



Redes 5G

“La Fibra óptica como cimiento del 5G”

Alumno: Fernando Javier Cifarelli

Tutoría técnica: Ing. Jorge Colombo

Profesora Trabajo Final de Carrera: Dra. Marcela Samela

Trabajo Final de carrera presentado para obtener el título de

Licenciatura en Gestión de Tecnología Informática

Marzo 2022

Resumen

La transformación digital que estamos experimentando está estrechamente vinculada con el avance de la tecnología y la rapidez con la que se accede a los datos. En un mundo cada día más conectado, es necesario estar preparados para una rápida adopción de nuevas tecnologías. Es por ello que este trabajo de investigación se enfocó en el estudio de las redes de fibra óptica y su relación con el 5G, dentro del ámbito de la Ciudad de Buenos Aires. En el trabajo se analizaron y detallaron las redes actualmente instaladas en la región, para verificar la compatibilidad y la adaptabilidad de las tecnologías utilizadas con el 5G. La investigación de los esquemas y topologías de red de fibra óptica fue obtenida mediante bibliografía, documentos técnicos desarrollados por los principales proveedores de tecnología del mundo, una entrevista y una observación en campo, donde se analizó la modalidad de despliegue de redes de fibra óptica y las dificultades para construirla.

Se comprobó que construir redes de fibra óptica es sumamente costoso y será necesario lograr acuerdos entre los distintos proveedores, para poder compartir infraestructura y de esta manera alcanzar a más usuarios.

Palabras Clave: 5g, fibra óptica, multiplexación por división de longitud de onda, redes ópticas pasivas

Abstract

The digital transformation we are experiencing is closely linked to the advancement of technology and the speed with which data is accessed. In an increasingly connected world, it is necessary to be prepared for a rapid adoption of new technologies. That is why this research work focused on the study of fiber optic networks and their relationship with 5G, in Buenos aires city. In the work, the networks currently installed in the region were analyzed and detailed, to verify the compatibility and adaptability of the technologies used with 5G. The investigation of the fiber optic network schemes and topologies was obtained through bibliography, technical documents developed by the main technology providers in the world, an interview and a field observation, where the deployment modality of fiber optic networks and difficulties in building it.

It was found that building fiber optic networks is extremely expensive and it will be necessary to reach agreements between the different providers, in order to share infrastructure and this way reach more users.

Keywords: 5g, fiber optic, passive optical networks, wavelenght division multiplexing

Agradecimientos

Principal agradecimiento para mi compañera de vida, quien me ha sostenido desde todo punto de vista y en cada momento, para poder finalizar mis estudios universitarios, dándome el tiempo necesario para estudiar, investigar, analizar y redactar cada detalle que compone este trabajo final de carrera. A mis hijas por tenerme la paciencia necesaria para poder avanzar con la investigación.

En general, a todos los profesores de la carrera, especialmente a Jorge Colombo, por aceptar la tutoría y aportarme material respaldatorio.

Por último, un gran agradecimiento a mis compañeros de estudio, quienes han hecho posible que cada noche de esta larga cursada, sea un camino ameno y divertido de transitar.

Acrónimos

FO	Fiber Optic
FTTH	Fiber To The Home
FTTB	Fiber To The Building
FTTX	Fiber To X (anywhere)
FTTC	Fiber To The Curb
FTTN	Fiber To The Node
PON	Passive Optical Network
GPON	Gigabit Passive Optical Network
10GPON	Ten iGigabit Passive Optical Network
ITU	Internacional Telecommunication Union
IEEE	Institute Of Electrical And Rlectronic Enginners
WDM	Wavelenght Division Multiplexing
DWDM	Dense Wavelenght Division Multiplexing
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
CTO	Caja Terminal Optica
FSAN	Full Access Service Network
FDM	Frecuency Division Multilexing
TDM	Time Division Multiplexing
MIMO	Multiple Input Multiple Output
IOT	Internet Of things
IA	Inteligencia Artificial
LTE	Long Term Evolution
CATIP	Cámara Argentina de Tráfico IP
CAPPI	Cámara Argentina de Pequeños Proveedores de Internet
OXC	Optical Cross Connect
OADM	Optical Add Drop Multiplexer
WSS	Conmutador selectivo de longitudes de onda
NFV	Virtualización de funciones de red

CRAN	Redes de acceso de radio centralizadas
SDN	Redes definidas por software
ISP	Internet Service Provider
AAU	Active Antena Unit
FSAN	Full Service Active Network
SFP	Small Form-Factor Pluggable Transceiver
MUX	Multiplexores
DEMUX	Demultiplexores
OCX	Optical crossconnect
OADM	Optical Add/Drop Multiplexer
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer
WSS	Wavelength Selective Switch

Índice General

Resumen	2
Abstract	3
Agradecimientos	4
Acrónimos	5
Índice General.....	7
Índice de figuras.....	9
Capítulo 1	11
1 Introducción.....	11
1.1 Justificación de la Investigación.....	11
1.2 Problemas y Soluciones	11
1.3 Propuesta de investigación	12
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivos General	13
1.4.2 Objetivos Específicos.....	13
1.5 Hipótesis.....	13
Capítulo 2	14
2 Marco Teórico	14
2.1 Fibra Óptica.....	14
2.2 Ventajas de la fibra óptica.....	14
2.3 Estructura principal de la fibra óptica	15
2.4 Fibra monomodo y multimodo	16
2.5 Redes Ópticas Pasivas.....	17
2.5.1 ¿Qué es una red óptica pasiva?.....	17
2.5.2 Principio de funcionamiento PON.....	20
2.5.3 Topología redes PON.....	21
2.5.4 Evolución de la tecnología PON.....	24
2.5.5 Arquitectura para la Coexistencia y evolución.....	26
2.5.6 WDM – PON en redes 5G.....	29
2.6 Tecnología WDM	30
2.6.1 Principios Tecnología WDM.....	30
2.6.2 Diagrama general de un sistema DWDM tradicional	32
2.6.3 Componentes de los sistemas DWDM.....	33

2.6.4	Tipos de equipos en sistemas DWDM.....	35
2.6.5	Cross-Conexión óptica.....	37
2.6.6	Conmutador selectivo de longitudes de onda.....	37
2.6.7	Láser sintonizable.....	38
2.7	Evolución de las redes móviles.....	39
Capítulo 3	.....	42
3	Tecnología 5G.....	42
3.1	¿Qué es el 5G?.....	42
3.2	Características generales.....	42
3.3	Impacto económico y social en el mundo.....	47
3.4	5G en Argentina.....	49
3.5	Sistemas MIMO.....	50
3.6	La fibra óptica y el 5G.....	51
3.7	Tecnologías de fronthaul para 5G.....	53
3.8	Convergencia redes FTTH y FTTH5G.....	58
Capítulo 4	.....	60
4	Despliegue de redes de fibra óptica urbanos.....	60
4.1	Introducción.....	60
4.2	Tipos de despliegue.....	60
4.2.1	Despliegue de red subterránea.....	60
4.2.2	Despliegue de red posteada.....	64
4.3	Problemáticas del despliegue de red.....	66
Capítulo 5	.....	70
5	Conclusiones.....	70
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Líneas de investigación futuras.....	71
Referencias	.....	72
Anexos	.....	74
Anexo A	.....	74
Anexo B	.....	75
Anexo C	.....	79
Anexo D	.....	79

Índice de figuras

Figura 1 Componentes de una fibra óptica	15
Figura 2 Fibra Óptica Monomodo y Multimodo	16
Figura 3 Optical Line Terminal	17
Figura 4 Optical Node Terminal	18
Figura 5 Arquitectura PON.....	19
Figura 6 Esquema Red Óptica Pasiva	20
Figura 7 Longitudes de Onda	21
Figura 8 Redes Acceso, Distribución y Dispersión	21
Figura 9 Caja empalme tipo Domo.....	22
Figura 10 Caja terminal óptica	23
Figura 11 Divisor Óptico.....	24
Figura 12 Evolución tecnología PON	26
Figura 13 Escenarios tecnología XG-PON.....	27
Figura 14 Coexistencia XGPON y GPON con DWDM	28
Figura 15 Coexistencia XGPON y GPON	29
Figura 16 Fronthaul 5G basado en WDM-PON	30
Figura 17 Multiplexación TDM-FDM	32
Figura 18 DWDM Tradicional	33
Figura 19 Componentes DWDM.....	35
Figura 20 Diagrama funcional de un WSS.....	38
Figura 21 Evolución de las redes móviles.....	39
Figura 22 Esquema comparativo antenas 4G vs 5G	44
Figura 23 Comparativo velocidad de descarga 3G vs 4G vs 5G.....	45
Figura 24 Esquema PON 5G en convivencia con internet cableado residencial	53
Figura 25 Esquema fronthaul y backhaul.....	54
Figura 26 Esquema fronthaul fibra oscura	56
Figura 27 Esquema fronthaul wdm.....	57
Figura 28 Esquema fronthaul wdm.....	58
Figura 29 Obra civil red subterránea.....	61
Figura 30 Cámara empalmes de fibra óptica.....	62
Figura 31 Esquema de una cámara subterránea en vereda.....	62
Figura 32 Esquema despliegue de red PON backbone	63

Figura 33 Esquema despliegue de red PON manzana	63
Figura 34 Esquema despliegue red posteada.....	64
Figura 35 Fotografía CTO en poste red pon.....	65
Figura 36 Esquema caja de empalme en red posteada	65

Capítulo 1

1 Introducción

1.1 *Justificación de la Investigación*

Desde la implementación de la primera red de tecnología de banda ancha inalámbrica, el avance de las redes móviles se dio a toda velocidad. Una década después, estamos ante el inicio del 5G, lo que significará toda a una nueva dimensión, entre las que se destaca la Internet de las Cosas, que supone un mundo hiper conectado.

Corea del Sur, uno de los países con mayor conectividad, lanzó hace pocos meses la primera red nacional de telefonía móvil de quinta generación y, casi al mismo tiempo, una telefónica de ese país comercializó el primer Smartphone con esta cobertura.

Esta nueva tecnología todavía debe superar desafíos a nivel global y dificultades propias de nuestra región, envuelta en una desaceleración de la economía, con el impacto de la pandemia mediante, generando que se demore su implementación. Esto último contrasta con la fuerte inversión en redes de fibra óptica que la tecnología y la infraestructura actual necesitan. Es por ello que este trabajo final de carrera, tiene como objetivo principal la investigación de las tecnologías y topologías de fibra óptica actuales, para identificar la forma en que se adaptarán a la implementación del 5G en la Ciudad de Buenos Aires. Es indispensable entender el papel de la fibra óptica en el despliegue de las redes de quinta generación, de modo que podamos interpretar la brecha a cubrir en este aspecto.

Hay una creencia general que interpreta que las redes 5G vienen a reemplazar a la fibra óptica. Es menester de esta investigación, despejar cualquier duda al respecto, intentando demostrar que el medio de transporte por excelencia para construir la infraestructura necesaria que permite mostrar las cualidades de esta nueva tecnología, es la fibra óptica. Debemos comprender como y donde adaptarla. Por otro lado, pretendo dejar expresado cual será la relación entre las compañías proveedoras de servicios de banda ancha, respecto de la modalidad que adoptarán para el despliegue de redes de fibra óptica, situación compleja en la Ciudad de Buenos Aires.

1.2 *Problemas y Soluciones*

En nuestro país, la tecnología 5G se encuentra en etapa de análisis y pruebas de laboratorio. Para poder desplegar una red de estas características, existen muchos obstáculos significativos que las compañías proveedoras deberán abordar y mitigar. Esta tecnología no se podrá brindar con los terminales actuales, ya que las antenas serán totalmente diferentes, lo que implica una renovación profunda en este aspecto. Por otro lado, su desarrollo necesita

contar con un parque mucho denso de antenas instaladas, de modo que se pueda entregar a los usuarios finales mayor potencia y velocidad en la conexión. Para poder soportar estas características, las compañías de telecomunicaciones deberán apoyarse en una red de fibra óptica con mayor capilaridad que las actualmente instaladas. Esto último requiere de una gran inversión, debido a la modalidad del despliegue de redes en CABA. Los cableados están montados sobre ductos o tuberías instaladas en una red subterránea. Es una modalidad de despliegue, desde el punto de vista financiero, muy costosa. Mucho más que realizar tendidos de fibra sobre postes. También, requiere especial atención en cuestiones administrativas y tramites de permisos municipales, que muchas veces generan más de un dolor de cabeza a quien sea el responsable de la ejecución del proyecto, debido a que las aprobaciones pueden impactar en los tiempos de ejecución e incluso hasta denegar el acceso a ciertas zonas.

La zona del microcentro porteño y alrededores, es donde más problemáticas encontraremos al respecto, ya que hay muchos sitios que son considerados de conservación histórica, en los cuales no podremos realizar nuevas obras civiles para instalar ductos, que nos permitan ampliar la red.

1.3 Propuesta de investigación

En línea con lo anteriormente expresado, la propuesta de investigación de este trabajo se basa en el análisis de las redes de fibra desplegadas actualmente, de manera que nos podamos entender la brecha existente en infraestructura, para poder analizar las condiciones necesarias de un futuro despliegue de redes 5G en la Ciudad de Buenos Aires, tomando como base para la investigación, las redes de fibra óptica ya desplegadas en las zonas más densamente.

Por otro lado, se analizará si las redes actualmente desplegadas, su topología y arquitectura, pueden ser el punto de partida para la implementación de redes 5G. Forma parte del análisis, verificar potenciales alianzas comerciales entre los distintos proveedores, respecto de las zonas de adyacencia entre redes y potenciales propuestas comerciales de arrendamiento de redes para poder ampliar las zonas de cobertura a un costo conveniente.

La metodología de investigación utilizada será la cualitativa, en donde se realizará una entrevista, se recolectará y analizará documentación relacionada a las tecnologías de fibra utilizadas en la Ciudad de Buenos Aires y su vinculación para el desarrollo del 5G. La información será obtenida de libros, documentos académicos y sitios web oficiales de compañías prestigiosas de la industria de las telecomunicaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Investigar y analizar las tecnologías y topologías de fibra óptica necesarias a implementar en la Ciudad de Buenos Aires para desplegar las redes de quinta generación.

1.4.2 Objetivos Específicos

Analizar las tecnologías PON y WDM para la implementación del 5G, conjuntamente con la topología ftx.

Conocer la metodología de despliegue de redes de fibra óptica en la Ciudad de Buenos Aires y detallar puntos relevantes al respecto. Verificar la infraestructura instalada al momento, como punto de partida para el 5G.

Detallar la relación entre la fibra óptica y las redes 5G, exponiendo las distintas posibilidades tecnológicas para construirlo.

1.5 Hipótesis

La implementación de la tecnología 5g implicará un extenso despliegue de fibra óptica y la utilización de tecnologías que permitan un uso eficiente de los recursos de red.

Capítulo 2

2 Marco Teórico

2.1 Fibra Óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que se puede utilizar para enviar información en forma de pulsos de luz. La misma está formada por un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, el cual está rodeado por un revestimiento de material similar pero con un índice de refracción ligeramente menor. El haz de luz queda completamente confinado por el fenómeno de reflexión total, ya que existe una gran diferencia entre los índices de refracción del núcleo y el revestimiento, y además, el ángulo de incidencia que se utiliza supera el ángulo crítico.

La fibra al descubierto es muy frágil, por lo que rodeando al revestimiento se coloca una cubierta plástica que brinda resistencia a factores corrosivos externos, permite manipular mecánicamente la fibra e identificarla mediante código de colores. La fuente de luz con las que se utilizan las fibras ópticas puede ser en base a tecnología láser o led.

Su amplio uso en telecomunicaciones frente a otros medios cableados, se debe principalmente a su gran ancho de banda, baja atenuación e inmunidad a las interferencias electromagnéticas. Estas características permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, aunque también pueden ser utilizadas en redes locales de poca distancia. (Krauss, 2002)

2.2 Ventajas de la fibra óptica

Una de las mayores ventajas de la fibra óptica la encontramos en su rentabilidad como medio de transporte de información, ya que cuenta con características como la alta estabilidad, baja latencia y gran escalabilidad. La fibra óptica puede transportar más información en mayores distancias y en menos tiempo que cualquier otro medio de comunicación. (Krauss, 2002)

El ancho de banda de la fibra y su capacidad en la distancia implica que se utilicen menos cables, menos repetidores, menos energía y que se realice menos mantenimiento. Además, la fibra no se ve afectada por la interferencia de radiación electromagnética, lo que hace posible transmitir información y datos con menos ruido y con menos errores. La fibra es más liviana que los cables de cobre, lo que la hace popular para su utilización en aeronaves y en el campo automotriz.

Las redes inalámbricas se utilizaban como medio de transmisión para largas distancias hasta que la fibra comenzó a estar disponible; sin embargo, las redes inalámbricas están limitadas

por las frecuencias de transmisión disponibles, por lo que se descartaron este tipo de redes como medio para largas distancias. A pesar de que las redes locales inalámbricas hayan crecido exponencialmente, éstas utilizan fibra en su red troncal. (Krauss, 2002)

Estas ventajas hacen que la utilización de la fibra sea la elección más lógica para la transmisión de datos. Los sistemas de fibra óptica tienen muchas características atractivas que lo hacen superior a los sistemas eléctricos. Éstas incluyen mejora del rendimiento del sistema, inmunidad al ruido eléctrico, seguridad de la señal, aislamiento eléctrico y mejoras de seguridad. (Krauss, 2002)

2.3 Estructura principal de la fibra óptica

Según se puede observar en la figura 1, la fibra óptica está compuesta por los siguientes elementos:

Núcleo (core): Es el centro de la fibra a través del cual se transmite la luz.

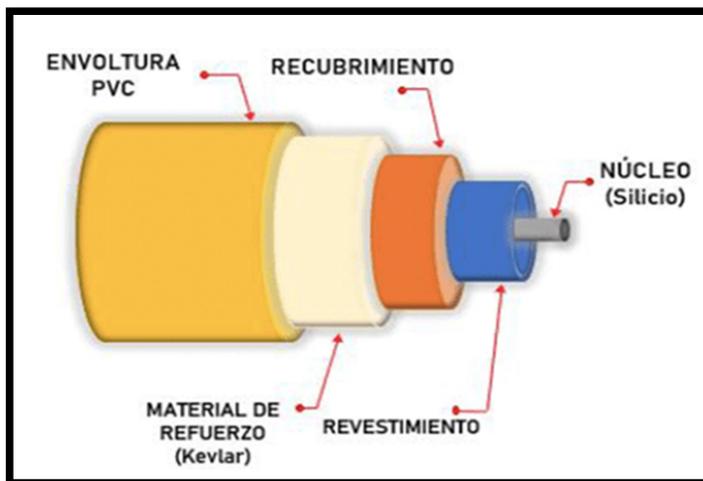
Revestimiento (cladding): Es la capa óptica exterior de la fibra que mantiene la luz en el núcleo y la conduce a través de él, incluso en curvas.

Funda primaria (buffer) o recubrimiento: Es el recubrimiento exterior de plástico resistente que protege al vidrio de la fibra de la humedad o del daño físico. Este recubrimiento es el que quitamos al realizar la terminación o el empalme.

Acrilato (Coating): película delgada que colorea la FO para su identificación.

