

Fibra óptica en redes 5G

En el fronthaul, el midhaul y en todas partes:
la fibra óptica se generalizará en la
infraestructura 5G

A diferencia de la tecnología LTE, la tecnología 5G abarcará cada uno de los componentes de los nodos de la red y se basará en diversos casos prácticos, desde una banda ancha móvil mejorada hasta una latencia baja extremadamente confiable en la misma red. Una red 5G requerirá la optimización de los recursos de manera que cada caso de práctica se ajuste al acuerdo de nivel de servicio (SLA) correspondiente para la aplicación en cuestión. El desafío radica en que los recursos de las redes 5G, como los elementos de conexión en red, el hardware, la fibra óptica y la radiofrecuencia, aunque se comparten en un nivel más amplio, ofrecen una red independiente en un nivel granular para cada aplicación específica. Por ejemplo, un usuario en un coche con conexión viendo un vídeo demandará una capacidad mayor y unos niveles superiores de recursos de red y radiofrecuencia, al tiempo que ese mismo coche con conexión necesitará una latencia ultrabaja y una conectividad confiable. Para que esta red de redes funcione con éxito, todos los recursos deben ser flexibles y ágiles para ofrecer diferentes SLA de manera eficaz. Todos conocemos el valor de los recursos de radiofrecuencia que conectan a todos los usuarios a la estación base o el punto de acceso, pero lo que establece la conexión de este punto de acceso a la nube y el núcleo de la red es tan importante o más para unos servicios 5G óptimos. En la mayoría de los casos, la conexión entre las radios y la nube 5G estará compuesta de fibra óptica. De hecho, la tecnología 5G es uno de los motivos clave por los que los proveedores de servicios están invirtiendo miles de millones en nuevas implementaciones de fibra óptica y en actualizar la infraestructura de fibra óptica.

El papel de la fibra óptica en la tecnología 5G

Aunque implementar una infraestructura de fibra óptica es costoso, las ventajas en la mayoría de los casos compensan los desafíos que plantea la implementación. La fibra óptica ofrece anchos de banda superiores con menos atenuación, resiste las interferencias electromagnéticas, ofrece una latencia más baja y, con tecnologías de multiplexación mejoradas, puede acomodar un aumento de capacidad en la misma infraestructura de fibra óptica.

Además de los aspectos comerciales y de logística, los próximos cambios arquitecturales de las redes 5G impulsarán el crecimiento y la topología de la infraestructura de fibra óptica:

- La compatibilidad con la banda media y la onda milimétrica en la infraestructura 5G traerá consigo un aumento significativo de las estaciones base en los entornos urbanos y suburbanos. La onda milimétrica emplea grandes cantidades de espectro, aunque su cobertura es limitada. Esto incrementará el número de estaciones base implementadas en una zona de servicio más pequeña.
- La virtualización de las funciones de red (NFV) permitirá separar los planos de control y usuario y, en el caso de las aplicaciones de baja latencia, el plano de usuario descentralizado se desplazará más cerca de los terminales.
- Se dividirán las funciones de banda base y se crearán entidades de nodo nuevas denominadas unidad de distribución (DU) y unidad centralizada (CU) para optimizar las funciones de transporte por necesidad de aplicación.
- El sistema de antenas activas (AAS) con compatibilidad con la conformación de haces y la tecnología MIMO masiva requiere un mayor ancho de banda y una conectividad directa con la fibra óptica, lo que desplazará más cantidad de fibra en sentido descendente y generará más nodos de transmisión.

Otro caso práctico clave para la inversión en fibra óptica es la convergencia de la fibra en la red de acceso. Antes, las redes de acceso de fibra óptica se diseñaban para un solo caso práctico (es decir, fibra hasta el hogar o fibra hasta la antenna). Actualmente, los proveedores de servicios están diseñando una infraestructura de fibra óptica que admite la fibra hasta x, o FTTx, donde x es cualquier cosa. La arquitectura descompuesta de la tecnología 5G permitirá a los proveedores de servicios sacar partido de los recursos de red fijos nuevos y existentes, lo que reducirá el costo general asociado a la gestión de diversas redes y permitirá un conjunto de recursos más dinámico y flexible. Como hemos visto anteriormente, el uso compartido de recursos móviles y fijos se puede llevar a cabo ahora por medio de la planificación general y la actualización de las instalaciones de acceso, y de la infraestructura de fibra óptica.

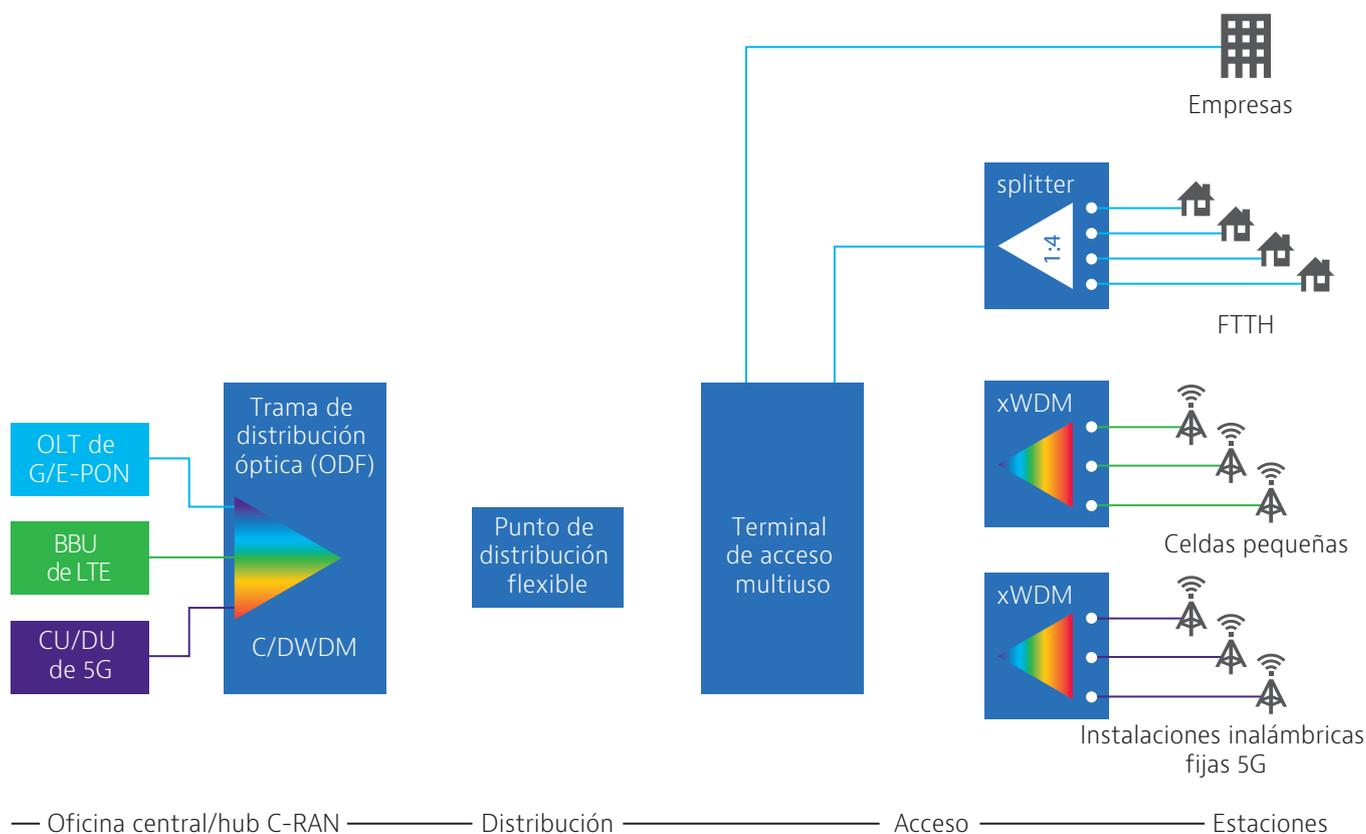


Figura 1. Ejemplo de red de acceso convergente de fibra óptica
Fuente: CommScope

En definitiva, la topología de red de fibra óptica para los servicios 5G sufrirá cambios y evolucionará según la cantidad y el costo de la fibra oscura (fibra disponible sin utilizar también conocida como fibra gris), los casos prácticos de las diversas aplicaciones de la tecnología 5G compatibles con la red, los casos prácticos de actualización de fibra óptica y el costo asociado a la gestión de varias redes FTTx.

Evolución del fronthaul 5G

No hace mucho, la fibra óptica se empleaba solamente en redes de larga distancia, pero el continuo y constante crecimiento de la banda ancha (que no parece tener fin) ha exigido que la fibra óptica se convierta en el principal medio de transmisión, no solo en el núcleo, sino también en las redes metropolitanas y de acceso. De forma similar, los suscriptores de las redes móviles, ávidos de un mayor ancho de banda y unos servicios de capacidad superior, han impulsado la fibra óptica más aún en las redes de acceso por radio (RAN).

A medida que las radios se hicieron más robustas y el tiempo medio de reparación (MTTR) fue mejorando, los proveedores comenzaron a ofrecer soluciones de radio remotas. Las radios se han desplazado más cerca de la antena para evitar las pérdidas significativas que causan los conectores y los cables coaxiales largos. Esta estrategia no solo contribuyó a una mejor huella de radiofrecuencia, sino que también redujo el costo asociado a la refrigeración en el alojamiento del equipo de radio ubicado en la base de la torre o cerca de ella. No obstante, para admitir las unidades de radio remotas (RRU), se introdujeron interfaces nuevas. Estas conectaban el equipo digital, denominado también unidad de banda base (BBU) a las RRU por medio de un enlace físico de fibra óptica. El nuevo enlace introducido entre la BBU y la RRU se denomina fronthaul, en oposición al backhaul, que conecta las BBU con la red móvil central. La tecnología más común que se emplea para comunicar información de radiofrecuencia a través del fronthaul de fibra óptica es el protocolo de la interfaz de radio pública común (CPRI).

La CPRI ofrece un protocolo de transporte específico diseñado concretamente para transportar formas de onda de radio entre la RRU y la BBU. Las tramas de la CPRI se amplían con el incremento del ancho de banda del canal de radio y el número de elementos de la antena. La CPRI no resulta muy eficaz en la multiplexación estadística y no es capaz de adaptarse a las exigencias de la tecnología 5G, especialmente en lo que respecta a los incrementos de banda ancha mayores y la tecnología MIMO masiva. El ancho de banda y las antenas que se requieren en un entorno 5G dispararían los requisitos de banda ancha de la CPRI por encima de los 100 Gbps (consulte la tabla 1).

