

Propuesta de diseño de red GPON en un campus universitario GPON network design proposal for a university campus

V. F. Canales-Carbajal ^a, E. R. Vergara-Rivas ^{a,*}, O. Pérez-Cortes ^a, O. A. Domínguez-Ramírez ^a, R. M. Ortega-Mendoza ^a

^a *Licenciatura en Ingeniería en Telecomunicaciones, Área Académica de Computación y Electrónica, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

El proyecto de investigación propone diseñar una infraestructura GPON subterránea utilizando fibra óptica para conectar los 28 edificios académicos en Ciudad del Conocimiento. Se realiza un análisis de la conectividad en el campus para identificar limitaciones en la calidad del servicio de Internet. Además, se realizan cálculos para estimar la demanda futura basados en datos estadísticos, con el objetivo de proyectar la red para los próximos 10 años. Aplicando una topología P2MP con tres redes troncales, se lleva a cabo un proceso de trazado de rutas y planimetría para evaluar la viabilidad física de la construcción de la red de fibra óptica, optando por la fibra monomodo G.652D de 12 hilos y para la red de distribución fibra drop G.655 de 2 hilos para las acometidas a los edificios, cubriendo 2.67 km de cableado total. Además, se selecciona una red desbalanceada para maximizar la utilización de los hilos de fibra. Se calcula el presupuesto óptico y se establecen parámetros según los estándares ITU-T G.984 para asegurar la integridad y durabilidad de la red. Este enfoque permite una planificación a largo plazo, asegurando la adaptabilidad y escalabilidad de la red.

Palabras Clave: GPON, Arquitectura de red, Topología de red, Divisor óptico, Equipos de comunicación óptica.

Abstract

Our research project proposes to design a subterranean GPON infrastructure using optical fiber to connect the 28 academic buildings in Ciudad del Conocimiento. An analysis of connectivity on campus is performed to identify limitations in the quality of Internet service. In addition, calculations are made to estimate future demand based on statistical data, with the aim of projecting the network for the next 10 years. Applying a P2MP topology with three backbone networks, a routing and planimetry process is carried out to evaluate the physical viability of the construction of the fiber optic network, opting for the 12-wire G.652D single-mode fiber and for the 2-wire drop G.655 fiber distribution network for connections to buildings, covering 2.67 km of total cabling. Furthermore, an unbalanced network is selected to maximize the utilization of fiber strands. The optical budget is calculated and parameters are established according to ITU-T G.984 standards to ensure the integrity and durability of the network. This approach allows for long-term planning, ensuring network adaptability and scalability.

Keywords: GPON, Network architecture, Network topology, Optical splitter, Optical communication equipment.

1. Introducción

La modernización de la infraestructura de comunicación en entornos académicos se ha convertido en una prioridad ante las crecientes demandas tecnológicas y académicas. En este contexto, el presente artículo se enfoca en el diseño de una red GPON para la Ciudad del Conocimiento, un campus universitario de renombre que forma parte de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Esta propuesta surge como respuesta a la necesidad imperante de actualizar la infraestructura de conectividad en un entorno académico de vanguardia, donde las soluciones convencionales ya no

pueden satisfacer las necesidades crecientes de una institución académica de alto nivel. El campus universitario de Ciudad del Conocimiento se enfrenta a desafíos significativos en su infraestructura de comunicación. A medida que la demanda de ancho de banda y servicios de alta calidad sigue en aumento, las soluciones tradicionales se han vuelto insuficientes para respaldar las actividades de enseñanza, investigación y administración. La necesidad de mejorar la velocidad de acceso a recursos en línea, garantizar la seguridad de la red y ofrecer una alta disponibilidad de servicios de conectividad se ha vuelto imperativa para mantener la excelencia académica y tecnológica. Para abordar

*Autor para la correspondencia: ve429553@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ca355651@uaeh.edu.mx (Victor Fabian Canales-Carbajal), ve429553@uaeh.edu.mx (Edgar Roberto Vergara-Rivas), obed_perez@uaeh.edu.mx (Obed Pérez-Cortes), omar@uaeh.edu.mx (Omar Arturo Domínguez-Ramírez), rosa.ortega@uaeh.edu.mx (Rosa María Ortega-Mendoza).

estos desafíos, se llevará a cabo una investigación que incluirá el análisis detallado de las necesidades de conectividad, la estimación de la cantidad de usuarios y los requisitos de ancho de banda necesarios para satisfacer las demandas presentes y futuras del campus universitario. La fase de diseño se centrará en la planificación de la topología de la red GPON, considerando aspectos cruciales como la distribución óptima de la fibra y la ubicación estratégica de los equipos ópticos para garantizar un rendimiento óptimo. Finalmente, la implementación del proyecto seguirá un diseño integral previamente planificado, con especial atención a los detalles y los estándares de calidad establecidos. En conjunto, este enfoque busca no solo mejorar la conectividad en la Ciudad del Conocimiento, sino también contribuir al avance tecnológico y al desarrollo académico de la institución en su conjunto.

1.1. Características de las redes GPON

La red GPON (Gigabit Passive Optical Network) es otra tecnología perteneciente a la arquitectura PON, la cual está aprobada por la ITU (International Telecommunication Union) en 5 recomendaciones. El principal objetivo de GPON es ofrecer un ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras, y lograr una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en IP. Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2.488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Las velocidades más usadas por los administradores de equipos con arquitectura GPON usan velocidades de 2.488 Gbps para el canal de bajada y de 1.244 para el canal de subida. Esto proporciona velocidades muy altas para los abonados ya que si se dan las configuraciones apropiadas las velocidades pueden ser de hasta 100 Mbps a cada usuario (Guevara Henao, 2022).

La red GPON consta de una OLT (Optical Line Terminal), ubicada en la central del operador, y las ONT (Optical Networking Terminal) en las dependencias de los abonados. La OLT consta de varios puertos de línea PON, cada uno soportando hasta 64 ONTs. Para conectar la OLT con la ONT con datos, se emplea un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda downstream. Mediante divisores pasivos que dividen la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas. Puede haber una serie de divisores pasivos $1 \times n$ (donde $n=2,4,8,16,32$ o 64) en distintos emplazamientos hasta alcanzar los clientes. Los datos upstream desde la ONT hasta la OLT son distribuidos en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión downstream, por medio del divisor óptico. Esto permite que el tráfico sea recolectado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico downstream (Millan Tejedor, 2007).

1.2. Estándares Internacionales de la Red GPON

Las redes GPON, así como otras tecnologías se basan en estándares establecidos por entidades reguladoras que hacen cumplir las normativas que se tienen que aplicar en el diseño y la implementación de diferentes proyectos, esta entidad se la conoce como la ITU-T.

ITU-T G.984.1: este estándar contiene las diferentes topologías existentes, así como las características generales de las redes GPON.

ITU-T G.984.2: por medio de este estándar se presentan las diferentes especificaciones para el manejo dependiente de la capa donde se encuentran los medios físicos, además explica el manejo simétrico y asimétrico de la señal, con referencia a distintas velocidades.

ITU-T G.984.3: este estándar trata sobre la capa de convergencia de transmisión, las tramas que existe en una conexión de red y las seguridades en redes GPON.

ITU-T G.984.4: se determina las fallas y correcciones en los equipos ONT, analiza la interfaz de control y gestión, realiza un enfoque de los recurso y servicios de la información con base en la gestión o manejo independiente del protocolo de comunicación que existe entre las OLT y las ONTs.

ITU-T G.984.5: este estándar enfoca las futuras implementaciones de nuevas señales y servicios a la red, manejando diferentes rangos de bandas y longitudes de onda usando la técnica de multiplexación de información.

1.3. Necesidades y demandas del alumnado

Ciudad del Conocimiento, un centro académico multidisciplinario que abarca diversas áreas de estudio, que incluyen Biología, Ciencias de la Tierra y Materiales, Computación y Electrónica, Ingeniería y Arquitectura, Química, así como Matemáticas y Física. Esta casa de estudios se ha consolidado como un referente en la región. Con 14 programas de licenciatura, 11 de maestría y 7 de doctorado en funcionamiento, la institución ha experimentado un constante aumento en su matrícula estudiantil (Anuario Estadístico 2022, 2023). Se llevó a cabo una revisión del Anuario Estadístico 2022 de la institución, el cual reveló que en dicho año atrajo a 1948 aspirantes a la licenciatura y acogió a más de 7,874 estudiantes en total.

Este notable crecimiento ha sido posible gracias al compromiso de 550 docentes y 19 colaboradores del equipo administrativo. La Tabla 1, presenta el desglose del número de alumnos matriculados en programas de licenciatura, maestría y doctorado en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI).

1.4. Estudio de la demanda

Se consultaron los anuarios estadísticos de los años 2013 y de 2017 a 2022, excluyendo la información correspondiente a los años 2014 al 2016 (Anuario Estadístico 2022, 2023). Estos anuarios fueron elaborados por la Dirección General de Planeación de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El enfoque de la consulta se dirigió específicamente hacia la población escolar vinculada al ICBI de la UAEH, con el objetivo de obtener una comprensión detallada de las tendencias históricas.

Población escolar Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI)			
Programa educativo	Cantidad de alumnos	Edificio asignado	Población por edificio
Ingeniería Minero Metalúrgico	454	Edificio G	586
Ingeniería de Materiales	132		
Ingeniería en Electrónica	375	Edificio D	765
Ingeniería en Telecomunicaciones	390		
Ingeniería en Geología Ambiental	428	AACTYM	428
Ingeniería Industrial	976	Edificio A	976
Ingeniería en Arquitectura	959	Edificio H	959
Licenciatura en Ciencias Computacionales	726	Edificio B	726
Licenciatura en Física y Tecnología Avanzada	198	Edificio MF1	198
Licenciatura en Matemáticas Aplicadas	215	Edificio MF2	215
Licenciatura en Química	586	Edificio I	992
Licenciatura en Química en Alimentos	406		
Licenciatura en Biología	643	Edificio E	643
Licenciatura en Civil	934	Edificio F	934
Maestrías	218	Torre de posgrados	392
Doctorados	174		
Total	7,814	Promedio alumnos por edificio	558

Tabla 1: Población escolar en Ciudad del Conocimiento. Fuente: (Dirección General de Planeación UAEH, 2023).