Figura 1

Componentes de una fibra óptica



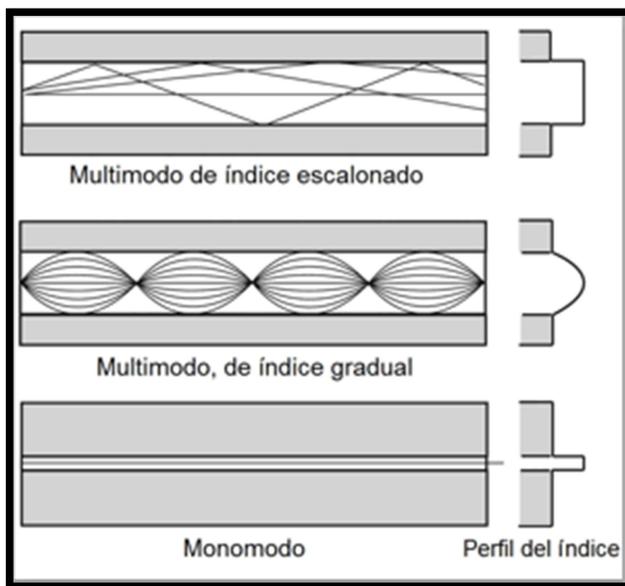
Nota. Adaptado de *estructura interna de la fibra óptica*, por Andrés Fandiño, 2021, Sisutelco <https://sisutelco.com/inspeccion-y-limpieza-de-conectores/>

2.4 Fibra monomodo y multimodo

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo. El “modo” es un único patrón del campo electromagnético que viaja a través de la fibra, como si fuera un rayo de luz. La fibra multimodo posee un núcleo mayor, casi siempre de 50 a 62.5 micrones, se utiliza con fuentes láser o led a longitudes de onda que van de 850 a 1300 nm para instalaciones en distancias cortas como redes de área local (LAN) o cámaras de seguridad. La utilización de este tipo de fibras no deben superar los 20km. La fibra monomodo posee un núcleo más pequeño, de solamente 8-9 micrones, por lo que sólo transmite un modo. Esto le permite atravesar largas distancias a gran velocidad, por lo que es utilizada para redes metropolitanas. Utiliza fuentes láser a 1310-1550 nm, y las distancias aproximadas que puede cubrir son del orden de los 200km, según utilización de Amplificadores ópticos. En la figura 2 se pueden observar las diferencias básicas en el transporte de la luz para cada tipo de fibra. (Fiber Optic Association, 2021)

Figura 2

Fibra Óptica Monomodo y Multimodo



Nota. Adaptado de Guía Referencia FOA, The Fiber Optic Association, 2021, Sisutelco https://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm

2.5 *Redes Ópticas Pasivas*

2.5.1 *¿Qué es una red óptica pasiva?*

Una red óptica pasiva (Passive Optical Network de sus siglas PON) es una red de fibra óptica que emplea una topología de punto a multipunto. Está compuesta por divisores ópticos (splitters) para transmitir datos de un punto único de transmisión a varios puntos finales de usuario. En este contexto, decimos que es “pasiva” debido a la ausencia de alimentación eléctrica de la fibra y los componentes de la red. (Viavi Solutions, 2021). A diferencia de una red óptica activa, esta utiliza suministro eléctrico únicamente en los puntos de envío, donde se encuentra la OLT (Optical Line Terminal) y recepción, donde se encuentra la ONT (Optical Node Terminal). Desde el punto de vista financiero, esto genera una gran eficiencia en los costos operativos. Las redes ópticas pasivas se emplean para transmitir, de forma simultánea, señales en dirección ascendente y descendente, desde y hasta los puntos finales de usuario. (Viavi Solutions, 2021).

Las redes PON se basan en 4 componentes principales. En primer lugar, como equipo corazón de la red, encontramos a la OLT (Optical Line Terminal). Un dispositivo terminal para conectar un troncal de fibra. Se puede conectar al switch frontal (capa de agregación) mediante un cable de red y convertirlo en una señal óptica. La fibra óptica está interconectada con el divisor óptico en el extremo del usuario. Se implementan el control, la gestión y el alcance desde la ONU del equipo de usuario. En la figura 3 podemos observar un equipo OLT del proveedor Huawei. Es un equipo que se instala en un rack (oficina central) y está compuesto por placas madre que alimentaran a toda la red pon instalada en campo. (NSS SA, 2018)

Figura 3

Optical Line Terminal



*Nota. Adaptado de Huawei OLT, Huawei, 2022,
<https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access>*

En el extremo opuesto de la red, en casa del cliente, se instalara como equipo terminal una ONT (Optical Node Terminal). Es el equipo de la última milla que realiza la recepción de la señal óptica y se encarga de aportar el servicio al usuario. En la figura 4, podemos observar un equipo ONT del proveedor ZTE, en su versión F680 con 6 antenas incorporadas. Esta versión soporta las bandas de 2.4 y 5.8 Ghz para cobertura Wifi. El equipamiento entrega 4 puertos LAN (Local Area Network) gigabit ethernet. Para su instalación, puede estar apoyado sobre una superficie plana, o bien, puede estar amurado a una pared. (NSS SA, 2018)

Figura 4

Optical Node Terminal



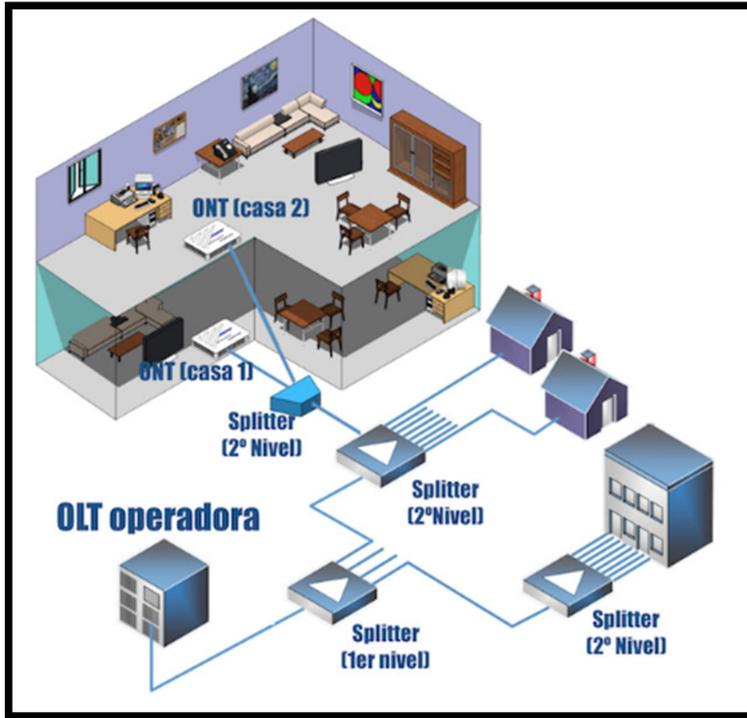
Nota. Adaptado de *ONT ZXHN680*, ZTE, 2021,
<https://www.zte.com.cn/global/products/access/Smarthome/ONT/ZXHN-F680>

El medio de transporte de información para las redes pon es la fibra óptica. Ya descripta en el punto 2.1.3 de este capítulo. Dentro de la red pon, se pueden instalar distintos tipos de fibra: troncales de red de 288 o 144 pelos, subtroncales de 48 a 24 pelos y, por último, llegando a casa del cliente, cables de fibra de un pelo. El 4 componente de la red es el divisor óptico o splitter. Es el elemento encargado de dividir las señales para poder abastecer varios puntos a través de un solo pelo de fibra. Es un elemento pasivo, que se puede instalar en varios puntos de la red, dependiendo los cálculos de pérdida óptica para la red que el ingeniero haya diseñado. En la figura 5 podemos observar un esquema reducido, aunque completo, donde podemos observar la ubicación y conexión de cada elemento de la red pon. Para el caso de este esquema, tenemos una red con 2 niveles de divisores o splitters, pero esto puede variar según la pérdida calculada y la longitud de la red a cubrir. Por supuesto, con mayores niveles de división en la red, se pueden alcanzar mayor cantidad de usuarios finales, por eso es importante insistir en el concepto del cálculo de la red, de modo de hacer un

balance eficiente entre la división de pelos de fibra óptica y la pérdida en db (decibeles) o atenuación de la señal óptica para poder entregar un servicio óptimo a cada usuario final. (NSS SA, 2018)

Figura 5

Arquitectura PON



Nota. Adaptado de *Arquitectura de redes PON*, Wispro, 2021,

<https://doc.cloud.wispro.co/docs/implementacion-de-wispro-en-redes-gpon-ftth-y-eoc>

La fibra óptica y los divisores son los bloques realmente pasivos de las redes PON, dado que no requieren suministro eléctrico. Los divisores ópticos (splitter) no seleccionan longitudes de onda, sino que simplemente dividen las longitudes de onda de la gama óptica en dirección descendente. La división de una señal óptica aporta una pérdida de potencia que depende del número de vías en las que se divide una señal. Los divisores no requieren refrigeración alguna ni ningún otro mantenimiento continuo propio de los componentes de las redes activas (como los amplificadores ópticos) y pueden durar durante décadas si permanecen intactos. Además de los componentes pasivos, se requieren dispositivos finales activos para crear una red PON. (Viavi Solutions, 2021)

El OLT (Optical Line Terminal) es el punto de partida de la red pasiva. La función principal del OLT es convertir, entamar y transmitir señales para la red PON y coordinar la multiplexación del terminal de red óptica (ONT) para la transmisión ascendente compartida.

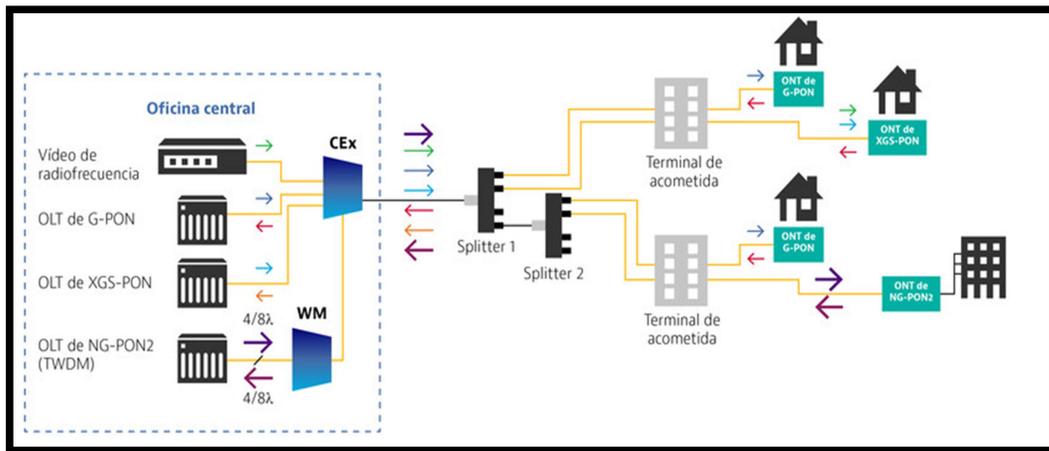
Es posible que también se haga referencia a los dispositivos de usuario final como unidad de red óptica (ONU). Esto responde simplemente a una diferencia terminológica entre los dos principales organismos normalizadores: el ITU-T, que emplea el término ONT, y el IEEE, que usa el término ONU. Ambos términos son intercambiables, pero el uso de uno u otro dependerán del servicio de la red PON y de la norma que se utilice. El ONT es el dispositivo eléctrico del sistema de red óptica pasiva en el lado del usuario. (Viavi Solutions, 2021)

2.5.2 Principio de funcionamiento PON

La tecnología PON trabaja compartiendo la capacidad entre los equipos terminales de los usuarios, para lo que necesita utilizar dos longitudes de onda, una para el canal ascendente (1490nm) y otra para el descendente (1310nm), según la tabla de la figura 7. La distancia máxima del enlace, entre la OLT y la ONU, no puede superar los 20 kilómetros. (Viavi Solutions, 2021). Las señales que transmite la fibra alimentadora pueden dividirse para prestar servicio hasta 256 usuarios con una ONU o un ONT que convierta las señales y proporcione a los usuarios acceso a Internet, esto último representado en la figura 6. El número de vías en las que se divide la señal del OLT descendente antes de llegar al usuario final se conoce como relación de segmentación o de splitter (por ejemplo, 1:32 o 1:64). (Viavi Solutions, 2021)

Figura 6

Esquema Red Óptica Pasiva



Nota. Adaptado de *Red Óptica Pasiva*, Viavi, 2021, <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>

Figura 7

Longitudes de Onda

G-PON		XGS-PON		NG-PON2	
Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente
→ 1490 nm	← 1310 nm	→ 1578 nm	← 1270 nm	→ 1596-1603 nm	← 1528-1540 nm
→ 1550 nm					

Nota. Adaptado de *Red Óptica Pasiva*, Viavi, 2021,

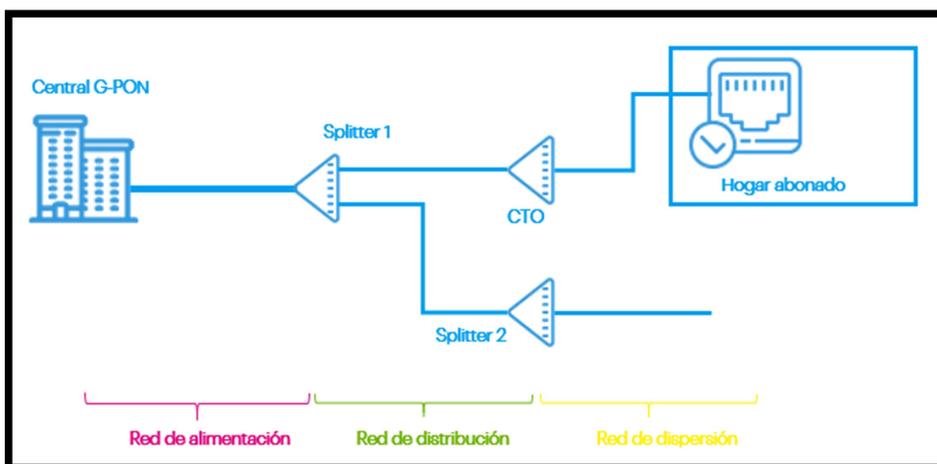
<https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>

2.5.3 Topología redes PON

La red PON (Passive Optical Network) está dividida en 3 segmentos. En primer lugar, tenemos la red de alimentación. Es tramo de red que une a la oficina central con el primer nivel de división de la red, unido por un troncal de fibra óptica de 288 o 144 pelos. En la parte intermedia de la estructura de la red, encontramos el tramo de distribución. Es la fibra óptica que va desde el primer nivel de división de la red hasta el segundo nivel de división, que generalmente es una CTO (caja terminal óptica). Y por último, tal como podemos ver en el esquema de la figura 8, aparece el tramo de red de dispersión. Es la fibra óptica que une el CTO hasta la ONT ubicada en el abonado, comúnmente llamada última milla. (NSS SA, 2018)

Figura 8

Redes Acceso, Distribución y Dispersión



Nota. Adaptado de *La importancia de los despliegues de FTTH*, por Alberto Gonzalez, 2019, NAE, <https://nae.global/es/la-importancia-de-los-despliegues-ftth-en-espana/>

Hasta aquí hemos visto la arquitectura y los esquemas de la red pon, con sus componentes fundamentales, pero nos resta revisar los componentes físicos de la red de planta externa que resguardan los elementos descriptos anteriormente.

El primer elemento de red que podemos encontrar en la planta externa es el domo. Es la caja de empalme principal que recibe las fibras de la red de acceso (RA). Es la frontera con la red de distribución (RD). Allí se encuentra el primer nivel de división de fibras (splitter). En la figura 9, podemos ver una caja de empalme tipo domo abierta y lista para conectar las fibras del primer nivel de división. (NSS SA, 2018)

Figura 9

Caja empalme tipo Domo



Nota. Adaptado de *Furukawa Electric (e-commerce)*, 2022, Furukawa, <https://www.furukawatam.com/es/catalogo-de-productos-detalles/caja-de-empalme-optico-aplicables-en-vias-aereasubterranea---fk-ceo-4m>

Por otro lado, tenemos la Caja terminal óptica (CTO), es el elemento que alberga las fibras provenientes de la red de distribución. Allí se encuentra el segundo nivel de división de fibras (splitter) y desde este punto se conectarán los cables de fibra individuales para cada abonado. En la figura 10 podemos observar una caja terminal óptica de 16 posiciones. Esto significa que desde dicho terminal, vamos a poder conectar 16 cables de fibra para abastecer a la misma cantidad de abonados. Este es solo un ejemplo, ya que podemos encontrar CTO con más posiciones disponibles y esto dependerá de la extensión de la red calculada. (NSS SA, 2018)

Figura 10

Caja terminal óptica



Nota. Adaptado de *Furukawa Electric (e-commerce)*, 2022, Furukawa, <https://www.furukawatam.com/es/catalogo-de-productos-detalles/caja-de-terminacion-optica-cto-pre-conectorizada-fk-ctop>

Por último, vamos a describir a los componentes de red que se encargan de dividir los pelos de fibra, llamados divisores ópticos. Como dijimos en párrafos anteriores, lo más común en una red pon es encontrar 2 niveles de divisores, pero esto dependerá, pura y exclusivamente, del cálculo realizado por ingeniería para la construcción y la escalabilidad en el tramo de red. En la figura 11 podemos observar un divisor óptico de 1x16. Los divisores ópticos son componentes pasivos que realizan la división de la señal óptica. Se componen de dos fibras de entrada y N fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica de forma proporcional entre ellas, caracterizándolas como splitters balanceados. Se utilizan principalmente en redes ópticas FTTx / PON y en redes HFC (TV por cable). (NSS SA, 2018)

Figura 11

Divisor Óptico



Nota. Adaptado de *Furukawa Electric (e-commerce)*, 2022, Furukawa, <https://www.efurukawa.com/ar/p/cto-1x16-cable-flat/prod980001>

2.5.4 Evolución de la tecnología PON

La banda ultra ancha y la coexistencia con las tecnologías existentes son los requisitos de las redes para la evolución directa de PON. Los operadores de todo el mundo buscan aumentar los ingresos desarrollando servicios que consumen ancho de banda. En un futuro próximo, nuevos modelos de negocio, como la edición de videos domésticos, juegos en línea, aprendizaje electrónico interactivo, servicios médicos remotos, aumentará drásticamente el ancho de banda demandado. El despliegue de PON (Passive Optical Network) generalmente implica inversiones iniciales considerables y un lento retorno de la inversión (ROI). La implementación de la ODN (red de distribución óptica) representa el 76% de las inversiones totales en redes FTTH totalmente nuevas, mientras que las unidades de redes ópticas (ONU) representan el 21%. Proteger las inversiones aprovechando las redes existentes es esencial para los operadores. (Huawei, 2010)

Luego de las recomendaciones del ITU (Unión internacional de telecomunicaciones) y FSAN (Full Service Acceso Network Group) sobre gpon, continuaron los estudios sobre las NG-PON y se definió la primera fase, como sistemas que ofrecen bajos costos, gran capacidad, amplia cobertura, interoperabilidad con la tecnología existente. Los miembros del

FSAN y del ITU también están de acuerdo en que a largo plazo la evolución de PON se verá impulsada por nuevos escenarios, si la coexistencia con el legado los sistemas no son necesarios. Además de las PON de multiplexación por división de tiempo (TDM), también podrían tenerse en cuenta otras tecnologías para NG-PON. (Huawei, 2010)

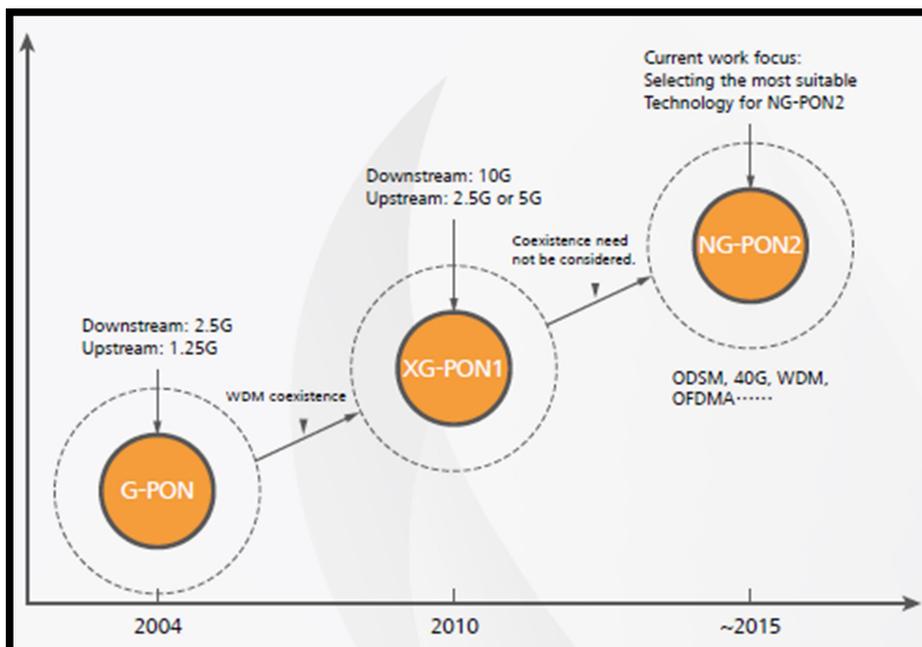
Basado en las demandas actuales de las aplicaciones y la madurez tecnológica, FSAN divide las NG-PON en dos fase: NG-PON1 y NG-PON2. NG-PON1 es una actualización a medio plazo, que es compatible con el legacy ODN de GPON. NG-PON2 es una solución a largo plazo que se puede implementar sobre nuevos ODN, independientemente de los estándares GPON. La selección de NG-PON1 en FSAN es un compromiso entre tecnología y costo. Los operadores requieren que los sistemas NG-PON1 tengan una mayor capacidad, mayor alcance, mayor ancho de banda y más usuarios. Los operadores requieren que NG-PON1 aproveche el uso de las ODN existentes para poder controlar los costos. (Huawei, 2010)

Además, impulsadas por los servicios, las demandas de ancho de banda descendente superan las de ancho de banda ascendente. Por lo tanto, FSAN decidió definir NG-PON1 como un sistema asimétrico 10G con tasas de 10G aguas abajo y 2.5G aguas arriba. El sistema NG-PON1 seleccionado es esencialmente un TDM PON mejorado de GPON. A diferencia de NG-PON1, existen varios tipos de tecnologías prospectivas que pueden ser adoptadas para NG-PON2. Entre las tecnologías, se sugirió mejorar la tasa a 40G desde 10G siguiendo la tecnología TDM (Time división Multiplexing. El segundo método es el empleo de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) PON para lograr un acceso de 40G. (Huawei, 2010).

