

**Diseño de una infraestructura de red óptica pasiva gigabit “GPON” para la Ciudadela Norte de Ocaña que mejore la conectividad a internet y fomente la sostenibilidad ambiental**

Sergio Andrés Pallares Molina

Asesor

Fabian Ranulfo Cuesta Quintero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería  
Ingeniería de Telecomunicaciones

2024

**Página de Aceptación**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Ocaña 11/11/2024

## Resumen

La conectividad a internet se ha vuelto esencial para el desarrollo socioeconómico y cultural en comunidades urbanas. En la Ciudadela Norte de Ocaña, una zona residencial de crecimiento continuo, los habitantes y sectores productivos dependen de una infraestructura de red confiable y de alta velocidad. Este proyecto tiene como objetivo diseñar una infraestructura de red óptica pasiva gigabit (GPON) que no solo mejore la velocidad y estabilidad de la conexión a internet, sino que también promueva prácticas sostenibles, reduciendo el impacto ambiental asociado a la conectividad basada en radioenlaces. Actualmente, la Ciudadela Norte experimenta limitaciones significativas en su acceso a internet debido al uso de radioenlaces, los cuales presentan restricciones en cuanto a la velocidad de transmisión y la estabilidad de la señal. Además, este documento se estructura en tres fases principales. Primero, se realiza un diagnóstico exhaustivo de la infraestructura de conectividad actual en la Ciudadela Norte, identificando las deficiencias en la red basada en radioenlaces y cómo estas afectan el acceso a internet en barrios como Santa Clara, Bermejil y La Perla, entre otros. En la segunda fase, se llevará a cabo el diseño de una infraestructura GPON simulada que permita definir los equipos y estándares óptimos para cubrir las necesidades de conectividad de la zona. Finalmente, se procederá a evaluar la viabilidad técnica de la red a través de la simulación en Cisco Packet Tracer, garantizando que la infraestructura diseñada sea capaz de cumplir con los requerimientos técnicos antes de su implementación. Este proyecto busca, de manera integral, mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Ciudadela Norte al proporcionar una red eficiente y sostenible, con beneficios tanto en el ámbito doméstico como en el institucional, y alineado con los objetivos de desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** Conectividad, red, infraestructura.

## **Abstract**

Internet connectivity has become essential for socioeconomic and cultural development in urban communities. In Ciudadela Norte de Ocaña, a continuously growing residential area, residents and productive sectors depend on a reliable, high-speed network infrastructure. This project aims to design a gigabit passive optical network (GPON) infrastructure that not only improves the speed and stability of the internet connection but also promotes sustainable practices, reducing the environmental impact associated with radio-link-based connectivity. Currently, Ciudadela Norte experiences significant limitations in its internet access due to the use of radio links, which present restrictions in terms of transmission speed and signal stability. Furthermore, this document is structured in three main phases. First, a comprehensive diagnosis of the current connectivity infrastructure in Ciudadela Norte will be conducted, identifying deficiencies in the radio-link-based network and how these affect internet access in neighborhoods such as Santa Clara, Bermejil, and La Perla, among others. In the second phase, a simulated GPON infrastructure will be designed to define the optimal equipment and standards to meet the area's connectivity needs. Finally, the technical feasibility of the network will be evaluated through simulation in Cisco Packet Tracer, ensuring that the designed infrastructure is capable of meeting the technical requirements before its implementation. This project comprehensively seeks to improve the quality of life of the residents of Ciudadela Norte by providing an efficient and sustainable network, with benefits at both the domestic and institutional levels, and aligned with the Sustainable Development Goals.

***Keywords:*** Connectivity, network, infrastructure.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Definición del problema .....	15
Antecedentes del problema .....	15
Formulación .....	17
Descripción del Problema .....	17
Justificación .....	19
Objetivos.....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos.....	22
Marco Referencial.....	23
Marco Teórico.....	23
Marco Conceptual.....	26
Fibra Óptica .....	26
Tipos de Fibra Óptica .....	27
Tecnología Gigabit Passive Optical Network (Gpon) .....	27
Características de la Tecnología GPON .....	28
Elementos de una Red GPON.....	29
Tipo de Redes PON.....	36
Arquitectura de la Red GPON.....	36
Servicio que ofrece GPON .....	43
Marco de Estado del Arte.....	44

Diseño de Red Bajo la Tecnología Gpon para Prestar Servicios de Internet a la Ciudadela Norte	47
.....	47
Análisis de la Ciudadela Norte.....	47
Como está Conformada la Ciudadela Norte .....	47
Georreferenciación Topográfica de la Ciudadela Norte por medio de la Herramienta Google Earth.....	47
Diseño de la Red GPON en la Herramienta Packet Tracer.....	49
Herramienta Packet Tracer .....	49
Diseño de la Tecnología Gpon en la Ciudadela Norte de Ocaña Norte de Santander .....	50
Cantidad de Tarjetas y Nodos Pon.....	53
Nodos de Distribución .....	54
Nivel de Splitteo .....	54
Hilos de Feeder .....	55
Direccionamiento y Asignación IP .....	57
Configuración de los Dispositivos .....	58
Pruebas.....	76
Verificación Simulada de la Conectividad a los Hogares de la Ciudadela Norte, por Medio de la Herramienta Packet Tracer.....	76
Pruebas de Latencia.....	79
Pruebas de conectividad a internet.....	83
Resultados .....	88
Conclusiones .....	90
Recomendaciones .....	91

Referencias Bibliográficas ..... 92

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Longitudes de onda GPON</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> <i>Splitter 1:16 y sus 4 etapas de división</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Dispositivos a utilizar en la herramienta packet tracer para realizar el diseño de la red GPON</i> .....	50
<b>Tabla 4</b> <i>Cantidad de usuarios conectado en la red</i> .....	54
<b>Tabla 5</b> <i>Direccionamiento IP</i> .....	57

## Listas de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Red GPON</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Equipo activo OLT</i> .....	30
<b>Figura 3</b> <i>Equipo ONT</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Distribuidor de fibra óptica (ODF)</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Splitter o divisores ópticos</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Rosetas</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Caja de distribución óptica o NAP</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>FDH</i> .....	35
<b>Figura 9</b> <i>Mangas de distribución</i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>Arquitectura Gpon</i> .....	37
<b>Figura 11</b> <i>Trafico de paquetes downstream</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Trafico de paquetes upstream</i> .....	39
<b>Figura 13</b> <i>Estructura de trama GEM</i> .....	40
<b>Figura 14</b> <i>Multiplexacion en sentido downstream</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Multiplexacion en sentido upstreackm</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Ubicación de la ciudadela norte</i> .....	48
<b>Figura 17</b> <i>Área de cobertura de la red GPON (Ciudadela Norte)</i> .....	49
<b>Figura 18</b> <i>Diseño de red GPON en la ciudadela norte</i> .....	52
<b>Figura 19</b> <i>Ubicación de modos de distribución (FDH) y nodo principal</i> .....	56
<b>Figura 20</b> <i>Activación del servicio HTTP</i> .....	58
<b>Figura 21</b> <i>Activación del servicio DNS y creación del sitio web</i> .....	59
<b>Figura 22</b> <i>Configuración del ISP</i> .....	59