Mediante la tabulación de estos datos, se pudo calcular la tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC), un indicador esencial para proyectar la demanda futura de conectividad. La elección de la ecuación de tasa de crecimiento anual compuesta se basa en su capacidad para proporcionar una visión clara y coherente de la evolución media, en porcentaje, de la demanda de alumnos a lo largo del período estudiado, lo que facilita la planificación y toma de decisiones para el campus universitario (Arrieché Rosas, 2022). Este cálculo se realizó utilizando la Ecuación 1, la cual toma en cuenta la demanda inicial y final de alumnos en diferentes periodos, permitiendo así una estimación de la tasa de crecimiento anual.

Con esta información fundamental, se busca proporcionar una base sólida para la proyección de la red de fibra óptica en Ciudad del Conocimiento durante los próximos 10 años.

$$TCAC = \left[\left(\frac{D_f}{D_o} \right) - 1 \right] (100\%) \quad (1)$$

En la fórmula descrita en la ecuación 1, D_f es la demanda final, D_o es la demanda inicial, P_f es la proyección futura, y n indica el número de años considerados en la proyección. La tasa de crecimiento anual, de mantenerse constante, representa el aumento anual que conduciría la demanda inicial de alumnos a la demanda final durante el período especificado. A continuación, en la Tabla 2, se considera la población estudiantil correspondiente del año académico 2013, y del 2017 al 2022 en Ciudad del Conocimiento. Se aplicó la Ecuación 1 para calcular el crecimiento anual promedio durante estos periodos.

Año	No. Alumnos	Crecimiento anual promedio
2013	5,298	33.314%
2017	7,063	
2019	7,870	1.042%
2020	7,952	
2021	7,211	9.194%
2022	7,874	

Tabla 2: Crecimiento anual promedio. Fuente: (Dirección General de Planeación UAEH, 2023).

Para proyectar valores futuros a partir de datos históricos, se calculó la demanda final de alumnos. En esta estimación, se utilizó la Ecuación 2, considerando el último porcentaje de tasa de crecimiento anual compuesto 2021-2022 (9.194%), con el fin de estimar la demanda de alumnos para el año 2033.

$$P_f = (D_f)(1 + TCAC)^n \quad (2)$$

$$P_{2033} = (7,874)(1 + 0.0919)^n$$

En resumen, se recomienda la implementación de una red GPON (troncal y distribución) en este instituto para satisfacer las necesidades de una población estimada de 18,968 alumnos. La Tabla 3 proporciona una estimación para el período comprendido entre 2023 y 2033, proyectada para cubrir un lapso de 10 años.

Proyección futura estimada		
Año	No. alumnos	Crecimiento anual promedio
2023	8,597	1.17%
2033	18,968	120.635%

Tabla 3: Proyección futura estimada. Fuente: (Dirección General de Planeación UAEH, 2023).

1.5. Limitantes del servicio

Se efectuó el análisis de la cantidad de alumnos simultáneos en el Edificio D de Ciudad del Conocimiento, específicamente los días lunes, observando un promedio de 216 alumnos conectados en las horas pico. Esta alta concentración de usuarios simultáneos ha revelado limitaciones en la conexión a Internet, afectando la calidad del servicio. La saturación de la red se ha identificado como el principal factor detrás de la conexión menos óptima. En este contexto, se recomienda una revisión exhaustiva de la infraestructura actual, especialmente de los Access Points, que se han mostrado limitados para satisfacer la demanda de conectividad de manera estable.

1.6. Encuesta de satisfacción sobre la conectividad a internet en Ciudad del Conocimiento

El propósito de esta encuesta es recopilar información esencial de los estudiantes de Ciudad del Conocimiento sobre su conectividad a Internet. Se llevó a cabo encuestando a 88 alumnos mediante un formulario compartido en línea

(Canales Carbajal & Vergara Rivas, 2024). El objetivo principal es evaluar la satisfacción y percepción de los servicios de comunicación interna, con el fin de identificar áreas de mejora y optimizar la experiencia de conectividad en el entorno universitario. La encuesta revela que la velocidad de conexión actual es deficiente para casi la mitad de los usuarios, indicando una necesidad apremiante de mejorar este aspecto. Este hallazgo destaca la importancia de priorizar un aumento significativo de la velocidad en el diseño de la red GPON para satisfacer las expectativas de los usuarios.

A pesar de que la conexión a Internet en el campus no satisface completamente las necesidades de muchos usuarios, existe un margen de mejora importante. El diseño de la red debe enfocarse en mejorar la calidad del servicio y la capacidad para garantizar la satisfacción general de los usuarios. La frecuencia de problemas de velocidad e interrupciones señala deficiencias en la estabilidad de la red actual. El diseño de la red GPON debe abordar estos problemas de manera integral para ofrecer una conexión más estable y confiable. Aunque la mayoría de los encuestados califica el soporte técnico como aceptable o mejor, se destaca la importancia de mantener y mejorar esta calidad para abordar los problemas de conexión de manera eficiente, brindando una experiencia más positiva a los usuarios. Las actividades académicas, la comunicación en proyectos y la descarga de materiales son fundamentales para la mayoría de los encuestados. Por lo tanto, el diseño de la red debe garantizar un ancho de banda suficiente para estas actividades, con especial atención a la calidad de conexión para clases en línea y colaboración académica.

2. Propuesta de diseño de red GPON en Ciudad del Conocimiento

2.1. Consideraciones de diseño

En la Figura 1, se muestra de manera esquemática la vista superior de Ciudad del Conocimiento. Este extenso terreno, que abarca una extensión de 304,434.00 metros cuadrados, alberga un total de 28 edificios plenamente operativos, con la notable adición de 2 estructuras en construcción que prometen ampliar aún más las instalaciones. Para realizar el diseño de redes GPON se recomienda analizar el área a donde va a estar dirigido el diseño para poder satisfacer las necesidades de todos los usuarios de la red y tomar muy en cuenta los estándares, topologías y normativas que mejor se acoplen al diseño de red que se esté realizando para sacar el mayor provecho, optimizando la fibra óptica (Guanotasig Molina, 2014).

Independientemente de la configuración de la infraestructura de una red como un sistema y teniendo en cuenta diversos elementos característicos de estos entornos,

es esencial asegurar un funcionamiento adecuado tanto antes como después. Esto implica que deben continuar ofreciendo el servicio al edificio para el cual fueron diseñadas. Sin embargo, en el caso específico de las redes GPON, es crucial contar inicialmente con un plano que detalle las distribuciones por zonas y los servicios que serán atendidos por el proveedor de servicios para brindar y mantener eficientemente dichos servicios.

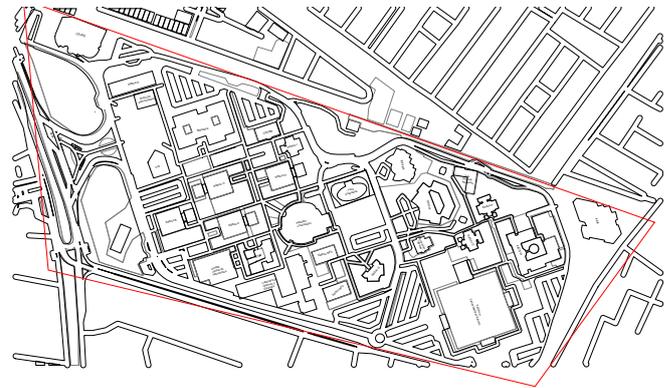


Figura 1: Plano Ciudad del Conocimiento.
Fuente: Elaboración propia.

2.2. Arquitectura de red-Topología P2MP

La arquitectura P2MP, o Point-to-Multipoint, es un modelo de red en el cual un nodo central transmite datos a múltiples nodos receptores o puntos de destino. En esta topología, la ODF (Optical Distribution Frame) componente clave para la gestión y la interconexión de cables de fibra óptica en una red, permitiendo un despliegue eficiente y una administración efectiva de la infraestructura, que actúa como punto de origen desde el cual se distribuye la información a varios destinos simultáneamente. Este enfoque es particularmente útil en situaciones donde se necesita transmitir datos desde un punto central a múltiples ubicaciones dispersas (Prieto Zapardiel, 2014). Una de las principales ventajas de la arquitectura P2MP es su eficiencia en términos de ancho de banda y recursos de red. Al transmitir datos desde un solo punto central a múltiples destinos, se evita la duplicación de datos y se optimiza el uso de la capacidad de red disponible.

Otra característica importante de la arquitectura P2MP es su escalabilidad. Es posible agregar nuevos nodos receptores a la red sin afectar la conectividad existente, lo que facilita la expansión de la red según sea necesario. Además, esta topología proporciona flexibilidad para adaptarse a cambios en los requisitos de conectividad y en la distribución de los nodos receptores (Bustamante Espinoza, 2021). En la Figura 2 se esquematiza la implementación de la propuesta con la arquitectura P2MP.