En la figura 12, podemos ver la evolución de la tecnología, conforme al paso del tiempo. Resulta muy importante esta evolución ya que, hoy en día, la mayoría de las redes desplegadas tienen aplicada la tecnología gpon, y esto significa que, para adaptarla a las redes 5G deberíamos realizar un upgrade de GPON a NG-PON 2 de manera que sea posible soportar el ancho de banda y la potencia necesaria para alcanzar este estándar. Recordemos que el 5G maneja velocidades de gigabits por usuario, lo que supone un gran consumo de ancho de banda, y para ello, indefectiblemente, la tecnología PON debe seguir el camino de la evolución constante, que permita escalabilidad en el tiempo.

Figura 12

Evolución tecnología PON



Nota. El gráfico representa la evolución de la tecnología PON según el paso de los años.

Muestra el upgrade en capacidades de ancho de banda según la evolución. Tomado de *Next Generation Pon Evolution (p. 3)*, 2010, por Huawei.

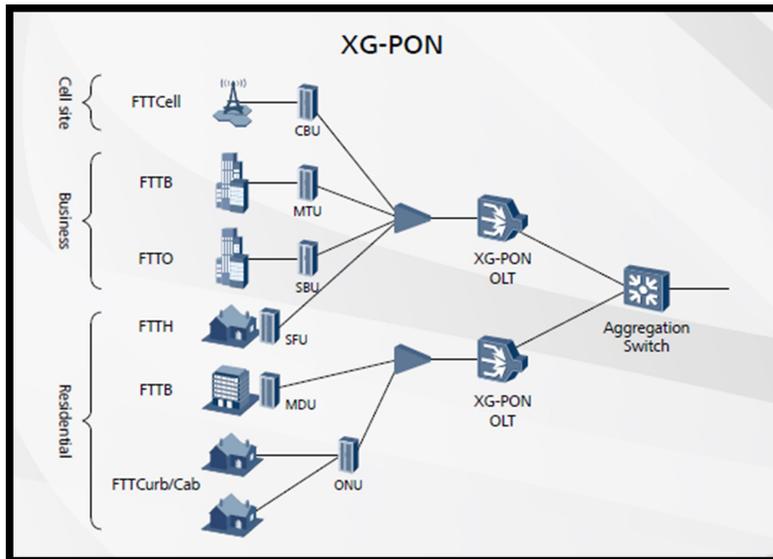
2.5.5 Arquitectura para la Coexistencia y evolución

La tecnología XG-PON1 es una mejora de GPON. Hereda el punto a multipunto (P2MP) de GPON y es capaz de admitir diversos escenarios, como fibra hasta el hogar (FTTH), fibra hasta la celda (FTTCell), fibra al edificio (FTT) y fibra al gabinete (Gabinete FTTC). Los escenarios de aplicación de XG-PON1 se muestran en la figura 13. (Huawei, 2010)

La tecnología XG-PON1 coexiste con GPON sobre el mismo ODN, protegiendo así las inversiones de operadores en GPON. Como se indica en las especificaciones de la capa física XG-PON1, la longitud de onda ascendente / descendente de XG-PON1 es diferente a la de GPON. Se logra la compatibilidad entre XG-PON1 y GPON implementando WDM en el flujo descendente y WDMA en el flujo ascendente. Es decir, se implementa un WDM1r en la oficina central y se implementa un WBF (Wavelength Blocking Filters) en el lado del usuario, que podría estar ubicado dentro de una ONU, entre una ONU y un divisor óptico, o en un divisor óptico, para multiplexar o demultiplexar longitudes de onda en múltiples señales en direcciones aguas abajo y aguas arriba. (Huawei, 2010)

Figura 13

Escenarios tecnología XG-PON



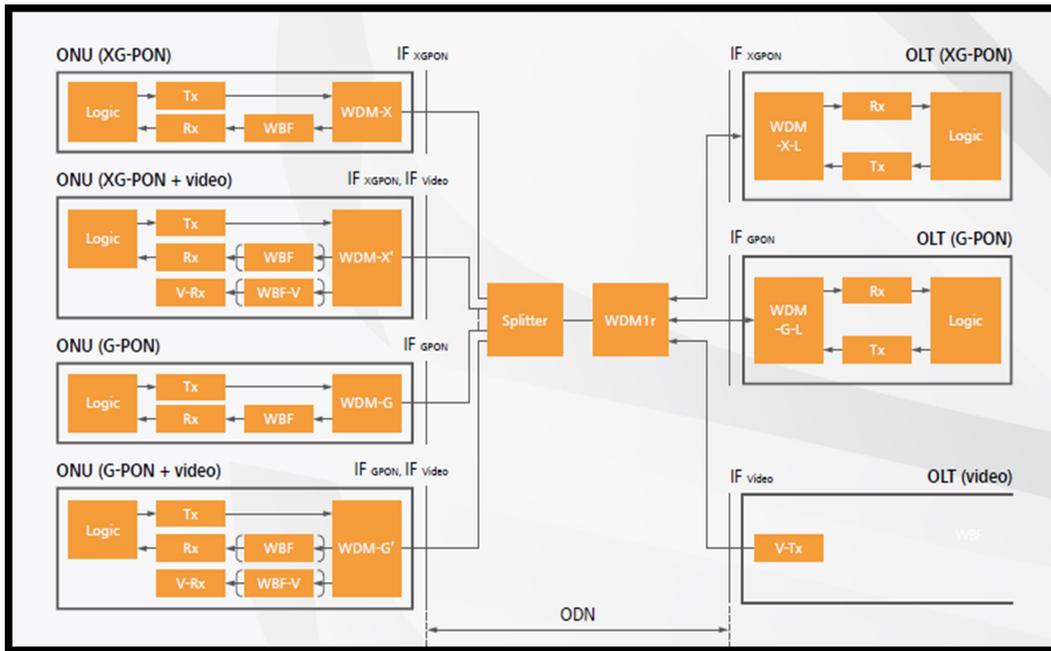
Nota. El gráfico representa los distintos escenarios que se adaptan a la tecnología PON.

Tomado de *Next Generation Pon Evolution* (p. 5), por Huawei, 2010.

La coexistencia de GPON y XG-PON1 se muestra en la figura 14. ITU y FSAN han propuesto dos escenarios de evolución a Greenfield y Brownfield. Los escenarios greenfield no tienen implementaciones de fibra óptica preexistentes. Por lo tanto, son escenarios que pueden usar XG-PON1 para reemplazar las redes de cobre antiguas. Son redes que se crean con el despliegue de nuevos sistemas PON. (Huawei, 2010)

Figura 14

Coexistencia XGPON y GPON con DWDM



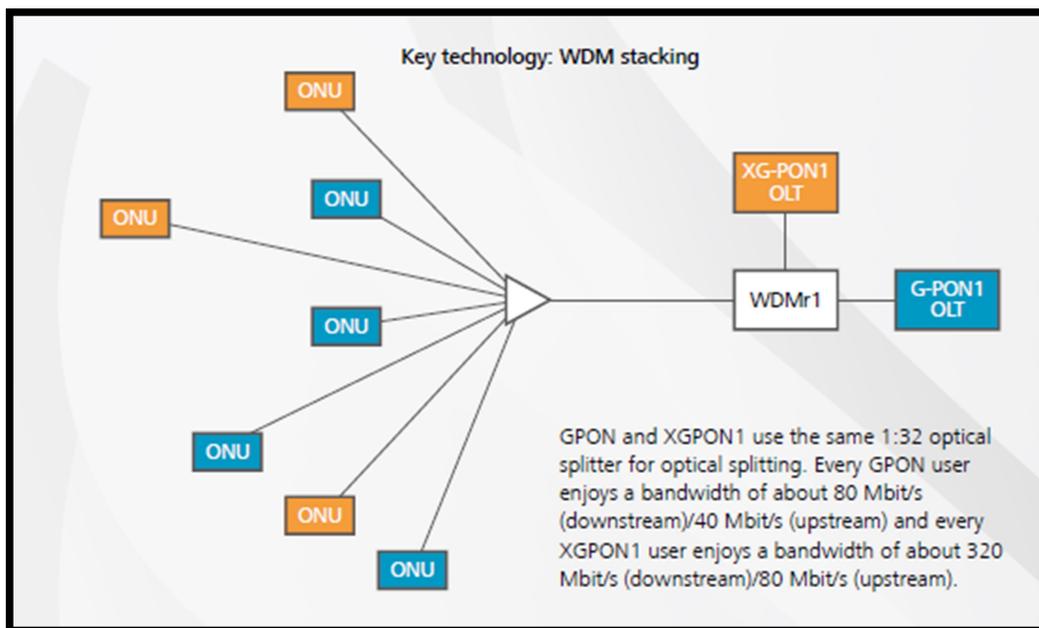
Nota. El gráfico muestra la coexistencia de la tecnología PON con la tecnología WDM.

Tomado de *Next Generation Pon Evolution* (p. 6), por Huawei, 2010

Los escenarios brownfield (coexistencia con implementaciones existentes) utilizan el despliegue de redes GPON preexistentes. Como el requisito de ancho de banda aumenta considerablemente, los operadores pueden actualizar las ONU sobre el ODN, lote por lote, o todo en una vez al migrar a XG-PON1. La selección entre estos dos tipos de actualizaciones se decide en base al tiempo que coexistirán las tecnologías GPON y XG-PON1 en el mismo ODN. (Huawei, 2010)

Figura 15

Coexistencia XGPON y GPON



Nota. El gráfico muestra la coexistencia de la tecnología XG-PON y GPON con la tecnología WDM. Tomado de *Next Generation Pon Evolution* (p. 7), por Huawei, 2010

2.5.6 WDM – PON en redes 5G

La tecnología 5G está madurando aceleradamente y existe una gran expectativa respecto de su implementación a gran escala. Se espera que las estaciones 5G sean dos o tres veces más numerosas que las que actualmente existe para el 4G. Si todas las conexiones entre las centrales de acceso y las antenas son a través de fibra, la cantidad de fibra necesaria aumentará diez veces. Eso implica realizar obras civiles de envergadura y enormes inversiones. (Huawei, 2019)

Las redes PON son una tecnología de red que se pueden utilizar para abordar los desafíos de implementación de fibra. Se puede utilizar un diseño WDM-PON para separar unidades de red óptica (ONU), como el que se puede observar en la figura 16, en varias conexiones virtuales punto a punto sobre la misma infraestructura física, una característica que permite un uso eficiente de la fibra en comparación con la conexión de fibra directa punto a punto y ofrece una latencia más baja que las tecnologías basadas en TDM. Un beneficio notable de esta tecnología es el alto ancho de banda, la baja latencia y el ahorro de fibra. (Huawei, 2019)

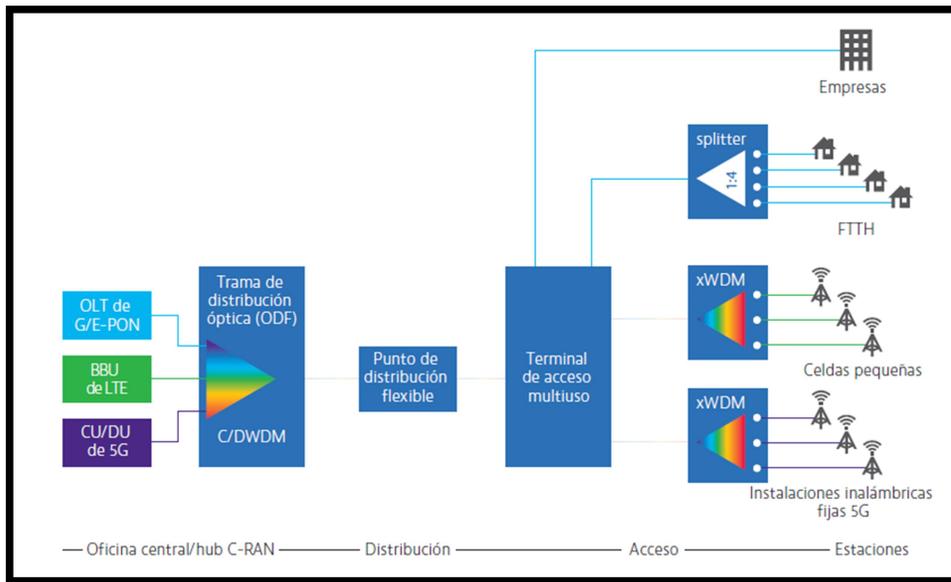
El fronthaul 5G basado en la tecnología WDM-PON de 25 Gbps tiene, como principal ventaja técnica, un gran ancho de banda de 25 Gbps por longitud de onda, que puede

evolucionar sin problemas a 50 Gbps en el futuro. Por otro lado, tiene hasta 20 pares de longitudes de onda en una sola fibra troncal. La tecnología ONU incolora permite una asignación de longitud de onda flexible y un enrutamiento de longitud de onda.

En el futuro, una ONU del tipo SFP (small form-factor pluggable transceiver) se puede insertar directamente en la AAU (Active Antena Unit) para una fácil instalación. (Huawei, 2019)

Figura 16

Fronthaul 5G basado en WDM-PON



Nota. La figura representa una red Fronthaul WDM-PON con servicios 5G adaptados en la misma topología. Tomado de *Fibra óptica en redes 5G* (p. 2), por CommScope, Viavi Solutions, 2020.

2.6 Tecnología WDM

2.6.1 Principios Tecnología WDM

La tecnología WDM se basa en la multiplexación de distintas longitudes de onda sobre una única fibra. Cada longitud de onda puede ser tratada como un canal óptico por el que se puede transmitir información. Para que no haya interferencias entre canales ópticos se definen grillas de canales determinando el espaciamiento que se debe adoptar entre longitudes de onda. (Krauss, 2002)

El estándar define espaciamientos para dos tipos de tecnología:

- a) CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)
- b) DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

En la tecnología CWDM el estándar ITU-T G.694.2 define un espaciamiento de al menos 20nm entre longitudes de onda, lo que permite construir sistemas utilizando componentes que no requieren tanta precisión. Los sistemas que aplican esta tecnología utilizan la porción de espectro electromagnético que va de 1270 a 1610nm. La utilización de componentes de menor precisión hace que sean sistemas económicos comparados con DWDM. Sin embargo, admiten solamente 16 canales ópticos, la capacidad de información por cada canal es baja y no son aptos para establecer enlaces de larga distancia. (Krauss, 2002)

Para la tecnología DWDM el estándar existente es el ITU-T G.694.1, el cual define varios tipos de espaciamientos, especificados en frecuencias. Se encuentran definidos espaciamientos fijos de 12.5GHz, 25GHz, 50 GHz, 100GHz y, recientemente, se ha incorporado la opción de una grilla flexible donde se permiten espaciamientos variables. (Krauss, 2002)

Los sistemas actuales que aplican esta tecnología utilizan las porciones de espectro electromagnético denominadas Banda C (1529.16-1560.61nm) y Banda L (1570.42-1603.57nm). Lógicamente, estos sistemas requieren el uso de componentes muy precisos para su fabricación, lo que los hace más costosos. Sin embargo, hoy en día los sistemas DWDM soportan hasta 40, 80 o 160 canales ópticos sobre una misma fibra, brindan gran capacidad de información sobre cada canal y resultan aptos para enlaces de larga distancia. Todas estas ventajas lo posicionan como la tecnología WDM por preferencia. (Krauss, 2002)

En estos sistemas, cada portadora óptica forma un canal óptico que puede ser tratado independientemente del resto de los canales que comparten el medio (fibra óptica), pudiendo contener entre ellos diferentes tipos de tráfico. El hecho de ser canales puramente ópticos brinda la capacidad de transparencia, lo que permite el uso de distintos formatos y protocolos de transmisión sobre una misma red DWDM, convirtiéndola en una red multiservicio. (Krauss, 2002)

En TDM, el ancho de banda es asignado durante una determinada porción de tiempo a cada tráfico. En FDM, se asigna una determinada porción de espectro a cada tráfico, que podrá hacer uso del mismo en cualquier tiempo. (Krauss, 2002)

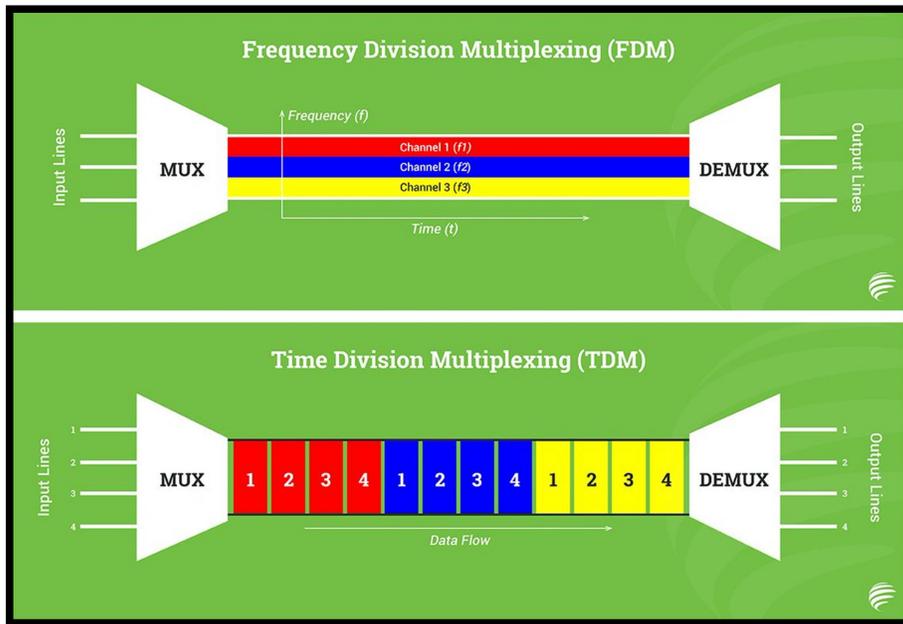
La técnica de multiplexación DWDM se asemeja bastante a FDM, ya que se asigna una porción de espectro a cada tráfico, con la diferencia de que el ancho de banda de cada

canal es muy superior al de FDM. En DWDM, existe una relación entre una determinada longitud de onda y su frecuencia dada por: $\lambda = c/f$

Donde c corresponde a la velocidad de la luz en el vacío y es equivalente a 300000 km/s, y f corresponde a la frecuencia de la portadora DWDM medida en Hz. En la figura 17 se muestran las diferencias en los conceptos TDM, FDM y DWDM. (Krauss, 2002)

Figura 17 Multiplexación

TDM-FDM



Nota. Tomado de *Understanding Multiplexing in Telecommunications*, Carritech, 2018.