<b>Figura 23</b> <i>Enrutamiento del ISP</i> .....	60
<b>Figura 24</b> <i>Configuración de la ONT1</i> .....	61
<b>Figura 25</b> <i>Configuración de ONT2</i> .....	62
<b>Figura 26</b> <i>Configuración de la ont3</i> .....	63
<b>Figura 27</b> <i>Enrutamiento de la ont 4</i> .....	64
<b>Figura 28</b> <i>Configuración de la ont 4</i> .....	64
<b>Figura 29</b> <i>Enrutamiento ONT5</i> .....	65
<b>Figura 30</b> <i>Configuración de la ont 5</i> .....	65
<b>Figura 31</b> <i>Enrutamiento ONT6</i> .....	66
<b>Figura 32</b> <i>Configuración de la ont 7</i> .....	67
<b>Figura 33</b> <i>Enrutamiento ONT7</i> .....	68
<b>Figura 34</b> <i>Configuración de Ip del usuario 1</i> .....	69
<b>Figura 35</b> <i>Configuración de Ip del usuario 2</i> .....	70
<b>Figura 36</b> <i>Configuración de Ip del usuario 3</i> .....	71
<b>Figura 37</b> <i>Configuración de IP del usuario 4</i> .....	72
<b>Figura 38</b> <i>Configuración de Ip del usuario 5</i> .....	73
<b>Figura 39</b> <i>Configuración de Ip del usuario 6</i> .....	74
<b>Figura 40</b> <i>Configuración de Ip del usuario 7</i> .....	75
<b>Figura 41</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 1 (Barrio la gloria y villa mar)</i> .....	77
<b>Figura 42</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 2. (Barrio villa paraíso)</i> .....	77

<b>Figura 43</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 3. (Barrio bermejál y la perla 1)</i> .....	77
<b>Figura 44</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 4. (Barrio la perla 2)</i> .....	78
<b>Figura 45</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 5. (Barrio el Líbano)</i> .....	78
<b>Figura 46</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 6. (Barrio villa paraíso)</i> .....	78
<b>Figura 47</b> <i>Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 7. (Barrio colinas la esperanza)</i> .....	78
<b>Figura 48</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 1. (Barrio la gloria y villa mar)</i> .....	80
<b>Figura 49</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 2. (Barrio Villa paraíso)</i> .....	80
<b>Figura 50</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 3. (Barrio Villa bermejál y la perla 1)</i> .....	81
<b>Figura 51</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 4. (Barrio la perla 2)</i> .....	81
<b>Figura 52</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 5. (Barrio Villa paraíso)</i> .....	81
<b>Figura 53</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 6. (Barrio el Líbano)</i> .....	82
<b>Figura 54</b> <i>Pruebas del servidor Web hacia el nodo 1. (Barrio altos del norte)</i> .....	82
<b>Figura 55</b> <i>Conectividad a internet del usuario 1(barrío villa mar y la gloria)</i> .....	83
<b>Figura 56</b> <i>Conectividad a internet del usuario 2 (barrío villa paraíso)</i> .....	84
<b>Figura 57</b> <i>Conectividad a internet del usuario 3 (barrío bermejál y la perla 1)</i> .....	84
<b>Figura 58</b> <i>Conectividad a internet del usuario 4 (barrío la perla 2)</i> .....	85
<b>Figura 59</b> <i>Conectividad a internet del usuario 5 (barrío Villa el Líbano)</i> .....	85
<b>Figura 60</b> <i>Conectividad a internet del usuario 6 (barrío Colinas de la Esperanza)</i> .....	86

<b>Figura 61</b> <i>Conectividad a internet del usuario 1(barrio Altos del Norte)</i> .....	87
---	----

## Introducción

En la era digital, la conectividad a internet se ha convertido en una necesidad fundamental para el desarrollo social, económico y cultural de las comunidades urbanas. La demanda de redes de alta velocidad, confiabilidad y capacidad de respuesta ha crecido exponencialmente, impulsada por el auge de servicios como la educación virtual, el teletrabajo, el comercio en línea y los servicios de salud remotos (Blanco Coronado, 2021). En este contexto, las redes ópticas pasivas Gigabit (GPON) se presentan como una solución eficaz y sostenible para satisfacer las crecientes necesidades de conectividad en entornos residenciales, destacándose por su eficiencia energética y su bajo impacto ambiental en comparación con las tecnologías inalámbricas tradicionales (Sánchez & Vázquez, 2012).

La Ciudadela Norte de Ocaña, una comunidad en crecimiento con aproximadamente 25,000 habitantes, enfrenta limitaciones significativas en su conectividad debido a la dependencia de radioenlaces, que presentan restricciones en cuanto a la estabilidad de la señal y la velocidad de transmisión (Pérez Soler, 2009). Esta situación no solo afecta el acceso a internet de los residentes en barrios como Santa Clara, La Gloria y Los Cristales, sino que también obstaculiza el desarrollo de instituciones educativas, comercios y entidades gubernamentales que dependen de una conexión confiable para llevar a cabo sus actividades diarias de manera eficiente. En este sentido, la implementación de una red GPON en la Ciudadela Norte representa una oportunidad para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, al proporcionar una infraestructura de red robusta y de alto rendimiento que facilite el acceso equitativo a servicios digitales esenciales (Lopez Polo, 2016).

El despliegue de una infraestructura GPON también contribuye a la sostenibilidad ambiental, ya que este tipo de red óptica consume menos energía que los radioenlaces, que

requieren un consumo elevado para mantener las transmisiones estables (Parra Cortés, 2018). Según la Comisión de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes en el sector de las telecomunicaciones es clave para reducir la huella de carbono y lograr los objetivos de desarrollo sostenible a nivel global (Unidas, 2018). La tecnología GPON, al reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia operativa, se alinea con estos objetivos y ofrece una solución que combina el rendimiento técnico con un compromiso ambiental.

Esta monografía tiene como objetivo diseñar una infraestructura de red GPON para la Ciudadela Norte de Ocaña, abordando tanto las necesidades técnicas como los desafíos de sostenibilidad ambiental. A través de un diagnóstico detallado de la infraestructura de conectividad actual, la simulación de una red GPON optimizada y su evaluación en Cisco Packet Tracer, el estudio buscará demostrar la viabilidad técnica y los beneficios a largo plazo de esta tecnología en la Ciudadela Norte. De esta forma, se propone una solución integral que contribuirá al desarrollo socioeconómico de la comunidad, impulsando su transición hacia una economía digital y sostenible (Ortiz, 2023).

## Definición del Problema

### Antecedentes del Problema

La conectividad a internet ha dejado de ser un lujo y se ha convertido en una necesidad para el desarrollo económico, social y cultural de las comunidades. La infraestructura de redes debe ser capaz de soportar un tráfico creciente y de ofrecer un servicio estable y de alta velocidad para actividades esenciales como la educación, el teletrabajo y la atención médica remota (Blanco Coronado, 2021). En este contexto, las redes ópticas pasivas, particularmente la tecnología Gigabit Passive Optical Network (GPON), se han posicionado como una solución avanzada para áreas urbanas y rurales que buscan mejorar su infraestructura de telecomunicaciones de forma sostenible.

GPON es una tecnología de red de fibra óptica que permite la transmisión de grandes cantidades de datos a altas velocidades mediante el uso de una infraestructura pasiva, es decir, sin la necesidad de componentes activos como amplificadores, lo que reduce significativamente el consumo de energía y los costos de mantenimiento (Sánchez & Vázquez, 2012). La red óptica pasiva opera mediante un solo cable de fibra que, a través de divisores ópticos, puede distribuir la señal a múltiples usuarios finales sin pérdida de calidad. Esta característica la hace ideal para implementar en zonas densamente pobladas, donde las redes de radioenlace enfrentan limitaciones de estabilidad y calidad de señal debido a la interferencia y a la gran demanda de usuarios (Lopez Polo, 2016).

La Ciudadela Norte de Ocaña, con una población de aproximadamente 25,000 habitantes, se enfrenta actualmente a problemas de conectividad derivados del uso de radioenlaces como tecnología principal para el acceso a internet. Estos radioenlaces, al ser una solución inalámbrica, están expuestos a interrupciones y fluctuaciones en la velocidad, afectando la calidad del servicio

para los residentes de la Ciudadela Norte y limitando su acceso a aplicaciones en línea que requieren conexiones estables y de alta velocidad. Esta situación impacta de manera directa en actividades como la educación virtual, el trabajo remoto y el comercio digital, lo cual disminuye la competitividad y limita el desarrollo de la comunidad (Pérez Soler, 2009).

