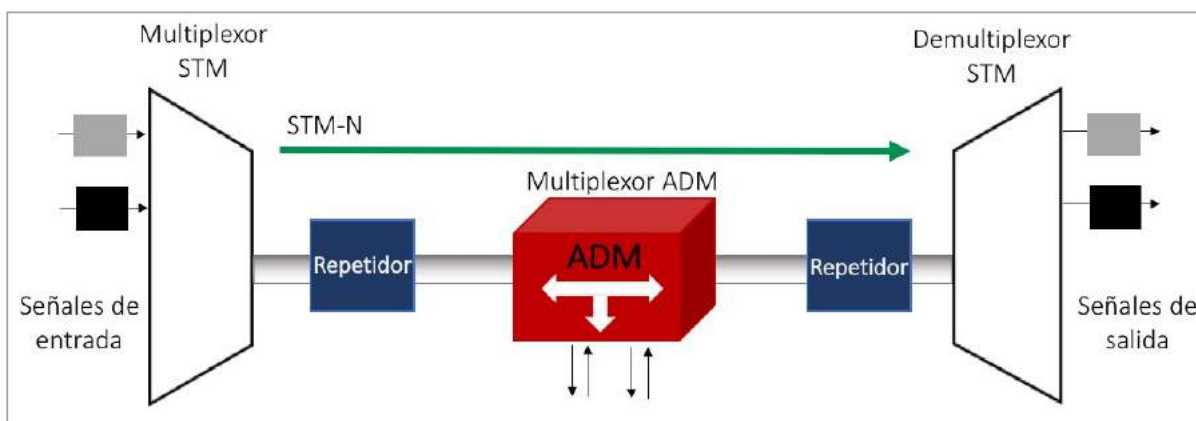
Para lograr niveles superiores, se multiplexan varias señales STM-1 y se obtienen las siguientes velocidades:



Fuente: Telecomunicaciones de México (2018).

STM	Mbps
STM-1	155.520
STM-4	622.080
STM-16	2,488.320
STM-64	9,953.280
STM-256	39,813.120

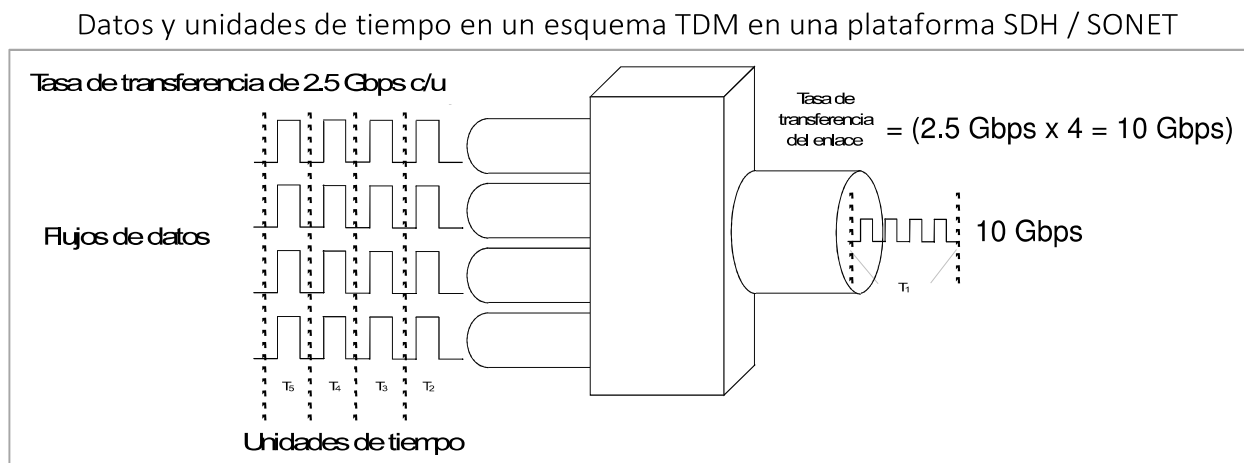
Una red SDH está conformado por los siguientes elementos:



Fuente: Telecomunicaciones de México (2018).

- Multiplexores
Se emplean para combinar las señales de entrada, es decir, Multiplexan las señales eléctricas en una única señal (señal óptica).
- Repetidor
Se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores.
- Multiplexores Add-Drop (ADM)
Permiten insertar o extraer señales (esto permite agregar o extraer información en cada uno de los nodos en una topología de anillo).
- Demultiplexores
Se emplean para separar la señal óptica, en las señales eléctricas.