<https://www.carritech.com/news/understanding-multiplexing-telecommunications/>

2.6.2 Diagrama general de un sistema DWDM tradicional

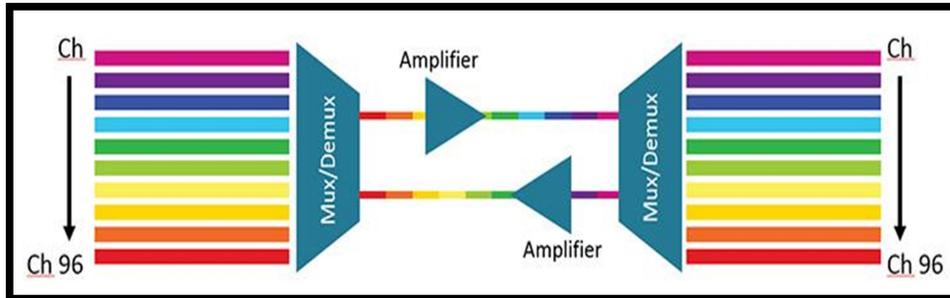
En la figura 18 puede apreciarse el esquema general de un sistema DWDM bidireccional tradicional. En uno de los extremos y en el sentido de transmisión, un canal óptico, por ejemplo el TX1, es multiplexado con los demás canales ópticos en un MUX. Los canales ópticos multiplexados, luego pasan por una etapa de amplificación de potencia óptica y son enviados finalmente a través de la fibra hacia el otro extremo. Dependiendo de la distancia, y debido a la atenuación que pudiera presentar la fibra, podría ser necesario agregar etapas de amplificación intermedias. (DWDM, Buelvas Peñarredonda, Téllez Silva, & Mateus, 2009)

En el extremo contrario, previa amplificación de la señal recibida, los canales ópticos son demultiplexados y el canal óptico RX1 recuperado en forma individual a través de un DEMUX. Por cuestiones de simplicidad, se ha obviado incluir en este esquema, compensadores de dispersión y regeneradores que podrían ser necesarios para eliminar otros

efectos indeseados en la fibra. (DWDM, Buelvas Peñarredonda, Téllez Silva, & Mateus, 2009)

Figura 18

DWDM Tradicional



Nota. Tomado de *La transmisión óptica: Camino al 5G*, Huawei, 2020, <https://forum.huawei.com/enterprise/es/la-transmisi%C3%B3n-%C3%B3ptica-el-camino-hacia-5g/thread/644485-100243>

DWDM no es tan sólo una técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino, más bien, una tecnología robusta de backbone, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones, sin necesidad de hacer nuevos tendidos de fibra. (DWDM, Buelvas Peñarredonda, Téllez Silva, & Mateus, 2009)

2.6.3 Componentes de los sistemas DWDM

En la figura 19 se puede apreciar un esquema de los principales componentes que pueden llegar a presentarse en un sistema DWDM.

a) **Multiplexores y demultiplexores ópticos (DWDM Mux / Demux):** Son los encargados de realizar la multiplexación y demultiplexación de los canales ópticos. En esencia, se trata de filtros ópticos que pueden estar implementados en base a distintas tecnologías (Filtros de capa delgada, filtros de Bragg, Arrayed Waveguide Grating)

b) **Amplificadores ópticos:** Son los encargados de realizar la amplificación de potencia óptica de todos los canales transmitidos sobre la fibra. Realizan una amplificación puramente óptica, lo que también se denomina regeneración tipo 1R, o sea, solamente brindan regeneración por amplificación. En cuanto a la tecnología que se utiliza para implementar estos amplificadores existen de dos tipos:

Los EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), son generalmente más utilizados. Luego, los Raman, utilizados en casos especiales. Brindan mayor potencia.

c) **Transponders:** La principal función de los transponders es adaptar la señal cliente ó tributaria a la grilla de canales ópticos adoptada por el sistema DWDM que se esté utilizando. Esta tarea se realiza mediante técnicas de modulación digitales de la señal entrante, convirtiendo la señal de óptico a eléctrico, realizando el proceso necesario para transportar la señal cliente y volviendo a convertirla a una señal óptica que se encontrará en una cierta frecuencia de la grilla utilizada. (Kartalopoulos, 2000)

La conversión de óptico a eléctrico, y de eléctrico a óptico le otorga a los transponders la capacidad de regenerar señales eléctricamente. Este proceso suele ser necesario en ciertos casos donde la señal está tan degradada que no alcanza solamente con amplificarla ópticamente. (Kartalopoulos, 2000)

En la jerga se dice que un transponder se puede utilizar para realizar regeneración del tipo 2R (retiming and amplification: re-temporización y amplificación) ó 3R (retiming, reshaping and amplification: re-temporización, re-formateo y amplificación). (Kartalopoulos, 2000)

d) **Regeneradores:** Son terminales dedicados exclusivamente a realizar la regeneración eléctrica de la señal, o sea del tipo 3R (retiming, reshaping and amplification). Para realizar esta tarea primero deben demultiplexar la señal en los canales ópticos que se deseen regenerar, luego hacer pasar dichos canales por transponders para realizar la conversión óptica – eléctrica – óptica y, finalmente, volver a multiplexar todos los canales ópticos en una única señal de salida hacia la fibra. (Kartalopoulos, 2000)

e) **Multiplexores ópticos Add/Drop (OADM: Optical Add/Drop Multiplexers):** Son terminales que tienen la capacidad de agregar o quitar determinados canales ópticos de las señales que están siendo transportadas por la fibra, sin necesidad de realizar una conversión óptica- eléctrica de las señales. La inserción o extracción de una determinada señal no afecta a las demás que están pasando por la fibra. La extracción e inserción de canales se puede realizar en base a distintos tipos de técnicas y tecnologías. (Kartalopoulos, 2000)

f) **Cross-conectores ópticos (Optical crossconnect - OXC):** Son terminales que consisten en un conmutador matricial de fibras ópticas de dimensión $M \times N$, donde M es el número de fibras de entrada y N el de fibras de salida. La conmutación de las señales desde las fibras de entrada a las fibras de salida se realiza en forma completamente óptica, sin ningún tipo de conversión óptica- eléctrica. La función básica de un OXC es conmutar longitudes de onda de una fibra a otra a gran velocidad, lo que podría utilizarse por ejemplo para restaurar el tráfico en caso de fallas en la fibra. (Kartalopoulos, 2000)

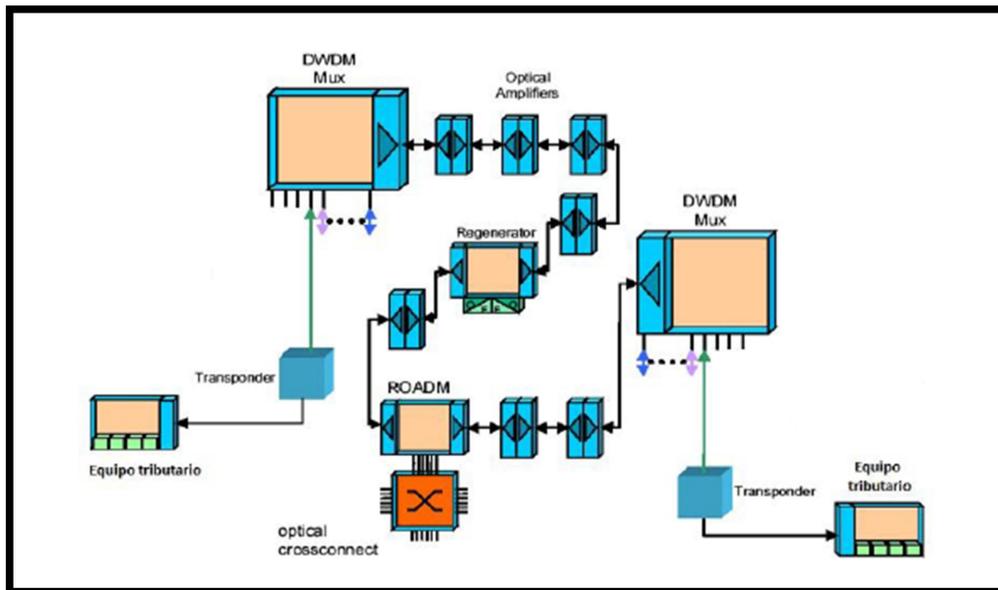
Un OXC tiene la capacidad de realizar las siguientes tareas:

- 1) Conmutación de fibras (Fiber switching)
- 2) Enrutar todas las longitudes de onda que provienen de una fibra entrante hacia cualquier fibra de salida.
- 3) Conmutación de longitudes de onda (Wavelength switching)
- 4) Enrutar una determinada longitud de onda desde una fibra de entrada hacia otra de salida
- 5) Conversión de longitud de onda

Enrutar una determinada longitud de onda desde una fibra de entrada hacia una fibra de salida pero cambiando la frecuencia en la fibra de salida. (Kartalopoulos, 2000)

Figura 19

Componentes DWDM



Nota. Tomado de *Introduction DWDM technology* (p. 177), por Stamatios Kartalopoulos, 2000, Ed. Jhon Wiley & Sons

2.6.4 Tipos de equipos en sistemas DWDM

Dentro de un sistema DWDM pueden existir distintos tipos de equipos formados por combinación de los componentes ya vistos, dependiendo principalmente del tipo de topología de red que se esté utilizando. A continuación se dará un detalle de algunos de los equipos que se pueden encontrar en un sistema DWDM.

Equipo terminal de línea óptico (OLT – Optical Line Terminal):

Este equipo suele colocarse en los extremos de enlaces punto a punto, o en lugares donde se agregan o extraen por completo los canales ópticos que están sobre la fibra. Siendo

un equipo de una única dimensión, puede realizar la multiplexación y demultiplexación de señales cliente en una única dirección de fibra. Los componentes principales de un OLT son transponders, multiplexores, demultiplexores y, opcionalmente, amplificadores locales y compensadores de dispersión. (Krauss, 2002)

Equipo amplificador de línea óptica (OLA – Optical Line Amplifier):

Suelen colocarse en puntos intermedios de un enlace cuando se requiere compensar las pérdidas de potencia óptica generadas por la atenuación de la fibra. Son equipos dedicados exclusivamente a realizar una amplificación óptica de las señales que están siendo transportadas por la fibra, sin realizar ningún tipo de regeneración eléctrica. Dependiendo las necesidades de compensación de atenuación y dispersión, los componentes que pueden formar este tipo de equipo son amplificadores ópticos de erbio (EDFA), amplificadores ópticos raman y compensadores de dispersión. (Krauss, 2002)

Equipo multiplexor óptico Add/Drop fijo (FOADM - Fixed Optical Add/Drop Multiplexer):

Estos equipos se pueden encontrar en topologías de red tipo anillo, por lo que pueden actuar en dos dimensiones de fibra a la vez. Permiten realizar la extracción o agregación de longitudes de onda específicas en el punto de la fibra donde se encuentran ubicados, sin interferir con las demás longitudes de onda que pasan de largo. Cabe destacar que la extracción y agregación se realiza en forma puramente óptica, sin ningún tipo de conversión a eléctrico. (Krauss, 2002)

Los componentes fundamentales de estos tipos de equipos son los OADM, que se obtienen básicamente colocando dos equipos OLT espalda contra espalda. También pueden incluir amplificadores locales, compensadores de dispersión y transponders si se necesita realizar la conexión a un equipo tributario. (Krauss, 2002)

Equipo multiplexor óptico Add/Drop reconfigurable (ROADM - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer):

El uso principal de estos tipos de equipos se da en topologías de red tipo malla, donde cada equipo puede actuar en tres o más dimensiones de fibra a la vez. Estos equipos permiten realizar las funciones de extracción y agregación de longitudes de onda de un OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) en cualquier dimensión y, además, poseen la funcionalidad de un OXC (Optical cross-connect), pudiendo enviar una longitud de onda de una fibra entrante a cualquier fibra saliente, ya sea manteniendo la frecuencia original o realizando el cambio a una nueva frecuencia si hiciera falta. (Krauss, 2002)

Los componentes fundamentales de estos equipos son los OADM y OXC. También pueden incluir amplificadores locales, compensadores de dispersión y transponders si se necesita realizar la conexión a un equipo tributario. (Krauss, 2002)

2.6.5 Cross-Conexión óptica

La cross-conexión de canales es una función clave en muchos de los sistemas de comunicaciones existentes. Básicamente, cuando hablamos de cross-conexión nos referimos a la posibilidad de realizar una conexión entre un circuito cualquiera de entrada y otro de salida en forma configurable. Tradicionalmente, las cross-conexiones se realizaban en forma electrónica mediante circuitos especiales dedicados, que permitían interconectar miles de entrada y salidas. Para poder llevar a cabo una cross-conexión en una red óptica, primero era necesario realizar la conversión de los canales de óptico a eléctrico, cross-conectar los canales en forma electrónica y luego volver a convertir los canales de eléctrico a óptico. (Kartalopoulos, 2000)

El concepto de las nuevas redes ópticas, como es el caso de DWDM, es poder realizar las cross-conexiones completamente en el dominio óptico, sin llevar a cabo conversiones de óptico a eléctrico y viceversa. Para estas redes ópticas, los canales vienen representados por las posiciones que ocupan las longitudes de onda en la grilla de canales normalizada del ITU-T, por lo que al hablar de cross-conexión completamente óptica básicamente hablamos de la interconexión entre longitudes de onda que se encuentran entre un circuito de entrada y otro de salida. En la actualidad, existe tecnología capaz de realizar cross-conexiones completamente ópticas, aunque todavía no se ha alcanzado la madurez de desarrollo que posee la tecnología electrónica. Los principales desafíos que enfrenta actualmente la tecnología óptica respecto de la electrónica son el bajo número de entradas y salidas que se pueden cross-conectar, la probabilidad de bloqueo de circuitos y la reconfiguración dinámica de conmutación entre los mismos. Sin embargo, sus ventajas son la posibilidad de manejo de grandes anchos de banda a un costo menor que las electrónicas, por lo que su futuro en cuanto a desarrollo es prometedor. El dispositivo encargado de realizar la cross-conexión o conmutación de longitudes de onda en las redes ópticas actuales se denomina Wavelength Selective Switch (WSS). (Kartalopoulos, 2000)

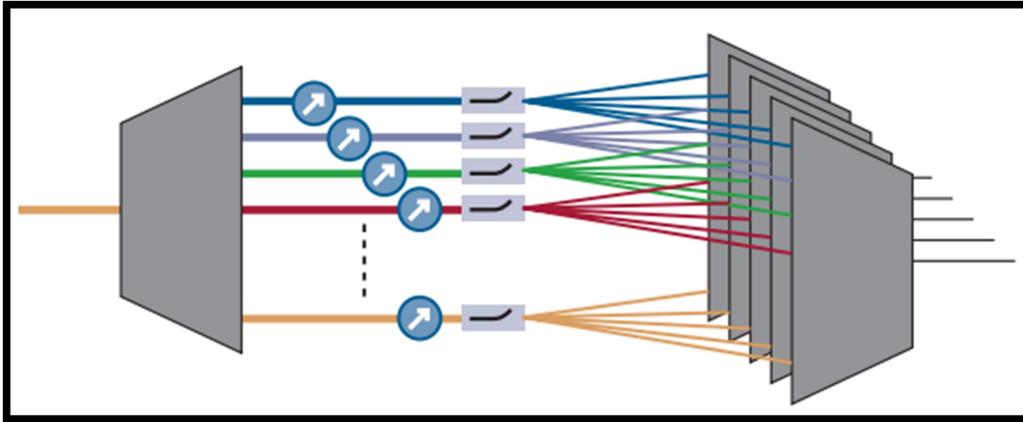
2.6.6 Conmutador selectivo de longitudes de onda

Los WSS se han convertido en el dispositivo principal dentro del desarrollo de nodos de red ópticos DWDM reconfigurables dinámicamente (ROADM). Estos dispositivos son capaces de conmutar dinámicamente, bloquear o atenuar cualquiera de las longitudes de onda

sobre un nodo de red DWDM. En la figura 20 se puede apreciar un diagrama funcional de un WSS. (Kartalopoulos, 2000)

Figura 20

Diagrama funcional de un WSS



Nota. Tomado de *Roadm and Wavelength Selective Switches*, Viavi Solutions (2019), <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/roadm-and-wavelength-selective-switches-application-notes-en.pdf>

Un WSS consiste de un puerto óptico común de entrada y N puertos de salida enfrentados, donde cada longitud de onda DWDM en la entrada del puerto común puede ser conmutada o ruteada a cualquiera de los N puertos de salida, no pudiendo estar presente en más de un puerto de salida. La funcionalidad de un WSS es ópticamente bidireccional, ya que si se inyecta al mismo tiempo la misma longitud de onda en N puertos de salida, solamente podrá pasar una de dichas señales hacia el puerto común, mientras que las demás resultan bloqueadas. El proceso de conmutación o ruteo de las longitudes de onda puede ser cambiado en forma dinámica a través de una interfaz electrónica de comunicación sobre el WSS. Dentro de un WSS también hay un mecanismo de atenuación variable independiente por cada longitud de onda, lo que permite realizar control y ecualización de potencia sobre cada canal. (Viavi Solutions, 2019)

2.6.7 Láser sintonizable

Otro avance tecnológico que permitió la evolución de las redes ópticas hacia la conmutación de longitudes de onda en el dominio totalmente óptico lo constituye el láser sintonizable basado en semiconductores. Su uso en ROADMs es clave para poder realizar la conversión entre longitudes de onda que se necesita en redes ópticas reconfigurables automáticamente. Además, otra importante ventaja de este desarrollo es que al poder usarse un láser de este tipo para cubrir cualquier longitud de onda dentro de la grilla de la ITU-T, la

cantidad de repuestos necesaria para cubrir fallas en la red se reduce notablemente, disminuyendo los costos operativos de mantenimiento. Existen distintos tipos de desarrollos tecnológicos que permiten fabricar láseres sintonizables para redes DWDM, sin embargo, mencionaremos dos que suelen ser los más utilizados en la actualidad. (Krauss, 2002)

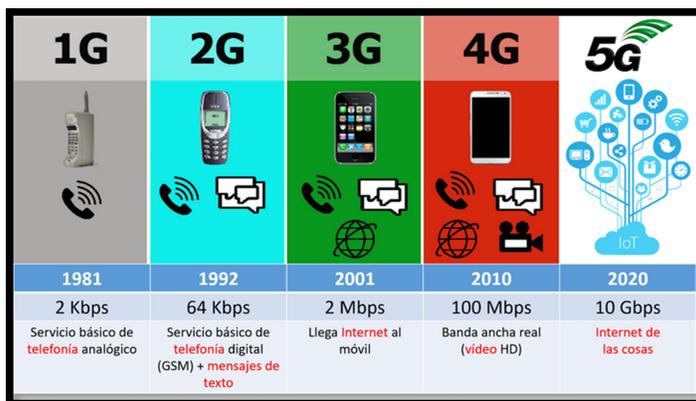
2.7 Evolución de las redes móviles

La telefonía móvil ha evolucionado radicalmente, el continuo mejoramiento de la tecnología y los millones de recursos invertidos en el sector, ha provocado un desarrollo acelerado en múltiples segmentos y servicios, lo que ha cambiado la forma de comunicarnos, generando oportunidades de negocio y creando millones de puestos de trabajo en todo el planeta. Parecería que el camino recorrido fue sencillo, pero nada más alejado de la realidad. Se han necesitado décadas de innovación, de mejora de los terminales, de redes, de software, en diseño volumen y peso. Por otro lado, los fabricantes y las operadoras sufrieron grandes adaptaciones a medida que cambiaba la tendencia de consumo. La influencia de la telefonía móvil en la tecnología actual es tan grande e importante que ha trascendido del simple dispositivo de comunicación por voz, hasta llegar a ser, hoy en día, un “asistente personal inteligente” y de uso masivo en una nueva era de movilidad.

Durante los últimos 40 años, el mundo ha sido testigo de cuatro generaciones de comunicaciones móviles. En la figura 21 se pueden observar la evolución y las capacidades, conforme al paso del tiempo. Allí se puede ver que los saltos en las capacidades de transmisión de datos son realmente enormes, lo que implica un gran desafío hacia el futuro. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

Figura 21

Evolución de las redes móviles



Nota. Tomado de 5G: Más conexiones, más rápidas y con mayor cobertura, 2020, por Carlos López Ardao, <https://theconversation.com/5g-mas-conexiones-mas-rapidas-y-con-mayor-cobertura-149577>

La primera generación de comunicaciones móviles, que surgió alrededor de 1980, estaba basada en transmisión analógica con tecnología AMPS (Advanced Mobile Phone System) desarrollada por Estados Unidos, NMT (Telefonía Móvil Nórdica) desarrollada conjuntamente por el gobierno operadores de redes de telefonía pública de los países nórdicos y TACS (Sistema de comunicación de acceso total) utilizado en el Reino Unido. Los sistemas de comunicaciones móviles basados en la tecnología de primera generación se limitaron a los servicios de voz y, por primera vez, surge la telefonía móvil, disponible para cualquier persona. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

La segunda generación de comunicaciones móviles, surgida a principios de 1990, introdujo la transmisión digital en el enlace de radio. A pesar de que el objetivo principal del servicio seguía siendo la voz, el uso de la transmisión digital permitía sistemas de comunicaciones móviles de segunda generación para proporcionar servicios de datos limitados. Inicialmente había diferentes tecnologías de segunda generación, incluido GSM (Sistema global para comunicaciones móviles) desarrollado conjuntamente por un gran número de países europeos, D-AMPS (Digital AMPS), PDC (Personal Digital Celular) desarrollado y utilizado únicamente en Japón. Luego, desarrollado en una etapa algo posterior, la tecnología CDMA IS-95. Conforme fue pasando el tiempo el GSM se extendió desde Europa a otras partes del mundo y finalmente llegó a dominar por completo la tecnología de segunda generación. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

Debido al éxito de GSM, los sistemas de segunda generación se tornaron en algo que todavía es utilizado por una porción relativamente pequeña de personas, a una herramienta de comunicación que es parte necesaria de la vida para la gran mayoría de la población mundial. Incluso hoy en día hay muchos lugares en el mundo donde GSM es la tecnología dominante y, en algunos casos, incluso la única disponible para la comunicación móvil, a pesar de la posterior introducción de tecnología de tercera y cuarta generación. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

La tercera generación para comunicaciones móviles, denominada como 3G, se introdujo a principios de 2000. Con 3G, se dio un verdadero paso hacia la telefonía móvil de calidad, habilitando la banda ancha, lo que permitió un acceso inalámbrico veloz. Este tipo de tecnología fue especialmente adoptada por la evolución 3G conocida como HSPA (High Speed Packet Access). Además, mientras que las tecnologías de comunicaciones móviles anteriores habían sido diseñadas para operar en espectro emparejado (espectro separado para red a dispositivo y enlaces de dispositivo a red) basados en FDD (división de frecuencia dúplex). (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

Ahora estamos, en la era de la cuarta generación (4G) de las comunicaciones móviles, representada por la tecnología LTE (Long Term Evolution) seguido en los pasos de HSPA (High-Speed Packet Access), proporcionando una mayor eficiencia y una experiencia sumamente mejorada de banda ancha móvil, en términos de mayores velocidades de datos alcanzables para el usuario final. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

Esto se proporciona mediante una transmisión basada en OFDM (multiplexación por división de frecuencias ortogonales) que permite mayores anchos de banda de transmisión y tecnologías de avanzada para múltiples antenas. Además, mientras que 3G permitió la comunicación móvil en un espectro no apareado mediante una tecnología específica de acceso por radio (TD-SCDMA), LTE admite funcionamiento tanto FDD como TDD, es decir, funcionamiento tanto en espectros emparejados como en no emparejados, dentro de una tecnología acceso común por radio. Mediante LTE el mundo ha convergido hacia una única tecnología global para la comunicación con dispositivos móviles, utilizada esencialmente por todos los operadores de redes móviles. (Dalhman, Parkvall, & Sköld, 2018)

Capítulo 3

3 Tecnología 5G

3.1 ¿Qué es el 5G?