Además de las restricciones técnicas, la tecnología de radioenlaces representa un reto en términos de sostenibilidad, ya que exige un alto consumo de energía para mantener la transmisión de señal, especialmente en áreas densamente pobladas o con obstáculos físicos que afectan la cobertura (Parra Cortés, 2018). En contraste, GPON es una alternativa energéticamente eficiente que no solo mejora la calidad de la señal, sino que también reduce el impacto ambiental asociado al consumo de electricidad y la generación de residuos tecnológicos. Según la Comisión de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, las redes de telecomunicaciones deben evolucionar hacia modelos más sustentables que minimicen su huella de carbono y apoyen los objetivos globales de sostenibilidad (Unidas, 2018).

La implementación de una red GPON en la Ciudadela Norte de Ocaña ofrecería múltiples beneficios, desde una mayor estabilidad y velocidad de conexión hasta una reducción en los costos operativos y el impacto ambiental. Esta tecnología permitiría a los residentes de barrios como Santa Clara, La Gloria y Los Cristales acceder de manera eficiente a servicios en línea que actualmente están limitados por la infraestructura de radioenlaces. Además, la transición hacia GPON no solo facilitaría la digitalización de servicios, sino que también promovería el desarrollo social y económico de la comunidad, alineándose con las metas de desarrollo sostenible y mejorando la calidad de vida de los habitantes a través de una conectividad robusta y amigable con el medio ambiente (Ortiz, 2023).

## **Formulación**

¿Cómo puede el diseño de una infraestructura de red óptica pasiva gigabit (GPON) mejorar la conectividad a internet y fomentar la sostenibilidad ambiental en la Ciudadela Norte de Ocaña?

## **Descripción del Problema**

La Ciudadela Norte de Ocaña enfrenta desafíos significativos en términos de conectividad debido a la dependencia de tecnologías de radioenlaces para el acceso a internet. Esta infraestructura presenta limitaciones en la velocidad y estabilidad de la señal, afectando negativamente la calidad de vida de los habitantes y el desempeño de instituciones locales que dependen de una conexión estable y de alta velocidad. Actualmente, los barrios de la Ciudadela Norte, que incluyen Santa Clara, Bermejál, Urbanización Colinas de la Florida, La Gloria y otros, experimentan dificultades para acceder a servicios digitales que exigen una conexión confiable, como la educación en línea, el comercio digital y los servicios gubernamentales (Pérez Soler, 2009).

Las redes basadas en radioenlaces, al ser inalámbricas, están sujetas a interferencias y variaciones en la calidad de la señal debido a factores ambientales, lo que limita la eficiencia y estabilidad de la conexión. Además, estas redes suelen tener un consumo energético elevado, ya que requieren mayor potencia para mantener la transmisión, generando un impacto ambiental significativo y aumentando los costos operativos a largo plazo (Parra Cortés, 2018). En contraste, una infraestructura GPON permitiría una transmisión de datos más rápida y estable con un consumo energético menor, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a una reducción de la huella de carbono de la comunidad (Sánchez & Vázquez, 2012).

El diseño de una red GPON en la Ciudadela Norte se plantea como una solución integral para superar estas deficiencias de conectividad. La red GPON, al ofrecer velocidades de transmisión de varios gigabits por segundo, no solo mejoraría la experiencia de los usuarios, sino que también promovería el desarrollo de la comunidad al abrir oportunidades en educación, emprendimiento digital y telemedicina, entre otros servicios. La transición hacia esta tecnología no solo responde a las necesidades actuales de conectividad, sino que también sienta las bases para un crecimiento sostenible y resiliente en la era digital (Unidas, 2018).

## Justificación

La Ciudadela Norte de Ocaña enfrenta desafíos críticos en términos de conectividad a internet debido a la dependencia de tecnologías de radioenlaces, las cuales no logran satisfacer las crecientes demandas de velocidad y estabilidad de conexión que requiere la población en la actualidad. Esta limitación afecta no solo a los residentes, sino también a instituciones educativas, centros de salud, comercios y entidades gubernamentales locales que dependen de una infraestructura de red robusta para llevar a cabo sus actividades de manera efectiva. En este contexto, la implementación de una red óptica pasiva Gigabit (GPON) en la Ciudadela Norte de Ocaña se presenta como una solución altamente necesaria y justificada, que no solo mejorará la calidad de vida de los habitantes, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la comunidad (Blanco Coronado, 2021).

La tecnología GPON destaca por su capacidad de ofrecer conexiones de alta velocidad con una transmisión de datos de hasta varios gigabits por segundo, lo cual es esencial para soportar las aplicaciones y servicios digitales actuales, tales como la educación en línea, el teletrabajo y el comercio electrónico. En comparación con los radioenlaces, que están sujetos a interferencias y limitaciones de capacidad, una red GPON garantiza una conectividad mucho más estable y eficiente. Esta estabilidad es crucial para responder a las demandas de conectividad de una comunidad en expansión, promoviendo el acceso equitativo a servicios digitales y facilitando la inclusión digital de sectores poblacionales que actualmente enfrentan barreras para acceder a internet de calidad (Lopez Polo, 2016).

Además del impacto positivo en la conectividad, la tecnología GPON se alinea con los principios de sostenibilidad ambiental, al reducir considerablemente el consumo energético en comparación con las redes basadas en radioenlaces. Los sistemas GPON operan con una

infraestructura pasiva, sin la necesidad de equipos activos intermedios que consumen energía, lo que disminuye tanto los costos operativos como la huella de carbono de la red (Sánchez & Vázquez, 2012). En un contexto de cambio climático y con el creciente compromiso global hacia la reducción de emisiones de carbono, la adopción de tecnologías más sostenibles como GPON es una estrategia que contribuye a la mitigación del impacto ambiental. La implementación de esta tecnología en la Ciudadela Norte permitiría reducir el consumo energético asociado a la transmisión de datos, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible promovidos por las Naciones Unidas (Unidas, 2018).

La justificación de este proyecto radica también en sus beneficios sociales y económicos. La mejora en la conectividad impulsará el desarrollo de la comunidad al permitir el acceso a oportunidades de educación, emprendimiento y empleo, que actualmente están limitadas por la infraestructura de red existente. Una conexión a internet rápida y confiable es fundamental para que los estudiantes puedan acceder a plataformas de aprendizaje en línea y los profesionales puedan realizar sus labores mediante el teletrabajo. Asimismo, la mejora en la infraestructura de red apoyará el desarrollo del comercio local, permitiendo que pequeños negocios y emprendedores utilicen plataformas de comercio electrónico para ampliar sus mercados y diversificar sus fuentes de ingresos (Ortiz, 2023). De esta manera, la red GPON contribuirá no solo al bienestar individual de los habitantes de la Ciudadela Norte, sino también a la prosperidad económica de la comunidad en su conjunto.

Por otro lado, la red GPON ofrece una solución a largo plazo que puede crecer conforme aumente la demanda de conectividad en la Ciudadela Norte. A diferencia de las tecnologías inalámbricas, que enfrentan límites de expansión debido a la saturación del espectro y la interferencia, la infraestructura de fibra óptica es escalable y puede adaptarse a las futuras

necesidades de transmisión de datos sin sacrificar la calidad del servicio (Parra Cortés, 2018).

Este aspecto es crucial en un entorno en constante crecimiento como la Ciudadela Norte, ya que asegura que la comunidad cuente con una infraestructura de red que responda a sus necesidades no solo en el presente, sino también en el futuro.

Finalmente, el diseño de la tecnología GPON en la Ciudadela Norte de Ocaña representa una inversión en el desarrollo social, económico y ambiental de la comunidad. Este proyecto, al mejorar la conectividad y fomentar el acceso equitativo a internet, contribuirá a reducir la brecha digital, promoviendo la inclusión social y fortaleciendo la participación de los ciudadanos en la economía digital. A través de este proyecto, la Ciudadela Norte podrá integrarse más plenamente en la sociedad de la información, permitiendo que sus habitantes y organizaciones locales accedan a una red de alta calidad que facilite su crecimiento y adaptación a los retos de la era digital.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una infraestructura de red GPON para la Ciudadela Norte de Ocaña que mejore la conectividad a internet y fomente la sostenibilidad ambiental.