En el siguiente diagrama se pueden apreciar 4 fuentes de flujos de datos de 2.5 Gbps cada uno, los cuales serán multiplexados en una unidad de tiempo e inyectados a la fibra óptica en un solo flujo de 10 Gbps. En una unidad de tiempo T1 se multiplexaron bits de las cuatro fuentes de datos:



Fuente: Telecomunicaciones de México (2018).

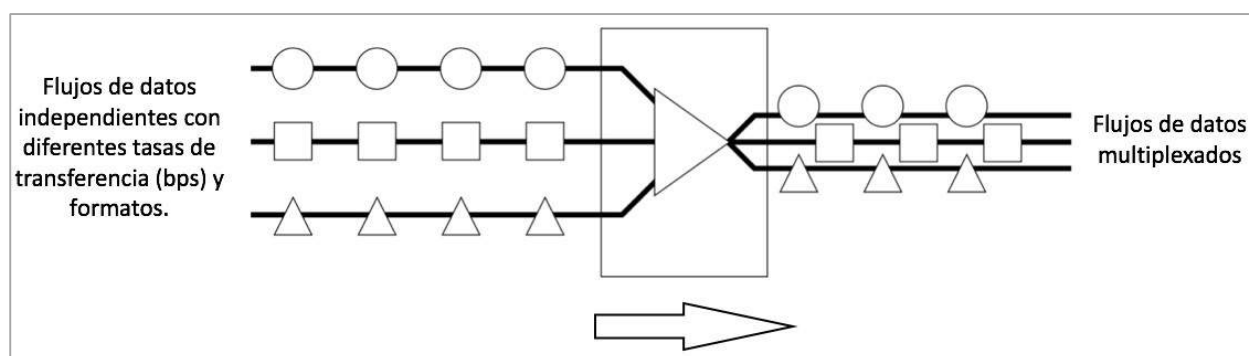
1. Limitaciones de la Tecnología de Transporte SDH

- Con el crecimiento vertiginoso del tráfico de datos por la adopción mundial del protocolo IP para todas las comunicaciones que utilizan internet, no se hizo esperar que se pusieran en evidencia las limitaciones para afrontar la demanda por las aplicaciones y comunicaciones que hacían uso de internet, consumiendo mucho ancho de banda.
- Al mismo tiempo la rigidez de la tecnología SDH / SONET y difícil escalabilidad para manejar los volúmenes que hoy se manejan, son las causas por las cuales los operadores han estado desechando estas plataformas desde principios de la primera década del siglo XXI, por tecnología que apareció y que emplea otro método de multiplexación llamada DWDM.

C. DWDM

DWDM consolida flujos de datos de diferentes fuentes de datos (señales) y las agrupa en una sola señal que se inyecta a la fibra óptica. A esta señal consolidada se le conoce como una Lambda. En el caso del equipo de CFE cada Lambda puede ser de 100 Gbps. Se pueden tener varias Lambdas instaladas en los equipos de cada nodo de la red, de tal forma que cada señal consolidada se transporta al mismo tiempo usando su propia longitud de onda de luz (colores). El término longitud de onda es usado en vez del término frecuencia para evitar confusión con otros usos de frecuencia. Longitud de onda en muchas ocasiones es un término que se usa indistintamente como Lambda o Canal.