Se denomina 5G a las redes móviles que utilizan tecnología de quinta generación, las cuales son capaces de conectar varios dispositivos inalámbricos a la vez para brindarles acceso a servicios de Internet y telefonía con características de velocidad y latencia muy superiores a las que utilizan las generaciones anteriores. 5G es un término que venimos escuchando hace varios años, pero que hoy es una realidad en varios países del mundo como Corea del Sur, EEUU y China, entre otros. Se trata de un ecosistema concebido para la integración masiva de dispositivos (Internet de las cosas).

En el último Congreso Mundial de Móviles, el 5G ha sido una vez más uno de los protagonistas, incluso se han podido ver algunos dispositivos comerciales preparados para operar con las nuevas redes. Sin embargo, todavía no es posible aprovechar al máximo estos dispositivos, debido a que el despliegue del 5G aún no está del todo planificado en nuestro país.

5G, la quinta generación de tecnología móvil, remodelará el mundo. Sus altas velocidades, baja latencia y las capacidades de comunicación entre equipos y máquinas, de forma masiva, transformará en realidad servicios como ciudades inteligentes y edificios, realidad virtual, ciber salud, coches autónomos y muchos otros. (Comsoft (white paper), 2019)

3.2 Características generales

La tecnología 5G tiene como objetivo revolucionar la manera en la que actualmente se vive mediante el uso de nuevas redes, con el fin de llegar al IoT (internet de las cosas) esto es, que todos los dispositivos eléctricos estén conectados a la red para poder interactuar inteligentemente. Conceptualmente, la tecnología 5G constituye una visión de un ecosistema de redes capaces de satisfacer la demanda de datos móviles proyectados hacia 2023. Es decir, esta generación va más allá de buscar mayores velocidades en la transmisión de datos, también busca un ecosistema capaz de entregar eficientemente los servicios inalámbricos entre máquinas, cosas y personas. (Sanou, 2018)

Según comenta el Ing. Fusario en una entrevista recientemente publicada en la web de la Universidad Tecnológica Nacional:

5G se destaca por incorporar innovaciones técnicas y operativas significativas respecto a la tecnología actual 4G. En lo concerniente a las prestaciones de acceso a la red de Internet, tienen que ver con el incremento notable de la velocidad de transmisión de datos, reducción de la y aumento significativo de la cantidad de dispositivos conectados simultáneamente a la red. 5G constituye, sin lugar a dudas, la tecnología emergente más importante en el campo de las comunicaciones por internet sin cable. (Ing. Dr. Fusario, 2021).

En las redes 4G la latencia es de 30 a 50 milisegundos, mientras que en 5G oscila entre 1 y 3 milisegundos, lo que permite que se pueda enviar y recibir gran cantidad de datos casi de manera instantánea, “esta característica es relevante para las aplicaciones en tiempo real, como es el caso de una cirugía remota donde el cirujano puede controlar al robot que ejecuta la operación a miles de kilómetros de distancia en tiempo real. (Ing. Dr. Fusario, 2021)

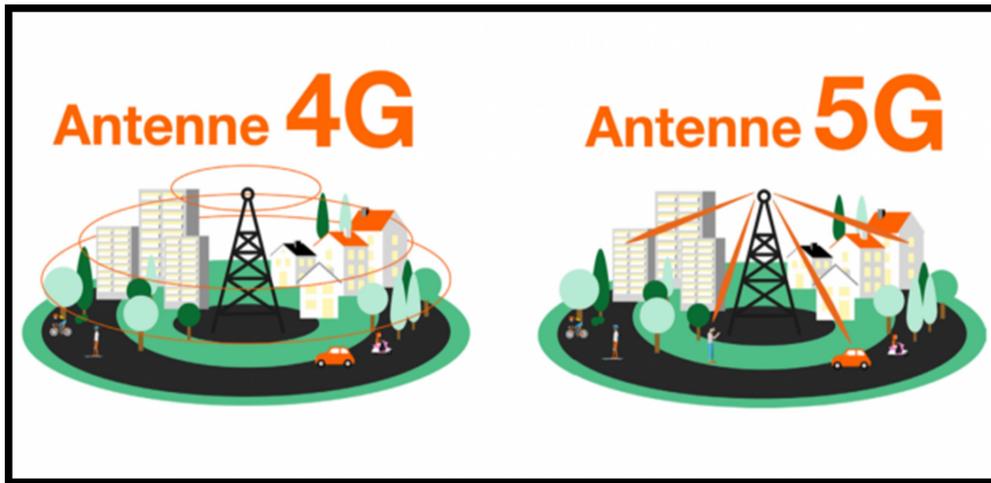
(Universidad Tecnológica Nacional, 2021)

A continuación se detallan los aportes más significativos de la tecnología 5G:

Volumen asombroso: Debido a la ampliación del espectro, ondas milimétricas y la densificación de células para poder llegar más lejos y con más potencia. Además, una mayor eficiencia en el uso del espectro, antenas avanzadas con tecnología MIMO. En la figura 22 se puede observar la diferencia de irradiación de la señal entre una antena 4G y una 5G. Notese la diferencia en el espectro de irradiación de la señal. Las antenas para la 4ta generación tienen mayor alcance pero, indefectiblemente, eso tiene aparejado menor potencia en la señal. En cambio, con el sistema MIMO utilizado para la 5ta generación, tendremos mayor cantidad de antenas, irradiando muy puntualmente las zonas, obteniendo una potencia mucho mayor en la conectividad. Es cierto que el alcance es menor, es por ello que se utilizan mayor cantidad de antenas.

Figura 22

Esquema comparativo antenas 4G vs 5G



Nota. Tomado de 5G, 2022, por Orange, <https://radio-waves.orange.com/es/redes-y-estaciones-base/5g/>

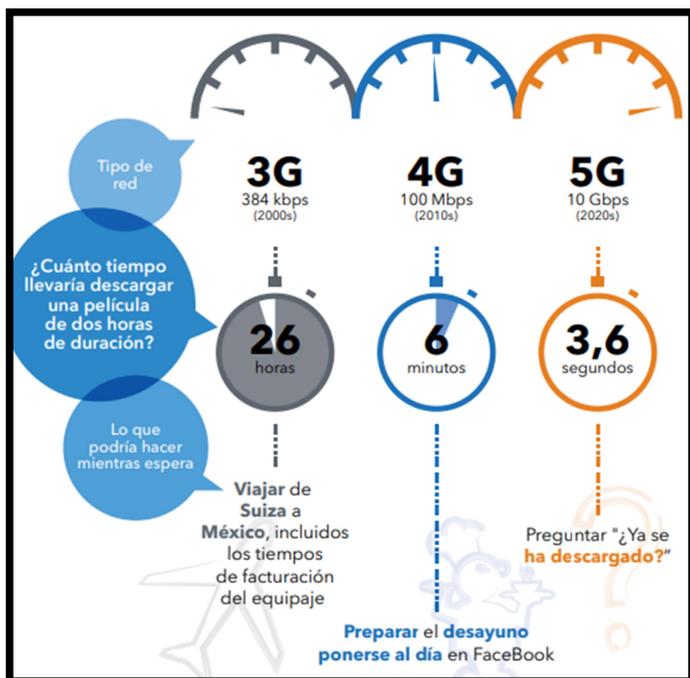
Máxima velocidad: Mientras que con la tecnología 4G, actualmente, se pueden alcanzar velocidades de transmisión de datos del orden de los 100Mbps, con las redes de 5ta generación se podrán alcanzar velocidades de 10Gbps que permitirá descargar gran cantidad de datos en solo segundos, cuando antes la misma descarga demandaba varios minutos y hasta horas. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Para tener un punto de comparación y poder dimensionarlo, las velocidades serian superiores a las que nos ofrece al día de hoy la fibra óptica. Por lo tanto, la transferencia de datos en un móvil conectado a una red de quinta generación sería mucho más veloz que a lo que estamos acostumbrados hoy en día.

En términos más coloquiales, esto implica que cualquier comunicación con Internet será casi inmediata gracias a la baja latencia y en conjunto con las altas velocidades que ofrecerá. Tal como se observa en la figura 23, cargar una página web en el móvil o laptop debería ser prácticamente lo mismo que abrir una foto de la galería de nuestro teléfono, algo prácticamente inmediato. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Figura 23

Comparativo velocidad de descarga 3G vs 4G vs 5G



Nota. Tomado de *Abriendo Sendas hacia 5G*, 2017, por Houlin Zhao, UIT,

https://www.itu.int/en/itu/news/Documents/2017/2017-02/2017_ITUNews02-es.pdf

Siempre conectado: La combinación de 4G, 3G, Wi-Fi, y el nuevo acceso radioeléctrico para crear una red de acceso radioeléctrico integrada y dinámica permitirán 100% de conexión para los usuarios, mediante mecanismos de gestión de la conectividad. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Baja latencia: La latencia es el tiempo que tarda en transferirse un paquete de datos dentro de la red, el tiempo que dura en llegar una acción desde que la realizas hasta que se finaliza. Actualmente, existen latencias ya de por sí reducidísimas, pero el 5G promete bajarlas al extremo, entre 1 y 2 milisegundos. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Eficiencia energética: Las redes 5G ayudarán a incrementar la eficiencia energética en los sectores de transporte, industria y hogar, en apoyo a la reducción de emisiones de cara al combate del Cambio Climático. Con respecto al sector industrial, permiten la optimización del consumo energético. El apoyo se da en la gestión inteligente de la energía, con mediciones inteligentes en los sistemas de red, supervisiones vía el Internet de las Cosas (IoT) y analítica con base en soluciones de Inteligencia Artificial (IA), con el fin de implementar acciones determinadas, como el apagado de maquinaria específica o en una

mayor escala, la gestión de la infraestructura inteligente a nivel ciudad. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Las cadenas de suministros se fortalecen mediante la revisión continua de los productos, así como de los vehículos y de las instalaciones a lo largo de la cadena. En este sentido, se puede implementar una gestión inteligente en el traslado de vehículos que transporten personas y mercancías, para reducir desplazamientos innecesarios. Además, las redes 5G mejoran el teletrabajo, lo que optimiza el espacio físico en oficinas y también disminuye desplazamientos, También hará su aporte en la referido a la gestión inteligente de la energía en edificios. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Todo lo anterior se realiza mediante la fusión del 5G de alta velocidad y baja latencia con la inteligencia artificial y el machine learning, además del uso de la nube de datos. Teniendo esto en conjunción, todo dispositivo móvil inteligente que se vincule al IoT contribuye al mundo de la hiperconectividad para que el usuario sea capaz de gestionar su propio gasto energético. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

Según un estudio de la consultora McKinsey, cuatro cuestiones en donde las redes 5G vendrán a revolucionar el rubro de la fabricación. De entrada, se tiene el control de máquinas en la Nube, con la virtualización de los controladores lógicos programables (PLC) tradicionales, lo que posibilita el control de las máquinas de forma inalámbrica y en tiempo real, reduciendo los costos operativos. El segundo punto es la Realidad Aumentada, que apoya la instrucción del recurso humano en innovaciones autónomas como robots. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

El tercer punto es la visualización perceptiva de la inteligencia artificial en las plantas de producción, con la transmisión de datos en tiempo real a la Nube, con la implementación de videos en directo, para disminuir potenciales errores o mudas de tiempo y actividades, lo que supone ahorros energéticos. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Un cuarto punto es la toma de decisiones a alta velocidad con 5G, con un rápido procesamiento de grandes cantidades de datos en tiempo real. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

La tecnología 5G será de gran impacto para el sector de transportes en la materia de sostenibilidad. Las posibilidades para este rubro en particular son varias, como las mediciones de las tasas de congestión en las ciudades, la electrificación del transporte público y las eficiencias logísticas y operativas. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Redes flexibles y programables y seguras: El 5G permitirá que las Redes estén definidas por software, con la posibilidad de virtualizar las funciones de red. Por otro lado, permitirá la

separación de la arquitectura funcional respecto de la infraestructura física subyacente. Todo esto será posible mediante interfaces de programación de aplicaciones. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

3.3 Impacto económico y social en el mundo

Se espera que las redes de comunicaciones móviles de quinta generación sean disruptivas en casi todos los sectores laborales y ecosistemas de todo el mundo, ya que el despliegue de estas tecnologías permite incorporar más robótica y automatización, lo que aumenta la productividad en donde se despliegan los servicios. Si bien la definición de tecnología 5G aún no está estandarizada, la falta de definiciones formales no ha desalentado el interés, la inversión o las declaraciones de implementaciones en todo el sector de las telecomunicaciones. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Antes de la primera fase de normalización, que se espera que se complete en 2021, el mundo académico y los operadores han comenzado a mostrar algunas de las capacidades clave de 5G a través de pruebas y casos comerciales. Las empresas se centran en nuevos esquemas de transmisión de interfaz aérea, bandas de frecuencia más altas y tecnologías de antenas avanzadas como massive MIMO (Multiple-input Multiple-output) (en español, Múltiple entrada múltiple salida). (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Expertos en la materia predicen que las implementaciones comerciales a gran escala comenzarán en 2022 y estiman que las redes 5G generarán casi \$ 250 mil millones en ingresos por servicios para 2025. El cambio radical que se espera del despliegue de redes 5G solo puede ocurrir con una mano de obra suficientemente capacitada para diseñar, instalar y monitorear estas redes. Más adelante, las implementaciones de 5G requerirán otros nuevos conjuntos de habilidades, a medida que las industrias adapten su fuerza laboral para explotar cambios impulsados por la adopción de esta nueva tecnología. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Los usuarios de las redes LTE (4G) de cuarta generación, hoy en día, exigen más ancho de banda para poder realizar streaming, realidad aumentada, juegos on line y muchas otras aplicaciones que sugieren un consumo muy superior al actualmente disponible. Los servicios de banda ancha se transformaron en un bien de uso básico para los hogares. Por otro lado, según un informe de la compañía Ericsson, emitido en el año 2019, el consumo de datos en los teléfonos inteligentes se espera que crezca al menos entre 6 y 26 Gigabytes por mes, en los próximos cinco años. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Mientras que los operadores de redes móviles están experimentando el mayor consumo de datos a través de sus redes desde el inicio de la tecnología, los ingresos de ese

consumo no se están viendo reflejados del mismo modo. Es por ello que los operadores buscan nuevas formas de beneficiarse a través de sus redes, y 5G abre la capacidad para ofrecer nuevas aplicaciones y servicios. Una nueva generación de aplicaciones, desde Internet de las cosas (IoT), la conducción autónoma de autos y la realidad virtual, mucho más temprano que tarde estará en uso. Casi todas las industrias y sectores laborales se verán afectados, mejorando o modificando de una u otra manera. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

La automatización generará un cambio disruptivo en todas las industrias. Se espera que cambien las habilidades de los recursos humanos a medida que las personas se adapten a la nueva realidad. Por ejemplo, los vehículos autónomos podrían desestimar la necesidad de conductores de camiones. Sin embargo, según un reporte de la consultora Accenture (EEUU): Se podrían crear hasta 3 millones de puestos de trabajo para el despliegue de redes inalámbricas 5G. La implementación de la tecnología de quinta generación podría aumentar en \$500 mil millones el producto bruto interno (PBI) de los EEUU. Accenture divide su estimación de creación de empleo 5G dentro de dos categorías. Según la investigación, se espera que la industria inalámbrica invierta hasta \$275 mil millones en 5G durante siete años, una inversión que generaría alrededor de 850.000 puestos de trabajo en EEUU, incluidos puestos de trabajo en proveedores y compañías asociadas a la tecnología. Además, predice que se crearán 2,2 millones de puestos de trabajo adicionales, lo que aumentaría el PIB en \$420 mil millones. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

El informe también señala que 5G podría proporcionar banda ancha de alta velocidad al 5 por ciento de los estadounidenses que actualmente no tienen acceso. Si las localidades adoptan 5G y los ciudadanos que aún no están en línea se vuelven usuarios, se podrían crear 850.000 puestos de trabajo adicionales y se podría impulsar el PIB \$90 mil millones. Esto debido a que las conexiones a internet más rápidas, permiten a los usuarios utilizar aplicaciones de video para teletrabajo, o participar en cursos de e-learning que les brinden un conjunto de habilidades o certificaciones adicionales, aumenta su empleabilidad y poder adquisitivo, por lo tanto crea una fuerza laboral más competitiva. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

A medida que el ecosistema de telecomunicaciones establecen estándares para 5G, es evidente que los principales cambios en la implementación de la nueva tecnología requerirán nuevas habilidades para implementar y operar la nueva red, por ejemplo: técnicas de retorno, esfuerzos de densificación y nuevo espectro traído al mercado. Específicamente, se necesitará capacitación y educación en las siguientes áreas: Principios y fundamentos de RF. Espectro

de onda milimétrica. Productos de acondicionamiento de RF en torres existentes. LTE y LTE-Avanzado. Concepto de reutilización de células pequeñas y frecuencia de densificación. Virtualización de funciones de red (NFV). Redes definidas por software (SDN). Comprensión básica de los requisitos de conectividad para Internet de las cosas (IoT). Transmisión y operación de sistemas MIMO y MIMO masivo. C-RAN (Redes de acceso de radio centralizadas) y virtualización celular. (Wireless Infrastructure Association, 2018)

Según comenta Houlin Zhao (Secretario General de la UIT) en el documento “Abrir Sendas hacia el 5G”:

Las mejoras que introducirá esta nueva tecnología se podrán visualizar en una mejor atención de la salud, ciudades más inteligentes y procesos de fabricación mucho más eficientes. Todo esto será posible en tanto y en cuanto avancemos hacia la era de la “Internet de las Cosas” con toda una gama de soluciones innovadoras que se estén impulsando en la economía moderna. En efecto, pronto los sistemas 5G inteligentes serán indispensables para satisfacer la demanda de miles de millones de personas, que están consumiendo cada día cantidades crecientes de vídeos que requieren un uso intensivo de los datos. 5G aportará velocidades de transmisión mucho más rápidas, una conectividad fiable y baja latencia para las telecomunicaciones móviles internacionales. (Houlin Zhao, 2017)

Todo esto es muy necesario en nuestro nuevo ecosistema de comunicaciones mundiales de dispositivos conectados, que envían grandes volúmenes de datos a través de la banda ancha ultrarrápida. En estas fases iniciales de desarrollo de 5G hay una gran oportunidad para aplicar las enseñanzas extraídas de experiencias pasadas en el proceso de creación de los sistemas 3G y 4G/LTE. (Union Internacional Telecomunicaciones, 2017)

3.4 5G en Argentina

Uno de los eventos más importantes para el país se llevó a cabo entre el 13 y el 15 de Marzo 2021. El ENACOM convocó a las empresas más grandes en infraestructura de red mundial, para realizar demostraciones sobre la tecnología 5G en nuestro país. Telecom se presentó conjuntamente con Huawei, como su principal partner. Por otro lado, Nokia y Ericsson cerraron el círculo prestigioso.