### **Objetivos Específicos**

Realizar un diagnóstico de la situación actual de la infraestructura de conectividad existente en la ciudadela norte, e identificar las limitaciones y deficiencias de la red basada en radioenlaces.

Diseñar una infraestructura de red GPON simulada que permita evidenciar los equipos y estándares apropiados para la ciudadela norte

Evaluar la infraestructura de red óptica pasiva gigabit a través de la herramienta cisco packet tracer.

## Marco Referencial

### Marco Teórico

En las últimas décadas, la demanda de conectividad de alta velocidad y calidad ha crecido de forma exponencial, impulsada por el auge de la economía digital, el aumento de servicios en línea y la creciente necesidad de acceso a información y educación en todos los sectores de la sociedad. Este contexto ha impulsado el desarrollo de múltiples tecnologías de acceso a internet, entre las cuales destaca la fibra óptica, particularmente la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network). La tecnología GPON se ha consolidado como una solución eficaz y sostenible para la entrega de servicios de banda ancha, debido a su capacidad para proporcionar velocidades de transmisión de datos de varios gigabits por segundo y su eficiencia energética en comparación con otras tecnologías (Agrawal, 2002).

Según Blanco Coronado (2021), la implementación de redes GPON constituye una contribución importante en el desarrollo de las ciudades inteligentes. Estas redes de próxima generación ofrecen una infraestructura de alta velocidad y baja latencia, esencial para el funcionamiento óptimo de servicios urbanos avanzados. Las ciudades inteligentes requieren de sistemas de telecomunicaciones confiables que permitan la gestión eficiente de servicios como el transporte, la administración de recursos energéticos, el monitoreo ambiental y la seguridad pública. Al integrar GPON en la infraestructura urbana, se establece una base sólida para soportar aplicaciones de gestión en tiempo real, facilitando la toma de decisiones basada en el análisis de datos generados por sensores y dispositivos conectados en toda la ciudad (Cuzme, 2015). En este sentido, GPON ofrece una capacidad de transmisión de gran ancho de banda, permitiendo la transferencia rápida de datos y la mejora de servicios digitales en los entornos urbanos.

Además, el mercado de las redes GPON ha experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial. De acuerdo con la ITU-T (2019), este crecimiento se atribuye a la necesidad de mayores velocidades de conexión y ancho de banda, especialmente en respuesta al aumento del tráfico de datos generado por aplicaciones en línea, el streaming de video de alta definición, los videojuegos en línea y el desarrollo de la Internet de las Cosas (IoT). Las redes GPON son ideales para satisfacer estas demandas de alta velocidad y capacidad, ofreciendo ventajas competitivas como la eficiencia energética, lo que las convierte en una alternativa atractiva para empresas y organizaciones que buscan reducir el consumo de energía y su huella de carbono.

En el contexto de las redes móviles de próxima generación, GPON también ha surgido como una opción prometedora para el soporte de servicios 5G. Según Romero Melo (2022), las arquitecturas de red basadas en GPON, tales como GPON Agregado para Transporte de 5G (GATP) y GPON con Red Centralizada de Acceso por Radio (C-RAN), optimizan el uso de los recursos y permiten la entrega de servicios de baja latencia a una alta densidad de usuarios. Esto facilita la virtualización de la red, lo que permite una gestión más flexible y escalable. En particular, la virtualización de la OLT (Optical Line Terminal) con OLT Virtualizada para 5G (vOLT) proporciona una segmentación eficiente y la optimización de recursos, mostrando el papel clave de GPON en el soporte de servicios avanzados y en la expansión de la infraestructura 5G (Camacho & Leguizamón, 2023).

La integración de GPON con tecnologías de redes definidas por software (SDN, por sus siglas en inglés) representa un avance significativo en la gestión de redes de fibra óptica. Según Hernández Suárez, Gutiérrez y Espinosa (2011), SDN permite una gestión centralizada y programática de la red, lo cual incrementa la flexibilidad y eficiencia en la prestación de servicios de banda ancha. Esta arquitectura permite a los operadores responder de manera más

dinámica a las demandas de los usuarios, implementar políticas de gestión de tráfico en tiempo real y adaptar la calidad de servicio a las necesidades de diferentes aplicaciones, tales como la telemedicina, la educación en línea y el teletrabajo.

Por otra parte, la tecnología GPON también se perfila como una herramienta clave para soportar aplicaciones emergentes en el ámbito de las comunicaciones inmersivas 3D. Camacho y Leguizamón (2023) destacan que GPON, con su capacidad de transmitir grandes volúmenes de datos y su baja latencia, facilita una experiencia inmersiva más fluida en aplicaciones de realidad aumentada y virtual. Esta capacidad de transmitir datos sin interrupciones es crucial para aplicaciones en tiempo real, donde la sincronización y la interacción continua son elementos clave para la experiencia del usuario. Además, al mejorar el rendimiento de aplicaciones inmersivas, GPON permite reducir la latencia perceptible entre la acción del usuario y la respuesta del sistema, creando un entorno digital más envolvente y realista.

En último lugar, GPON no solo es ventajoso desde el punto de vista técnico, sino también en términos de sostenibilidad ambiental. La implementación de esta tecnología reduce el consumo de energía en comparación con otras soluciones basadas en cobre o radioenlaces, contribuyendo a la reducción de las emisiones de carbono. La ONU (2018) ha señalado que las tecnologías energéticamente eficientes son esenciales para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, y GPON encaja perfectamente en este marco al ofrecer una infraestructura de red que minimiza el consumo energético y fomenta prácticas sostenibles. Además, el uso de redes GPON facilita un estilo de vida más ecológico, permitiendo a los usuarios acceder a servicios digitales de manera eficiente y sostenible, promoviendo al mismo tiempo el trabajo remoto, la educación en línea y otras prácticas que reducen el impacto ambiental (Manríquez López, 2012).

## **Marco Conceptual**

### ***Fibra Óptica***

La fibra óptica es un medio avanzado para la transferencia de datos que emplea cables hechos de hilos extremadamente delgados de vidrio o plástico, llamados fibras, para transportar señales de luz modulada. Estas señales luminosas son utilizadas para enviar información a través de largas distancias a velocidades extremadamente altas y con mínima pérdida de señal (Stern, Ellinas, and Krishma 2009). El funcionamiento de la fibra óptica se basa en el principio de la reflexión interna total, donde la luz que penetra en el núcleo de la fibra es reflejada repetidamente en las paredes internas de la misma, permitiendo que la señal viaje a lo largo de la fibra con mínima atenuación. Este efecto es posible gracias a la diferencia en el índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento de la fibra, así como a la calidad y pureza del material utilizado en su fabricación. La fibra óptica es utilizada en diversas aplicaciones, incluyendo telecomunicaciones, redes de datos, transmisión de video, medicina, ingeniería de sensores, entre otras. Su capacidad para transportar grandes cantidades de datos a velocidades excepcionalmente altas la convierte en una tecnología esencial en la infraestructura de comunicaciones moderna (Santillán Lima, Llanga Vargas, and Chafla Altamirano 2017). Además de su eficiencia en la transmisión de datos, la fibra óptica ofrece ventajas notables en términos de seguridad, inmunidad a interferencias electromagnéticas, resistencia a la corrosión y menor consumo de energía en comparación con otros medios de transmisión convencionales. Estas características hacen de la fibra óptica una elección preferida para aplicaciones que requieren altos niveles de desempeño y confiabilidad

### ***Tipos de Fibra Óptica***

Fibra Monomodo (SMF): Esta clase de fibra posee un núcleo muy delgado que le permite transmitir señales luminosas en un solo modo con mínima dispersión, siendo óptima para aplicaciones que requieren transmisiones de alta velocidad y larga distancia, como las redes de área amplia (WAN) y transferencias de datos de alta velocidad.

Fibra Multimodo (MMF): La fibra multimodo dispone de un núcleo más ancho que la monomodo y puede conducir múltiples modos de luz a través de él. Se utiliza preferentemente en distancias cortas y en aplicaciones de redes locales (LAN), como las conexiones dentro de edificios o campus.