Multiplexación de varios flujos de datos en una Lambda

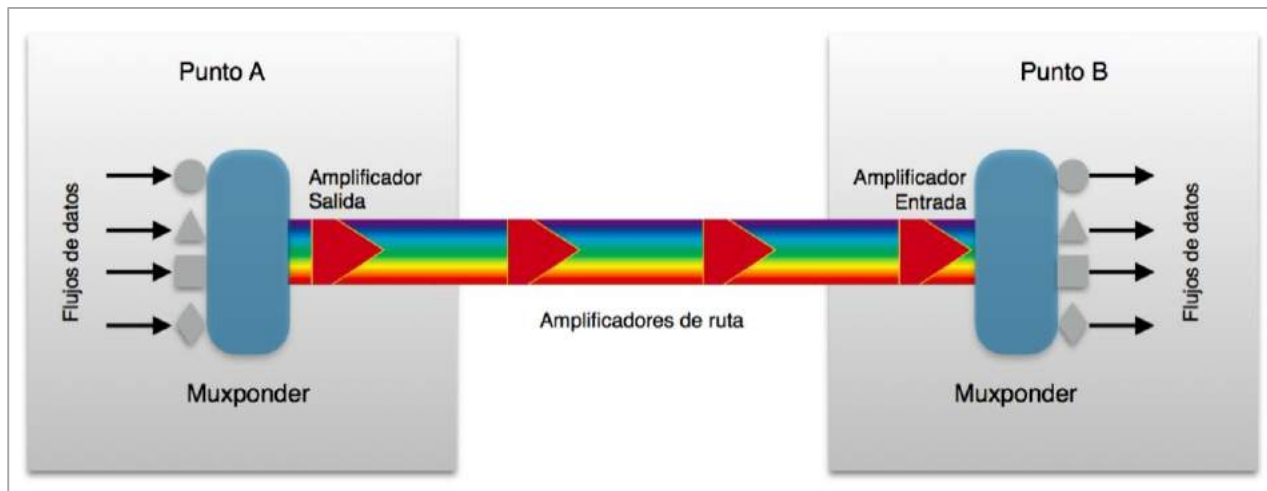


Fuente: Telecomunicaciones de México (2018).

Usando la tecnología DWDM, hasta 80 (y teóricamente más) Lambdas pueden transmitirse simultáneamente usando tan solo una sola fibra óptica. Normalmente se utiliza una fibra para transmitir del punto A al punto B y otra fibra para la transmisión del retorno.

Los siguientes pasos describen el sistema punta a punta de la operación unidireccional de un sistema DWDM:

Operación y concepto de una Lambda en sistema basado en DWDM



Fuente: Telecomunicaciones de México (2018).

- El muxponder acepta la entrada de varios flujos de datos en diferentes medios, protocolos y tipos de tráfico.
- Los flujos de datos son consolidados.
- El muxponder multiplexa los flujos de datos y produce una sola señal óptica que inyecta a la fibra óptica. Esto constituye una Lambda, que puede ser de 100 Gbps cada una y un sistema puede tener 40 u 80 Lambdas transmitiendo por la misma fibra, cada una con su longitud de onda propia, también se le conoce como "color".
- ROADM. Son dispositivos conmutadores ópticos que permiten direccionar las Lambdas hacia su destino dentro de la red, dicha configuración puede modificarse remotamente si fuera necesario. Los dispositivos actualmente disponibles le pueden dar servicio hasta 8 direcciones (ó grados) diferentes. Son útiles para cuando un nodo de la red tiene conectividad con otros nodos a través de rutas físicas de fibra óptica. La conmutación facilita el direccionamiento del tráfico para llegar a su destino. Asimismo, estos dispositivos permiten agregar y entregar tráfico en el nodo donde están colocados.
- Un amplificador de salida incrementa la potencia de la señal al momento antes de entrar a la fibra, (opcional para cuando se requiere cubrir distancia en Km antes

de requerir otra amplificación).

- Amplificadores ópticos de ruta son usados a lo largo de la ruta, si fueran necesarios por la cantidad de Km que viajarán las señales por la fibra. Hacen la función equivalente de un repetidor.
- Un pre-amplificador de entrada incrementa la potencia de la señal antes de entrar al sistema de la punta B, si fuera el caso en que por la distancia en Km la señal llega atenuada.