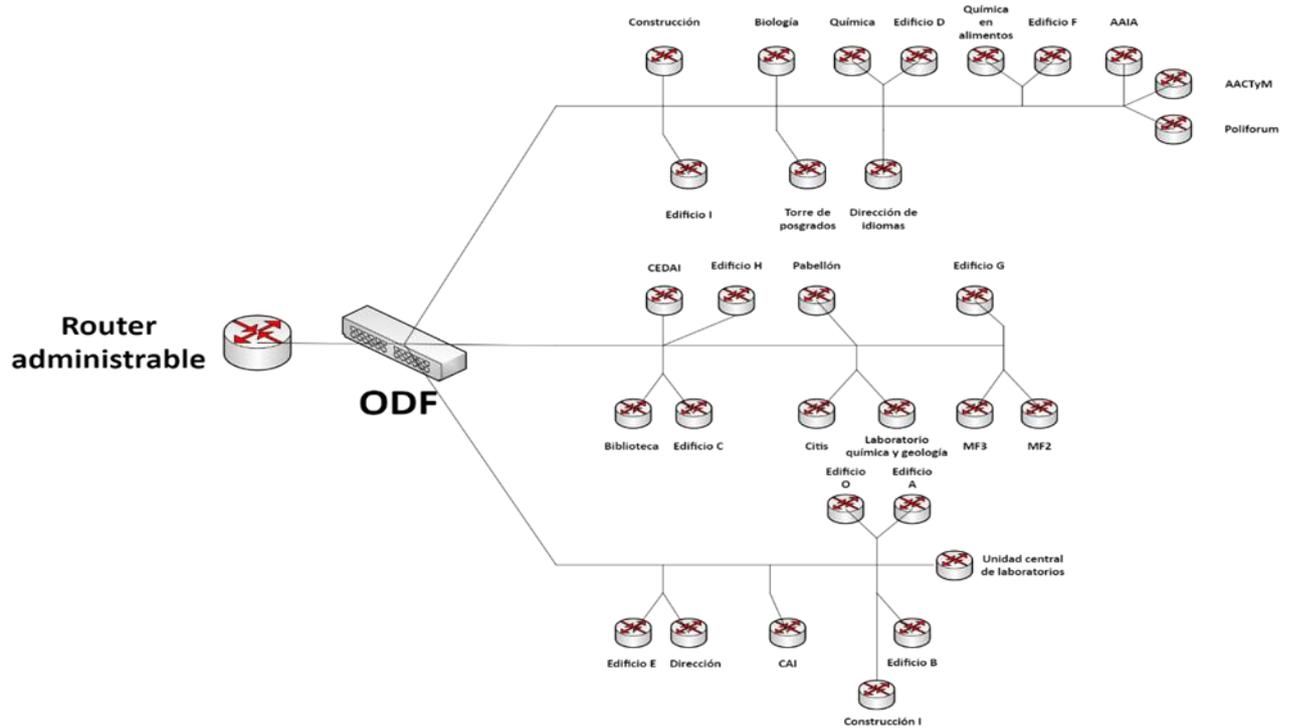


Figura 2: Arquitectura de red P2MP.
Fuente: Elaboración propia.

2.3. Planimetría subterránea de red GPON

La planimetría de red es un proceso de diseño que consiste en la elaboración de mapas detallados que representan la distribución física de los componentes de una red de comunicaciones siendo fundamental para visualizar y comprender la estructura de la red, facilitando la identificación de posibles problemas, la planificación de nuevas instalaciones y la optimización del rendimiento de la red (Agila García, 2019). La propuesta de implementación de la red GPON se fundamenta en el plano elaborado por el Arq. Cordero Vieyra Adrian, titulado "Planta de conjunto, red de ductería de sistemas", con fecha de realización en junio de 2019 (Agila García, 2019). En los planos para instalación de fibra óptica es indispensable plasmar símbolos que identifiquen las diferentes unidades de acuerdo al tipo de construcción. Esto es necesario para la instalación en planta exterior (Fundación Carlos Slim, 2021).

La Figura 3, ilustra la simbología utilizada en el plano para representar las rutas troncales y de distribución. Estos símbolos han sido diseñados utilizando el software Microsoft Visio con el propósito de proporcionar al lector una comprensión más clara de la distribución de estos elementos. Mientras que la Figura 4, ilustra el diseño de rutas troncales y de distribución siguiendo la topología de red P2MP que se ramifica en tres troncales, proporcionando una estructura visual clave para comprender la planificación y distribución de la red.

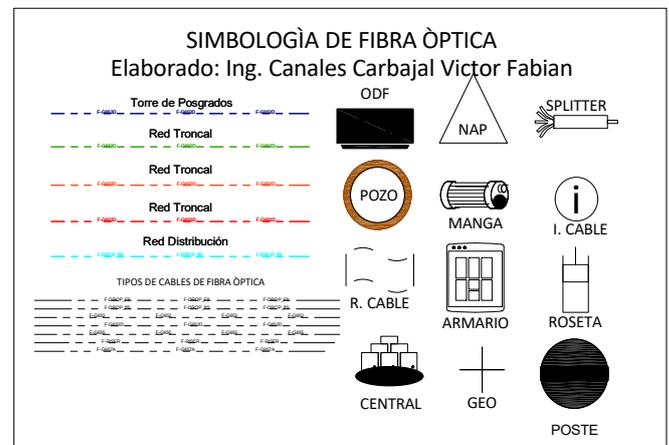


Figura 3: Simbología empleada.
Fuente: Elaboración propia.

Troncal Roja: esta troncal tiene una extensión de 0.488 km de cableado, cuenta con 15 pozos, 2 reservas ubicadas cada 300 metros de distancia y proporciona conectividad a 7 edificios.

Troncal Naranja: con una extensión de 0.745 km de cableado, esta troncal abarca 11 pozos, 2 reservas ubicadas cada 300 metros de distancia y brinda conectividad a 10 edificios.

Troncal Verde: cubriendo una extensión de 1.08 km de cableado, esta troncal se extiende por 20 pozos, 3 reservas ubicadas cada 300 metros de distancia y conecta 11 edificios.

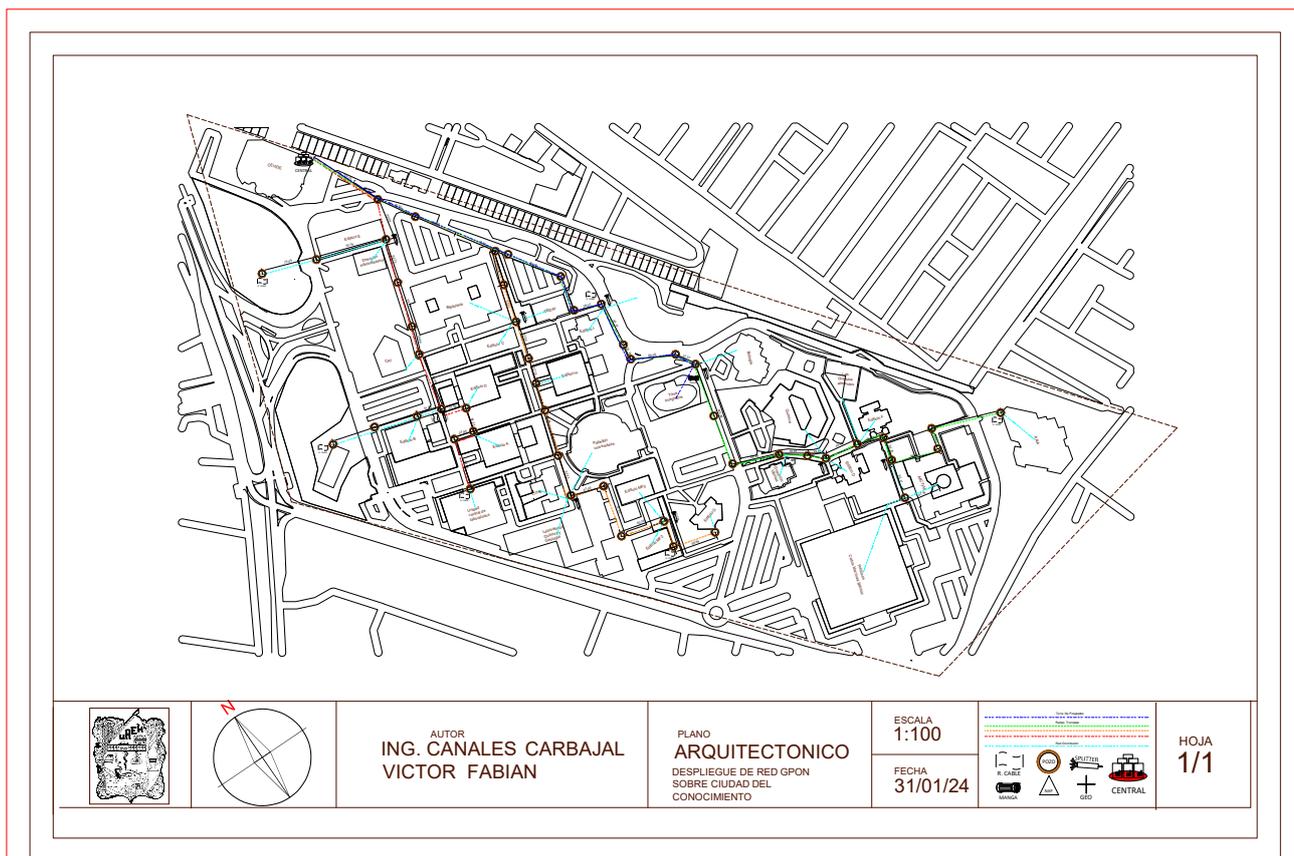


Figura 4: Planimetría de red GPON en Ciudad del Conocimiento.
Fuente: Elaboración propia.

En su conjunto, estas troncales abarcan un tendido subterráneo de 2.67 km de cableado, con la presencia de 48 pozos específicamente designados para la red troncal. La red de distribución se materializa a través de líneas de color cian, encargadas de conectar los edificios mediante cables de fibra óptica drop, con un estimado de 0.879 km de cable. La propuesta de planimetría de red subterránea se basa en la revisión del documento (Comisión Federal de Electricidad, 2015) el cual establece los lineamientos necesarios para el despliegue de redes subterráneas de telecomunicaciones. Este enfoque no solo asegura la seguridad de las redes, sino que también facilita su mantenimiento.