Nº de antenas	10 MHz	20 MHz	100 MHz
1	0,49 Gbps	0,98 Gbps	4,9 Gbps
2	0,98 Gbps	1,96 Gbps	9,8 Gbps
4	1,96 Gbps	3,92 Gbps	19,6 Gbps
64	31,36 Gbps	62,72 Gbps	313,6 Gbps

Tabla 1. Ancho de banda de la interfaz CPRI como función de los puertos de ancho de banda y antena

Estas asignaciones de ancho de banda serían extremadamente costosas para despliegues de red 5G de mayor envergadura. Organismos de normalización, entre los que se incluyen 3GPP, IEEE e ITU-T, han estado trabajando para:

1. Estudiar las diversas opciones de división (como se muestran en la figura 2) de las funciones de BBU y sus implicaciones
2. Identificar los requisitos óptimos para diversos servicios y aplicaciones (capacidad, latencia, fluctuaciones, etc.)
3. Identificar los posibles desafíos y las soluciones para dividir las diversas funciones de BBU a fin de responder a las demandas de las redes y las aplicaciones
4. Proporcionar asesoramiento para divisiones de fronthaul flexibles

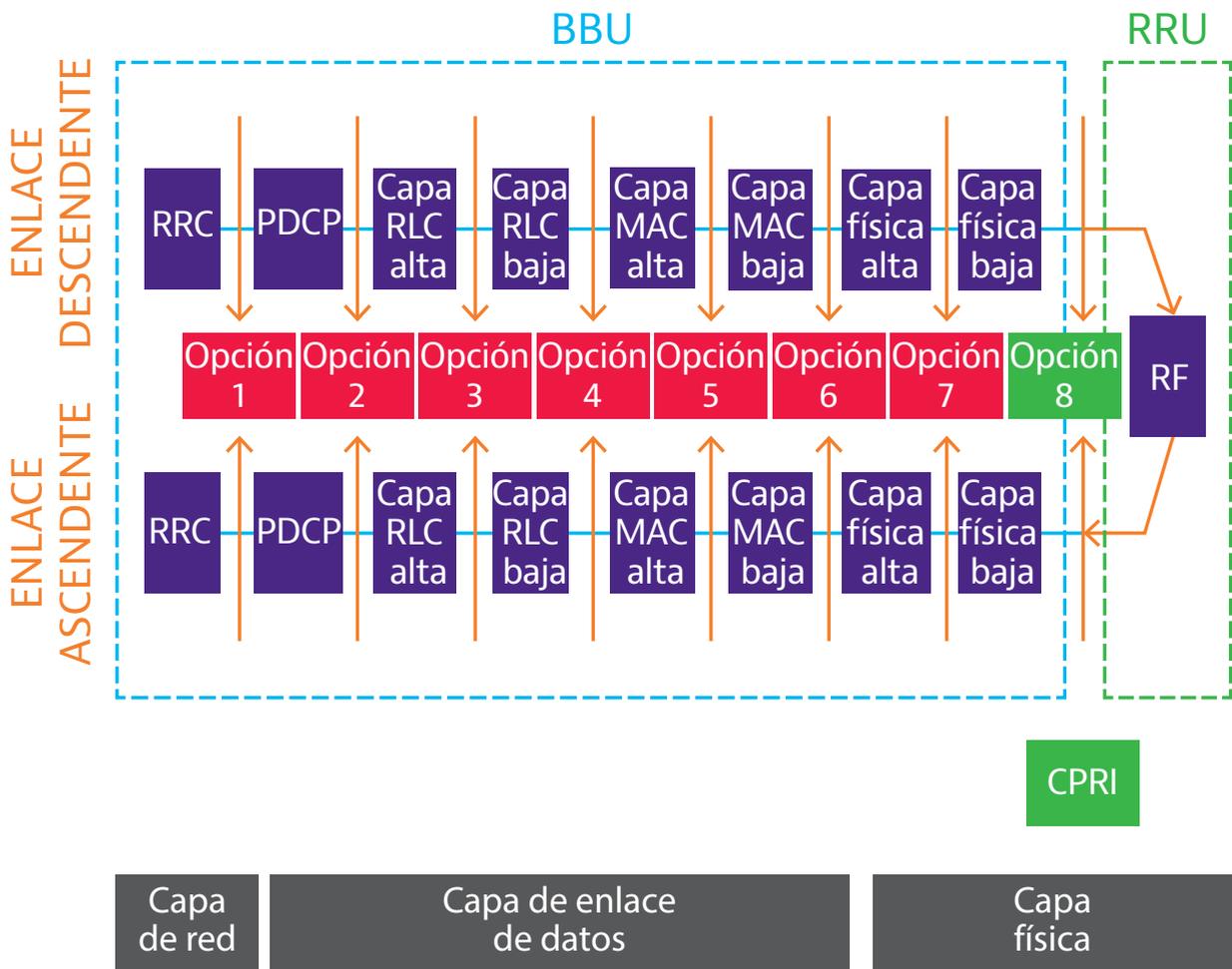


Figura 2. Opciones de división funcional

Más allá de la importante desventaja que supone la ineficacia del ancho de banda, la CPRI también ofrece grandes limitaciones en cuanto al retardo. En la práctica, esto significa que la distancia entre las BBU y las RRU será muy limitada. La distancia la determinan las limitaciones de retardo y el tipo de tecnología de transporte implementada en el fronthaul. La fibra oscura es la más sencilla que permite una distancia máxima. El equipo de transporte que contiene algunos elementos de procesamiento reduce las limitaciones de retardo, en ocasiones, de forma sustancial, como ocurre con las redes de transporte óptico (OTN). Como suele ocurrir, los operadores deben examinar el caso práctico en cuestión y llevar a cabo un análisis de los pros y los contras para determinar cuál es la mejor tecnología de transporte. Entre los datos clave del análisis, se incluyen la disponibilidad de la fibra y las salas de equipos, así como el número y las ubicaciones de los puntos finales de radio. Todo esto está provocando que los proveedores de servicios y los distribuidores de fronthaul adopten los siguientes requisitos de alto nivel:

- Reducir la velocidad de bits (consumo de capacidad) en el fronthaul, especialmente separando el uso del fronthaul de la capacidad del puerto de la antena como en el caso de la CPRI.
- Gestionar los exigentes requisitos de latencia para la aplicación de tipo URLLC.
- Optimizar los requisitos de sincronización y fluctuación para características de coordinación como la transmisión y recepción multipunto coordinada (CoMP) y la agregación de portadoras (CA).
- Reducir los costos adicionales y el costo de implementación, ya que la fibra óptica es un recurso que resulta caro de implementar.

Para cumplir estos requisitos, la red RAN de próxima generación ha evolucionado de tal manera que las funciones que lleva a cabo la BBU se han dividido en tres partes:

1. Unidad central (CU)
2. Unidad distribuida (DU)
3. Unidad de radio (RU)

Algunas de las funciones de radio de la capa física, por ejemplo, la asignación de recursos, se migrarán a las RU. La RU supervisará la generación de señales en fase y en cuadratura (I/Q) y las portadoras de radio de las antenas. Esto permite una reducción drástica en la compatibilidad que requiere el fronthaul en cuanto a la velocidad de datos. El enlace entre la CU y la DU se denomina midhaul; las características del midhaul serán similares a las de un backhaul 4G. La CU contiene funciones en tiempo no real que permiten ubicar la CU mucho más lejos de la radio (en función del tipo de aplicación, la DU puede encontrarse muy cerca de la RU o centralizada). Por ejemplo, para aplicaciones de coordinación como la movilidad o la transmisión y recepción multipunto coordinada (CoMP), la centralización de las DU tendría más sentido.

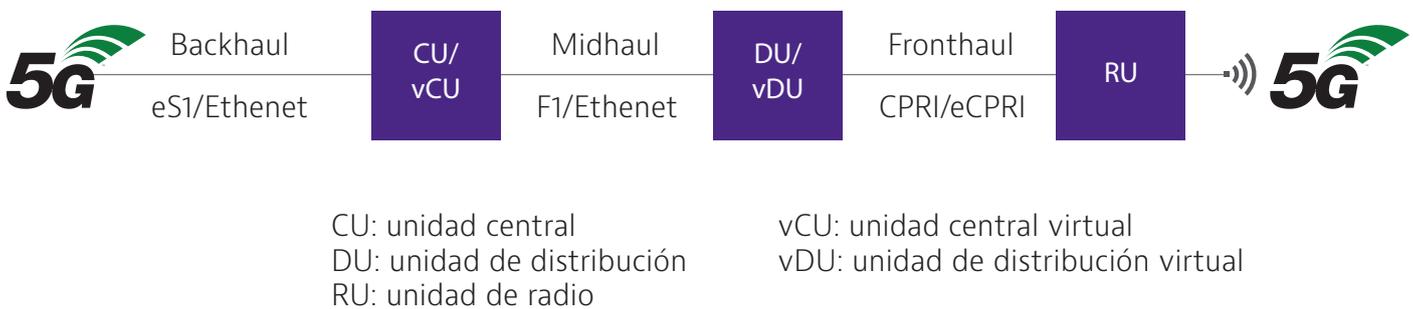


Figura 3. División de DU/CU

Esta nueva arquitectura contribuye a superar los desafíos relacionados con el ancho de banda y ofrece flexibilidad en términos de latencia, lo que determina la ubicación de estos elementos funcionales y qué aplicaciones admite la red. Algo que los organismos normalizadores están impulsando es ofrecer tecnologías basadas en paquetes más flexibles para el transporte del plano de usuario a través del fronthaul. Utilizar Ethernet para el transporte en el fronthaul resulta muy práctico porque admite las tecnologías anteriores, con lo que permite equipos básicos, una mayor convergencia de las redes de acceso y una multiplexación estadística que contribuye a reducir los requisitos de velocidad de datos total. El uso de la conmutación y el enrutamiento de redes IP/Ethernet estándar también harán que la virtualización funcional y la organización general de la red sean relativamente sencillas.

eCPRI

Antes de analizar las topologías de backhaul, midhaul y fronthaul de fibra óptica, repasemos la evolución de la interfaz de fronthaul 5G. La tecnología eCPRI se basa en una división funcional del componente de capa física (PHY). La especificación eCPRI recomienda que se emplee la opción dividida I_U para el enlace ascendente y que se desplieguen las opciones II_D o I_D para el enlace descendente, que se asigna a la división 7x con respecto al estándar 3GPP, como se indica en la figura 4. La interfaz eCPRI se conecta al control de equipo de radio eCPRI (eREC) y al equipo de radio eCPRI (eRE) a través de la red de transporte fronthaul. El objetivo de la interfaz eCPRI en comparación con la interfaz CPRI es reducir la demanda de velocidad de datos entre el eREC y el eRE por medio de una descomposición funcional, al tiempo que se limita la complejidad del eRE. Además, la interfaz eCPRI se ha diseñado para permitir una transmisión de datos por radio eficaz y flexible a través de una red de transporte fronthaul basada en paquetes como las redes IP o Ethernet.