Fibra Óptica de Plástico (POF): La POF emplea un núcleo de material plástico en lugar de vidrio y resulta más económica de fabricar que otros tipos de fibra óptica. Suele encontrarse en sistemas de iluminación, sensores y conexiones de corta distancia donde la pérdida de señal no es crítica.

Fibra Óptica de Índice Gradual (GI): Este tipo de fibra presenta un núcleo con un índice de refracción que cambia gradualmente desde el centro hacia la periferia. Principalmente se utiliza en aplicaciones de sensorización y algunas transmisiones de datos de corta distancia.

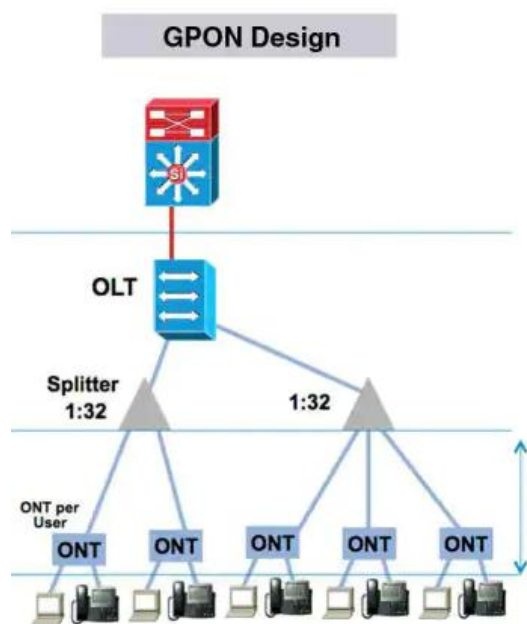
### ***Tecnología Gigabit Passive Optical Network (Gpon)***

Es una tecnología de red de fibra óptica de banda ancha que proporciona altas velocidades de transmisión de datos y una gran capacidad de ancho de banda para servicios de internet, voz y video eficientes. Se basa en una estructura de fibra óptica pasiva, donde la señal de datos se envía a través de fibras ópticas hasta el usuario final sin requerir equipos activos en el camino de transmisión, a excepción de las estaciones base (Llangari 2015). GPON emplea la modulación de longitud de onda para multiplexar y enviar datos en diferentes longitudes de onda

de luz por una única fibra óptica, permitiendo velocidades de transmisión de varios gigabits por segundo en ambas direcciones. Esto lo hace apto para aplicaciones de alta demanda, como streaming de video, teletrabajo, educación en línea y servicios en la nube. Además, GPON presenta beneficios en eficiencia energética y una menor huella de carbono comparado con tecnologías de acceso convencionales, lo que lo convierte en una opción atractiva para mejorar la conectividad y promover la sostenibilidad ambiental en comunidades (Blanco Coronado 2021).

### Figura 1

#### *Red GPON*



*Fuente:* (Support, P., Series, C. and TechNotes, T., 2021)

#### ***Características de la Tecnología GPON***

Una característica relevante de estas redes ópticas pasivas es que no utilizan ningún elemento activo dentro de la red, es decir no requieren de componentes o equipos que suministren energía eléctrica para obtener la señal de un lugar a otro entre las instalaciones del nodo principal (OLT) y la terminal de usuario o abonado (ONT).

Gpon ofrece una gran variedad de características, entre ellas dispone de un modelo de QoS que asegura un alto ancho de banda para cada servicio y usuario y la eficiencia de transporte de servicios IP.

Por otra parte, utiliza multiplexación por división de longitud de onda (Wave length Division Multiplexing, WDM), facilitando la comunicación bidireccional sobre una sola fibra, permitiendo dividir la longitud de onda (señal) en diferentes canales para soportar varios servicios funcionando simultáneamente. Esta forma de transmitir las señales reduce los costes aumentando la utilidad de un recurso costoso como lo es la fibra óptica. Como conocemos, los datos son transmitidos por un único hilo de fibra, las cuales asignan una longitud de onda de acuerdo al tráfico de datos que se esté transportando ya sea internet, VoIP, entre otros.

En la tabla 1, visualizaremos las longitudes de onda en esta tecnología según el tipo de tráfico de los datos.

**Tabla 1**

*Longitudes de onda GPON*

<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Transmisión</b>	<b>Descripción</b>
1310	Upstream	Los datos de tráfico de datos y voz que se transmiten desde la ONU hasta la OLT por medio de un solo hilo de fibra óptica.
1490	Downstream	Los datos de tráfico de datos y voz, que se transmiten desde la OLT hasta la ONU, por medio de un solo hilo de fibra óptica.
1550	Upstream	Es un canal destinado solo para la transmisión de señales de TV "RF"

*Nota.* Las longitudes de ondas estas definidas con la unidad de medida nanómetro (nm). *Fuente.*

Autoría propia

***Elementos de una Red GPON***

OLT (Terminal de Línea Óptica): Este aparato, situado en la sede del proveedor, administra y termina las conexiones de fibra óptica hacia múltiples ONUs.

En la figura 2, podemos observar un equipo OLT con 8 puertos PON, cada puerto suministra servicios de 64 a 128 clientes.

## Figura 2

*Equipo activo OLT.*



*Fuente.* <http://www.rzfibra.com/gepon/epon-olt/ftth-8-ports-epon-gepon-olt-optical-line.html>

ONU (Unidad de Red Óptica): También llamada ONT (Terminal de Red Óptica), esta unidad reside en el lugar del cliente y funciona como punto de conexión final de la red GPON en hogares o empresas.

## Figura 3

*Equipo ONT*

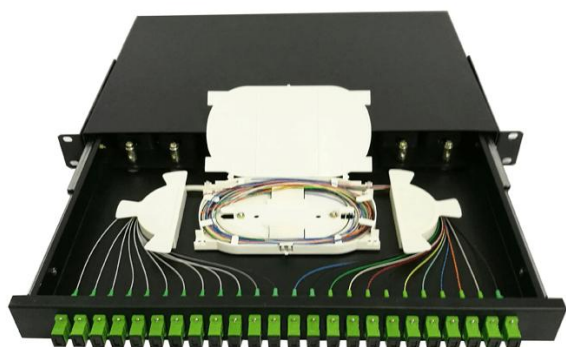


*Fuente.* (Fibra óptica. 2018)

Distribuidor de Fibra Óptica (ODF). Son armarios que permite organizar el cable de la fibra óptica provenientes de la OLT, para luego llevarla al exterior. Se instalan en las centrales del operador para conectar las fibras que van hacia la red GPON con el OLT, la conexión entre el ODF y el OLT se realiza mediante pigtaills. Los pigtaills o patch Cord de fibra óptica es un cable de fibra óptica que tiene un extremo con un conector instalado de fábrica y el otro extremo que da sin terminar para luego ser fusionado. Su función es proteger el extremo del cable de fibra óptica que fue fusionado.

#### **Figura 4**

*Distribuidor de fibra óptica (ODF)*



*Fuente.* (telecable, s.f.)

Splitters Ópticos: Estos dispositivos dividen la señal óptica entrante desde la OLT en múltiples rutas para servir a diferentes ONUs, posibilitando el acceso simultáneo de varios usuarios a la red.

**Figura 5**

*Splitter o divisores ópticos.*



*Fuente:* (telecable, s.f.)

Las ramificaciones más usuales en las que se divide un splitter son de 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, existen otras ramificaciones que son personalizadas con otras configuraciones y son de alta calidad. La diferencia entre unos y otros es que podemos realizar más divisiones, pero teniendo más pérdidas de la potencia de la señal debido a las ramificaciones más grandes por ejemplo en las divisiones de 1:64.