En esta guía de instalación de fibra óptica subterránea, se han considerado fragmentos clave, como la distancia recomendada entre pozos, la cual debe ser de 50 metros, aunque en condiciones específicas del terreno se puede extender hasta 70 metros. Además, se ha tomado en cuenta la ubicación estratégica de reservas de cableado cada 300 metros, las cuales deben contener una extensión de 50 metros para permitir una escalabilidad futura. Esta disposición garantiza una implementación que cumple con las normativas establecidas y asegura una red eficiente y de alta calidad. La Tabla 4, resumen los elementos correspondientes a cada tendido de red.

Ruta	Tipo de ruta	Km de fibra proyectada	No. Reservas 50 m c/u	No. Pozos	No. Edificios
Roja	Troncal 1	0.488	2	15	7
Naranja	Troncal 2	0.745	2	11	10
Verde	Troncal 3	1.087	3	20	11
Cian	Distribución	0.879	NA	NA	NA
Total:		3.199	7*50m	46	28

Tabla 4. Tabulación elementos que conforman la red.
Fuente: Elaboración propia.

3. Fibra óptica a implementar

3.1. Troncales- fibra G.652

El elegir fibra monomodo es sencillo ya que el tipo básico de fibra monomodo de 1310 nm (llamada fibra G.652) resulta adecuado para la mayoría de las aplicaciones, tales como cableado en planta interna o a nivel campus, FTTH (Fiber To The Home) y redes de áreas metropolitanas. Para enlaces de mayor longitud o aquellos en los que se utilice multiplexación por división de longitud de onda puede ser necesaria la utilización de fibra especial optimizada para 1500-1600 nm (G.653 o G.654) (The Fiber Optic Association Inc, 2017). En este caso de estudio se selecciona fibra monomodo G.652D ya que para este diseño se considera utilizar para las redes troncales cable de fibra óptica de 12 hilos. Incluir más fibras en un cable suele ser una buena forma de garantizar una futura ampliación y en proporción no aumentará el costo del cable. El costo básico de la fabricación de un cable es fijo,

pero agregar fibras casi no aumentará el costo. Incluir más fibras en un cable suele ser una buena forma de garantizar una futura ampliación y en proporción no aumentará el costo del cable (The Fiber Optic Association Inc, 2019). Disponer de fibras adicionales para futuras ampliaciones, sistemas de respaldo o para casos de roturas de fibras individuales es una buena manera de ahorrar para futuras implementaciones.

3.2. Red de distribución- fibra drop G.655 de 2 hilos

En la planificación del despliegue de la red, el siguiente paso es determinar la cantidad óptima de hilos de fibra óptica necesarios para la conexión de última milla a los edificios. Mediante la Ecuación 3, se realiza esta estimación.

$$H_f = \frac{E_t}{S} \quad (3)$$

$$H_f = \frac{28}{16}$$

En la ecuación, H_f representa el número de hilos de distribución, E_t es el total de edificios, y S indica el nivel de splitter, expresado en la relación (1:2) o (1:8), que a su vez puede ser igual a 1:16. Después de aplicar la fórmula y los datos proporcionados, se obtiene como resultado que H_f es aproximadamente igual a 1.8, lo cual se redondea a 2 Hilos de fibra óptica. Es relevante destacar que la elección de 2 hilos no solo cumple con las necesidades actuales de la red, sino que también contempla consideraciones de respaldo y futuras expansiones. Reservar un hilo adicional permite tener un respaldo inmediato en caso de fallo, garantizando la continuidad del servicio. La instalación de este tipo de cable se realiza desde la caja NAP (Network Access Point) de segundo nivel luego se procede a realizar la instalación en planta interna con la finalidad de enrutar los cables a través de canaletas sobrepuestas o tuberías empotradas donde se requieren radios de curvatura mínimos.

4. Propuesta de conexión entre equipos activos y pasivos

La infraestructura de nuestra red se origina en la central de comunicaciones, ubicada en el edificio CEVIDE (Centro de Vinculación y Desarrollo Educativo), respaldada por el enlace dedicado proporcionado por Telmex. Este proveedor establece conexión y brinda servicios de internet y telefonía a través de un cable Ethernet Cat6 hasta el router administrable. La mayor parte de la configuración técnica se concentra en este router, siendo esencial crear VLAN para cada servicio (por ejemplo, VLAN10-Internet, VLAN20-Telefonía). La capacidad de enviar múltiples direcciones IP a través de una única interfaz física es crucial para segmentar los servicios de internet y telefonía, otorgándoles redes virtuales privadas hasta llegar a la ONT (Optical Network Terminal).

Dada la imposibilidad de transmitir más de un servicio a través de una única IP, la creación de VLAN se vuelve esencial, seleccionando una IP por tipo de servicio. En este escenario, se propone el uso de una VLAN troncal, también conocida como tagged, para etiquetar cada IP con su respectivo servicio, permitiendo que la ONT identifique la VLAN y transmita diversas IP a través de ella. Una vez que estas VLAN llegan a las ONT, es imperativo distribuir los

servicios mediante una VLAN ACCESS, que separa las VLAN troncales, asignando a cada servicio su interfaz física correspondiente. Además, la configuración de un PPPoE server (Point-to-Point Protocol over Ethernet) en el router administrable nos ayuda a controlar usuarios, identificarlos, limitar el ancho de banda y proporcionar calidad de servicio. Para ello, es necesario configurar un PPPoE client en nuestra ONT con la interfaz VLAN asignada a internet.

En el router administrable, se debe asignar 2 interfaces (4 y 5) para monitorear nuestra red a través de un PC mediante interfaces de gestión. Conectamos el puerto de consola de la OLT al router administrable, estableciendo un puente entre estas 2 interfaces para controlar tanto la OLT como el router desde la PC. La conexión entre el router administrable y la OLT se realiza mediante un cable de fibra óptica, comúnmente utilizando cables monomodo UPC y módulos C+. Posteriormente, los servicios se distribuyen a los edificios a través de los puertos de salida PON, haciendo uso de un módulo SFP C+, donde cada módulo tiene la capacidad de distribuir servicios a hasta 64 ONT. La OLT con 4 interfaces de fibra, y para asegurar la continuidad y organización de la red, conectando la OLT al distribuidor de fibra óptica (ODF) utilizando cables de fibra óptica.

El ODF funciona como un patch panel, fusionando conexiones hacia los splitters y garantizando la continuidad del cableado. Para conectar los splitters de primer nivel en las cajas NAP, empleando cables de fibra óptica G.652D de 12 hilos, implementando empalmes de fusión para conectar a los splitters de segundo nivel o para realizar conexiones directas de acometida. En la conexión de acometida al edificio, utilizando cable drop G.655 de 2 hilos, asignando un hilo a cada planta correspondiente. En cada planta del edificio, instalamos al menos una ONT, utilizando conectores SC/APC para garantizar una conexión óptima y eficiente. Además, las ONT pueden ser configuradas desde la OLT sin necesidad de intervención técnica en el edificio, excepto en casos de restauración o mantenimiento posterior. La disposición de las conexiones en los equipos se muestra en la Figura 5, para una mejor comprensión visual.

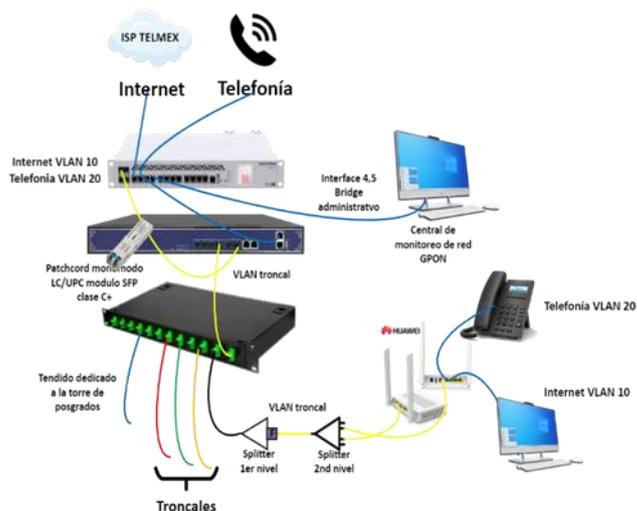


Figura 5: Diagrama de conexiones.

Fuente: Elaboración propia.

5. Distribución de ONT y ancho de banda en cada edificio

La distribución equitativa del ancho de banda por edificio en nuestra red se fundamenta en la necesidad de optimizar el rendimiento y garantizar una experiencia de usuario uniforme. Para este caso de estudio se propone el contratar un enlace dedicado capaz de otorgar una tasa de bits de 2.488 Gbps en dirección descendente y 1.244 Gbps en dirección ascendente lo cual establece la capacidad total disponible para la red. Para lograr una asignación eficiente, se requiere hacer uso de la Ecuación 4, en la cual inicialmente se dividen los 2488 Mbps entre los 28 edificios

$$A_{Edif} = \frac{V_{Total}}{E_t} \tag{4}$$

$$A_{Edif} = \frac{2488 \text{ Mbps}}{28}$$

En la ecuación, A_{Edif} representa el ancho de banda por edificio, A_{ONT} indica el ancho de banda por ONT, V_{Total} es la capacidad total del enlace ascendente de 2488 Mbps, y E_t la cantidad de edificios totales. Con una asignación media de aproximadamente 88.85 Mbps por edificio, este enfoque persigue equilibrar la distribución de carga de manera proporcional, garantizando que cada edificio tenga acceso a una porción significativa de la capacidad total del ancho de banda. La posterior asignación de ancho de banda se lleva a cabo utilizando A_{Edif} , siendo dividido por la cantidad de ONTs por edificio, con un promedio de 2 por edificio en este caso.