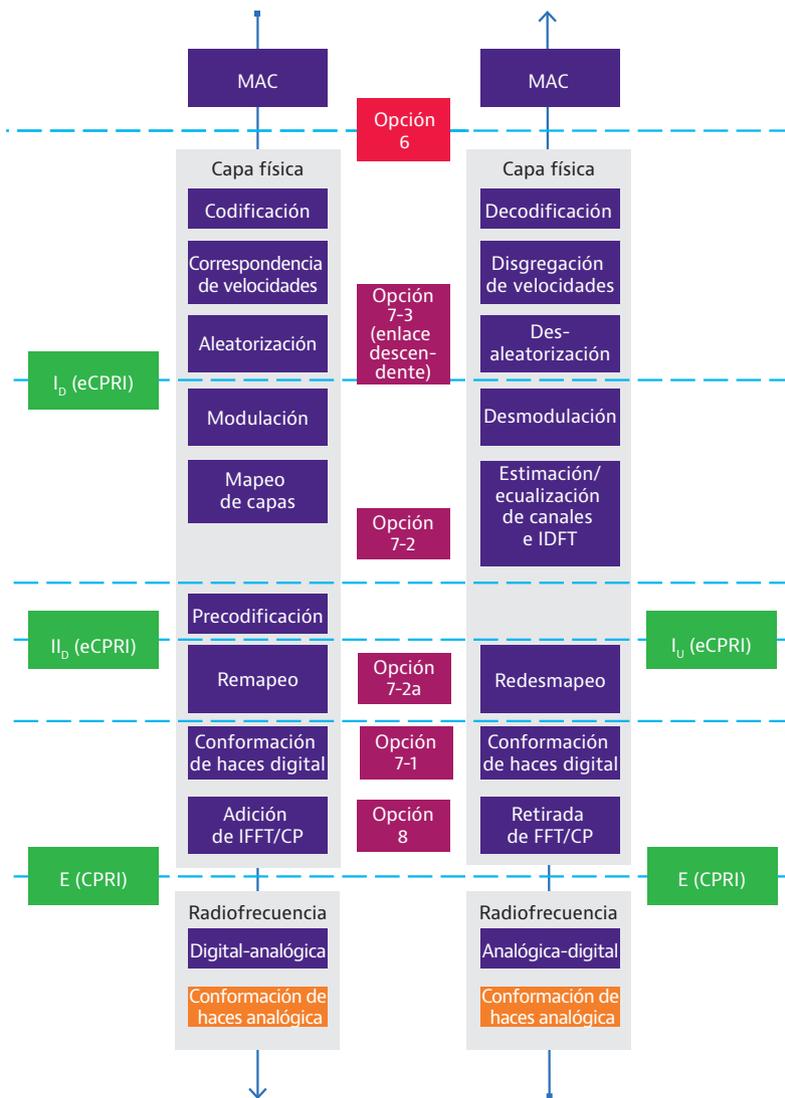


Figura 4. División funcional en la capa física

En el caso de la interfaz eCPRI, se requieren tres planos para la interacción entre el eREC y el eRE: el plano de usuario, el plano de sincronización, y el plano de control y gestión (C&M). El estándar eCPRI define el plano de usuario y hace referencia al resto de los estándares para la definición de los demás planos. Por ejemplo, un operador puede elegir libremente el protocolo de precisión de tiempo (PTP) o el sistema de posicionamiento global (GPS) para la sincronización.

El estándar eCPRI también menciona las tecnologías basadas en paquetes para el transporte del plano de usuario. Son factibles tanto Ethernet (capa 2) como Ethernet/IP/UDP (capas 2/3/4). En cuanto a la capa física, el estándar eCPRI hace referencia a las velocidades Ethernet de 10 Gbps a 100 Gbps. La clave de este análisis no radica en la reestructuración de la interfaz eCPRI, sino en identificar la diferencia entre los estándares CPRI y eCPRI. Además, cuando el estándar CPRI se convierte en una interfaz limitada, el estándar eCPRI abre las puertas a la tecnología 5G al reducir la capacidad en el fronthaul y emplea un formato de trama que admite una transmisión de tramas Ethernet o Ethernet/IP/UDP. La trama incluye una cabecera eCPRI que sigue a la cabecera de la capa 2 o las capas 2/3/4, y va seguida de la carga útil de eCPRI.

El plano de sincronización se transporta de forma independiente a través de cualquier capa Ethernet y no se limita a un protocolo específico. Se puede emplear el sistema de posicionamiento global (GPS), el protocolo de precisión de tiempo (PTP), el Ethernet síncrono o una tecnología similar para la temporización y la sincronización.

En resumen, dividir la función de la BBU es esencial para los servicios 5G, ya que el estándar CPRI no es escalable para la banda ancha móvil mejorada (eMBB) y la tecnología MIMO masiva, y no ofrece la flexibilidad necesaria para las aplicaciones de comunicaciones masivas entre máquinas (mMTC) y comunicaciones de latencia baja ultraconfiables (URLLC). Desplazar algunas de las funciones de la BBU para reducir la velocidad de datos del fronthaul (la velocidad de datos de la CPRI es proporcional al número de antenas entre la capacidad de usuario) puede influir en los requisitos de latencia de las características de coordinación y las aplicaciones en tiempo real, incluidas las URLLC. Al emplear la virtualización de las funciones de red (NFV) y opciones de división flexibles para los diversos tipos de aplicaciones, se puede implementar un midhaul y un fronthaul más óptimo (lo que se conoce también como Xhaul). Esta nueva arquitectura Xhaul permite tecnologías de transporte escalables basadas en paquetes, pero tiene el inconveniente de que los operadores tienen ahora que abordar ciertos problemas de temporización y sincronización. No obstante, se pueden tratar mediante tecnologías de temporización y sincronización basadas en estándares como el GPS, el PTP, el Ethernet síncrono o tecnologías similares. En definitiva, las redes fronthaul y midhaul 5G variarán en función de las aplicaciones que se ofrezcan, la topología de red, la disponibilidad de los medios (fibra óptica, microondas, etc.) y el caso de negocio del proveedor de servicios. No existe la universalidad.

Tecnologías de fronthaul de fibra óptica

La fibra óptica se convertirá en el medio principal de las redes fronthaul. Si aplicamos el análisis evolutivo anterior sobre el fronthaul y la tecnología 5G, podemos caracterizar los requisitos de una red fronthaul de fibra óptica. Se puede planificar e implementar una serie de tecnologías y topologías de red fronthaul en base a un entendimiento adecuado de los requisitos de una red específica. A continuación, se proporcionan los requisitos clave de una red fronthaul 5G de fibra óptica:

1. **Rentabilidad:** la implementación de la fibra óptica resulta costosa. Si hay fibra oscura (sin utilizar) disponible, se debe emplear inicialmente y, a medida que aumente la demanda de capacidad, se puede optar por la implementación de un sistema de multiplexación de siguiente nivel (WDM) y una planificación futura para incrementar la capacidad de la red.
2. **Flexibilidad:** el fronthaul debe permitir que diferentes aplicaciones con diferentes limitaciones de fluctuaciones y latencia se puedan implementar en la misma infraestructura de fronthaul de fibra óptica.
3. **Transparencia:** el fronthaul debe permitir que se puedan implementar diferentes servicios con diversas calidades de servicio (QoS), de modo que la QoS de determinadas aplicaciones y servicios se pueda gestionar por medio de las capas superiores.
4. **Agilidad:** la agilidad permitirá una prestación rápida de los servicios nuevos, lo que hará posible la asignación y la distribución dinámicas de los recursos de red que requieren los distintos servicios. Además, la capacidad de optimizar de forma dinámica la conectividad de la red será un factor clave del fronthaul 5G.
5. **Temporización y sincronización:** la latencia y las fluctuaciones son extremadamente importantes, especialmente para las aplicaciones de movilidad y URLLC. Así pues, constituyen un requisito muy importante para el fronthaul 5G.
6. **Gestión y mantenimiento:** el fronthaul debe ser fácil de gestionar y mantener, de manera que los fallos de la red se puedan resolver rápidamente y se pueda conseguir un alto nivel de confiabilidad para las aplicaciones sensibles al tiempo.

Otro aspecto clave para los proveedores de servicios con diversas ofertas de servicios es implementar una arquitectura de fibra óptica de acceso escalable que pueda admitir fácilmente redes residenciales, comerciales, empresariales y midhaul/fronthaul 5G en la misma plataforma. Los proveedores de redes de fibra hasta el hogar (FTTH) pueden aprovechar las redes de fibra óptica existentes, ya sea alquilando fibra oscura o densificando la capacidad de la fibra óptica para ofrecer servicios de fronthaul. En cualquier caso, las soluciones de fronthaul implementadas variarán y evolucionarán a medida que se ofrezcan servicios nuevos y aumente el uso de datos. Algunas de las diversas soluciones de red fronthaul que se están analizando, planificando e implementando son las siguientes:

Fibra oscura

La fibra oscura es una solución de punto a punto con la que los proveedores de servicios con exceso de capacidad de fibra óptica pueden ofrecer la solución de fronthaul más sencilla. En este caso, no hay necesidad de ningún equipo de transmisión entre la DU y la RU, ya que se pueden instalar varias fibras de mayor capacidad entre los dos nodos. Esta solución ofrece la implementación más sencilla y el mejor nivel de latencia, pero también es la más ineficaz en términos de recursos de fibra óptica. Así pues, algunos proveedores de servicios pueden comenzar con fibra oscura de punto a punto, pero con el crecimiento de la banda ancha móvil y la oferta de nuevos servicios, podrían optar por implementar la multiplexación y el uso compartido de fibra óptica en fases posteriores.

Esta solución puede ser la más fácil de instalar, ya que solo son necesarias una inspección y una certificación de la fibra óptica básicas. En aquellos casos en los que se empleen varias fibras para una sola radio, es posible que se utilicen transceptores QSFP (factor de forma pequeña cuadruple enchufable) que pueden requerir una solución para pruebas de conectores MPO a fin de validar varios hilos de fibra óptica a la vez.

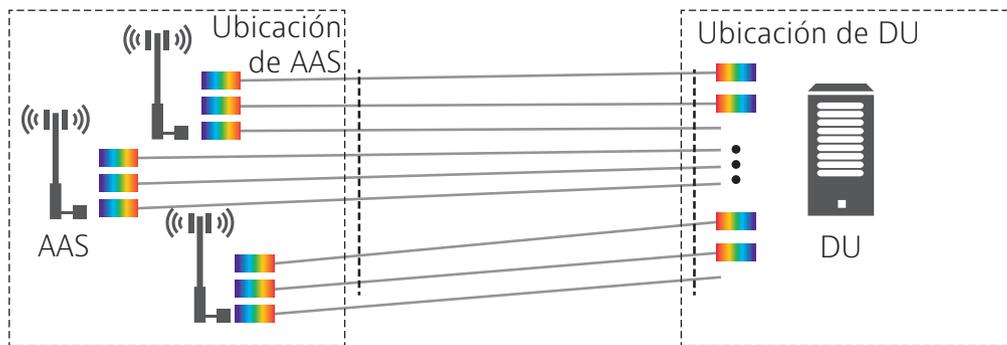


Figura 5. Fibra óptica de punto a punto

WDM pasiva

En una red xWDM pasiva, se transmiten diversas señales de datos a través de una sola red de fibra oscura en distintos canales de longitud de onda. Los transceptores de color se conectan directamente al conmutador Ethernet y la señal de salida se conecta entonces directamente al multiplexor y al revés. No es necesario encender el equipo pasivo. Su mantenimiento es sencillo, pero dada la necesidad de usar interfaces ópticas de color o transceptores SFP reconfigurables, el costo puede ser relativamente mayor, especialmente por los tipos de componentes y el costo de los repuestos. Dado que no ocurre ninguna conversión óptica-eléctrica-óptica, la latencia es baja como en el caso de la WDM activa. Como con cualquier otra red óptica, el balance de potencia determinará la distancia de la transmisión en la mayor parte de los casos. Normalmente, para el fronthaul esto no debería suponer un gran problema. La implementación será un poco más complicada y se tendrá que validar el nivel de potencia. Además, es primordial que se realicen una transmisión y una recepción correctas de las longitudes de onda entre la interfaz del transceptor adecuado.