Entre otras cosas, en los stands montados por las empresas, los asistentes pudieron observar el funcionamiento de la tecnología 5G tanto en redes comerciales como de laboratorio, experimentar los beneficios de la realidad aumentada en programas educativos y conocer las aplicaciones que se están desarrollando para programas de telemedicina, entre otras actividades. (Enacom, 2021)

Cabe destacar que por primera vez en Latinoamérica, un ente regulador reúne a tres de los principales exponentes del ecosistema de las telecomunicaciones, para presentar el potencial tecnológico que representa el 5G. Este acontecimiento marca un hito en la articulación entre el sector público y el privado, y refuerza el camino emprendido por la región para reducir la brecha digital y consolidar el crecimiento económico con desarrollo. (Enacom, 2021)

Pero este no fue el único evento realizado en Argentina. Anteriormente, en Junio de 2019, Telecom Personal y su partner Huawei realizaron la primera prueba pública de 5G sobre la red móvil. Durante la demostración, se obtuvieron velocidades de 1.8Gbps de pico en la red, y de 700 Mbps en un solo terminal lo que la convierten en un caso único en el país y todo Sudamérica hasta el momento. Esta es la segunda demostración de 5G que realiza Telecom. En 2018 la empresa concretó una prueba junto a otro de sus partners tecnológicos, aunque a diferencia de esta, esa experiencia fue realizada en un entorno controlado, esta nueva demo está montada en forma directa sobre la actual red móvil de Personal, ya preparada para la evolución a 5G. (FiberCorp Telecom, 2019)

Es sumamente importante para nuestro país y para la región en general que se siga avanzando a paso firme con las pruebas y la más rápida implementación posible, ya que es una tecnología clave para la industria. En línea con esto último, según el Ingeniero Rubén Fusario, especialista en el área de redes y docente de la UBA y la UTN expresa que:

El futuro de la industria Argentina es trabaja con 5G. Pero el camino hacia esta tecnología es complicado en la región. La realidad económica de Latinoamérica es sumamente compleja, aún más con la pandemia por el coronavirus aún vigente. Resulta difícil pensar que cualquiera de las empresas anteriormente mencionadas, puedan realizar una inversión fuerte en tecnología sin saber con precisión cual será el retorno de la inversión. Se estima que se necesitará una inversión entre 30 y 50 % superior a la que se emplea para desplegar la tecnología 4G. Por otro lado, la tecnología 5G consume entre dos y tres veces más energía que la 4G y además el costo de mantenimiento es superior al de las tecnologías 3G y 4G. Es por ello que la implementación de esta tecnología se experimenta fundamentalmente en países donde está vigente la economía de mercado (Ing. Rubén Fusario, 2021). (Universidad Tecnológica Nacional, 2021)

3.5 *Sistemas MIMO*

La tecnología MIMO (entrada múltiple, salida múltiple) masiva puede abarcar cientos e incluso miles de antenas, incrementado así las velocidades de datos y soportando la

formación de haces, lo que resulta esencial para una transmisión de potencia eficaz. La tecnología MIMO masiva potencia la eficiencia espectral y, unida a la instalación densa de células pequeñas, ayudará a los operadores a satisfacer el exigente requisito de capacidad de las redes 5G.

(Sanou, 2018)

3.6 La fibra óptica y el 5G

Además del incremento del tráfico de datos por el usuario, vamos a tener un incremento por el tráfico entre dispositivos (maquina a máquina), y este es el punto donde emerge el desarrollo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones, siendo las redes 5G lo más relevante al momento. Según datos de la GSMA (organización de operadores móviles y compañías relacionadas), en el Congreso Mundial de Móviles, realizado en Marzo 2021 en Barcelona, donde la tecnología 5G fue uno de los temas principales, se estima que para el año 2025 habrá alrededor de 1.200 millones de conexiones en todo el mundo. Por otro lado, se pudo visualizar un adelanto del significado concreto que tendrán las redes 5G en áreas tales como salud, educación, transporte y otros servicios públicos. Esta tecnología permitirá multiplicar por diez la velocidad de descarga de datos respecto de la tecnología 4G, llegando arriba de los 10 Gigabits por segundo, con una gran disminución en la latencia (el tiempo de demora en la transmisión de datos), punto clave para el avance en la puesta en marcha de autos autónomos y sistemas de seguridad. (Furokawa, 2018)

Las exigencias de este nuevo mundo súper conectado e inteligente no solo son mayor ancho de banda y velocidad, sino también lograr una disminución en la latencia, es decir, crear verdaderas autopistas digitales, que harán posible que un inmenso volumen de datos sean procesados en tiempo real y se conviertan en información útil para tomar rápidas y mejores decisiones. En este punto es donde emerge con gran fuerza la fibra óptica, cuyas cualidades para cumplir con esos objetivos están fuera de discusión. (Furokawa, 2018)

Lo expresado en el párrafo anterior se demuestra en el creciente interés sobre la fibra óptica, considerada como un elemento indispensable para soportar las nuevas necesidades de las empresas, ciudades y países que quieran tomar ventaja en las telecomunicaciones de próxima generación. Esto es tangible incluso a nivel de Latinoamérica, en donde vemos fuertes inversiones e iniciativas públicas y privadas relacionadas con fibra óptica. (Furokawa, 2018)

Por lo tanto, no es exagerado decir que la tecnología 5G tendrá su “autopista” construida sobre la fibra óptica. En efecto, la topología de las redes 5G considera una mayor densidad en estaciones radio base, lo que prevé un mayor uso de fibra óptica para las

conexiones de todas las celdas y micro celdas. Por ejemplo, una red 4G que tiene una celda para 26km². En cambio, para el 5G se estiman 60 micro celdas para cubrir 2,5km². (Furokawa, 2018)

Es decir que, para apoyar la implementación del 5G vamos a necesitar de mucha fibra óptica, aplicando nuevas tecnologías como DWDM y PON, que permiten el transporte de varias longitudes de onda en un solo pelo de fibra. Pero más allá de los aspectos técnicos específicos, las redes 5G y la fibra óptica deben entenderse como sinónimo de autopista digital e inversión inmediata. La capacidad, fluidez y seguridad con la que dotemos hoy la infraestructura de telecomunicaciones de nuestro país, sin dudas, posicionara positiva o negativamente, nuestro liderazgo en el mundo inteligente y la sociedad híper conectada del mañana. (Furokawa, 2018)

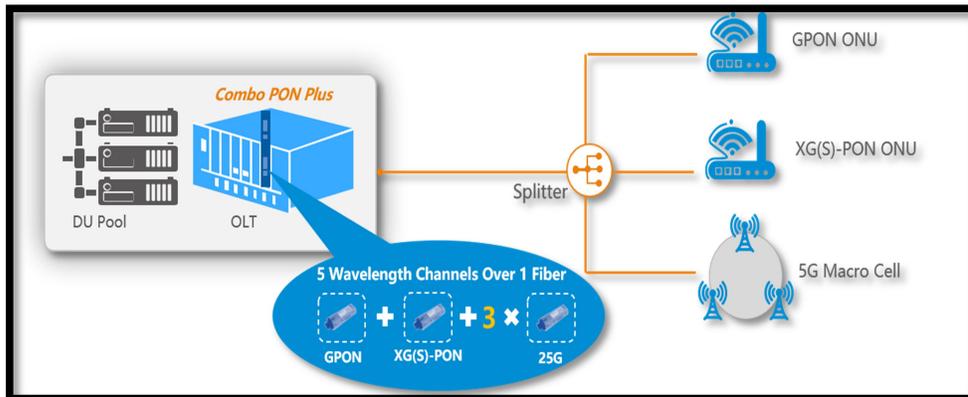
La implementación de la tecnología 5G va a exigir una infraestructura de fibra óptica adecuada a las demandas de estas nuevas redes. La arquitectura de las redes 5G prevé una densidad de estaciones radio base ampliamente mayor que las redes 4G, para cumplir los requisitos de la nueva tecnología y la demanda de las aplicaciones. Dependiendo de la demanda y de las aplicaciones soportadas, puede ser necesaria la conexión de todas las pequeñas antenas por fibra óptica. Esto implica un despliegue mucho más denso de redes de fibra óptica que permitan soportar la cantidad de antenas necesarias para su cobertura total. (Furokawa, 2018)

Teniendo en cuenta que, hacia adelante debemos pensar en infraestructuras que soporten tecnología 5G, construir redes de una manera rentable y eficiente se ha convertido en un tema candente. En esta situación, compartir la abundante infraestructura de las redes fttx puede ser una alternativa para los operadores en la era 5G que se aproxima. La cantidad de macro células 5G requeridas será enorme, ya que se estiman entre 1,2 y 2 veces mayor que para las redes 4G. Es por ello que los recursos de fibra se vuelven fundamentales para la implementación de la red. Para cumplir con los requisitos para la implementación del fronthaul 5G, ZTE propuso la solución Combo PON Plus (figura 24), una innovación adicional basada en la solución Combo PON de ZTE. La compañía presentó la primera solución Combo PON de la industria en el año 2016, que logra una migración de GPON a 10G-PON, sin inconvenientes. En la actualidad, la solución Combo PON se ha puesto en uso comercial en todo el mundo. Esta solución hace un uso completo de los recursos de infraestructura fttx existentes, lo que permite que la red fija y móvil compartan los recursos de infraestructura, y brinden acceso estable y confiable, tanto para las redes fttx, como para los usuarios de 5G. A través del mecanismo de apilamiento de longitud de onda

independiente, la solución admite, de manera innovadora, ftx y fronthaul 5G simultáneos a través de la misma fibra de alimentación e implementa un despliegue rápido de servicios 5G. (ZTE, 2020)

Figura 24

Esquema PON 5G en convivencia con internet cableado residencial



Nota. Tomado de ZTE, 2020, <https://www.zte.com.cn/global/about/news/20200707e1.html>

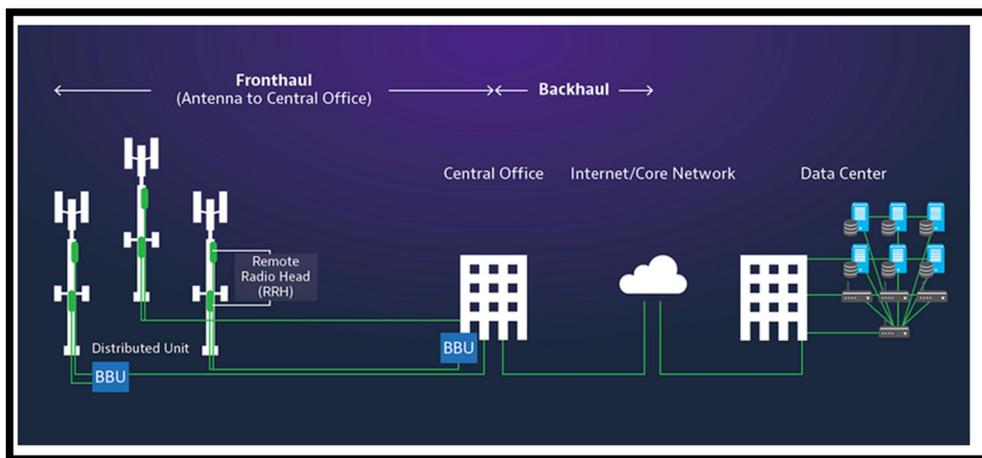
La solución Combo PON Plus es principalmente adecuada para el despliegue de macro células ftx y 5G al mismo tiempo en áreas con abundantes recursos de fibra fija. Los canales GPON y 10G-PON garantizan los servicios de acceso ftx heredados. (ZTE, 2020)

3.7 Tecnologías de fronthaul para 5G

El fronthaul es la conexión basada en fibra óptica, dentro de la infraestructura de una red RAN, que se establece entre la BBU (unidad de banda base) y el cabezal de radio remoto (RRH). El fronthaul surgió con las redes LTE, cuando los operadores trasladaron sus radios más cerca a las antenas. Tal como se muestra en la figura 25, este nuevo enlace se estableció para complementar la conexión de backhaul entre la BBU y el núcleo de la red central. (Brooksby, y otros, 2021)

Figura 25

Esquema fronthaul y backhaul



Nota. Tomado de *Understanding 5G*, 2021, por Brooksby, J, Viavi Solutions.

Para los casos de uso de la tecnología 5G, las configuraciones de fronthaul flexibles se han convertido en un elemento esencial que permite equilibrar la demanda de latencia, capacidad y confiabilidad. La red RAN (red de acceso de radio) de próxima generación está teniendo como resultado una mayor implementación de fronthaul de fibra óptica, así como una mayor dependencia de una arquitectura dividida, la virtualización y la multiplexación. (Brooksby, y otros, 2021)

La fibra óptica se convertirá en el medio principal de las redes fronthaul. 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:

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 (WDM). Una buena planificación, que permita una red escalable, concluirá en beneficios a futuro.

Flexibilidad: debe permitir que diferentes aplicaciones, con diferentes limitaciones de fluctuaciones y latencia, se puedan implementar en la misma infraestructura de fronthaul de fibra óptica.

Transparencia: debe permitir que se puedan implementar diferentes servicios, con diversas calidades de servicio (QoS), de modo tal que el QoS de determinadas aplicaciones y servicios, se pueda gestionar por medio de las capas superiores.

Agilidad: la agilidad permitirá una prestación rápida de los nuevos servicios, 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.

Temporización y sincronización: la latencia y las fluctuaciones son extremadamente importantes, especialmente para las aplicaciones de movilidad y URLLC (comunicación ultra confiable de baja latencia).

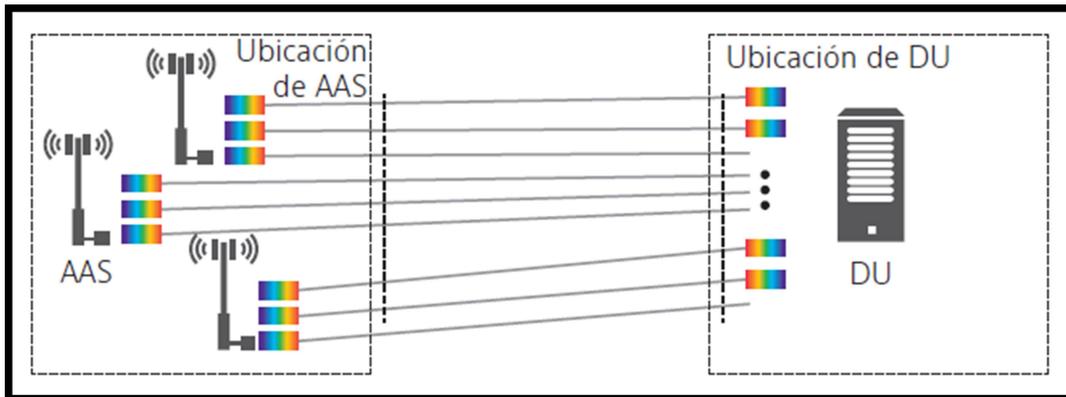
Gestión y mantenimiento: el fronthaul debe ser fácil de gestionar y mantener, de manera que los incidentes de la red se puedan resolver rápidamente y se pueda conseguir un alto nivel de confiabilidad para las aplicaciones sensibles al tiempo.

Otro aspecto clave para los proveedores con diversas ofertas de servicios es implementar una arquitectura de fibra óptica de acceso escalable que pueda admitir fácilmente redes residenciales, comerciales, corporativas 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 cualquiera de los casos, 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 para 5G 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 (unidad de distribución) y la RU (unidad de radio), ya que se pueden instalar varias fibras de mayor capacidad entre los dos nodos. Como se observa en la figura 26, 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. 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, por ejemplo DWDM. Esta solución puede ser la más fácil de instalar, ya que solo son necesarias una inspección y una certificación de la fibra óptica básicas. (Brooksby, y otros, 2021)

Figura 26

Esquema fronthaul fibra oscura

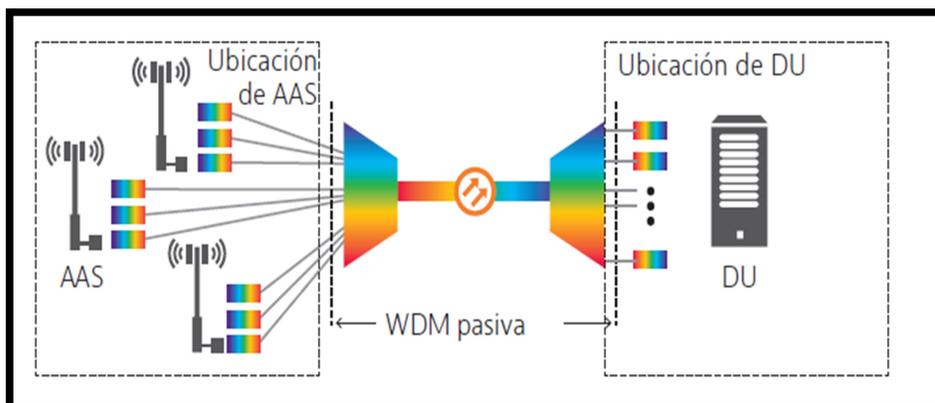


Nota. Tomado de *Understanding 5G*, 2021, por Brooksby, J, Viavi Solutions.

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 ser un problema. La implementación será un poco más complicada y se tendrá que validar el nivel de potencia. En la figura 27, se observa el esquema del fronthaul WDM pasiva, donde se ve el concepto de troncal de fibra único, por donde se transmiten distintas longitudes de onda. (Brooksby, y otros, 2021)

Figura 27

Esquema fronthaul wdm



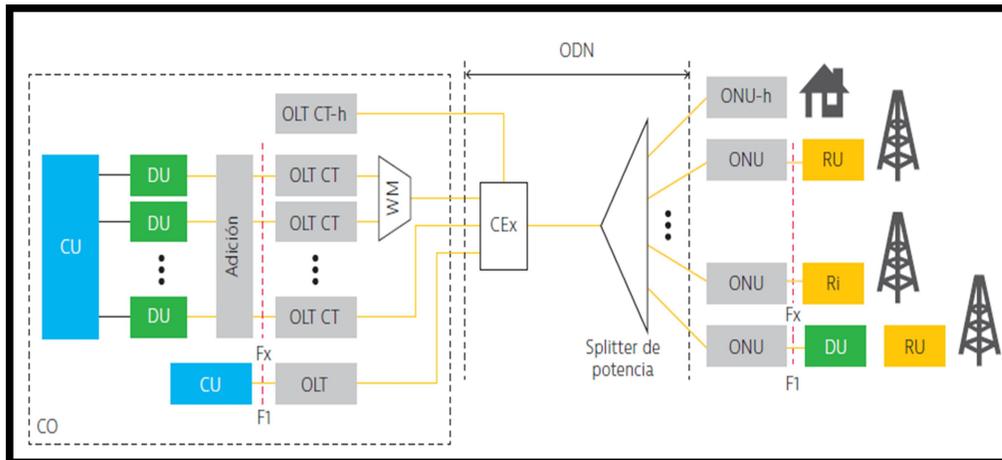
Nota. Tomado de *Understanding 5G*, 2021, por Brooksby, J, Viavi Solutions.

Red WDM-PON: Una solución inmediata para admitir el fronthaul inalámbrico es superponer nuevas longitudes de onda en una red PON existente, sin compartir el ancho de banda con servicios de acceso fijos heredados. La red WDM-PON es una tecnología de red de acceso. Crea una arquitectura de punto a punto lógica, basada en longitudes de onda, a partir de una topología de fibra óptica física de punto a multipunto, tal como se muestra en la figura 28. Esta se considera como una posible tecnología para redes de acceso convergentes, que transportan datos de redes residenciales, comerciales y fronthaul/midhaul para redes inalámbricas. La tecnología WDM-PON ofrece un control de inventario sencillo, ya que se pueden emplear transceptores conectables sin color, y emplea redes en estrella.