1. Ventajas de la tecnología de transporte DWDM

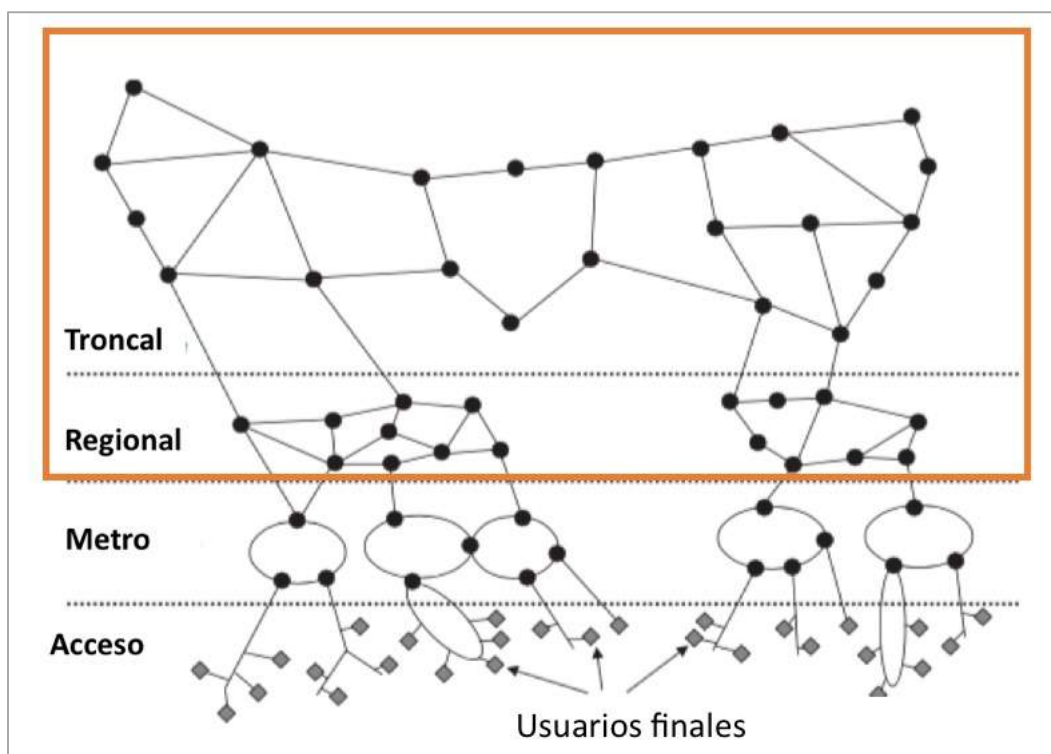
- Hoy por hoy, DWDM es la tecnología usada globalmente para transportar grandes volúmenes de datos, por la popularidad y aceptación que ha tenido el protocolo IP.
- Sus ventajas radican en la facilidad de agregar y entregar tráfico sin tener que estar encasillados en una trama fija y predeterminada para el transporte de datos, lo cual se adapta totalmente a las características del protocolo de comunicación IP, permitiendo una escalabilidad flexible en la agregación y entrega de tráfico, para enfrentar la demanda creciente de transporte de datos IP.

D. Descripción Técnica Detallada de la Red Troncal

Como se observa en la figura siguiente, los niveles jerárquicos de una red de fibra óptica basados en la geografía son 4 y además de estar basados en la geografía se distinguen unos de otros por sus capacidades de transporte:

- Troncal.
- Regional.
- Metro.
- Acceso.

En esta dirección, el proyecto de la Red Troncal abarcará los dos niveles jerárquicos superiores: troncal y regional.



Fuente: Elaboración Equipo Técnico (2018).

La Red Nacional de Fibra Óptica (en adelante RNFO) de la CFE está constituida en su mayor parte de cable de guarda con fibras ópticas (en adelante CGFO) y en proporción menor de cable dieléctrico con fibras ópticas (en adelante CDFO). Ambos tipos de cable contienen fibras ópticas de tipo monomodo las cuales cumplen con la Recomendación G.652 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Los cables que contienen los dos pares de hilos de fibra óptica oscura se encuentran instalados sobre las estructuras de la red de transmisión y distribución de energía eléctrica. Los parámetros principales de las fibras ópticas de la red de la CFE se muestran en la tabla siguiente.

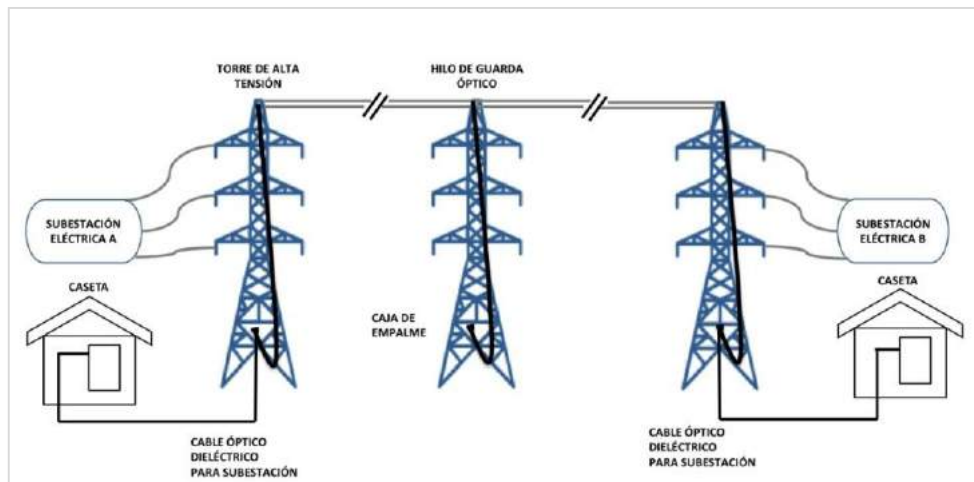
Parámetros de las fibras ópticas de la red de la CFE

Longitud de onda λ	1310 nm	1550 nm
Pérdida típica	≤ 0.5 dB/km	≤ 0.35 dB/km
Dispersión Cromática (DC)	≤ 3.5 ps/nm-km	≤ 18 ps/nm-km
Reflectancia Discreta (empalmes, conectores)	-40 dB	-40 Db
DMP Valor de diseño	≤ 0.08 ps.km ^{1/2}	≤ 0.08 ps.km ^{1/2}

Fuente: Elaboración Equipo Técnico con base en la información proporcionada por La CFE (2018).