Los divisores más comunes en las redes ópticas pasivas son los divisores de potencia uniformes con un puerto de entrada y un número de serie de salidas (Puertos) o dos entradas y un número de serie de salida. La potencia de estas salidas es menor que la señal óptica principal, pero mantienen el mismo contenido de información. Cada vez que se divide la señal en un splitter se experimenta una pérdida mínima de señal a las salidas de 3 dB, ya que la potencia de entrada se divide en 2. Las potencias de la señal óptica suelen expresarse en dBm y las pérdidas o ganancias de la señal se expresa en dB. En la siguiente tabla (Tabla 2) se puede observar las pérdidas típicas según la división del splitter tomando en cuenta la recomendación de la ITU – T (International Telecommunication Union – Telecommunication Sección) para pérdidas por splitteo.

**Tabla 2***Splitter 1:16 y sus 4 etapas de división*

<b>Etapas de división (n)</b>	<b>Tasas de splitting</b>	<b>Perdidas por división</b>
1	1:2	3dB
2	1:4	6dB
3	1:8	9dB
4	1:16	12dB
5	1:32	15dB

*Nota.* El total de pérdidas por división de este splitter será  $n \times 3\text{dB} = 4 \times 3 \text{ dB} = 12 \text{ dB}$ . *Fuente.*

Autoría propia

Fiber Outlet Box (Roseta): Es el último punto o la terminación de conexión de la red dentro de las instalaciones del cliente antes de llegar a la ONT proporcionando protección del empalme, un lugar seguro para el almacenamiento de cable de la conexión y capacidad para la organización de las fibras ópticas. Comúnmente cuenta con un acoplador para los conectores de la fibra cuando llega la fibra DROP que ingresa a la roseta para ser fusionado al patch cord o pigtails que se encuentra en el interior de esta, para ser conectado con la ONT del usuario final. Está compuesta de base con tapa desmontable, bandeja de empalme hasta cuatro posibles orificios de entrada / salida de cables de acometida y una o dos salidas que se conectan con acoplador óptico SC/APC, SC/PC.

**Figura 6***Rosetas*

*Fuente.* (Robles, 2021)

NAP (Caja de distribución óptica o CTO): Conocido también con el nombre de NAP (Network Access Point) punto de acceso a la red o caja terminal óptica para suministrar los diferentes servicios a los usuarios, su función es almacenar y preservar los empalmes ópticos fusionados entre el cable de distribución y el cable DROP de una red óptica de terminación para la distribución de la señal de las redes FTTH. La caja NAP puede ser tanto de interior como de exterior, comúnmente se instala en una pared o un poste.

### **Figura 7**

*Caja de distribución óptica o NAP*



*Fuente.* (Casadomo, 2020)

Fiber Distribution Hub (FDH): También conocido como concentrador de distribución de fibra es un gabinete o armario de planta externa para la distribución de la fibra, provee un ambiente de interconexión desde la red de alimentación (feeder) a través del divisor óptico hasta la red de distribución. Las fibras son fusionadas dentro de los ODF con los Pigtails, luego se utilizan el cable DROP para las calles o los hogares de los usuarios. Los FDH están ubicados estratégicamente puntos determinados para atender.

**Figura 8***FDH*

*Fuente.* (Casadomo, 2020)

Cierre de empalme, manga de distribución o mufa: Son cajas de conexión que permite ingresar y organizar las fusiones de 12 hasta de 64-144 fibras. Su función principal es guardar y proteger las fusiones que se realizan en la fibra de las condiciones adversas que se pueden presentar como la humedad y el aire al interior de los contenedores de la fibra. Además, permite movilidad para la revisión futura en caso de presentarse alguna falla, reparación o modificación del mismo, y sirven para conectar los cables que salen del armario con los cables de la red de distribución. Se utilizan en redes de planta externa, son resistentes a las condiciones climáticas y acceso fácil para ampliación.

**Figura 9***Mangas de distribución*

*Fuente.* (Casadomo, 2020)

## **Tipo de Redes PON**

Redes GPON (Redes de Red Óptica Pasiva Gigabit): Son sistemas comunes de redes PON que emplean tecnología de modulación óptica para dividir la señal de fibra óptica en diferentes longitudes de onda, permitiendo así la transmisión de datos a velocidades de varios gigabits por segundo. Estas redes son ampliamente utilizadas en contextos residenciales y comerciales para ofrecer una variedad de servicios, desde Internet de banda ancha hasta telefonía y televisión.

Redes EPON (Redes de Red Óptica Pasiva Ethernet): Son similares a las redes GPON, pero emplean el protocolo Ethernet en lugar del ATM (modo de transferencia asíncrona) como capa de enlace de datos. Son populares en entornos empresariales y de proveedores de servicios debido a su compatibilidad con la infraestructura Ethernet existente.

Redes XG-PON (Redes Ópticas Pasivas de 10 Gigabits): Representan una evolución de las redes GPON y ofrecen velocidades de transmisión de datos de hasta 10 gigabits por segundo. Están diseñadas para satisfacer la creciente demanda de ancho de banda en aplicaciones de alta velocidad, como video en alta definición y juegos en línea.

Redes NG-PON2 (Redes Ópticas Pasivas de Próxima Generación 2): Son la última generación de redes PON y ofrecen velocidades de transmisión de datos de hasta 40 gigabits por segundo. Utilizan tecnologías avanzadas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para aumentar la capacidad de la red y admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones, desde servicios en la nube hasta Internet de las cosas (IoT) (Dar et al. 2015).

## **Arquitectura de la Red GPON**

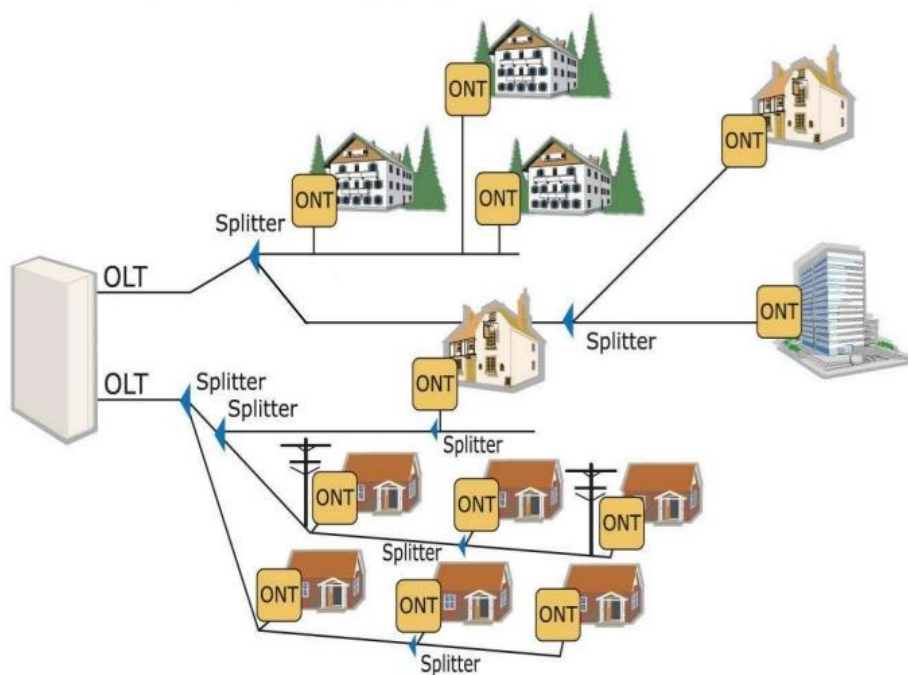
La red GPON tiene una arquitectura de punto a multipunto, que interconectan el nodo central (OLT) con el usuario o abonado (ONU/ONT) sin suministro de energía eléctrica en su

recorrido troncal es decir no requiere de amplificadores además no está expuesta a interferencias como las tecnologías ADSL, siendo el medio de unión o empalme los dispositivos llamados Splitter Ópticos entre la OLT y la ONT. Esta red puede poseer hasta 20 km de recorrido hasta llegar al abonado garantizando la fiabilidad del servicio.

GPON ofrece diversos servicios en comparación con otras tecnologías como banda ancha a altas velocidades, streaming entre otras.