WDM-PON puede ofrecer mayor ancho de banda y rango, así como ventajas adicionales gracias a sus aplicaciones. A menudo es considerado más seguro ya que utiliza su canal de longitud de onda dedicado por suscriptor. Las ventajas de XG-PON, en cambio, se encuentran en la estandarización, la madurez, su costo y el consumo de energía. XG-PON está diseñado para aplicaciones residenciales y WDM-PON se está orientando más en su utilización en negocios o para red de retorno con gran demanda de ancho de banda. (Brooksby, y otros, 2021)

Figura 28

Esquema fronthaul wdm



Nota. Tomado de *Understanding 5G*, 2021, por Brooksby, J, Viavi Solutions

Las opciones de división (capa inferior o capa superior) pueden crear una amplia variación en los requisitos de latencia y ancho de banda en la misma red PON, ya que los requisitos de funciones de procesamiento y recursos de longitud de onda pueden variar en función de la división. La pérdida de ruta debido al multiplexor/demultiplexor y los conectores puede afectar a la distancia del enlace. El procesamiento de la tecnología WDM también influirá en el retardo del enlace. Es posible que se necesiten enlaces independientes para los datos, la gestión y la sincronización. (Brooksby, y otros, 2021)

3.8 Convergencia redes FTTH y FTTH5G

La implementación de una red 5G puede resultar muy costosa sin la estrategia de implementación adecuada. La fibra y la 5G son la combinación perfecta para implementarse simultáneamente. Esto es cierto desde el punto de vista de los costos, en particular cuando se comparte la misma infraestructura para ambos, servicios cableados y servicios móviles, sino también desde el punto de vista técnico. (Comsoft (white paper), 2019)

Una red 5G procesará muchos más datos que su predecesor 4G, con velocidades de datos de hasta 10 Gbps y capacidad hasta 10 Tbps / km². Para aumentar la velocidad y la capacidad, la tecnología deberá tener acceso a los beneficios de un espectro más amplio y eficiente. Será necesaria la densificación, en particular con pequeñas células desplegadas en calle, para poder entregar máxima potencia a los usuarios. Esta red densificada necesita ser escalable, fuerte y preparada para el futuro, capaz de soportar el crecimiento ancho de banda en las próximas décadas. (Comsoft (white paper), 2019)

Es por ello que podemos concluir que la fibra y el 5G van de la mano. Y vamos incluso un paso más allá, no con cualquier topología de fibra, sino utilizando fibra a la casa (FTTH), que es la única opción real preparada para el futuro, para responder a los requisitos de transporte 5G más exigentes, por sus beneficios en cuanto a velocidad, fiabilidad, seguridad y desarrollo económico. Además, un FTTH tiene muchas similitudes con una red 5G. Aun así, muchos operadores tienen un flujo de trabajo "tradicional", donde se planean redes fijas y móviles, desplegadas por separado. (Comsoft (white paper), 2019)

Después de analizar una variedad de escenarios, desde lo urbano denso a lo rural, encontramos que, si una red FTT-5G es anticipada al planificar una Red FTTH, el rango de ahorro en costos para el fronthaul 5G, debido a la convergencia, puede alcanzar entre el 65% y 96%. (Comsoft (white paper), 2019)

Capítulo 4

4 Despliegue de redes de fibra óptica urbanas

4.1 *Introducción*

Este capítulo está basado en una observación en campo realizada sobre la red de fibra óptica en la zona de estudio, donde se tomaron fotografías y se pudo inspeccionar las redes de fibra óptica de proveedores de la Ciudad de Buenos Aires. Por otro lado, se realizó una entrevista a Hernán Arcidiacono, miembro fiscalizador en LACNIC (Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe) y Chief Technology Officer en NSS SA. (Ver Anexo A), como material de respaldatorio.

4.2 *Tipos de despliegue*

Para la construcción de infraestructura de planta externa se detallan las 2 principales topologías de despliegue para redes de fibra óptica, bajo la tecnología PON (redes de fibra óptica pasivas) que están desplegadas en la Ciudad de Buenos Aires con topología FTTX.

Las mismas se enumeran como:

- 1) Despliegue de redes subterráneas
- 2) Despliegue de redes posteadas

El objetivo principal de la lectura de esta temática es entender cómo se adaptarán las instalaciones de las antenas de 5G, para las 2 topologías de red más utilizadas por las compañías proveedoras de servicios, dentro de la Ciudad de Buenos Aires. Teniendo en cuenta el objetivo principal, que es otorgar a toda la red la máxima capilaridad de fibra óptica posible, cuestión que hemos repasado en los capítulos anteriores, es la base fundamental para la instalación de múltiples antenas, una de las características principales para el desarrollo de la tecnología 5G. (NSS SA, 2018)

4.2.1 *Despliegue de red subterránea*

En determinadas zonas de la Ciudad de Buenos Aires, el despliegue de redes de fibra óptica se realiza en forma subterránea. Esto implica realizar obras civiles a lo largo de toda la traza, para instalar ductos que permitan el despliegue de la fibra óptica. Esto último hace que el avance del despliegue de la red sea lento y costoso, debido a los permisos que son necesarios para realizar los trabajos de zanjeo en la vía pública. En la ciudad, existen zonas que son de conservación histórica, para las cuales, el gobierno de la Ciudad de Buenos Aires no permite intervenciones o las permite con un nivel de aprobación bastante exigente, que puede impactar en la ejecución del despliegue. (NSS SA, 2018)

El proceso operativo para avanzar con el despliegue de fibra soterrada consta de los siguientes pasos:

1) Permiso Municipal: En el marco de la Ley 2634 del decreto 238 (Ver Anexo B), toda obra y/o apertura de vereda, calzada o cordón a realizar en la vía pública, debe estar debidamente aprobada por el GCBA. En dicha Ley, se define como apertura a:

Toda obra que consista en el levantamiento y/o rotura de vereda, calzada o cordón, en profundidad y longitud, con el fin de realizar extensiones, ampliaciones o renovaciones de redes o instalaciones conexas o reparaciones de fallas que deba realizar, en razón de su actividad, toda persona física o jurídica de derecho público o privado. A los fines de esta Ley se identificarán como Solicitantes a las empresas de sus servicios públicos o personas físicas que requieran una apertura sus subcontratistas y representantes/responsables técnicos. (Ley N° 2634 GCBA)

La presentación es mediante un documento formal con los planos de la obra a realizar y las direcciones a intervenir, donde indiquen los plazos de ejecución y los responsables de la intervención. (Ver Anexo B)

2) Ejecución Obra Civil: Es la obra que permite instalar los ductos soterrados en la vía pública, para realizar el despliegue de la fibra óptica, tal como se observa en la figuras 29 y 30.

Figura 29

Obra civil red subterránea



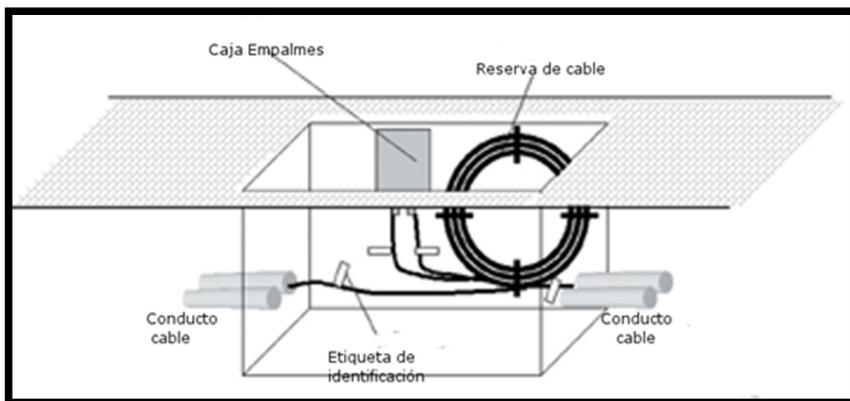
Figura 30

Cámara empalmes de fibra óptica



Figura 31

Esquema de una cámara subterránea en vereda.



Nota. Tomado de *Tipos de instalación de fibra óptica*, 2022, Conectronica.

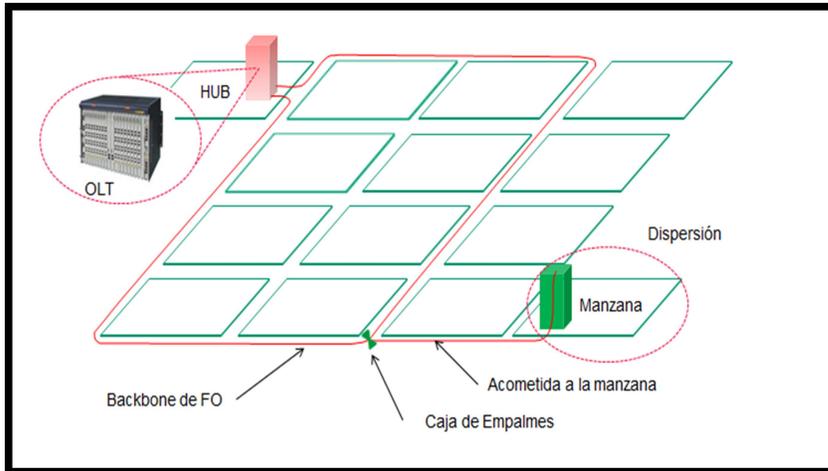
<https://www.conectronica.com/fibra-optica/curso-fibra-optica/tipos-de-instalacion-de-fibra-optica>

- 3) Despliegue Troncal de fibra (Red de acceso): Es el tendido principal de fibra óptica (troncal), que sale desde el datacenter, donde están ubicados los equipos “core” de la red, y llega hasta la zona de cobertura deseada. Generalmente se realiza con una fibra de 288 pelos.
- 4) Despliegue subtroneales: Es el tendido de fibra que une la red troncal con la acometida de la manzana a “iluminar”, terminando en un caja distribuidora de fibras intramanzana llamada

“domo”, tal como se muestra en la figura 32. Generalmente se realiza con una fibra de 48 o 144 pelos. (NSS SA, 2018)

Figura 32

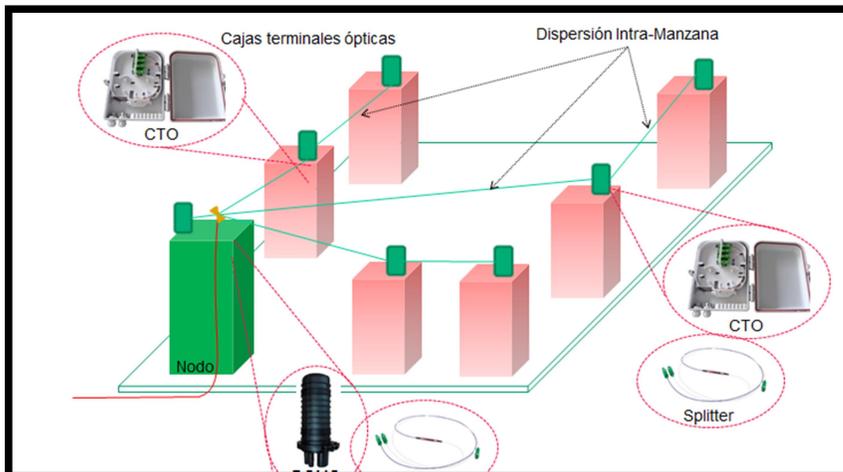
Esquema despliegue de red PON backbone



5) Despliegue Dispersion (Red Dispersion): Son los tendidos que se realizan desde el “domo” hasta los distintos edificios de la manzana, donde se colocará una caja terminal óptica (CTO) con puertos disponibles para conectar clientes, tal como se observa en la figura 33.

Figura 33

Esquema despliegue de red PON manzana



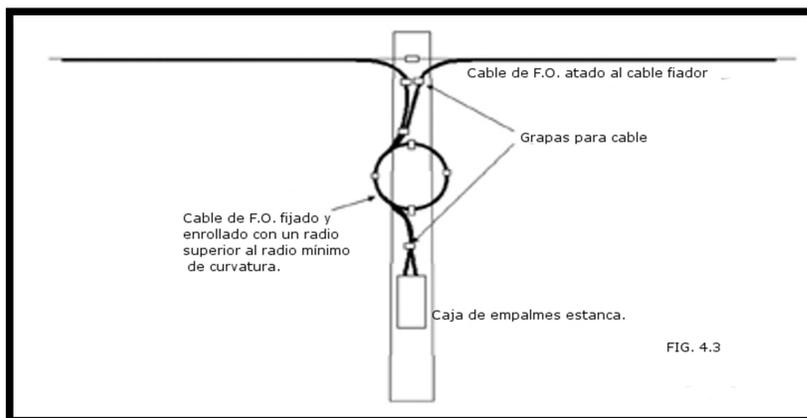
4.2.2 Despliegue de red posteada

La otra modalidad de despliegue de fibra óptica utilizada con mayor frecuencia en la Ciudad de Buenos Aires, es mediante postes. Si bien la red troncal (backbone) de igual modo que vimos en el punto 4.1.1 generalmente va soterrada, en este caso, los sub troncales de fibra óptica, y la última milla que alimentará un cliente o antena, recorren una traza normalizada sobre postes. Es decir, la última milla será abastecida directamente desde el poste, siguiendo una línea de 90 grados entre el sitio final y la traza posteada. Este tipo de despliegue existe en las zonas menos densas de la Ciudad de Buenos Aires. Esta modalidad es adoptada por la gran mayoría de los proveedores de tv por cable o triple play (Cablevisión, Telecentro, Claro, Fibertel) que actualmente tienen un despliegue híbrido entre fibra óptica y cobre. La problemática de este tipo de despliegue de fibra óptica es que no todos las empresas de telecomunicaciones tienen permiso para poder postear en las distintas zona, lo que evidencia a futuro que, para que los distintos proveedores puedan llevar a cabo los despliegues de redes de fibra óptica, deberán armar acuerdos comerciales para poder abastecer a sus clientes y esto último incluye arrendamientos de fibra que generen beneficios en ambos sentidos. Este tema lo ampliaremos en el próximo capítulo.

En la figura 34 y 35 se muestra respectivamente, un esquema y una fotografía de un CTO (Caja terminal Óptica) en la modalidad de despliegue mediante postes. Luego, en la figura 36, se muestra un esquema de una red de fibra óptica montada sobre postes, con un ejemplo de caja de empalmes ya instalada.

Figura 34

Esquema despliegue red posteada



Nota. Tomado de *Tipos de instalación de fibra óptica, 2022,*

Conectronica.<https://www.conectronica.com/fibra-optica/curso-fibra-optica/tipos-de-instalacion-de-fibra-optica>

Figura 35

Fotografía CTO en poste red pon

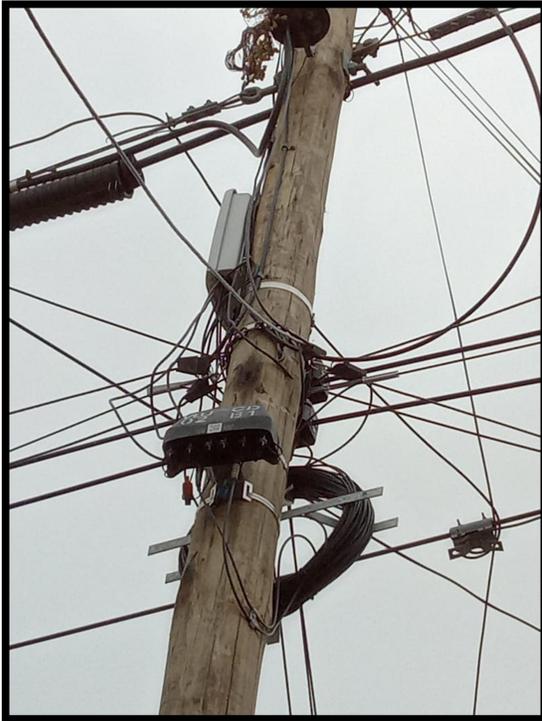
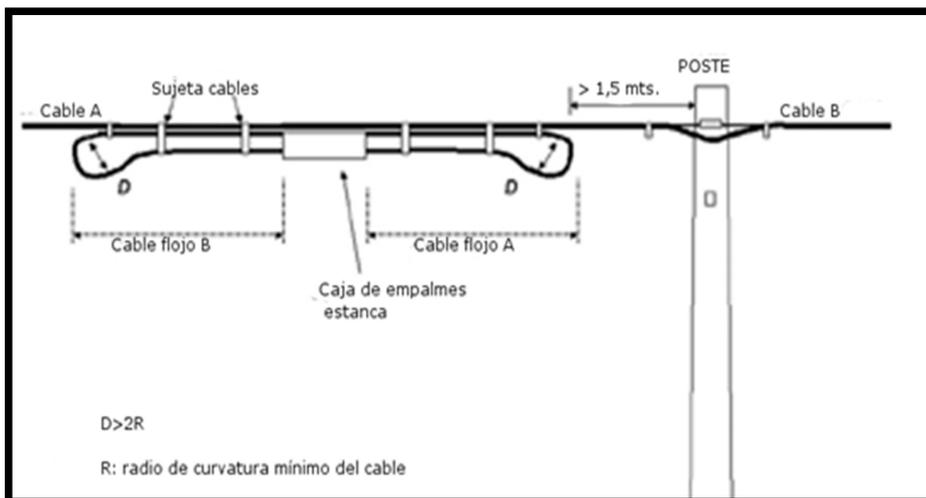


Figura 36

Esquema caja de empalme en red posteaada



Nota. Tomado de Tipos de instalación de fibra óptica, 2022, Conectronica. <https://www.conectronica.com/fibra-optica/curso-fibra-optica/tipos-de-instalacion-de-fibra-optica>

4.3 *Problemáticas del despliegue de red*

La fibra óptica, aunque generalmente enterrada en sus redes troncales, va por el aire cuando debe llegar a la casa de cada cliente. Para que ello ocurra, es necesario que se instale en edificios (como vimos en la sección 4.1.1) o bien montada sobre postes (como vimos en la sección 4.1.2) ubicados en las veredas de barrios, localidades y ciudades de la Argentina. En ambos casos, los ductos soterrados y los postes instalados tienen dueño: empresas de energía eléctrica, cable operadores, cooperativas o municipios.

Los ductos y postes son los bienes por los que se disputan un espacio las compañías de telecomunicaciones chicas, medianas y grandes, cable operadores, cooperativas, donde los municipios también son parte y no tienen gran nivel de resolución a estos temas. Las dificultades económicas y financieras para realizar inversiones y la competencia entre las distintas compañías proveedoras para impedir que ingrese competencia en su zona, hacen que el despliegue de fibra óptica sea una actividad muy compleja de llevar adelante.

El sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) aporta el 2,6% del PBI de la Argentina (USD 627.000 millones), según datos del FMI de Abril de 2018. Las telecomunicaciones son las que soportan al resto de las actividades de TI en sentido estricto y, entre todas, son la base de la economía digital. El Gobierno actual intenta agilizar las inversiones en uno de los sectores más dinámicos de la economía. Introdujo modificaciones a nivel regulatorio, a fin de generar mayor competencia, pero no termina de alentar desembolsos significativos de parte de los distintos jugadores. Y cuando existe la posibilidad, aparecen problemas de todo tipo. La gran inversión que debe erogar cada compañía proveedora y la pelea por los postes, son los obstáculos más significativos para el despliegue de fibra óptica, necesarias para poder avanzar con las redes de quinta generación. Según comenta Rodolfo Bianchi en el artículo de referencia:

En cada ciudad hay un monopolio de los postes, por corrupción o por desidia. Y esto hace que se frenen las inversiones. En este escenario se dan, a su vez, otras dos situaciones: el que es dueño de un poste da servicios deficientes, y el que ya no tiene más capacidad y debe actualizar no puede hacerlo. Si el Gobierno pretende que las empresas demos banda ancha de 20 Mbps de velocidad a los hogares, será imposible cumplir con ese objetivo en esta situación. (Rodolfo Bianchi, 2019)

(Catalano, 2019)

En el año 2018 se dio media sanción a la llamada ley corta, en la cual el Gobierno propuso la compartición de infraestructura (regulación ya establecida en la ley Argentina

Digital 27.078, de 2014, nunca reglamentada. Dicha norma establece como puntos principales:

- 1) Compartir infraestructura para agilizar los despliegues de red de fibra óptica a través de postes, ductos, y otras alternativas.
- 2) Los grandes prestadores de telecomunicaciones, como Telefónica y Claro puedan dar televisión paga mediante la tecnología satelital.
- 3) Postergar hasta 2021 y 2022 el inicio de la competencia plena en todo el país.
- 4) Proteger a las pyme de telecomunicaciones que operan en zonas de menos de 100.000 habitantes

Todo indica que el Gobierno Nacional intentará avanzar en la compartición de infraestructura aunque sea a través de una resolución. Si fuera el caso, necesitaría la adhesión de provincias y municipios que, a su vez, hacen pesar su autonomía. Mientras tanto, pasan cosas que impiden que los distintos interesados avancen con nuevas redes y, así haya nuevas inversiones, que beneficiarían principalmente a los usuarios. Sin el despliegue de nuevas redes de fibra óptica, no es posible una economía digital. Tal como están las cosas, no parece que la Argentina pudiera avanzar en su desarrollo. Son tantas situaciones problemáticas que ocurren cuando alguna operadora quiere construir su red, que resulta difícil imaginar que esto tenga solución en el corto plazo. (Catalano, 2019)

Según un fragmento de la entrevista a Marcelo De Ambrosio, dueño de un ISP integrante de la CAPPI (Cámara Argentina de pequeños proveedores de Internet) por parte de iprofesional, comenta que:

Hay ciudades donde no se puede tirar fibra óptica porque no se dan los permisos correspondientes. En Pehuajó, vas al municipio, luego a la cooperativa, y así, pasas de un lugar al otro sin lograr nada. En Bolívar, la cooperativa de la zona tiene los postes, aunque no da servicios de telecomunicaciones, y tampoco se los usa. Y después están los casos donde se firman contratos de exclusividad, como el de Edemsa con el Grupo Vila en Mendoza, o Eden en el norte de la provincia de Buenos Aires. (Marcelo De Ambrosio, 2019)
(Catalano, 2019)

Los dueños de los postes tienen la libertad de realizar contratos de servidumbre con los interesados en utilizarlos y, así, obtener ingresos adicionales por ese concepto. Hay casos en los que se celebran acuerdos de exclusividad, y otros en los que directamente se niega la chance de alquiler. Suelen ser los de cooperativas de servicios públicos que dan o tienen interés en las telecomunicaciones y los municipios, que se niegan con argumentos que suelen ser poco claros. No poder usar un poste o un ducto, alquilarlo, mantenerlo, a esta altura de las

necesidades de infraestructura que presenta el país, y no sólo en telecomunicaciones, la realidad que alcanza a todos los proveedores interesados, sobre todo a los más pequeños, es el impedimento para utilizar lo escasamente disponible para poder avanzar con la última tecnología en telecomunicaciones. (Catalano, 2019)

Otro problema común que suelen encontrarse aquellos que van a construir sus nuevas redes es que, en vez de autorizarles a usar los postes existentes (el camino más rápido y económico) o a instalar nuevos, les prohíben ir por esa vía y los obligan a realizar la nueva infraestructura de manera subterránea. El costo de soterrar fibra óptica es 17 veces más caro que llevarla por aire, es decir, enganchada a través de los postes. Y así lo expresa Franco Cecchini en el artículo extraído de iprofesional:

Una cuadra de fibra óptica enterrada cuesta u\$s10.000. Acceder a un domicilio desde un poste es 17 veces más barato que un ducto, que es mejor y minimiza problemáticas, como la poda cuando se enreda en los cables, o cuando hay una tormenta. Por eso se debe compartir y es lo que les estamos ofreciendo a nuestras competidoras porque, si no, es muy difícil. (Franco Cecchini, 2019)

Por otro lado, Rodolfo Bianchi expresa al respecto:

La solución es el tendido libre por poste y donde hay que hacer subterráneo, encarar la obra entre todas las compañías interesadas y en igualdad de condiciones. Es una cuestión política y de establecer cómo concretarlo (Rodolfo Bianchi, 2019).

El Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM) debería ser quien se ocupe de mediar en este tipo de conflictos. (Catalano, 2019)

Soterrar la fibra óptica se justifica en las ciudades y localidades de mayor cantidad de gente, puesto que es cierto que existe un impacto visual pero, sobre todo, de mejora en la calidad del servicio. Se trata de un costo que, por lo que señalan los mismos actores, debería ser enfrentado por los interesados o por el municipio que, a su vez, puede generar ingresos por el arrendamiento de esa infraestructura. La mayoría de las veces, el sobre costo lo termina pagando el usuario. Respecto de esto último Franco Cecchini comenta en el artículo referenciado:

La eficiencia del uso de infraestructura compartida tiene como beneficio mejor costo para el usuario y mejor utilización de los recursos por parte de los jugadores. Se puede competir igual porque la competencia pasa por la calidad del servicio, no por la infraestructura. (Franco Cecchini, 2019)

Según Rodolfo Bianchi, presidente de la Cámara Argentina de Pequeños Proveedores de Internet (CAPPI):

Debe existir un moderador para evitar que el propietario de un poste o ducto ponga excusas para que un tercero lo use. En otros países todos pueden usar los postes disponibles pagando un canon. Es una situación de difícil resolución en el corto plazo. El hecho de avanzar con una ley corta o con una consulta pública para definir sobre la compartición de infraestructura, que ya está en una norma aprobada y no reglamentada, hace que la inversión en nuevas tecnologías de telecomunicaciones se atrasen. El país necesita que las redes de telecomunicaciones, que impulsarán la economía digital, se construyan rápidamente. (Rodolfo Bianchi, 2019)

(Catalano, 2019)

Es importante resaltar que, cualquier beneficioso para la industria lo podremos ver reflejado como un impacto positivo para la economía regional. Hoy en día, las telecomunicaciones juegan un papel clave en la transformación digital, y también lo serán para la transformación en los modelos de comercialización y fabricación de cualquier industria.

Capítulo 5

5 Conclusiones

5.1 Conclusiones

Las redes de fibra óptica desplegadas en la Ciudad de Buenos Aires fueron diseñadas para dar servicios a usuarios de banda ancha residencial o telefonía móvil. No tienen la capilaridad suficiente para soportar la gran cantidad de antenas que demandará la tecnología 5G. Es cierto que, parte de la infraestructura instalada puede ser reutilizada, pero indefectiblemente necesitará de una gran inversión para alcanzar la densidad y la cobertura precisa para soportarla.

La instalación de redes de fibra óptica significa un gran impacto económico para las compañías de telecomunicaciones, más aún, considerando el contexto de debilidad macroeconómica existente en gran parte de América Latina y en particular en Argentina. Para mitigar esta situación, se debe establecer un nuevo formato de acuerdos comerciales que permitan el arrendamiento de infraestructura entre proveedores, de modo que las compañías de telecomunicaciones puedan expandir la zona cobertura geográfica, mitigando el elevado costo que significa la instalación de redes de fibra óptica.

Las tecnologías de redes PON y WDM permiten optimizar los recursos de red, tanto instalados como a desplegar. A través de mecanismos de multiplexación y división de longitudes de onda, permiten obtener una mayor densidad de pelos de fibra disponibles, que a futuro darán servicio a las antenas, para lograr la conexión de múltiples usuarios y dispositivos, con la potencia y el ancho de banda necesario que exige el 5G.

Es necesario implementar redes modernas y escalables que logren adaptarse a las tecnologías del futuro. Para ello, es indispensable generar un plan de inversión en infraestructura en la que participen, conjuntamente, todas las compañías de telecomunicaciones de la región, incluyendo a organismos estatales y municipales como activos mediadores para regular la actividad, de manera que se logren acuerdos beneficiosos para la industria.

En definitiva, los beneficios que se logren para el sector se verán reflejados en un activo indispensable para el país, como es la transformación y la evolución en la telecomunicaciones, lo cual tendrá un impacto muy positivo para la economía de la región.

5.2 *Líneas de investigación futuras*

Es preciso revisar el enfoque normativo, gubernamental y de las autoridades locales, en materia de política digital, para impulsar la implementación de las redes 5G, por ejemplo, garantizando accesibilidad a los activos públicos, o proponiendo acuerdos de arrendamiento de redes entre empresas privadas. De esta forma, los argumentos comerciales a favor de la inversión en infraestructura de redes de fibra óptica y espectro 5G se verían fuertemente respaldados.

Referencias

- Brooksby, J., Featherstone, W., Wei Koo, E., Kangru, P., Muprhy, C., Howard, T., . . . Yamany, S. (2021). *Undestanding 5G*. Viavi Solutions.
- Catalano, A. (25 de 2 de 2019). <https://www.iprofesional.com>. Obtenido de <https://www.iprofesional.com/tecnologia/287116-todo-por-un-poste-la-pelea-de-fondo-de-las-redes-de-telecomunicaciones>
- Comsoft (white paper). (2019). *5G Fiber Converge*.
- Dalhman, E., Parkvall, S., & Sköld, J. (2018). *The next generation wireless access technology*. Academic Press.
- DWDM, R. Ó., Buelvas Peñarredonda, D. a., Téllez Silva, V., & Mateus, E. A. (9 de 2009). *REDES ÓPTICAS DWDM: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN*.
- Enacom. (16 de 3 de 2021). <https://www.enacom.gob.ar>. Obtenido de https://www.enacom.gob.ar/institucional/inauguracion-oficial-de-la-muestra-5g-en-argentina_n3079
- Fiber Optic Association. (2021). [thefoa.org](https://www.thefoa.org). Obtenido de <https://www.thefoa.org/>
- FiberCorp Telecom. (2019). *FiberCorp Telecom*. Obtenido de <https://www.fibercorp.com.ar>
- Furokawa. (2018). *Fundacion Proydesa*. Obtenido de <https://www.proydesa.org>
- Huawei. (2010). *Next Generation Pon Evolution*. Obtenido de www.huawei.com
- Huawei. (Mayo de 2019). *Huawei.com*. Obtenido de https://www.huawei.com/minisite/5g-ultra-lean-site-2019/pdf_v1.0/5G-Ultra-Lean-Site-White-Paper_en.pdf
- Kartalopoulos, S. (2000). *INTRODUCTION TO DWDM TECHNOLOGY*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Krauss, O. (2002). *DWDM and Optical Networks*. Siemens.
- NSS SA. (3 de 2018). Modulo I Fibra Óptica.
- Sanou, B. (2018). *Sentando las bases para el 5G*.
- Union Internacional Telecomunicaciones. (2017). <https://www.itu.int/>. Obtenido de https://www.itu.int/en/itu/news/Documents/2017/2017-02/2017_ITUNews02-es.pdf
- Universidad Tecnologica Nacional. (3 de 8 de 2021). <https://www.frba.utn.edu.ar>. Obtenido de <https://www.frba.utn.edu.ar/el-futuro-de-la-industria-argentina-es-trabajar-con-tecnologia-5g/>

Viavi Solutions. (2019). <https://www.viavisolutions.com/>. Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/>: <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/roadm-and-wavelength-selective-switches-application-notes-en.pdf>

Viavi Solutions. (2021). *viavisolutions*. Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/>

Wall, P., Colbourne, P., Reimer, C., & McLaughlin, S. (2008). WSS Switching Engine Technologies. Ottawa Canada.

Wireless Infrastructure Association. (2018). Getting Ready for 5G (White Paper).

ZTE. (7 de 7 de 2020). <https://www.zte.com.cn>. Obtenido de <https://www.zte.com.cn/global/about/news/20200707e1>

Anexos

Anexo A

Entrevista a Hernán Arcidiacono

Curriculum:

CTO IPLAN Telecomunicaciones

Miembro Comisión Fiscal LACNIC (Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe)

Preguntas realizadas:

- 1) ¿Cuál es la tecnología más utilizada en la red de fibra óptica de CABA?
- 2) ¿Cuál es la topología de fibra óptica más adoptada en CABA?
- 3) ¿Cuál o Cuáles son las metodologías más utilizadas para desplegar de red de fibra óptica en CABA?
- 4) ¿Cuáles son las principales problemáticas para desplegar la red?
- 5) ¿Cuál es su expectativa respecto de llegada del 5G a la Argentina?
- 6) ¿Cómo cree que impactara la llegada del 5G en la industria de telecomunicaciones?
- 7) ¿Cuál cree que será el impacto del 5G sobre el internet fijo residencial?
- 8) ¿Cuáles son los principales partners tecnológicos de la compañía?
- 9) ¿Cree que alguno de los partners puede jugar un rol clave en una futura implementación de tecnología 5G? ¿Surgieron propuestas al respecto?
- 10) Teniendo en cuenta que IPLAN tiene su propia red de fibra óptica desplegada en las zonas más densamente pobladas de CABA: ¿Cree que esto es una ventaja respecto del resto de los operadores para la implementación de una red que soporte 5G?
- 11) ¿Es factible utilizar la red FTTH/PON desplegada, como punto de partida para implementar 5G en CABA?
- 12) ¿Existen acuerdos de arrendamiento de red con la competencia?
- 13) ¿Cuál es la modalidad utilizada para implementar dichos acuerdos?
- 14) ¿Qué pretensiones tiene IPLAN respecto del licenciamiento para comercializar telefonía móvil?
- 15) Respecto de la llegada del 5G a la Argentina: ¿Cómo cree que se posicionara IPLAN?

Anexo B

Ley 2634 – “Apertura espacio Público”

Artículo 1°.- Toda persona física o jurídica, de derecho público o privado, que en razón de su actividad deba realizar una o varias aperturas y/o roturas en el espacio público por cualquier motivo, quedará comprendida en el régimen establecido por la presente ley.

Artículo 2°.- La autoridad de aplicación de la presente ley es el Ministerio de Ambiente y Espacio Público.

Artículo 3°.- Créase el Registro de Empresas Autorizadas para la apertura en el espacio público.

Artículo 4°.- El Registro de Empresas Autorizadas para las Aperturas en el Espacio Público creado por el artículo 3° tomará razón de los incumplimientos, infracciones y faltas derivados de la aplicación de esta norma. Será causal de inhabilitación para ejecutar las obras indicadas en el artículo 1° la comisión de (5) incumplimientos, infracciones o faltas. Asimismo, la comisión de cinco (5) incumplimientos, infracciones o faltas será considerada parámetro válido para evaluar el comportamiento fiscal del contribuyente y aplicarle el tratamiento fiscal que por ello corresponda conforme lo que al respecto reglamente la Administración Gubernamental de Ingresos Públicos. La autoridad de aplicación en forma coordinada con la AGIP fijará el circuito administrativo correspondiente para el cumplimiento de lo establecido en el párrafo anterior.

(Conforme texto Art. 1° de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Artículo 5°.- Autorízase al Poder Ejecutivo a hacerse cargo de todas las obras de cierre de las aperturas y roturas en la vía pública.

El costo del cierre de las aperturas realizadas en la vía pública correrá por cuenta de la misma persona física o jurídica que la efectuó, sin perjuicio de lo que establezca el decreto reglamentario respecto de quién efectivamente efectuará los trabajos. En caso de corresponder, la reglamentación establecerá un sistema de pago anticipado. (Párrafo incorporado por el Art. 2° de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Artículo 6°.- Cada apertura que se efectúe en el espacio público debe ser autorizada por la autoridad de aplicación. A tal efecto, quien pretenda realizarla deberá solicitar un permiso especial ante la autoridad de aplicación a través del medio que ésta establezca.

(Conforme texto Art. 3° de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Artículo 7°.- A los efectos de la realización de los trabajos indicados en el artículo 1° se debe obtener un permiso especial conforme lo establecido en la presente ley.

En cada permiso especial, el peticionante debe manifestar, con carácter de declaración jurada, la superficie y la volumetría del subsuelo que afectará a la obra, el plazo estimado, el motivo de la misma y presentar un croquis que indique la ubicación de su perímetro o espacio público afectado, así como las empresas intervinientes en la apertura en cuestión y en su cierre, en caso de corresponder. (Párrafo conforme texto Art. 4º de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Con el permiso de apertura, se impondrá al peticionante un plazo de ejecución de la obra autorizada en el espacio público.

La autoridad de aplicación otorgará el permiso de acuerdo a lo requerido por el/la peticionante o realizará las modificaciones en el plazo, el perímetro, la volumetría y/o la ubicación de la obra. A tales efectos aplicará un criterio que privilegie los accesos y la circulación de vehículos y peatones limitando la ocupación de espacios según las tareas lo requieran.

La autoridad de aplicación verificará que la solicitud presentada por el peticionante cumpla con los requisitos formales. Sólo dará curso a las solicitudes efectuadas en tiempo y forma establecidos en la presente ley y sus normas reglamentarias.

Ninguna persona física o jurídica, de derecho público o privado, que en razón de su actividad deba realizar cualquier tipo de obra que afecte directa o indirectamente el subsuelo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, obtendrá permiso para iniciar los trabajos en la vía pública sin contar con la información que provee el área de Instalaciones y Servicios Públicos Subterráneos del SIDIAU creado por Ley N° 1852. (Incorporado por el Art. N° 16 de la Ley N° 2.680, BOCBA N° 2930 del 15/05/2008)

Artículo 8º.- Para tramitar cualquier permiso, los peticionantes deberán depositar una garantía en efectivo en el Banco Ciudad de Buenos Aires, en los montos y condiciones que establezca el decreto reglamentario.

Artículo 9º.- Son consideradas emergencias las originadas por las ocurrencias de hechos fortuitos o imprevisibles, tanto en las redes como en las instalaciones, cuando la subsistencia de las fallas comprometan la prestación del servicio o entrañen riesgos para la seguridad pública; teniendo en cuenta los siguiente requisitos:

Que el ejecutor sea una empresa de servicios públicos.

Que la obra de apertura y/o rotura deba ejecutarse con urgencia para reparar y/o prevenir daños y/o fallas que comprometan la prestación de un servicio público o impliquen riesgos para la seguridad pública.

Que se declare la emergencia ante la autoridad de aplicación en el mismo momento en que se inicia la ejecución de la obra y que dentro las cuarenta y ocho (48) horas siguientes se requiera un permiso especial con las formalidades que establezca el decreto reglamentario de la presente. (Conforme texto Art. 5° de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Artículo 10.- La autoridad de aplicación notificará a las empresas inscriptas en el registro creado conforme el artículo 3° de la presente ley, el cronograma de los planes de obra de pavimentación y de veredas que realizará para que ellas puedan, dentro de los tres (3) meses siguientes a la notificación, realizar todos los trabajos pendientes de ejecución.

Artículo 11.- Sanciones:

Incorpórase a la Sección 2° - Capítulo I "Seguridad y Prevención de Siniestros", al Régimen de Faltas, Ley N° 451, las siguientes faltas:

Artículo 2.1.19, el que queda redactado de la siguiente manera:

"Las personas físicas o jurídicas que incumplan el plazo, perímetro y/o profundidad de la apertura autorizada por la autoridad competente, para la reconstrucción o reparación técnica que correspondiere, serán sancionadas con multa de 2.000 a 100.000 unidades fijas".

Artículo 2.1.20, el que queda redactado de la siguiente manera:

"Las personas físicas o jurídicas que incurran en falsedad de cualquiera de las manifestaciones efectuadas en la declaración jurada que deban presentar a la autoridad competente, al solicitar el permiso, serán sancionadas con multa de 100.000 a 150.000 unidades fijas".

Artículo 2.1.21, el que queda redactado de la siguiente manera:

"Las personas físicas o jurídicas que incumplan las condiciones establecidas en el permiso de obra que les fuera otorgado serán sancionadas con multa de 2.000 a 100.000 unidades fijas".

Artículo 2.1.22, el que queda redactado de la siguiente manera:

"Las personas físicas o jurídicas responsables de la ejecución de cualquier obra de apertura o rotura de espacios públicos que hayan denunciado emergencia, sin que se cumplan con los extremos que exige la normativa vigente respecto de dicha emergencia, serán sancionadas con 150.000 unidades fijas".

Artículo 2.1.23, el que queda redactado de la siguiente manera:

"Las personas físicas o jurídicas que incumplan las condiciones establecidas en el permiso de obra que les fuera otorgado serán sancionadas con multa de 2.000 a 100.000 unidades fijas".

Las sanciones establecidas en los artículos 2.1.19, 2.1.20, 2.1.21, 2.1.22 y 2.1.23 serán aplicadas en forma conjunta y solidaria a las empresas, los directores de obra, los contratistas de rubros, los contratistas externos y en itínere de obra en infracción, así como a sus

representantes legales en forma personal en caso de que se trate de personas de existencia jurídica.

En los supuestos indicados en la falta individualizada como 2.1.20, la autoridad de aplicación en uso de sus facultades remitirá las actuaciones a la Procuración General de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a los efectos que correspondan.

Artículo 12.- Todos los incumplimientos a los que hace referencia el artículo 11 serán comunicados a los registros correspondientes.

Artículo 13.- “El Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires podrá emitir certificados de deuda los que, por acto administrativo, podrán ser ejecutados contra la garantía prevista en el artículo 8°. Los certificados de deuda también podrán ser compensados con pagos que deban efectuarse al responsable del incumplimiento, falta o infracción. Asimismo, el certificado de deuda tendrá valor de título ejecutivo para el cobro judicial.”

(Conforme texto Art. 14 de la Ley N° 5.074, BOCBA N° 4505 del 21/10/2014)

Artículo 14.- El Poder Ejecutivo reglamentará la presente ley dentro de los sesenta (60) días corridos desde su promulgación.

Artículo 15.- Deróguense las Ordenanzas N° 25.989 y N° 49.891, en todo lo que se opongan a la presente.

Artículo 16.- Las disposiciones de la presente ley entrarán en vigencia concluida el Convenio N° 24/97.

Artículo 17.- Comuníquese, etc.

Anexo C

Ley 27078 – “Ley Argentina digital”

https://www.enacom.gob.ar/ley-27-078_p2707

Anexo D

Recomendaciones ITU-T

G.983: Broadband Passive Optical Networks (PON) F

G.984: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON)

G.987: 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) Systems

G.989: 40-Gigabit-capable Passive Optical Networks (NG-PON2)

G.694: Spectral grids for WDM applications:

G.multi (in progress): Generic multi-wavelength control in PON access systems

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>