Para que los hilos de fibra óptica oscura puedan enlazar dos Puntos de Demarcación (en adelante PD) de la CFE, requiere el uso de infraestructura adicional, misma que es necesario mantener en condiciones óptimas. Las líneas de transmisión de la CFE están integradas por estructuras de transmisión, conductores eléctricos y cable de guarda, CGFO o CDFO, como se indica en la figura siguiente.

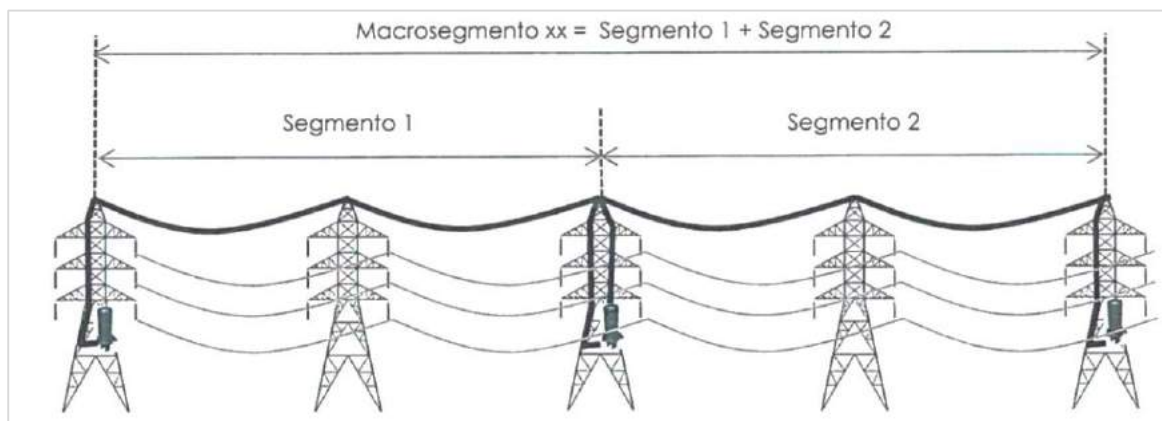
Estructuras de las líneas de transmisión



Fuente: Equipo Técnico con base en la información proporcionada por La CFE (2018).

Los macrosegmentos de hilos de fibra oscura de la CFE se construyen instalando varios segmentos de cable uniendo las fibras mediante empalmes por fusión alojados en Cajas de Empalme.

Conformación de macrosegmentos de la RNFO de la CFE



Fuente: Equipo Técnico con base en la información proporcionada por La CFE (2018).

1. Descripción de los Macrosegmentos de la Red Troncal

La fibra óptica está compuesta por 155 macrosegmentos, los cuales constituyen un total de 1,135 segmentos. El kilometraje total de la red de fibra óptica es de 25,306.67 kilómetros.

Macrosegmentos de hilos de fibra oscura



Fuente: Elaboración Equipo Técnico (2018).

En el **Anexo II de este documento**, se presentan los datos de los segmentos que conforman los 155 macrosegmentos iniciales.

Las longitudes de los segmentos que conforman los diferentes macrosegmentos descritos en el **Anexo II de este documento**, son longitudes de referencia para efectos de dimensionamiento de los enlaces de telecomunicaciones de TELECOMM. En el **Anexo III de este documento** se indica la longitud de cada macrosegmento y el número de segmentos que los conforman.

El DESARROLLADOR llevará a cabo la caracterización de los dos pares de hilos de fibra oscura asignados por la CFE. Dicha caracterización le permitirá conocer el estado que guardan los dos pares de hilos de fibra oscura. Sin embargo, de los 155 macrosegmentos, algunos no presentan continuidad uniforme a marzo del 2018, es decir, son macrosegmentos que presentan algunos segmentos sin disponibilidad de hilos debido al uso de la CFE, y en los cuales el DESARROLLADOR deberá realizar un

despliegue de fibra óptica con un mayor número de hilos, lo anterior con la finalidad de resolver la falta de disponibilidad de hilos y hacer operativos a los macrosegmentos. En el **Anexo II de este documento** se indica la disponibilidad de hilos en los segmentos.