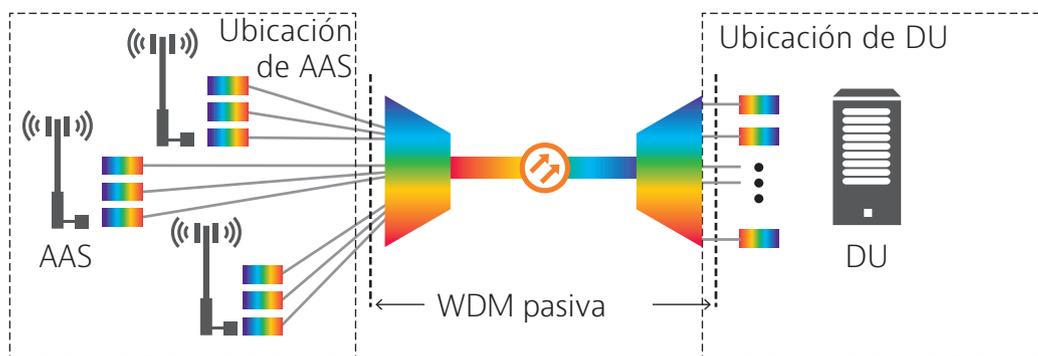


Figura 6. WDM pasiva

Red WDM/OTN

La tecnología de red de transporte óptico (OTN) proporciona funciones para transporte, multiplexación, conmutación, supervisión y gestión de canales ópticos. Básicamente, una red OTN es una envoltura digital que puede envolver la carga útil de cada cliente de forma transparente en un contenedor para su transporte a través de redes ópticas, de modo que se conserva la estructura nativa, la información de temporización y la información de gestión del cliente. La capacidad de multiplexación mejorada de la red OTN permite transportar diversos tipos de tráfico, como Ethernet, vídeo digital, SONET/SDH etc., a través de una sola trama de la unidad de transporte óptico. La red OTN ofrece un transporte transparente de señales de cliente con corrección de errores de envío (FEC).

En el ámbito de la tecnología 5G, los dispositivos de redes WDM/OTN de acceso se pueden configurar en la RU y en el hub de DU. Diversas señales de fronthaul comparten recursos de fibra óptica según la tecnología WDM, y se gestionan y protegen con sobrecostos de red OTN para garantizar la calidad. Los dispositivos de redes WDM/OTN de acceso y los nodos inalámbricos se conectan mediante puertos ópticos grises estándar, lo que reduce el costo y la complejidad a la hora de gestionar interfaces ópticas de color. La solución de red WDM/OTN activa admite tanto las redes de punto a punto (P2P) como las redes en anillo.

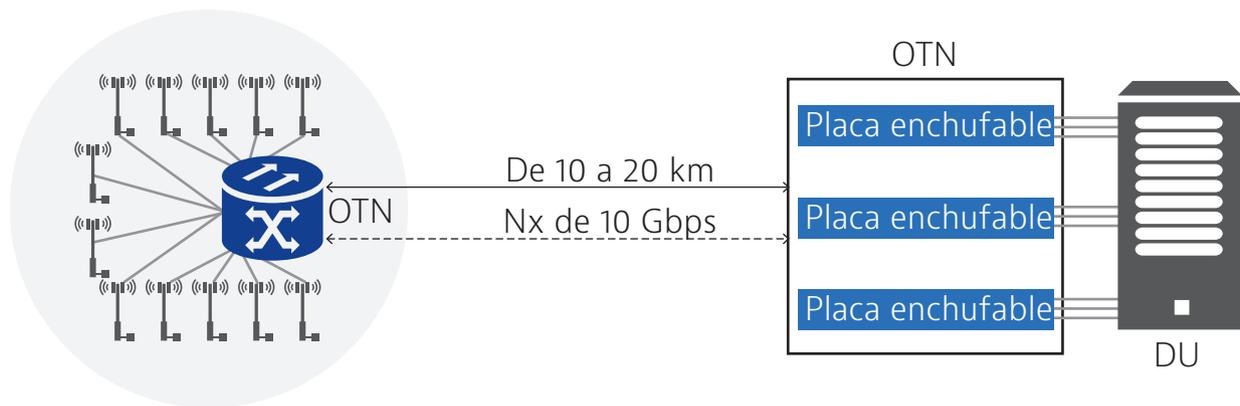


Figura 9a. Arquitectura P2P de una solución de WDM/OTN activa

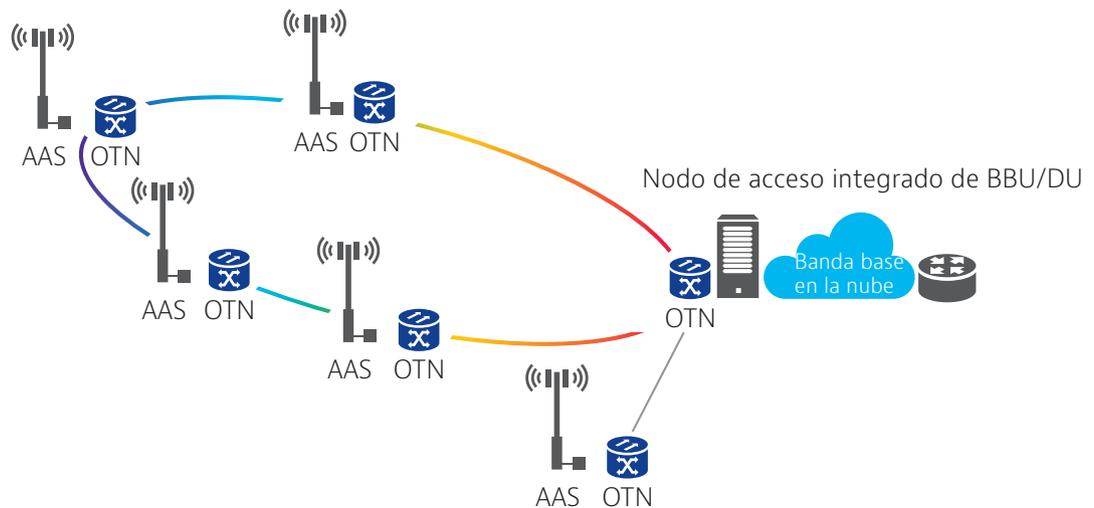


Figura 9b. Arquitectura de red en anillo de una solución de WDM/OTN activa

La arquitectura en anillo ofrece niveles superiores de utilización de recursos y confiabilidad de la red, y el coste de las soluciones de red WDM/OTN activa es relativamente alto. Para que la red OTN se convierta en una tecnología de fronthaul 5G preferente, se requiere un mayor trabajo para mejorar el costo y la latencia que añade el procesamiento de componentes activos.

Red Ethernet/TSN

Las redes sensibles al tiempo (TSN) definen un conjunto de estándares IEEE desarrollados principalmente para que la tecnología Ethernet proporcione servicios deterministas. Esto se traduce en un transporte de paquetes garantizado con una latencia baja y específica, una baja variación del retardo de paquetes y una baja pérdida de paquetes. Cuando haya disponible una capacidad de fronthaul de fibra óptica limitada, los proveedores de servicios pueden emplear soluciones de conmutación Ethernet basada en redes TSN para implementar un fronthaul eficaz. Esta solución ofrece el uso más eficaz de la fibra óptica, ya que la implementación de conmutación basada en paquetes en el fronthaul de fibra óptica proporciona la multiplexación estadística para conseguir la convergencia del tráfico y mejorar el ancho de banda. El uso de la conmutación Ethernet basada en redes TSN puede contribuir a cumplir los exigentes requisitos de latencia del fronthaul. Recuerde que aplicaciones como los automóviles autónomos y la realidad aumentada dictan la latencia dentro de un rango de 1 milisegundo, pero la red fronthaul móvil exige unos requisitos incluso más estrictos en cuanto al retardo: un máximo de 100 microsegundos (0,1 milisegundo) de retardo unidireccional entre la RU y la DU. La tecnología TSN requiere conmutadores optimizados para el fronthaul sensible al retardo, con un costo elevado y un mantenimiento y una gestión relativamente caras.

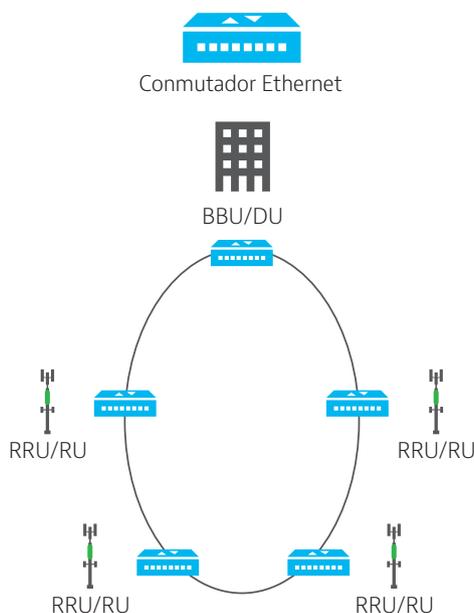


Figura 10. WDM pasiva

En resumen, existen diversas opciones para el acceso fronthaul de fibra óptica 5G. Los factores que determinen la adopción de los distintos tipos de tecnología de fronthaul de fibra óptica variarán en función del proveedor de servicios, el servicio que ofrezca y, lo más importante, la cantidad de activos de fibra óptica a los que tenga acceso. Si un proveedor de servicios tiene acceso a fibra oscura de bajo costo o si la implementación de fibra oscura resulta más económica, la fibra óptica de punto a punto es la mejor opción, ya que ofrece la mayor capacidad y el menor retardo de fronthaul. Si el acceso a la fibra óptica resulta costoso o limitado, se puede optar por compartir la fibra, ya que la demanda de capacidad del fronthaul y la latencia del servicio ofrecido impulsarán la tecnología de fronthaul de fibra óptica. Las opciones pueden variar: soluciones de conmutación Ethernet basada en redes TSN, WDM-PON y WDM pasivas. La clave radicará en el costo general de la implementación, los efectos sobre otros servicios cableados, la disponibilidad de las tecnologías, y la gestión y el mantenimiento de la red de acceso. En aquellos lugares en los que la fibra óptica no esté disponible o su implementación resulte demasiado cara (por ejemplo, en zonas rurales), los enlaces ópticos inalámbricos y de microondas pueden ofrecer una solución más viable. De nuevo, la capacidad y la latencia de las aplicaciones se deben tener en cuenta en la planificación de estas redes fronthaul.