### Figura 10

#### Arquitectura Gpon



*Fuente.* (Fuentes A, 2017)

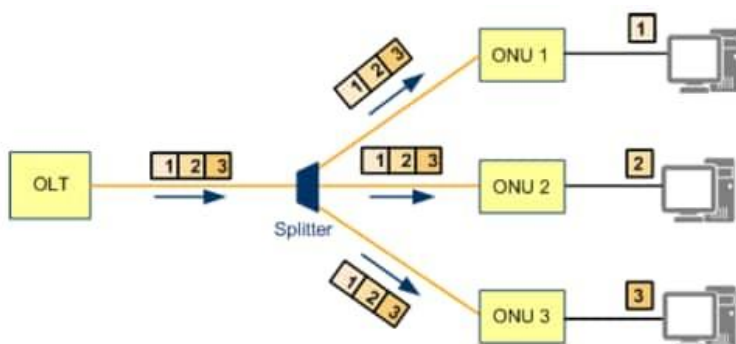
La red GPON se compone principalmente de tres elementos, la OLT, los splitters o divisores ópticos y la ONU/ONT. La OLT es el dispositivo administrable de la red ubicado en la oficina central de la red, es el encargado de proveer los servicios que almacena, a través de los puertos PON por un solo cable de fibra óptica hasta los splitters para multiplexar la señal y transmitir la información con una longitud de onda a cada usuario, de esta manera hace conexión

con el OLT. La potencia de salida por puerto para cada usuario es de 28 o hasta 40 dbm dependiendo de la empresa. Cada puerto tiene una capacidad de atender entre 2-128 usuarios.

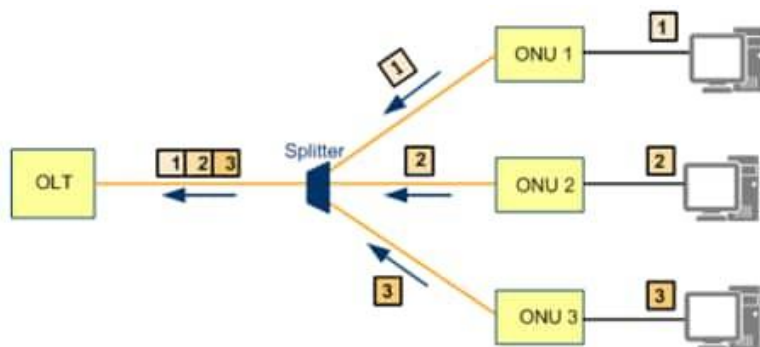
Para conectar la OLT con la ONT, se utiliza un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda downstream. Mediante los divisores ópticos se divide la señal en varias salidas, el tráfico downstream proveniente de la OLT puede ser distribuido para llegar hasta cada uno de los hogares de los usuarios. Todos los fabricantes de equipos deben cumplir las características de los equipos para garantizar la interoperabilidad

Para separar las señales de subida y bajada de múltiples usuarios en una sola fibra, evitar que se presente colisiones y además garantizar el ancho de banda a cada usuario, GPON adopta dos mecanismos de multiplexación:

**El tráfico de los paquetes descendente o de bajada (downstream)** que utiliza la técnica de multiplexación en modo broadcast **TDM** (Time Division Multiplexing), es decir la información es transmitida en cifrado para mantener la privacidad de la comunicación desde el nodo central OLT hasta cada abonado ONT, para que cada ONT no pueda acceder a la información de otro usuario, en el tráfico downstream, GPON ofrece una capacidad de 2.5 Gbps sobre distancias de 20km compartidos por 64 abonados. La OLT se encarga de enviar los datos al divisor óptico y este divide toda la señal para que la ONU reciba toda la información que le pertenece a ese usuario. Cada ONT verifica La OLT la dirección en el encabezado de los frames.

**Figura 11***Trafico de paquetes downstream**Fuente. (Cisco)*

El tráfico de los paquetes de subida o ascendente (**Upstream**) que utiliza la técnica de multiplexación TDMA (Time División Múltiple Access) para la transmisión de los paquetes, asegurando la transmisión de los datos sin colisiones desde la ONT hasta la OLT. GPON ofrece una capacidad de 1.25 Gbps sobre distancias de 20km compartidos por 64 abonados.

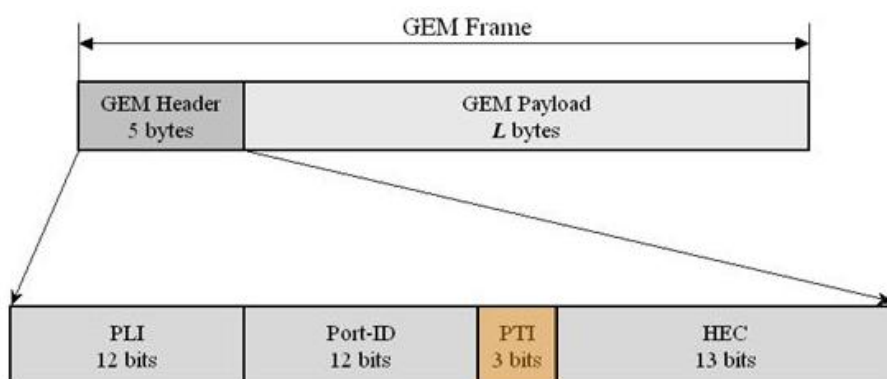
**Figura 12***Trafico de paquetes upstream**Fuente. (Cisco)*

GPON proporciona una gran flexibilidad, ya que puede transportar cualquier tipo de datos basándose en ATM y GEM (GPON Encapsulation Method).

El método de encapsulación de tramas que emplea esta tecnología se basa en el protocolo GEM (Generalized Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) con baja sobrecarga, aprovechando así al máximo el ancho de banda disponible. Sus características de QoS (Quality Of Service) y OAM (Operation Administration and Maintenance) avanzadas, permiten una gestión dinámica del ancho de banda e integrar una red IP completa extremo a extremo. (Osorio, 2016, pág. 45)

### Figura 13

*Estructura de trama GEM*



*Fuente.* (Arboleda E, 2016)

El modo de encapsulamiento GEM permite mayor flexibilidad y transmisión de paquete IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM. El encabezado de la trama GEM contiene los siguientes campos:

**Campo PLI (Payload Length Information).** El identificador de la longitud payload, que contiene los datos que se desean trasladar. Como máximo se transportan 4095 bytes.

**Campo Port-ID.** el identificador del puerto. Hay 4096 identificadores de puertos.

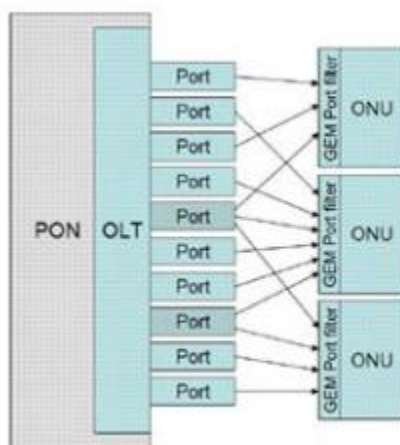
**Campo PTI.** el tipo de contenido. Tipo de datos que son transportados

**Campo HEC.** Protección del error del campo, para garantizar la calidad de la transmisión.

En la dirección descendente, la OLT multiplexa las tramas GEM en el medio de transmisión usando GEM Port-ID como identificador para diferenciar a que conexión lógica pertenece cada trama GEM. Cada ONU se queda con la trama GEM que le corresponde basándose en ese identificador. (Zaguan.unizar.es, 2021)

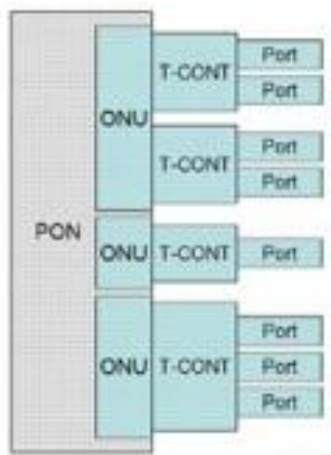
**Figura 14**

*Multiplexacion en sentido downstream.*



*Fuente.* (Zaguan.unizar.es, 2021)

En la dirección ascendente, la OLT organiza y reparte el ancho de banda entre las diferentes ONTs transmitiéndoles un mapa de ancho de banda en la dirección descendente, identificando estas tramas de tráfico por su Alloc-ID. Cada ONU debe transmitir en sus slots temporales asignados. Las tramas en ascendente se multiplican en tiempo siguiendo el esquema mostrado en la Figura 2. (Zaguan.unizar.es, 2021)

**Figura 15***Multiplexacion en sentido upstream**Fuente.*(Zaguan.unizar.es, 2021)

El ONU-ID es un identificador de 8 bits que la OLT asigna a una ONT durante el proceso de activación de dicha ONT, usando el canal de mensajes PLOAM. Es un identificador único en la PON y permanece válido hasta que la ONT es apagada, desactivada por la OLT, o puesta en un estado de inactividad. El GEM Port-ID es un identificador de 12 bits que es asignado por la OLT a cada conexión lógica individual. El Alloc-ID es un identificador de 12 bits que la OLT asigna a una ONT para identificarla en la asignación de ancho de banda que realiza la OLT. Por defecto, el Alloc-ID es igual al ONU-ID, se asigna implícitamente.