2. Descripción de los Puntos de Acceso a la Red Troncal

Punto de Presencia

El Punto de Presencia (en adelante PDP) es la instalación que forma parte de la Red Troncal, que aloja equipos y sistemas de telecomunicaciones interconectados mediante cualquier tipo de enlace con otros equipos y sistemas. El PDP puede ser considerado del listado puesto a disposición por la CFE, de terceros o de construcción propia.

Punto de Demarcación

El Punto de Demarcación (en adelante PD) se define como el lugar específico donde se lleva a cabo la unión física de las redes de fibra óptica del DESARROLLADOR y de la CFE. El Punto de Demarcación delimita la propiedad de los activos y la responsabilidad operativa de la CFE y del DESARROLLADOR. La CFE pone a disposición del DESARROLLADOR dos alternativas para la instalación del Punto de Demarcación:

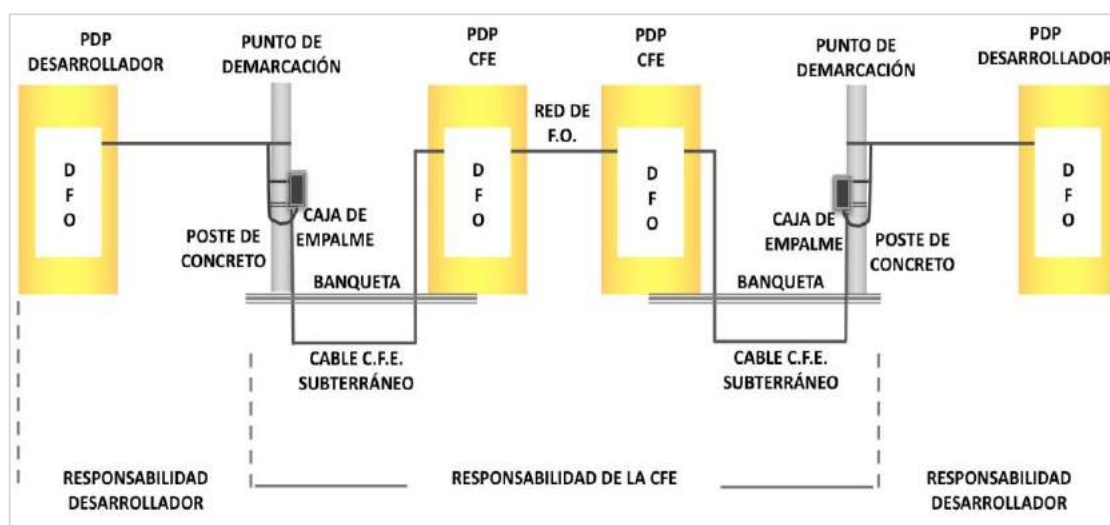
- Punto de Demarcación en Poste.
- Punto de Demarcación en Sitio de Alojamiento.

Punto de Demarcación en Poste

El Punto de Demarcación en poste está conformado por los siguientes elementos:

- Poste.
- Caja de empalme.
- Cables de fibra óptica del DESARROLLADOR y de la CFE.

Esquema conceptual de la unión física de las redes



Fuente: Elaboración Equipo Técnico con base en la información proporcionada por La CFE (2018).

El Punto de Demarcación en poste se ubicará e instalará conforme a lo establecido en el **Anexo 7 Puntos de Demarcación del Contrato de Uso Irrestricto, Irrevocable y Exclusivo de Hilos de Fibra Óptica Oscura**.

Los Puntos de Demarcación en Poste se implementarán única y exclusivamente en el exterior de los Puntos de Presencia de la CFE, relacionados en la lista que se incluye en el **Anexo IV de este documento**.

Punto de Demarcación en Sitio de Alojamiento- Hoteles

Los sitios de alojamiento son gabinetes ubicados en los Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE, en donde se lleva a cabo la unión física entre la red de fibra óptica del DESARROLLADOR y la red de fibra óptica de la CFE. La interconexión, entrega y recepción de los servicios ofrecidos por la Red Troncal se podrían llevar a cabo en los 144 Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE.