Pruebas de las redes fronthaul de fibra óptica

Como ya analizamos anteriormente, la escala de la tecnología 5G será mucho más significativa en comparación con su predecesora, especialmente con la introducción de la onda milimétrica (>24 GHz) y la oferta de servicios 5G en territorios interiores (de 3 GHz a 6 GHz), ya que estas bandas tienen una propagación de radiofrecuencia relativamente deficiente en comparación con las frecuencias de banda baja. Se requerirán más radios y estaciones base por kilómetro cuadrado. Además, con la tecnología 5G, se emplean anchos de banda mucho mayores para ofrecer gigabits de capacidad, por lo que se depende en mayor medida de redes fronthaul, midhaul y backhaul de fibra óptica mucho más densas. Las redes fronthaul, midhaul y backhaul de fibra óptica de mayor densidad no solo suponen un mayor número de puntos finales y cables de fibra, sino también un nivel superior de multiplexación. Todo esto incrementará la complejidad y la escala de las pruebas de la fibra óptica. En el pasado, teníamos un par de cable de fibra óptica conectado a una radio. Esto ha evolucionado en la actualidad a doce o más pares de fibra óptica por RU (consulte la figura 11), por lo que una herramienta de localización visual de fallos no será suficiente para certificar la integridad de la señal de la fibra óptica. Los técnicos podrían observar luz en el otro extremo, pero no tendrán forma de certificar si la ruta de una determinada longitud de onda es la correcta. Además, en las pruebas de un sistema WDM para comprobar los niveles de potencia, se necesitará un conjunto de instrumentos diferente. El elevado número de fibras derivará en la implementación de más conectores MPO, lo que exigirá una fuente de luz MPO y un probador de conectores MPO. En definitiva, las instalaciones de campo de fibra óptica serán más complejas, con significativamente más implementaciones de conectores MPO y xWDM, lo que provocará que los proveedores de servicios y sus contratistas necesiten instrumentos para fibra óptica sencillos y fáciles de usar con un proceso de pruebas automatizado para ampliar las implementaciones de la tecnología 5G.



Figura 11. Fibra óptica con diversas longitudes de onda en una sola fibra que se divide en numerosas longitudes de onda que se dirigen a distintos radios

En principio, las pruebas básicas de la fibra óptica y la limpieza no cambiarán, pero la tecnología 5G provocará una evolución de las pruebas de fronthaul de fibra óptica y se requerirán soluciones y métodos de pruebas nuevos. Algunas de estas pruebas se explican a continuación:

1. Inspección de la fibra:

Los conectores contaminados son una de las principales causas de los problemas en las redes de fibra óptica. Una sola partícula acoplada al núcleo de una fibra puede provocar una reflexión de retorno y una pérdida por inserción significativas, e incluso daños en el equipo. Siga siempre este simple proceso de inspección previo a la conexión —“[Inspect Before You Connect](#)”— para garantizar que las terminaciones de fibra están limpias antes de acoplar los conectores. En el caso de los conectores MPO, se puede utilizar una solución para pruebas de conectores MPO como Sidewinder.

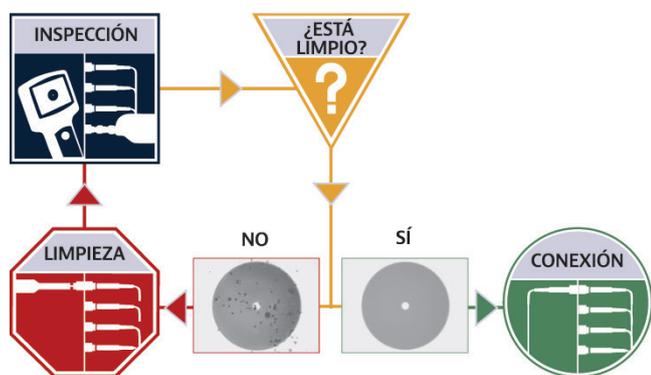


Figura 12. Diagrama del proceso de inspección previa a la conexión



Figura 13. Microscopio de sonda FiberChek y sistema FiberChek Sidewinder de VIAVI

2. Pruebas con OTDR:

Un [reflectómetro óptico en el dominio de tiempo \(OTDR\)](#) permite a los técnicos detectar, localizar y medir eventos en enlaces de fibra óptica como conectores acoplados, empalmes, curvaturas, extremos y roturas, y las siguientes propiedades se pueden medir accediendo a solo un extremo de la fibra (pruebas unidireccionales):

- Atenuación: pérdida de señal o potencia óptica, o velocidad de la pérdida entre dos puntos a lo largo de la fibra.
- Pérdida por evento: diferencia entre el nivel de potencia óptica antes y después de un evento.
- Reflectancia: relación entre la potencia reflejada y la potencia incidente de un evento.
- Pérdida por retorno óptico (ORL): relación entre la potencia reflejada y la potencia incidente de un enlace óptico.

El dispositivo [VIAVI SmartOTDR](#) permite a técnicos de cualquier nivel de cualificación realizar todas las pruebas básicas de la fibra óptica. En la aplicación Smart Link Mapper (SLM), cada evento se muestra como un icono, de modo que se proporciona a los técnicos una vista esquemática de todo el enlace, lo que les sirve de ayuda para utilizar el OTDR de forma más efectiva, todo ello sin necesidad de comprender ni interpretar los resultados basados en las trazas del OTDR.

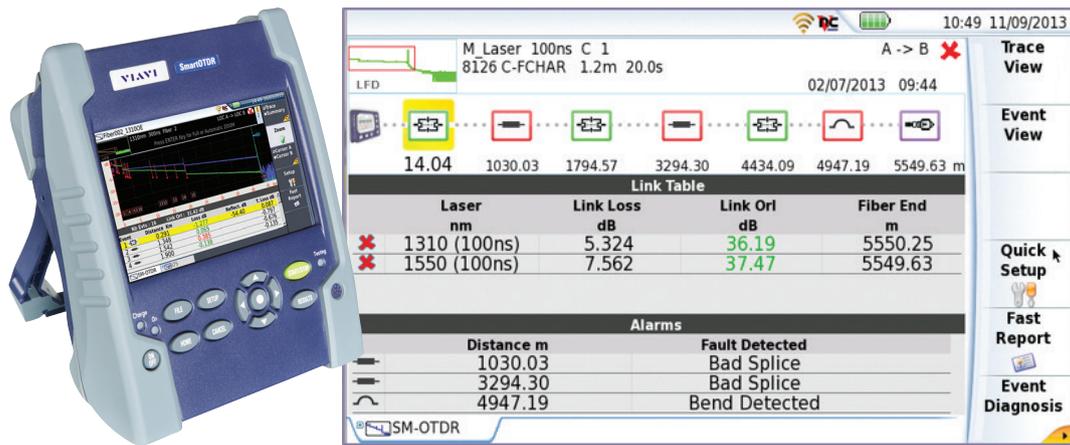


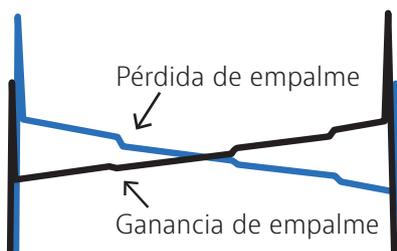
Figura 14. SmartOTDR y aplicación SmartLinkMapper (guía de pruebas para la implementación de redes 5G)

Para caracterizar de forma más precisa los enlaces de fibra óptica y cada evento, e intentar destapar otros eventos que hayan podido quedar ocultos debido al propio rendimiento de zonas muertas del OTDR al realizar las pruebas de manera unidireccional, los proveedores de fibra oscura o el propio propietario u operador de la fibra pueden llevar a cabo [pruebas bidireccionales](#). Estas permiten una medición más precisa de los eventos (pérdidas, reflejos, etc.), así como confirmar que son los mismos en ambas direcciones, ya que pueden darse eventos debido a las tolerancias, la mala correspondencia o los empalmes de la fibra, que pueden provocar pérdidas ópticas excesivas o distintas (o ganancias aparentes) si se observan desde direcciones diferentes.

Tenga en cuenta que, al realizar una instalación de fibra óptica, nunca puede estar seguro al 100 % de en qué dirección de servicio se empleará la fibra. Muchas aplicaciones son de fibra doble, con una fibra de transmisión y otra de recepción, pero también existen implementaciones de una sola fibra con distintas longitudes de onda para la transmisión y la recepción en la misma fibra y en direcciones opuestas.

El sistema [FiberComplete™](#) de VIAVI es una solución automatizada e integral con un solo puerto de pruebas que mide la reflectometría óptica en el dominio de tiempo (OTDR), la pérdida por retorno óptico (ORL) y la pérdida por inserción (IL) de carácter bidireccional.

Análisis bidireccional



Los desajustes del coeficiente de retrodispersión de la fibra óptica pueden provocar que un empalme aparezca como una ganancia o una pérdida en función de en qué dirección se realice la prueba.

El análisis bidireccional se emplea para minimizar los posibles desajustes midiendo las pérdidas del empalme en ambas direcciones y calculando la media de los resultados para obtener el verdadero valor de las pérdidas del empalme.

Figura 15. Aplicación FiberComplete

Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

La WDM permite a los proveedores de servicios aumentar la capacidad añadiendo nuevos equipos en cualquiera de los dos extremos de un hilo de fibra, y combinar varios canales y longitudes de onda en un solo hilo de fibra óptica. Los multiplexores se emplean para combinar longitudes de onda en una sola fibra, mientras que los demultiplexores se utilizan para separar las longitudes de onda en el otro extremo. Principalmente, se emplean cuatro tecnologías:

1. **La multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM)** proporciona hasta 18 canales (o longitudes de onda) en una sola fibra para permitir una mayor capacidad. Las redes CWDM suelen ser pasivas y no presentan amplificadores activos para ahorrar en costos y complejidad. Debido a las separaciones más amplias entre los canales, se pueden emplear componentes más económicos (transceptores SPF de transmisión y recepción, multiplexores y demultiplexores, y filtros), lo que abarata una vez más la implementación. Tenga en cuenta que uno de los aspectos clave de las redes de acceso es el costo. Además, con solo 18 canales, la gestión y el mantenimiento resultan sencillos (solo hay 18 variaciones de transceptor SFP que gestionar en la implementación y el mantenimiento). La CWDM pasiva se suele utilizar únicamente para distancias de hasta 80 km, aunque, en el caso de distancias entre 40 y 80 km, puede darse una reducción en el número de canales utilizables hasta solo los ocho superiores. Esto se debe a la atenuación de las longitudes de onda de la fibra por debajo de los 1470 nm, provocada por picos producidos por iones de agua. Las pérdidas por longitud de onda en todas las bandas de transmisión se conocen como el perfil de atenuación (AP) de la fibra. El AP varía en función de las fibras y los tipos de fibra, y determina en parte el número de canales utilizables que afectarán a la escalabilidad de la capacidad. El pico de atenuación producido por los iones de agua (LWPF) lleva disponible un tiempo, pero es recomendable realizar una comprobación, a menos que no tenga ninguna duda sobre la fibra de los conductos. Por último, para los enlaces pasivos, el presupuesto de potencia óptica de los transceptores, las pérdidas de los elementos pasivos, las pérdidas de los empalmes y los conectores, y el AP de la fibra (es decir, la pérdida óptica por longitud de onda por kilómetro) definirán la longitud máxima que puede tener el enlace.