La Figura 6, por otro lado, proporciona un diagrama ilustrativo de la distribución de splitters balanceados de segundo nivel y de las ONT por edificio, siguiendo las rutas troncales establecidas.

$$A_{ONT} = \frac{88.85 \text{ Mbps}}{2} \tag{5}$$

Asignando aproximadamente 44.42 Mbps a cada ONT para garantizar una distribución inalámbrica uniforme. La elección de distribuir el ancho de banda por edificio en lugar de por programa educativo se fundamenta en varios factores clave. Primero, algunos programas educativos comparten edificios, como se detalla en la Tabla 1. Además, los alumnos rotan constantemente entre diferentes edificios debido a diversas actividades académicas, como asistir a laboratorios, al pabellón universitario y a la biblioteca. Por lo tanto, una asignación de ancho de banda por edificios, en lugar de los programas educativos, es más efectiva para asegurar una experiencia de usuario uniforme y satisfactoria. No obstante, algunos edificios pueden tener necesidades más demandantes debido a una mayor densidad de usuarios o actividades específicas. Para resolver este problema, se puede otorgar una mayor asignación de ancho de banda desde el router administrable según los requisitos individuales de cada edificio.

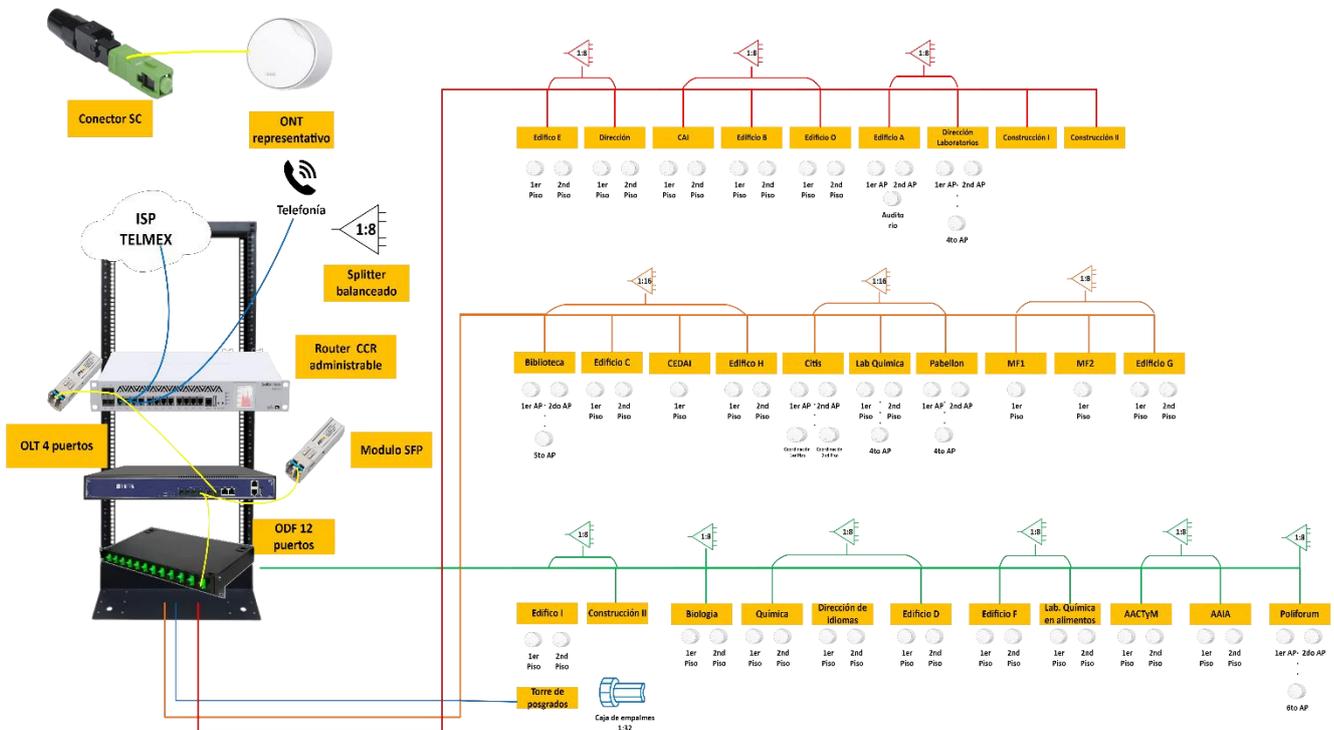


Figura 6: Distribución de las ONTs.
Fuente: Elaboración propia.

6. Diagrama unifilar torre de posgrados

A continuación, se examina el proceso mediante el cual se asigna un hilo de fibra óptica proveniente de la fibra troncal de 12 hilos, conectada a nuestra central (CEVIDE), para abastecer de servicios al edificio "Torre de Posgrados". Este edificio, con una altura de 97.10 metros y 18 niveles, recibe el hilo de manera subterránea a través de una caja de empalmes. En esta caja, se ubica un splitter de primer nivel balanceado 1:32, del cual se destinan 18 hilos para conectar cada planta del edificio, los 14 hilos restantes se reservan en el splitter para uso futuro. La función principal de este splitter es asignar un hilo de fibra a cada nivel de la torre. Posteriormente, cada planta cuenta con su propio splitter de segundo nivel balanceado 1:8. Este diseño permite llevar a cabo el cableado estructurado necesario para brindar servicios de internet y telefonía a las aulas y oficinas que componen el edificio. La Figura 7, representa un diagrama unifilar correspondiente a la Torre de Posgrados, donde se visualiza claramente la distribución de la fibra óptica y la ubicación de los splitters.

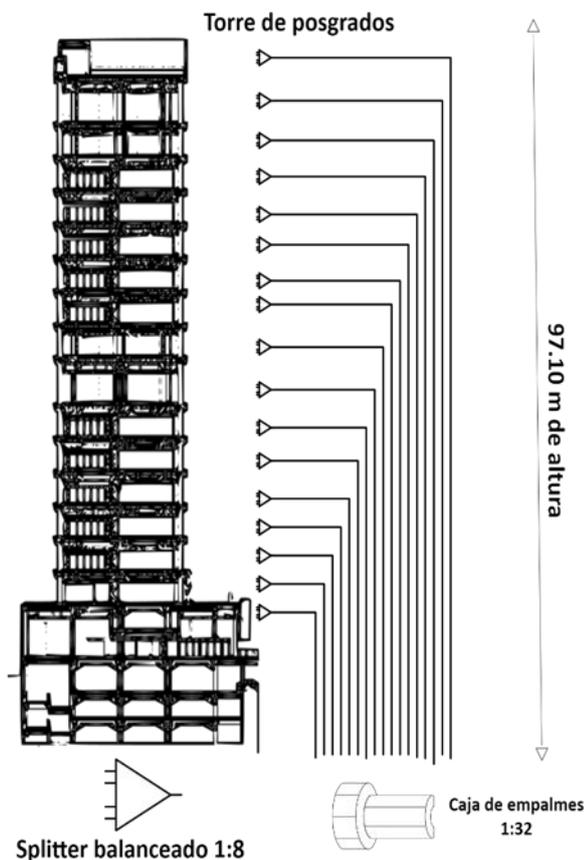


Figura 7: Diagrama unifilar torre de posgrados.
Fuente: Elaboración propia.

7. Optimización de Distribución de ONTs en el Polifórum Carlos Martínez Balmori

7.1. Planificación y ejecución del site survey

En esencia el site survey implica el despliegue de puntos de acceso temporales en ubicaciones preliminares, ya sea un solo AP a la vez o una Wlan completa para identificar los puntos base de instalación determinando la cobertura y/o calidad de servicio (QoS), para luego bajo el análisis de los resultados cambiar las posiciones y/o configuraciones de los AP o introducir nuevos puntos de acceso. Así pues, el Site Survey no debe ser una herramienta pasiva de instalación, sino por lo contrario debe ser una práctica periódica para mantener una operación aceptable de la solución inalámbrica (Monzón Sánchez & Angulo Justinicio, 2020).

Para este caso de estudio, se empleó el software Wifi Designer, una herramienta integral que facilita la planificación del diseño de la red wifi. Este software nos permite prever el número necesario de ONT o Access Points para el plano. Wifi Designer ya cuenta con datos precargados sobre la atenuación en ambientes tradicionales. Sin embargo, para lograr una mayor precisión, proporcionando información detallada sobre las distancias en nuestra escala de plano y la composición exacta de los materiales que afectarán la señal. La atenuación de diferentes materiales es esencial para un estudio predictivo eficaz, considerando factores como la facilidad de penetración según la longitud de onda de la señal de RF. Posteriormente, se selecciona las ONT, especificando detalles como la ganancia de antenas (7 dBi) y la potencia de transmisión del equipo (-26.28 dBm). Una vez ubicadas las ONT en el plano, el software calcula la potencia de transmisión (dBm). Luego, especificamos los materiales presentes en el plano, incluyendo paredes de concreto (5/15 dB), vidrio (3/9 dB) y tabla roca (2/3 dB) para las divisiones sectoriales internas.

A medida que se integran los materiales, el patrón de radiación se ajusta. Es importante tener en consideración una atenuación del ambiente (-15 dB) debido a la naturaleza concurrida del edificio. Una limitación del software es la incapacidad de considerar alturas de habitaciones, proponiendo que el usuario ajuste esta variable en la atenuación del ambiente. Las ONT deben colocarse a una distancia adecuada para evitar la interferencia de canales. En función del entorno, se busca que las ONT se vean entre sí al menos a -80 dBm. Para entornos comunes con un nivel de ruido electromagnético moderado (-90 dBm), -65 dBm puede ser suficiente para brindar un servicio de internet adecuado a las necesidades del usuario. La Figura 8 y 9, ilustran la distribución de las ONTs y su correspondiente diagrama de radiación para las bandas de frecuencia de 2.4 y 5 GHz.