Los Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE señalados, deberán tomarse como punto de partida para que el DESARROLLADOR de la Red Troncal pueda iniciar operaciones. Para lograr cumplir con el objetivo de cobertura que ofrezca en su propuesta técnica, tendrá que construir Puntos de Presencia adicionales o bien usar los de terceros y desplegar nuevos macrosegmentos de fibra óptica o bien utilizar fibra óptica existentes de terceros o enlaces ya existentes.

El Punto de Demarcación en sitios de alojamiento de la CFE se instalará y operará conforme a lo establecido en el **Anexo 7 Puntos de Demarcación del Contrato de Uso Irrestringido, Irrevocable y Exclusivo de Hilos de Fibra Óptica Oscura**.

Para el alojamiento en los Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE se requiere la disponibilidad de un espacio físico para la ubicación de la unidad tipo con las siguientes características técnicas.

Espacio físico requerido

- Dimensiones físicas del Gabinete: profundidad 600 mm., ancho 600 mm. y altura 2000 mm.

Especificaciones técnicas mínimas requeridas para el gabinete

- Equipados con ventiladores instalados en la tapa superior y alimentados a 127 Voltios CA.
- Marco fijo interno de 19”.
- Acabados interior y exterior con pintura horneada.
- Gabinete, charolas y entrepaños deberán estar fabricados en lámina de metal.
- Luz interior y multicontacto para 127 Voltios CA.
- Puerta frontal deberá ser de acrílico transparente de por lo menos 4mm de espesor.
- Escalerillas deberán estar suspendidas del techo del Sitio de Alojamiento.
- La tapa superior del gabinete deberá permitir el acceso de los cables provenientes de las charolas.
- Chapa de seguridad con llave.

Especificaciones técnicas de conexión del gabinete y equipos del DESARROLLADOR en el Sitio de Alojamiento:

- Dos acometidas independientes de 15 Amperes CD a -48 VCD.
- Dos acometidas independientes de 5 Amperes CA a 120 VAC o 220 VCA.
- Una acometida óptica para conexión al gabinete.
- Una acometida óptica adicional para redundancia.

Dimensiones físicas de la unidad tipo para el alojamiento en Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE



Fuente: Elaboración Equipo Técnico (2018).

Para el alojamiento en los Hoteles de Telecomunicaciones se requiere la disponibilidad de un espacio físico para la coubicación de la unidad tipo con las siguientes características técnicas. La disponibilidad de espacio físico en los Hoteles de Telecomunicaciones para la coubicación de la unidad tipo con las características técnicas indicadas anteriormente, se presenta en el **Anexo V de este documento** para cada Hotel, la información está actualizada a marzo de 2018. Para cualquier actividad que el DESARROLLADOR pretenda hacer en el Sitio de Alojamiento, se hará en apego a lo señalado en el **Anexo 8 Acceso a Hoteles Telecom del Contrato de Uso Irrestricto, Irrevocable y Exclusivo de Hilos de Fibra Óptica Oscura**.

Los Hoteles de Telecomunicaciones de la CFE señalados, deberán tomarse como punto de partida para que el DESARROLLADOR de la Red Troncal pueda iniciar operaciones. Para lograr cumplir con el objetivo de cobertura que ofrezca en su propuesta técnica, tendrá que construir Puntos de Presencia adicionales y desplegar nuevos macrosegmentos de fibra óptica. Para ello, el DESARROLLADOR podrá acordar con la CFE puntos de demarcación distintos o adicionales a los Hoteles de Telecomunicaciones, con el fin de garantizar el acceso a los dos pares de hilos de fibra oscura y la correcta conexión de los equipos necesarios para iluminarlos y operarlos.

E. Consulta de información a proveedores

Considerando las ventajas antes mencionadas de la tecnología DWDM y con la finalidad de investigar la existencia de alternativas de solución para iluminar la fibra oscura de la Red Troncal, TELECOMM solicitó información a 10 proveedores, con experiencia en implementación en redes de fibra óptica, para que presentaran información sin compromiso, con el fin de cuantificar la cantidad de soluciones de equipamiento de iluminación viables existentes en el mercado, para iluminar la fibra óptica.

Las especificaciones generales de las soluciones de equipamiento se resumen en la tabla siguiente.