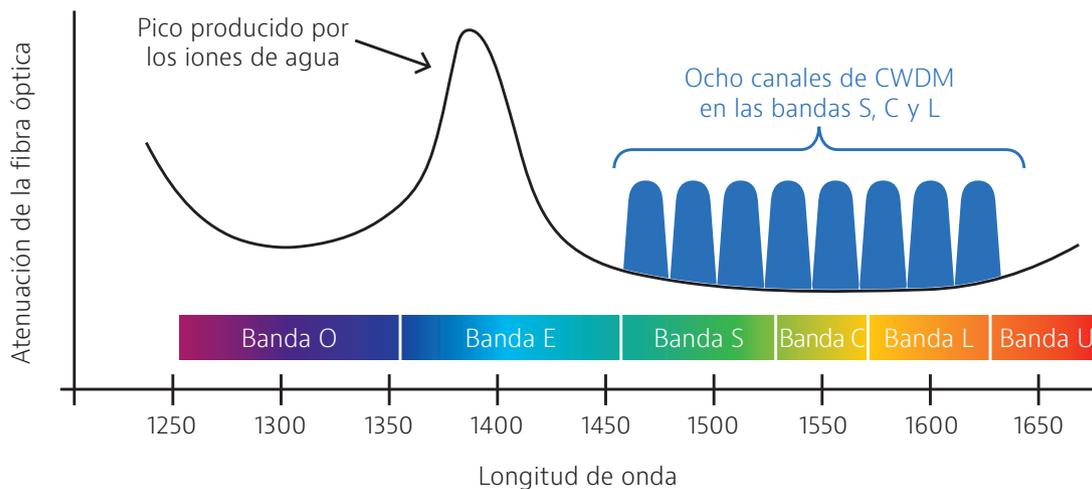


Figura 16. Canales de CWDM en las bandas S, C y L

2. **La multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM)** proporciona hasta 96 canales por fibra en función de la separación que se utilice. La separación de 100 GHz continúa siendo la más común, pero los sistemas de DWDM actuales admiten 50 GHz (0,4 nm) e incluso es posible una separación de 25 GHz con hasta 160 canales. Para que lo comprendamos mejor, la CWDM tiene una separación de 20 nm por canal. Las redes DWDM pueden ser pasivas o activas; qué enfoque se aplique dependerá principalmente de las distancias que entren en juego, los actuales requisitos de datos y las necesidades de capacidad en un futuro. En cuanto a la WDM pasiva, la distancia máxima para el sistema de DWDM dependerá del presupuesto de potencia óptica del transceptor y de las pérdidas de la fibra por kilómetro para cada longitud de onda (su AP).

3. **La multiplexación híbrida entre la CWDM y la DWDM (xWDM)** ofrece la posibilidad de ampliar la capacidad de la infraestructura de CWDM empleando un canal de CWDM adecuado para dar cabida a varias longitudes de onda de DWDM. En este entorno híbrido, las longitudes de onda de DWDM emplean normalmente una separación de 100 GHz, lo cual responde a dos motivos: primero, para permitir pequeñas desviaciones en las longitudes de onda transmitidas, de modo que el filtrado no afecte a otros servicios, y segundo, para mantener al mínimo el costo de los transceptores, los filtros, y los multiplexores y demultiplexores a fin de utilizar componentes más económicos con tolerancias mayores.

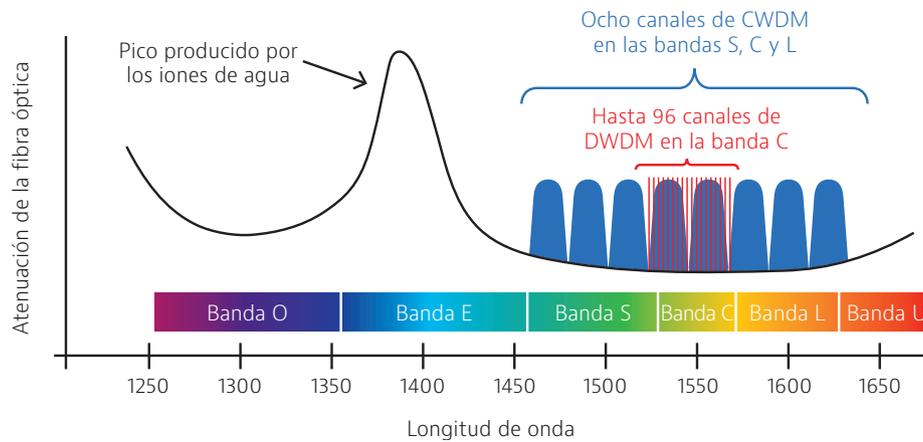


Figura 17. Multiplexación híbrida entre la CWDM y la DWDM

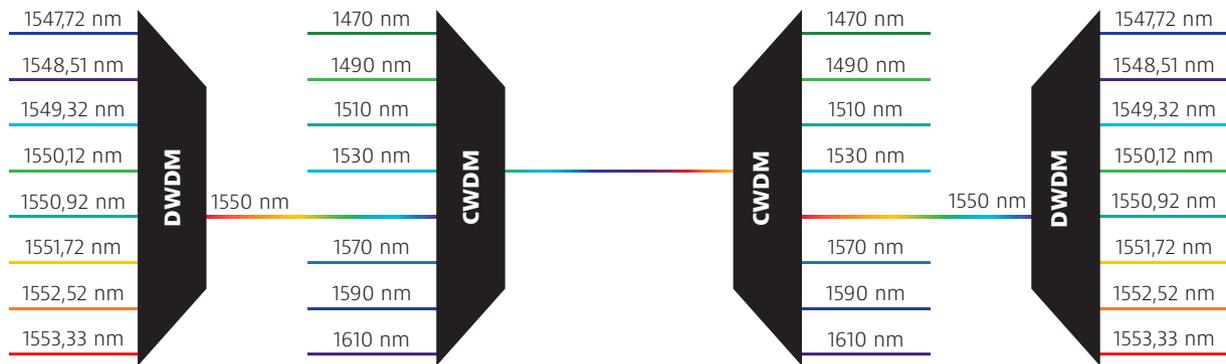


Figura 18. Ejemplo de ocho canales de DWDM (separación de 100 GHz) añadidos a una red CWDM de ocho canales existente (guía de pruebas para la implementación de redes 5G)

4. **La red óptica pasiva (PON)** es una arquitectura de punto a multipunto que emplea splitters pasivos para atender más dispositivos finales en el midhaul (de la unidad central [CU]) a la unidad de distribución [DU]). No obstante, son posibles las arquitecturas de red con splitters sencillos en lugar de splitters en cascada. Las relaciones de división reales variarán en función de las distancias y la pérdida óptica general de los transmisores y los receptores (OLT/ONT).

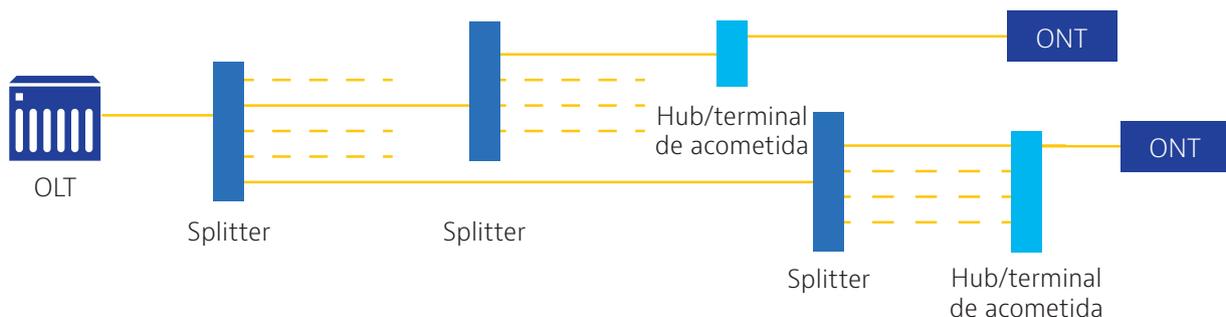


Figura 19. Arquitectura PON con división en cascada (guía de pruebas para la implementación de redes 5G)

Posiblemente, el mayor impacto sobre la relación de división se deberá a la capacidad de datos necesaria para cada DU y el estándar de red PON que se emplee (tenga en cuenta que los servicios de las redes PON son servicios compartidos). Un ejemplo sencillo: una red XGS-PON puede ofrecer un servicio simétrico de 10 Gbps, de modo que si cada DU requiere un 1 Gbps fijo, entonces un servicio de red XGS-PON puede admitir 10 DU y, por lo tanto, una división de 10 vías. En realidad, es un poco más complicado que eso. Se pueden admitir más DU con un servicio de red XGS-PON si se tienen en cuenta los requisitos de datos promedio y pico por DU (más el margen de espacio) y empleando características futuras de la red PON como la asignación dinámica de ancho de banda. Se pueden alcanzar distancias de entre 40 y 60 km, y estándares de red PON más recientes como NG-PON2 pueden ofrecer una capacidad simétrica de 40 Gbps a través de varias longitudes de onda 10G, tanto en dirección ascendente como descendente. Esto debería ser suficiente a corto y medio plazo. A largo plazo, la interfaz eCPRI exigirá redes PON 25G en una sola longitud de onda en lugar de la red PON 10G que se ofrece en la actualidad.

Pruebas de xWDM

Se espera que la mayor parte de la infraestructura de red de fibra óptica se actualice para sacar partido de las tecnologías de multiplexación superiores y ofrecer así una mayor capacidad. No obstante, las pruebas de las redes xWDM no es un asunto trivial, especialmente desde que los canales de DWDM se encuentran tan cerca. Los transmisores de DWDM requieren un control preciso de la temperatura para mantener la estabilidad de las longitudes de onda y funcionar correctamente, y los filtros de longitudes de onda deben llevar a cabo su labor de dejar pasar la longitud de onda adecuada y bloquear el resto. Esto significa que un problema con un canal podría crear problemas con los canales del otro lado, de modo que las pruebas y el mantenimiento de las redes de DWDM serían más complejos. Las redes DWDM se deben someter a pruebas de pérdidas, limpieza de conectores y calidad espectral. Es esencial realizar las siguientes pruebas en las redes xWDM.