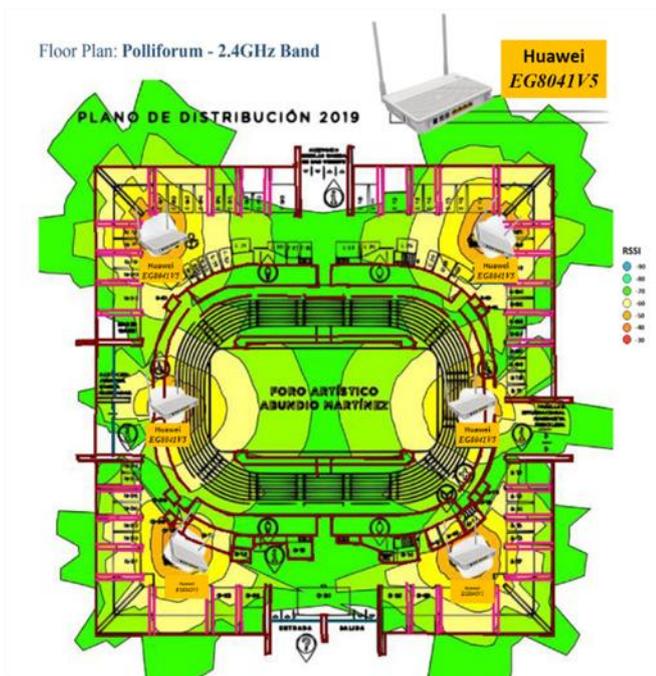


Figura 8: Site survey Poliforum 2.4 GHz.
Fuente: Elaboración propia.

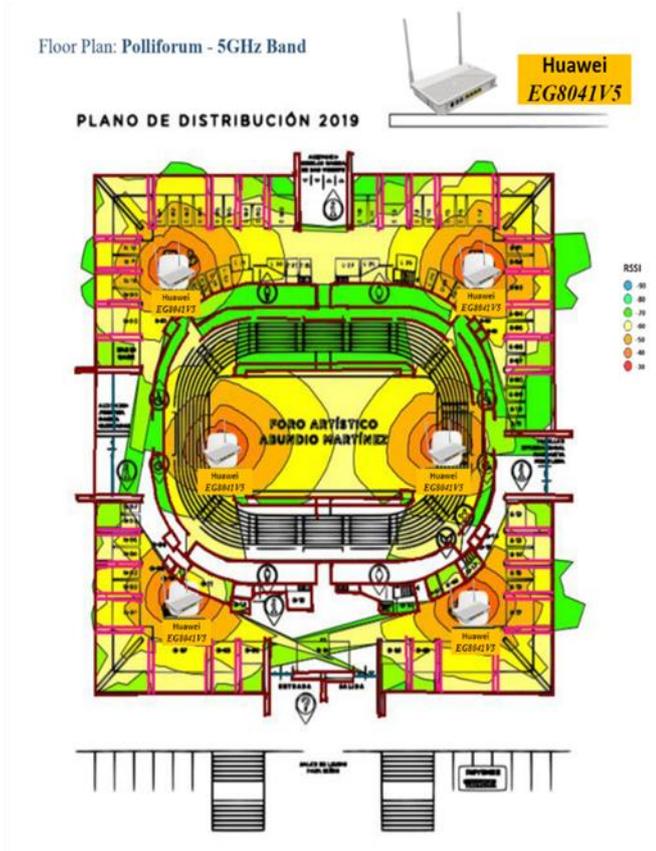


Figura 9: Site survey Poliforum 5 GHz.
Fuente: Elaboración propia.

8. Niveles de división óptica

La decisión de optar por una red desbalanceada en lugar de una red tradicional balanceada se sustenta en consideraciones cruciales de eficiencia y optimización del cableado. Al explorar el escenario de una red troncal de 6 hilos, donde un hilo se deriva en cada caja NAP, se evidencia la limitación de la red balanceada. En la Figura 10, se puede observar que, en un contexto balanceado, la consecuencia directa es la pérdida de utilidad de los hilos sobrantes. En cada etapa de conexión a una caja NAP, un hilo de los 6 originales se utiliza, mientras que el hilo restante pierde comunicación con la base (central de telecomunicaciones). Este patrón se repite en cada conexión, resultando en la ocupación de solo el 40% del cable total.

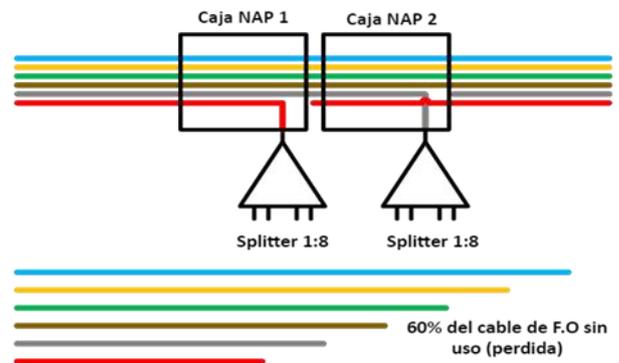


Figura 10: Red balanceada.
Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, se ha tomado la decisión de utilizar un enfoque asimétrico para los splitters. Se emplearán splitters desbalanceados 1:2 de primer nivel, un hilo será el encargado de dividir la potencia a la siguiente caja NAP llevando consigo una mayor potencia óptica, mientras que el segundo hilo servirá para distribuir al splitter balanceado de segundo nivel teniendo una menor potencia óptica. Este diseño maximiza la eficiencia del cableado y minimiza el número de fusiones, ya que el hilo con menor potencia se utiliza para alimentar el splitter balanceado (ej. splitter 1:8). Esta tendencia de cableado se caracteriza por su eficiencia, ya que, en lugar de cortar el cable, se reutiliza, dividiéndolo con un splitter desbalanceado.

La Figura 11, ilustra como este método mejora el uso de los componentes pasivos, siendo hasta un 60% más eficiente que una red balanceada y evitando el desperdicio de recursos asociado con fusiones adicionales. Mientras que la Figura 12, representa la distribución de potencia en las entradas y salidas de los splitters.

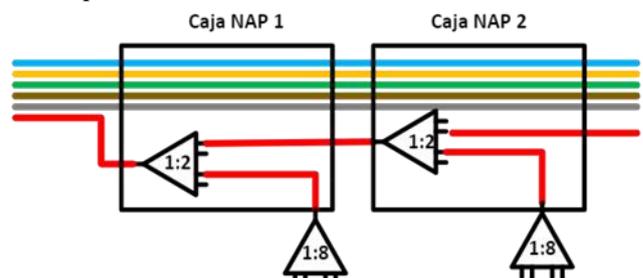


Figura 11: Red desbalanceada.
Fuente: Elaboración propia.

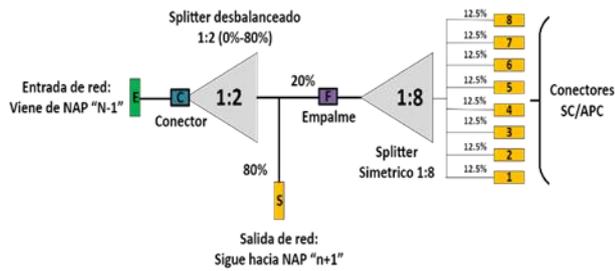


Figura 12: Niveles de división óptica.
Fuente: Elaboración propia.

9. Cálculo del presupuesto óptico

El presupuesto de potencia óptica hace referencia a la cantidad de pérdida que un enlace de datos (transmisor a receptor) puede tolerar. En ciertas ocasiones el presupuesto de potencia óptica tiene un valor máximo y un valor mínimo, lo que significa que necesita al menos un valor mínimo de pérdida para que no se sobrecargue el receptor y un valor máximo de pérdida para garantizar que el receptor tenga suficiente señal para funcionar correctamente. El presupuesto de pérdida óptica es la cantidad de pérdida que una red de cables debe tener; se calcula sumando las pérdidas de todos los componentes utilizados en la red de cables para obtener la pérdida punto a punto estimada, y obviamente ambos están relacionados. Un enlace de datos funcionará solamente si la pérdida de la red de cables está dentro del presupuesto de potencia óptica del enlace (The Fiber Optic Association, Inc., 2016).

En esta propuesta, sugerimos el uso de un módulo SFP clase C+ instalado en la OLT con parámetros de transmisión (TX) que oscilan entre un mínimo de 3 dBm y un máximo de 7 dBm. Es importante destacar que, al realizar el cálculo de potencia, optaremos por utilizar la media entre el valor máximo y mínimo, estableciendo así un parámetro de 5 dBm. Este módulo desempeña un papel fundamental en la transmisión óptica hacia la ONT. La ONT, por su parte, debe gestionar la señal óptica con un rango de recepción (RX) que

varía desde un mínimo de -28 dBm hasta un máximo de -7 dBm.

No obstante, es crucial considerar que la potencia de la señal óptica va disminuyendo debido a los conectores, fusiones, tipo de splitters y la distancia recorrida, resultando en una atenuación progresiva del enlace. Conforme a las normas ITU-T G.984 para redes GPON, se especifica que la potencia de la señal óptica que llega a la ONT debe mantenerse dentro de límites específicos. En el caso crítico del usuario más lejano, la potencia no debe superar los -28 dBm, y en el escenario crítico del usuario más cercano, la potencia no debe ser inferior a -7 dBm, evitando saturación o daño al detector de la ONT.

La Figura 13, ilustra estos parámetros críticos aseguran la conformidad con estándares establecidos y garantizan la integridad y durabilidad de los equipos involucrados en la red GPON.