Proveedor	Solución de equipamiento	Propuesta de diseño para crecimiento de la Red Troncal
1. Ciena	<ul style="list-style-type: none"> Tarjetas de línea por cada servicio de 100G. Tarjetas de cliente de 10*10G. Accesorios. Servicios Profesionales. Project/deploy management. Servicio de caracterización de la fibra óptica. Sistema de gestión One Control. Soporte técnico 7*24 *365. Servicios profesionales de Ingeniero. Mantenimiento preventivo. Centro de atención y monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> Diseño ROADAM. Diseño <i>Colorless</i> y <i>Directionless</i>. Diseño de Matriz OTN.
2. Cisco	<ul style="list-style-type: none"> Transport Node Controller. Transport Shelf Controller. ROADM. OC3/STM1 CWDM. Optical Amplifier -C band- 24 dB, 17dB. Licensed 100G Client bandwidth. OCS for RAMAN application 1518 nm. WDM Port license -QPSK (100G). 100G bandwidth client license. 21 dBm Erbium Doped Raman Amplifier. 400G CFP2 MR XPONDER. ONS 15216 48 canales Mux/Demux. Mux/Demux de 48 canales tipo EVEN. 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento de la topología de conectividad en 2 grados adicionales para pasar de una topología bus a una de malla. Incremento de 100G de ancho de banda adicional. Habilitación del segundo puerto WDM en la tarjeta Transponder 400G-XP. Manejo de lambda de 200G en el puerto DWDM. Manejo de diferentes tipos de tráfico. Habilitación de manejo de tráfico sólo Ethernet.

Proveedor	Solución de equipamiento	Propuesta de diseño para crecimiento de la Red Troncal
3. Coriant	<ul style="list-style-type: none"> ROADM de hasta 4 direcciones con 48 canales con lambdas de 100G. Gestión mediante TNMS con interfaz gráfica y tecnología CloudWave Optics. Vía software es posible cambiar la modulación de las lambdas soportando 100G/150G/200G. 	
4. ECI	<ul style="list-style-type: none"> STM1 transceiver 1510 nm. 20.5 dBm C-Band EDFA. Muxponder 100G. 400G Transponder Muxponder. Atenuadores y accesorios eléctricos. 	
5. Huawei	<ul style="list-style-type: none"> ROADM 100G hasta 1 TB. Add & Dropp service. OTN Transport Platform. 	<ul style="list-style-type: none"> Presentó propuesta de equipamiento para las rutas México-Juárez y México – Reynosa.
6. NEC	<ul style="list-style-type: none"> ROADM 100G. 10G Ethernet Client Interface. 	
7. Nokia	<ul style="list-style-type: none"> ROADM. Add & Drop. Repetidores ILA. Regeneradores. Lambdas de 100G. Repetidores DGE. Servidor para el sistema 1350 OMS. Sistema de gestión de elementos de red. 5 usuarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Presentó propuesta de equipamiento para las rutas México-Juárez y México – Reynosa en dos fases. Chip electro-óptico con la capacidad para duplicar la velocidad de las redes 100G y adaptar las bases para uan actualización a 400G.
8. Packet Light	<ul style="list-style-type: none"> Para modulación QAM16, EDFAs, DWDM 44 canales MUX/DMUX para distancias: <ul style="list-style-type: none"> <90 kms. <150 kms. <365 kms. 	<ul style="list-style-type: none"> Presentó propuesta de equipamiento para las rutas México-Juárez y México – Reynosa.
9. Pad Tech	<ul style="list-style-type: none"> MUX/DMUX DWDM 40 canales 100GHz. Amplificadores EDFA C-Band 18 dBm. Amplificadores RAMAN C-Band 28 dBm. ROADM. Muxponder OTU4 DP-QPSK. XFP 10Gbps 1310 nm. Misceláneos. 	
10. ZTE	<ul style="list-style-type: none"> Transmisión óptica NX41. Switching OTN. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la capacidad con interfaces de 400G, 53 lambdas.

F. Descripción del Proyecto de Referencia

La descripción detallada del Proyecto de Referencia se presenta en el **Anexo VI de este documento**

VIII. Conclusión

Derivado de todo lo anteriormente expuesto, tanto del contexto legal, normativo, alineación estratégica, reformas establecidas en México, como de los objetivos de incrementar la cobertura, capacidad y calidad de los servicios de telecomunicaciones para los concesionarios y comercializadoras de servicios de telecomunicaciones, proveer un nuevo entorno mayorista, competitivo y rentable, habilitar una nueva plataforma mayorista para impulsar el desarrollo nacional, y facilitar a los proveedores de servicios de telecomunicaciones ofrecer servicios convergentes con cobertura nacional; y una vez analizados los estudios de demanda proyectada así como las especificaciones técnicas, tramos disponibles, y puntos de interconexión y ubicación de equipamiento para el despliegue e iluminación de fibra oscura para el transporte de datos, se concluye que el proyecto es técnicamente viable.