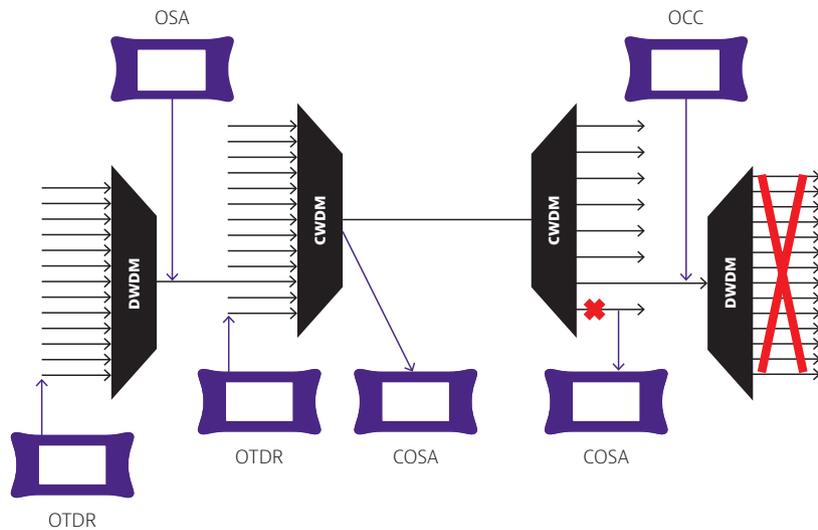


Figura 20. Pruebas de xDWDM

Comprobación de canales

Se puede utilizar un medidor de potencia de CWDM o DWDM también conocido como comprobador de canal óptico u OCC como los sistemas OCC-55 (CWDM) y OCC-56C (DWDM) para realizar comprobaciones básicas de los niveles de potencia y la presencia de las longitudes de onda a fin de certificar que el enrutamiento de las longitudes de onda es correcto.

Se puede emplear también un comprobador de canal óptico o analizador de espectro óptico de CWDM o DWDM de tamaño reducido, los módulos de la serie 4100 [COSA \(CWDM\)](#) y [OCC-4056C \(DWDM\)](#), para los procesadores centrales MTS-2000, MTS-4000, MTS-4000 V2 y MTS-5800 V2, para realizar las mismas comprobaciones de nivel de potencia y presencia de longitudes de onda. No obstante, con la función añadida de proporcionar información sobre los números de canal ITU-T, los técnicos pueden medir rápidamente la longitud de onda real para comprobar la derivación o el desplazamiento, e informar sobre la separación entre canales real (especialmente importante en el caso de la DWDM). Por otro lado, las bahías de transceptores SFP integradas duales permiten a los técnicos comprobar la longitud de onda y el canal de transceptores SFP de color y regulables, que también ofrecen la opción de convertirse en una fuente de luz regulable que se puede emplear para pruebas de pérdidas de inserción y enrutamiento de enlaces.



Figura 21. OCC-55

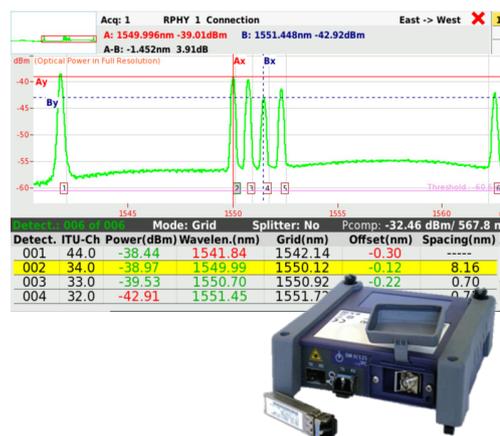


Figura 22. Módulo de comprobador de canal óptico DWDM (OCC-4056C) (guía de pruebas para la implementación de redes 5G)

Pruebas con OTDR de WDM

Se puede utilizar un OTDR de CWDM o DWDM, como los módulos OTDR de CWDM y DWDM de la serie 4100 de VIAVI para los procesadores centrales MTS-2000, MTS-4000, MTS-4000 V2 y MTS-5800 V2, a fin de validar la capacidad de las fibras de un núcleo de transportar todas las longitudes de onda de xWDM durante la certificación de la creación y antes de la conexión al multiplexor o demultiplexor de WDM. Se pueden emplear también después de la conexión del multiplexor o demultiplexor para validar el enrutamiento de la longitud de onda de extremo a extremo y las pérdidas de determinadas longitudes de onda, o para exponer y detectar cualquier curvatura, rotura, mala conexión o empalme en tareas de mantenimiento y solución de problemas. Los OTDR estándar que emplean longitudes de onda tradicionales de 1310/1550 nm para las pruebas no se pueden utilizar para este segundo nivel de pruebas debido al filtrado de longitudes de onda implementado en los dispositivos multiplexores y demultiplexores.



Figura 23. Módulo OTDR de DWDM

Pruebas con OTDR para redes PON: durante la creación, la instalación y la construcción de la fibra óptica

Se puede utilizar un OTDR de CWDM o DWDM, como los módulos OTDR de CWDM y DWDM de la serie 4100 de VIAVI para los procesadores centrales MTS-2000, MTS-4000, MTS-4000 V2 y MTS-5800 V2, a fin de validar la capacidad de las fibras de un núcleo de transportar todas las longitudes de onda de xWDM durante la certificación de la creación y antes de la conexión al multiplexor o demultiplexor de WDM. Se pueden emplear también después de la conexión del multiplexor o demultiplexor para validar el enrutamiento de la longitud de onda de extremo a extremo y las pérdidas de determinadas longitudes de onda, o para exponer y detectar cualquier curvatura, rotura, mala conexión o empalme en tareas de mantenimiento y solución de problemas. Los OTDR estándar que emplean longitudes de onda tradicionales de 1310/1550 nm para las pruebas no se pueden utilizar para este segundo nivel de pruebas debido al filtrado de longitudes de onda implementado en los dispositivos multiplexores y demultiplexores.

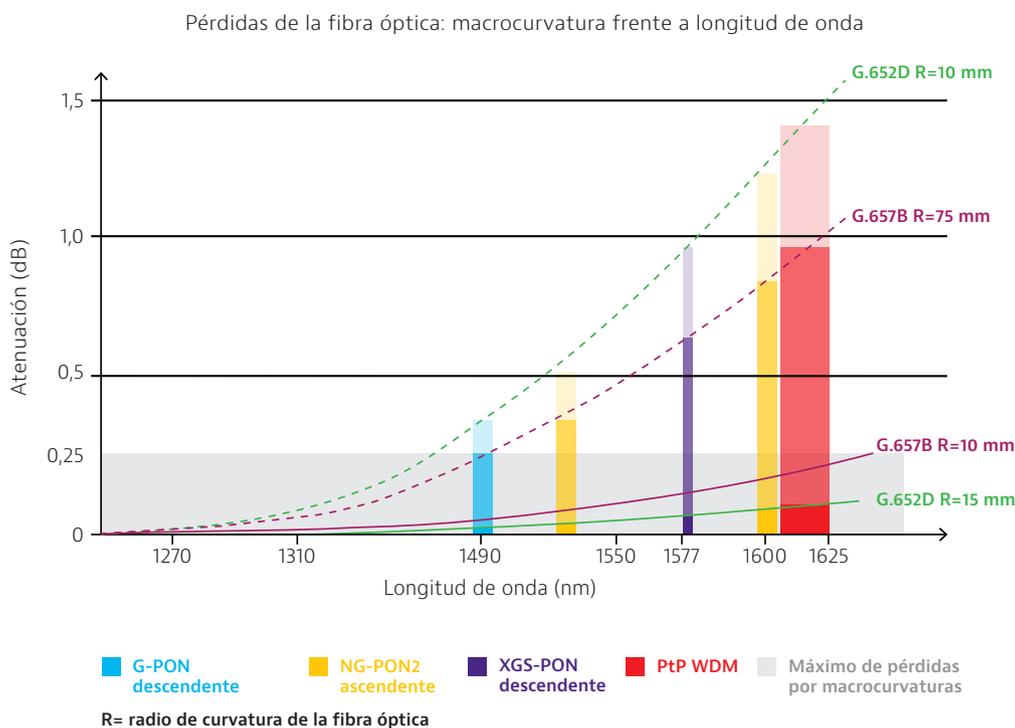


Figura 24. Pérdidas por curvaturas: longitud de onda frente a tipo de fibra óptica para el radio de curvatura mínimo

Para una mayor precisión en los resultados del OTDR, se recomienda encarecidamente llevar a cabo pruebas bidireccionales. Esto permite a los técnicos identificar posibles fallos que podrían quedar ocultos en zonas muertas del OTDR. Las pruebas bidireccionales servirán para certificar el rendimiento de la fibra óptica en ambas direcciones (recuerde que las fibras de las redes PON transportan luz en dos direcciones: ascendente y descendente). La automatización de las pruebas bidireccionales y del proceso de generación de informes, que presenta los resultados con un formato más fácil de leer (Smart Link Mapper), junto con pruebas de rendimiento a través de un solo puerto de pruebas, reducirá de forma significativa el tiempo de las pruebas, mejorará el flujo de trabajo y reducirá la complejidad (es decir, el riesgo de que se produzcan errores y sea necesario repetir las pruebas). La solución FiberComplete de VIAVI permite la automatización de la certificación de la reflectometría óptica en el dominio de tiempo (OTDR), la pérdida de retorno óptico (ORL) y la pérdida por inserción (IL) de carácter bidireccional de la fibra óptica.



Figura 25. FiberComplete para MTS-2000, MTS-4000 V2 y MTS-5800 V2

Después de conectar los splitters, es necesaria la certificación de la OTDR para confirmar la creación final de la red PON. Los técnicos tienen que comprobar el total de pérdidas de extremo a extremo, incluidas las pérdidas de los splitters. Esto se lleva a cabo normalmente de forma unidireccional desde el lado del terminal de red óptica (ONT) o la unidad de red óptica (ONU) de la red hacia la oficina central o local mediante un OTDR, que emplea una técnica de adquisición de varios pulsos junto con una aplicación de pruebas específica para redes PON/FTTx a fin de someter a prueba los splitters (individuales o en cascada) y caracterizar todas las secciones de la red PON. Una sola unidad FiberComplete con la aplicación FTTH-SLM, o bien, un SmartOTDR con la aplicación FTTH-SLM tienen estas capacidades.



Figura 26. SmartOTDR

En la aplicación Smart Link Mapper (SLM), cada evento se muestra como un icono, de modo que se proporciona a los técnicos una vista esquemática de todo el enlace, lo que les sirve de ayuda para utilizar el OTDR de forma más efectiva, todo ello sin necesidad de comprender ni interpretar los resultados basados en las trazas del OTDR. La versión específica de SLM para redes FTTH/PON emplea nombres, etiquetas e iconos específicos y exclusivos de los entornos PON.