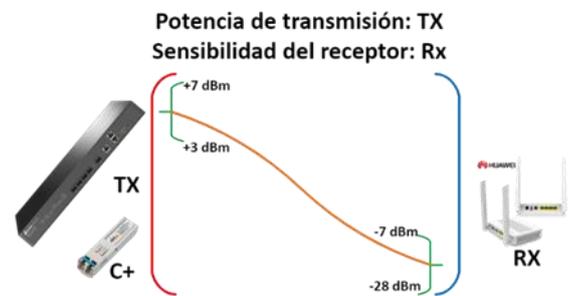


Figura 13: Parámetros TX y RX de la OLT.
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el presupuesto óptico se realiza la sumatoria de todas las pérdidas parciales de los elementos que conforman la red desde la OLT hasta la ONT, los mismos que se muestran en la Figura 14. En la estructuración de nuestra red, incorporaremos 10 splitters balanceados de 1:8, 2 splitters balanceados de 1:16, 1 splitter balanceado de 1:32 destinado a la torre de posgrados y 9 splitters desbalanceados de 1:2.

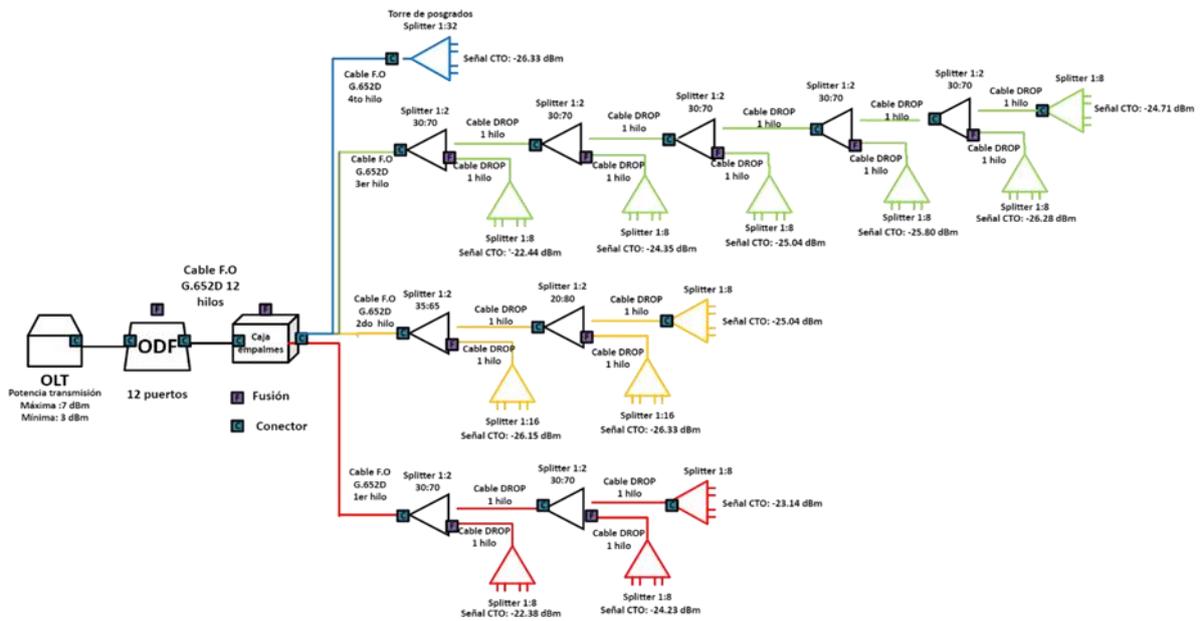


Figura 14: Presupuesto óptico.
Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de la Ecuación 6, permite calcular la atenuación total teórica, sumando las pérdidas parciales de elementos como splitters, longitud de onda, distancia del enlace, puntos de empalme y conectores. Este enfoque garantiza que la potencia entregada a la ONT sea adecuada y facilite la toma de decisiones para optimizar el rendimiento del enlace, asegurando una planificación eficiente. En otras palabras, el presupuesto de pérdida óptica es una indicación de cómo se utilizará la potencia óptica disponible. (Quisnancela & Espinosa, 2016).

$$X = (A + B) + (CD) + (EF) + (GH) \quad (6)$$

En la ecuación, X representa la atenuación total teórica en decibelios (dB), mientras que A y B denotan la atenuación del splitter de primer y segundo nivel respectivamente (dB). C corresponde a la atenuación de la longitud de onda en dB por kilómetro (dB/Km), y D indica la distancia del enlace de fibra en kilómetros (Km). E representa la atenuación del punto de empalme en dB, mientras que F es la cantidad total de puntos de fusión en el Enlace (u). Por otro lado, G representa la atenuación de los conectores en dB, y H representa la cantidad total de conectores en el enlace (u). La Tabla 5, resumen los resultados correspondientes a la primer y última de 6 cajas NAP de la troncal de color verde.

Atenuaciones de splitter Balanceado	10.5 dB	10.5		
Cantidad de fusiones entre OLT e ONT	3	0.15	3	0.15
Cantidad de conectores entre OLT e ONT	6	0.75	10	0.75
Señal de salida del splitter	-22.44 dBm	-24.71 dBm		

Tabla 5: Tabulación presupuesto óptico para la troncal verde.
Fuente: Elaboración propia.

Por lo antes expuesto en la tabla de presupuesto óptico se puede observar que no se supera el umbral indicado de -28dBm y se llega a un máximo de -24.03 dBm en el peor de los casos para el edificio más lejano que se puede atender en la red.

Conclusiones y trabajos futuros

La propuesta de planimetría para la red GPON sigue una topología P2MP con tres troncales (Roja, Naranja y Verde), cubriendo 2.67 km de cableado y conectando eficientemente 28 edificios mediante 48 pozos. La planificación incluye reservas de cable cada 300 metros, asegurando flexibilidad operativa. La red de distribución, de 0.879 km, sigue normativas de tendido subterráneo de CFE. La decisión de optar por fibra monomodo G.652D se basa en su idoneidad para las redes troncales de 12 hilos y las de distribución de 2 hilos, teniendo en cuenta los cálculos sobre la cantidad de edificios en el diseño. La inclusión de más fibras en un cable permite asegurar futuras expansiones a un costo relativamente bajo. Este enfoque también proporciona flexibilidad para expansiones adicionales, respaldo y contingencias en caso de roturas individuales.

Esta configuración técnica se concentra en el router administrable, que establece VLAN para segmentar los servicios de internet y telefonía. El uso de VLAN troncales facilita la transmisión de múltiples direcciones IP a través de una única interfaz física hasta llegar a las ONT. La OLT se

Informaciones	CAJA NAP 1 1er Y 2do Nivel de Splitter		CAJA NAP 6 1er Y 2do Nivel de Splitter	
Distancia entre cajas (Km)	0.36		0.97	
Atenuación cable de fibra por km	1490 nm	0.27	1490 nm	0.27
Señal Entrada splitter Desbalanceado	5 dBm		6 dBm	
Tipo splitter Desbalanceado	30:70		AUSENTE	
Salida splitter desbalanceado	MENOR	MAYOR	MENOR	MAYOR
Atenuación splitter Desbalanceado	1.9	6	NA	NA
Tipo splitter Balanceado	1:8		1:8	

conecta al ODF para organizar y asegurar la continuidad de la red. Los splitters de primer nivel en las cajas NAP se conectan mediante cables de fibra óptica G.652D de 12 hilos. En la acometida al edificio, se utiliza cable drop G.655 de 2 hilos, asignando un hilo por planta. Cada planta instala al menos una ONT, configurada desde la OLT sin intervención técnica en el edificio, excepto en casos de mantenimiento.

La elaboración del diagrama unifilar para la torre de posgrado representa la adecuación de un tendido de red en su totalidad balanceada, al contrario de nuestra planimetría para Ciudad del Conocimiento. En la cual se designa un hilo de fibra óptica desde la central hasta cada nivel del edificio mediante una caja de empalmes y un splitter de primer nivel balanceado 1:32. Asignando de esta manera que cada planta cuente con un splitter balanceado 1:8, para posteriormente realizar el cableado estructurado correspondiente. Al preferir implementar una red desbalanceada sobre una tradicional balanceada se basa en la eficiencia y optimización del cableado. La decisión de utilizar splitters desbalanceados 1:2 maximiza la eficiencia, reutilizando el cable de manera asimétrica y minimizando fusiones, siendo hasta un 60% más eficiente que una red balanceada. Para garantizar la integridad y durabilidad de la red GPON propuesta. Cumplimos con los estándares ITU-T G.984, asegurando que la potencia de la señal óptica se mantenga dentro de límites críticos, evitando saturación o daño al detector de la ONT.

Trabajos futuros

Propuesta de implementación de una red 5G privada para Ciudad del Conocimiento

Con el avance de las comunicaciones móviles a nivel global, cada nueva generación tecnológica, como 2G, 3G y 4G, junto con sus variantes, ha introducido mejoras significativas respecto a su predecesora. Estas mejoras suelen centrarse en aspectos como eficiencia, cobertura y capacidad de transmisión del espectro radioeléctrico, motivando así la búsqueda de una nueva generación que perfeccione estas características debido al crecimiento constante del tráfico de red. La red de 5G no solo trata de transmitir información en el menor tiempo posible, como se ha conocido hasta ahora, sino que también incluye la implementación del Internet de las cosas (IoT), permitiendo miles de interacciones entre dispositivos de forma sincronizada. Las redes 5G ofrecen una baja latencia, lo que posibilita velocidades superiores a las de LTE, gracias a que utilizan medios radioeléctricos avanzados, a diferencia de tecnologías anteriores. Sin embargo, su cobertura puede ser limitada en ciertas zonas, lo que requerirá un mayor número de estaciones base y una infraestructura más compleja. Aunque la implementación de redes 5G todavía es parcial, ya que la 4G sigue dominando el mercado en México, las principales empresas de servicios móviles están trabajando en la estandarización de esta nueva generación. Esto implica la aplicación de políticas regulatorias basadas en estándares internacionales para evitar interferencias en las 5G y garantizar un entorno móvil seguro para el futuro, al tiempo que se reducen las barreras económicas.