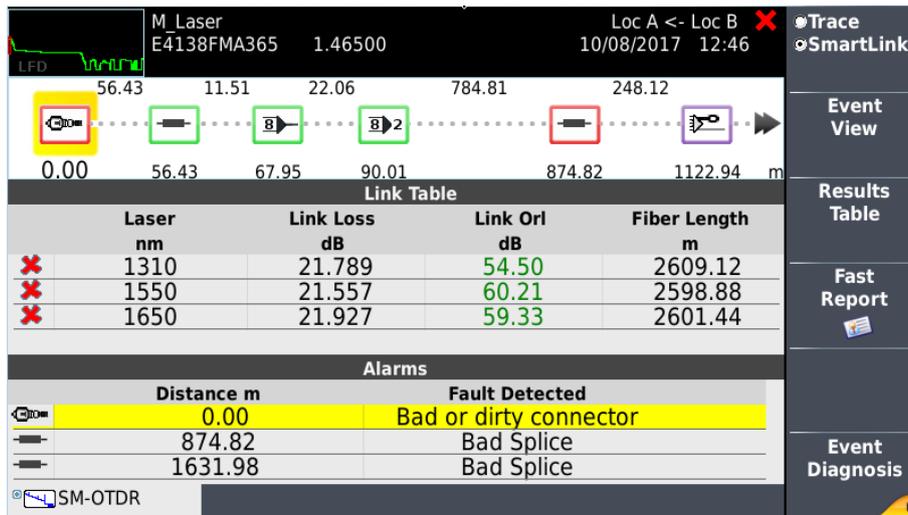


Figura 27. FTTH-SLM

Medición de potencia óptica: durante la activación de la red

Como parte de la activación de las redes PON, los técnicos deben certificar que los niveles de potencia óptica descendentes y ascendentes se encuentran dentro de los rangos esperados antes de proceder a la conexión final del ONT, la estación base o la radio. En el caso de la tecnología 5G, se prevé que se adopten las redes XGS-PON y, después, las redes NG-PON2, mientras que los organismos normalizadores ITU-T e IEEE se plantean estándares futuros, como las redes 25G-PON. En cuanto a las redes G-PON y XGS-PON o NG-PON2, el [medidor de potencia de redes PON OLP-87](#) puede realizar mediciones selectivas del nivel de potencia de las longitudes de onda. Además, admite por medio del funcionamiento de modos y el modo de ráfaga ascendente mediciones de los niveles de potencia ascendente y descendente. Asimismo, contribuye en la validación del dispositivo ONT/ONU al comprobar si el dispositivo está activo y responde al equipo de red PON (terminal de línea óptica y OLT).



Figura 28. Medidor de potencia de PON selectivo para redes G/XGS-PON o NG-PON2 OLP-87

Monitorización de la fibra óptica

Como hemos analizado anteriormente, las redes PON y sus variantes se emplearán en la infraestructura de fibra óptica de la tecnología 5G. Además, a medida que se incremente la escala de las redes PON, también lo harán las necesidades de solución de problemas y mantenimiento. La automatización de las pruebas de la capa física de un sistema PON desde una ubicación centralizada, como una oficina de conmutación de telefonía móvil (MTSO), puede reducir los tiempos de puesta en marcha y el costo de mantenimiento, así como mejorar la calidad del servicio de la red. Como ya hemos explicado, un OTDR puede identificar la ubicación de los fallos de un enlace de fibra óptica y certificar el trabajo realizado en una instalación. El [sistema de monitorización de redes de fibra óptica](#) (ONMSi, del inglés Optical Network Monitoring System) de VIAVI puede realizar pruebas y certificar una red PON durante las fases de creación y construcción y, después, llevar a cabo una monitorización continua de varias redes PON durante la fase operativa de estas. El sistema ONMSi permite que un solo técnico realice las pruebas en la red durante la instalación. Después de la activación del servicio, el sistema detecta y localiza de forma precisa la degradación de la fibra óptica, y avisa a los operadores y los gestores con los detalles de los fallos.

Dado que cada vez se implementa más fibra óptica, los proveedores de servicios observan una tasa de fallos de activación del servicio del 25 al 30 % debido a la instalación inadecuada de redes de distribución óptica (splitters, conectores y empalmes con grandes pérdidas, macrocurvaturas, conexiones incorrectas de splitters y puertos, etc.). Las funciones de monitorización de fibra maximizan la capacidad de respuesta a los fallos inducidos por la fibra óptica y las interrupciones del servicio de la red resultantes.

El sistema ONMSi de VIAVI permite la monitorización, la detección y la localización ininterrumpidas de fallos basándose en la comparativa de las trazas de OTDR. Se generan notificaciones por SNMP, SMS o correo electrónico con archivos adjuntos de trazas de OTDR con geolocalización en programas de asignación de fibra óptica (OFM) o sistemas de información geográfica (GIS) externos para determinadas topologías FTTx. El sistema ONMSi contribuye a ampliar la implementación y el mantenimiento de las redes ópticas. Esta solución se puede proporcionar también como una solución puntual (SmartOTU) con todo el hardware y el software instalados en un mismo chasis.

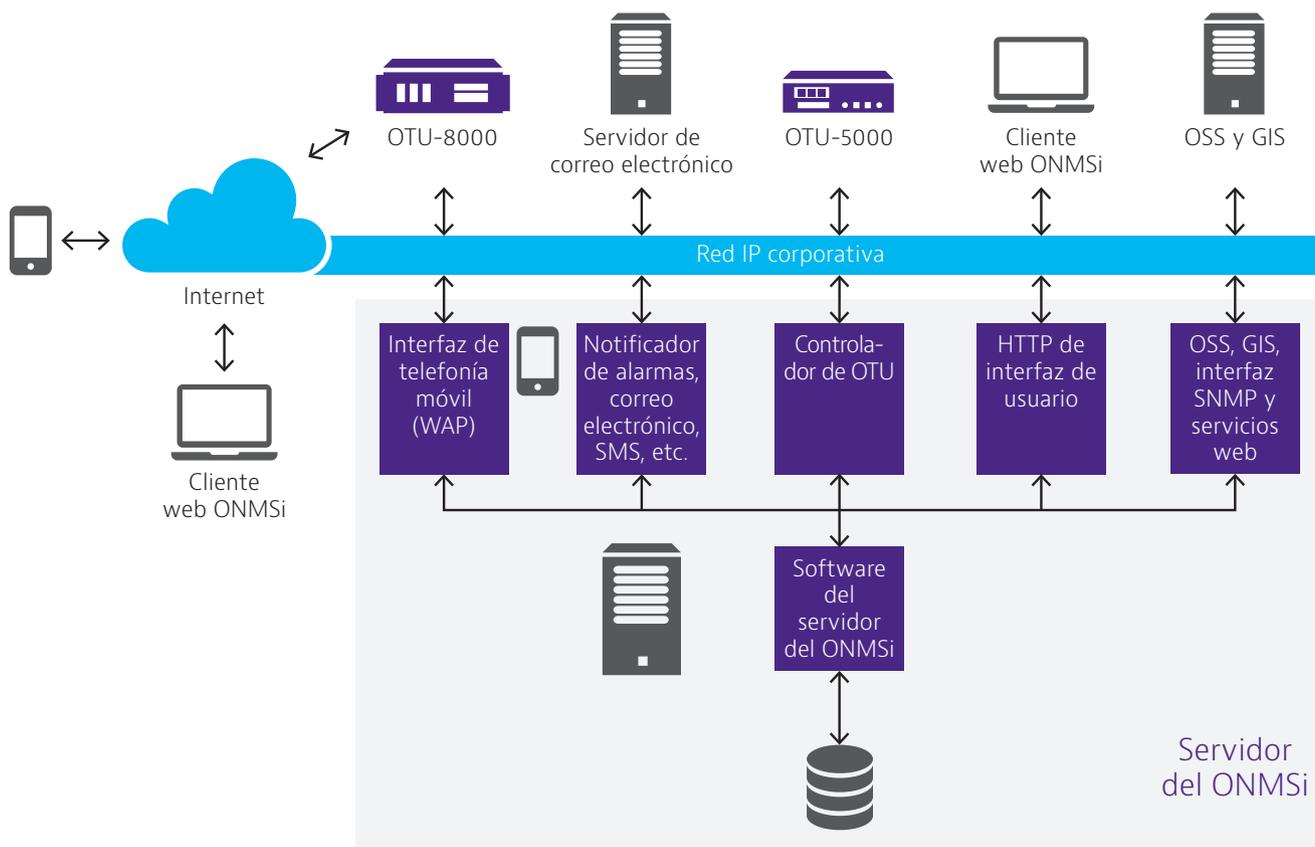


Figura 29. Arquitectura de solución ONMSi

Conclusión

La infraestructura óptica compatible para redes fronthaul, midhaul y backhaul debe ser flexible y ágil, y adaptarse a los cambios futuros para responder a la elevada demanda de ancho de banda y la densidad de estaciones base significativamente mayor de la tecnología 5G. La topología de la infraestructura de fibra óptica seleccionada debe maximizar el retorno de la inversión desde las implementaciones a corto plazo hasta los modelos de crecimiento de redes a largo plazo. Como hemos explicado en este documento técnico, la topología variará en función de los casos de negocio de cada proveedor de servicios en lo que respecta a la implementación y el acceso a fibra de bajo coste. Un aspecto fundamental de la implementación de la fibra óptica es el costo de la gestión y el mantenimiento de esta infraestructura. La gestión y el mantenimiento de la fibra óptica será un gasto operativo constante que se debe tener en cuenta en el momento de la implementación. Contar con las soluciones de pruebas adecuadas para el mantenimiento de las redes de fibra óptica será esencial para ofrecer una calidad de servicio excelente con unos gastos operativos reducidos. VIAVI es el líder del sector en equipos para pruebas de fibra óptica y goza del mejor posicionamiento para ofrecer la solución de pruebas de redes de extremo a extremo más completa. Con una cartera completamente integral de sistemas e instrumentos compatibles con la nube, soluciones de automatización de pruebas basadas en software y servicios para pruebas de red, optimización del rendimiento y garantía de servicios, VIAVI ocupa una posición privilegiada para garantizar a los operadores y sus socios una puesta en marcha sin problemas de sus redes, así como un ciclo de vida sostenible de las mismas.



Contáctenos +34 91 383 9801
+1 954 688 5660

Para localizar la oficina VIAVI más cercana,
por favor visítenos en [viavisolutions.es/contactenos](https://www.viavisolutions.es/contactenos)

© 2020 VIAVI Solutions Inc.
Las especificaciones y descripciones del producto
descritas en este documento están sujetas
a cambio, sin previo aviso.
fiber5g-wp-fop-nse-es
30191024 901 0320