Redes 5G privadas en campus universitarios

Con una red 5G privada, se espera una cobertura inalámbrica mejorada con una sola celda. De hecho, un solo punto de acceso 5G privado interior puede cubrir cuatro veces el área de un punto de acceso WIFI. Para implementaciones al aire libre, esa cobertura podría multiplicarse por diez (Froehlich, 2021). Gracias a las capacidades de transferencia de datos y la comunicación de baja latencia, las instituciones pueden garantizar la interoperabilidad entre la tecnología de comercialización, las operaciones del campus y los sistemas académicos, lo que permite que las funciones automatizadas cubran las necesidades correspondientes mediante el uso de datos en tiempo real. Con los avances tecnológicos de 5G, los educadores de grado pueden brindar un apoyo preciso a los estudiantes, La IA (Inteligencia artificial) puede analizar los datos y la actividad en los sistemas de estudiantes, como Blackboard, para identificar patrones y recomendar ajustes. También puede sugerir proyectos individuales para los estudiantes en función de sus horarios e intereses (T-mobile, 2021).

Las instituciones académicas como el campus universitario de Ciudad del Conocimiento enfrentan desafíos con su infraestructura de comunicación. Los desafíos actuales incluyen la necesidad urgente de mejorar la velocidad de acceso a recursos en línea, garantizar la seguridad de la red y la protección de datos, así como ofrecer una alta disponibilidad de servicios de conectividad para mantener el ritmo con las demandas tecnológicas en constante evolución. La planificación de cobertura 5G en el campus universitario implicó la realización de una simulación utilizando el software Xirio Online, una herramienta que permite realizar simulaciones de cobertura radioeléctrica con alta resolución cartográfica, ofreciendo parámetros por defecto sugeridos al usuario.

El procedimiento para esta simulación incluyó el estudio de cobertura del servicio móvil 5G utilizando la banda de frecuencias correspondiente a la banda 5G, operando en los 3500 MHz, una frecuencia asignada para el servicio 5G en México. Se estableció un ancho de canal/separación entre portadoras de 20 MHz. Para esta investigación, se empleó una antena compatible con 3G/4G/5G, con una ganancia de 17.5 dBi y un ángulo de cobertura de 65 grados, con polarización vertical y una potencia de 20 watts. La estación base se posicionó a 30 metros de altura sobre la azotea del laboratorio de química para garantizar una cobertura óptima en todo el campus. Los resultados de la simulación se visualizaron mediante una representación gráfica de la cobertura, mostrando un rango de colores que indican el nivel de señal disponible en cada punto del área estudiada. Esta representación permite identificar la intensidad de la señal en relación con la distancia a la estación base. La Figura 15, ilustra la simulación de cobertura en el campus, destacando la calidad de la señal en los puntos más alejados de la estación base dentro del área delimitada.

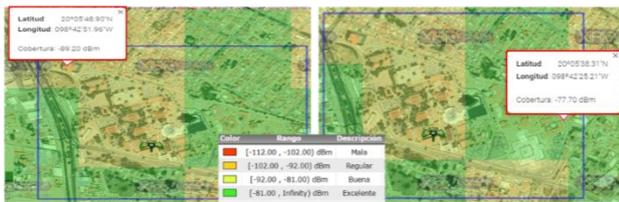


Figura 15: Planificación de cobertura 5G en Ciudad del Conocimiento.
Fuente: Elaboración propia por medio del software Xirio Online.

Luego de esta etapa, se dividió el área de cobertura en 3 sectores, asignando un canal específico a cada uno para evitar solapamientos. Posteriormente, se realizó un estudio de cobertura multitransmisor, el cual consiste en combinar los resultados de los 3 estudios de cobertura de cada sector. Una vez completadas estas fases, se llevó a cabo el cálculo final de la cobertura del estudio, utilizando una resolución de 400 m/pixel. No obstante, es importante mencionar que se puede acceder a resoluciones más detalladas de hasta 5 m/pixel mediante las tarifas de pago de Xirio Online. La Figura 16, presenta el estudio de cobertura para cada uno de los sectores, proporcionando una visualización clara de la cobertura alcanzada en cada área específica dentro del campus universitario.

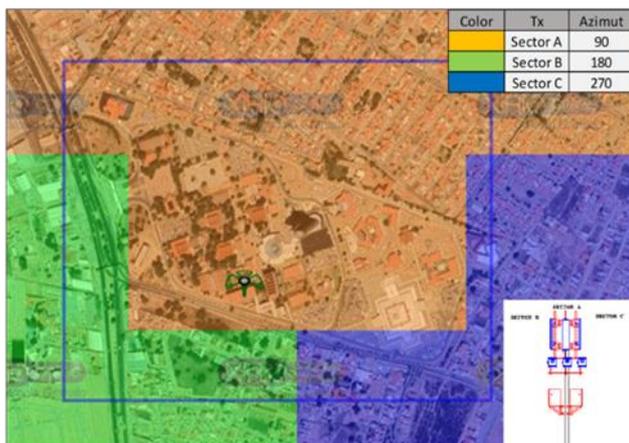


Figura 16: Sectorización estación base.
Fuente: Elaboración propia por medio del software Xirio Online.

La adopción de la tecnología 5G en campus universitarios promete un avance notable al proporcionar un servicio innovador y altamente beneficioso, impulsando a las instituciones educativas hacia un salto evolutivo significativo en términos de conectividad y servicios ofrecidos. Sin embargo, para implementar con éxito una red 5G privada, es esencial comprender el funcionamiento de las redes móviles y considerar cuidadosamente aspectos como el uso de espectro y la compatibilidad de dispositivos. La gestión de permisos y autorizaciones para la instalación de equipos 5G en el campus también es crucial y requiere un proceso administrativo meticuloso. A medida que la tecnología 5G se vuelve más común, se espera una mayor disponibilidad de dispositivos y servicios compatibles, pero el desafío de satisfacer la creciente demanda de conectividad y el tráfico móvil seguirá siendo una prioridad, exigiendo una planificación y una infraestructura flexible y escalable para adaptarse a estas necesidades en constante evolución.

Referencias

- Aplicaciones y Proyectos TIC S.L. (2024). XIRIO ONLINE [Software]. <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>
- Arrieché Rosas, A. (2022). Tasa Compuesta de Crecimiento Anual (TCAC). <https://www.techopedia.com/es/definicion/tasa-compuesta-de-crecimiento-anual-tcac>
- Autodesk Inc. (2024). AutoCAD [Software]. <https://www.autodesk.mx>
- Bustamante Espinoza, M. J. (2021). Red GPON para mejorar la infraestructura de red en el laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9502>
- Cambium Networks. (2023). Wi-Fi Designer (4.0.0) [Software]. <https://cambiumnetworks.com/products/software/wifi-designer/>
- Canales Carbajal, F., & Vergara Rivas, E. (2024). Encuesta de Satisfacción sobre la Conectividad a Internet en Ciudad del Conocimiento. Google Forms. <https://forms.gle/rAYZT5ub8wSYe2JH9>
- Comisión Federal de Electricidad. (2015). Construcción sistemas subterráneos especificacionesCFE. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/construccion/pdfs/T/DCCSSUBT.pdf>
- Dirección General de Planeación UAEH (2023). Anuario Estadístico 2022 https://www.uaeh.edu.mx/informe/2017-2023/6/anuario-estadistico/anuario_estadistico.pdf
- Dirección General de Planeación UAEH. (2014). Anuario estadístico 2013. http://sgc.uaeh.edu.mx/planeacion/images/estadisticas/publicaciones/Anuario_2013.pdf
- Froehlich, A. (2021). How to build a private 5G business case. Obtenido de TechTarget: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/tip/How-to-build-a-private-5G-business-case>
- Fundación Carlos Slim. (2021). Simbología de planos. Capacitación Para el Empleo. <https://capacitaparaempleo.org/assets/m0f1wrf.pdf>
- Guanotasig Molina, B. A. (2014). Estudio y diseño de una red de fibra óptica con tecnología GPON red óptica pasiva con capacidad de Gigabit Para el edificio matriz de la Universidad Tecnológica Israel. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/886>
- Guevara Henao, J. (2022). Tecnologías de Redes PON. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23888/1/UPS-GT004097.pdf>
- International Telecommunication Union -T. (2016). G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>
- International Telecommunication Union-T (2014). G.9801: Ethernet Passive Optical Networks using OMCI. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9801-201308-I>
- International Telecommunication Union-T (2014). G.984.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>
- International Telecommunication Union-T. (2008). G.984.4: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4/es>
- International Telecommunication Union-T. (2012). G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
- International Telecommunication Union-T. (2019). G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>
- Jaya Riofrío, I. V. (2016). "Diseño de una red pasiva GPON de planta externa para el barrio Capelo en la provincia de Pichincha".
- Microsoft. (2024). Visio [Software]. <https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/visio/flowchart-software>
- Millán Tejedor, R. (2007). Qué es... GPON (Gigabit Passive Optical Network). <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- Monzón Sánchez, M. G., & Angulo Justinico, G. A. (2020, 11 mayo). Guía metodológica para la definición de parámetros de instalación redes WLAN. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23152?show=full>
- Prieto Zapardiel, J. (2014). Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/33869/>
- Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261626002/html/>
- The Fiber Optic Association Inc. (2017). Comunicaciones por Fibra Óptica. <https://www.thefoa.org/ESP/Comm.htm>
- The Fiber Optic Association Inc. (2019). Diseño de redes de fibra óptica. <https://www.thefoa.org/ESP/Diseno.htm>

The Fiber Optic Association, Inc. (2016). Presupuesto de potencia y de pérdida óptica. <https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch9.htm>

T-mobile. (2021). 5 formas de destinar las tecnologías 5G en la educación superior. <https://es.t-mobile.com/business/resources/articles/5-ways-to-use-5g-technology-in-education>