Un T-CONT (Transmission Container) es un objeto de la ONT que representa un grupo de conexiones lógicas que aparecen como una única entidad para la asignación del ancho de banda ascendente de la red. Cada ONT tiene un número fijo de T-CONTs. Durante la activación de la ONT se crean automáticamente todas las instancias T-CONT soportadas. Para activar un T-CONT que lleve tráfico de subida del usuario, la OLT establece un mapeo mediante OMCC (ONT Management and Control Channel) entre el T-CONT y el Alloc-ID. (Zaguan.unizar.es, 2021)

### ***Servicio que ofrece GPON***

Los servicios que GPON puede ofrecer pueden ser residenciales como comerciales. Entre ellos tenemos:

**Datos.** Acceso a información de manera eficiente y rápida. Acceso a internet por medio de computadoras con altos niveles de velocidad.

Descargas de música, videos, imágenes a altas tasas de velocidades.

Juegos en tiempo real.

Videollamadas de alta calidad y alta definición (FULL HD).

Mensajería instantánea y emails con gran contenido de información.

Streaming de video, películas.

Subir videos en plataformas como YouTube.

Realizar copias de seguridad en servidores, permite alojar archivos muy pesados.

**Voz o Telefonía.** Servicio de voz tradicional - POTS (plain old telephone services), servicio de telefonía analógica por medio de fibra, ofreciendo comunicaciones de voz bidireccional como Full Dúplex.

VoIP. Permite gestión de llamadas a través de paquetes IP de centralita telefónica (PBX) a centralita, es decir, sería posible que las PBX tengan multitud de llamadas simultáneamente.

Voz alta calidad (premium) ofrecido a 0,5 Mbps.

Un ancho de banda de alrededor de 15 Mbps es una buena velocidad para el aprovechamiento del servicio Triple Play.

**Video o TV.** HDTV (high definition TV) o video alta definición sobre IPTV. Es el formato de video utilizado actualmente que permite ver programas con mejor calidad. Se utiliza la técnica de codificación MPEG-4 a 7,5 Mbps; o bien la codificación WM9, a 10 Mbps.

SDTV (standard definition TV) o video de definición estándar sobre IPTV. Es la señal estándar, pero proporciona una alta calidad de imagen. Es de menor resolución que HDTV.

Ofrece acceder servicios de gran variedad

VOD (video on demand) o video bajo demanda o video a la carta. Es una plataforma que permite el acceso a múltiples contenidos de multimedia personalizados con la misma calidad o superior al resto de canales de televisión.

PPV (pay per view) o servicios de pago por visión o pago por evento. Es una modalidad en la que el usuario realiza un pago anticipado, para observar un contenido de televisión que desea ver. Estos servicios se comercializan en paquetes de canales con una cuota fija, los cuales pueden incluir programas deportivos, películas, conciertos importantes de música, etc.

### **Marco de Estado del Arte**

La tecnología de red óptica pasiva de gigabit (GPON, por sus siglas en inglés) ha emergido como una solución avanzada para responder a la creciente demanda de conectividad de alta velocidad. GPON fue introducida a principios de los años 2000 y se caracteriza por su capacidad para transmitir grandes volúmenes de datos mediante una infraestructura de fibra óptica pasiva, sin la necesidad de amplificadores o equipos activos en el trayecto de transmisión (Agrawal, 2002). Esta tecnología optimiza la infraestructura de telecomunicaciones al utilizar componentes como la Optical Line Terminal (OLT) y las Optical Network Units (ONUs) para conectar múltiples usuarios finales a través de divisores ópticos, permitiendo una transmisión eficiente de datos sin pérdidas de calidad (Sánchez & Vázquez, 2012).

En áreas urbanas densamente pobladas, como la Ciudadela Norte de Ocaña, las redes GPON se han consolidado como una opción idónea para satisfacer las necesidades de conectividad debido a su capacidad para ofrecer un servicio de alta velocidad y estabilidad en la

transmisión de datos. Estas redes son fundamentales en el desarrollo de las "ciudades inteligentes", que dependen de infraestructuras digitales robustas para gestionar servicios urbanos, como la administración energética, el monitoreo ambiental y la seguridad pública (Cuzme, 2015). Además, GPON facilita el despliegue de aplicaciones de alto consumo de ancho de banda, tales como el streaming de video en alta definición, la educación en línea y la telemedicina, que requieren una red confiable y de baja latencia para funcionar adecuadamente (Blanco Coronado, 2021). Estas características hacen que la tecnología GPON sea esencial para el crecimiento socioeconómico y cultural de comunidades en desarrollo, como la Ciudadela Norte de Ocaña.

Una ventaja clave de GPON frente a otras tecnologías, como los radioenlaces o redes de cobre, es su eficiencia energética. Al ser una tecnología pasiva, GPON reduce el consumo de energía, lo que minimiza tanto los costos operativos como el impacto ambiental. Esto contribuye a una reducción en la huella de carbono de la infraestructura de telecomunicaciones, al no requerir equipos activos en el trayecto de transmisión (Parra Cortés, 2018). Este tipo de redes es compatible con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con los objetivos de "Industria, Innovación e Infraestructura" (ODS 9) y "Ciudades y Comunidades Sostenibles" (ODS 11), al apoyar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y facilitar una conectividad que impulsa la inclusión digital (ONU, 2018).

Aunque GPON ofrece múltiples beneficios, su implementación presenta ciertos desafíos, especialmente en cuanto a los costos iniciales y los requisitos de infraestructura. La instalación de redes GPON puede requerir una inversión considerable, dado que implica el tendido de fibra óptica y la instalación de equipos especializados. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que, debido a la durabilidad y escalabilidad de la tecnología GPON, esta inversión

inicial es compensada por los beneficios de largo plazo, como la reducción de costos operativos y el aumento en la calidad del servicio (Lopez Polo, 2016). Además, en zonas como la Ciudadela Norte de Ocaña, la densidad poblacional y la topografía pueden requerir ajustes específicos en el diseño de la infraestructura, para asegurar una cobertura adecuada y la capacidad de expansión futura (Pérez Soler, 2009).

La tecnología GPON continúa evolucionando y adaptándose a nuevas demandas de conectividad. Su integración con tecnologías emergentes, como las redes de próxima generación (NG-PON2) y las redes definidas por software (SDN), está permitiendo mejorar su flexibilidad y escalabilidad. NG-PON2, por ejemplo, ofrece velocidades de transmisión de hasta 40 Gbps, lo que satisface las demandas de conectividad de aplicaciones futuras, especialmente en entornos urbanos donde el consumo de datos es elevado (Dar et al., 2015). Además, GPON se está integrando en arquitecturas de soporte para redes 5G, lo que facilita servicios avanzados, como las comunicaciones inmersivas 3D, la telemedicina y las aplicaciones de realidad aumentada y virtual, que requieren transmisión de datos con alta capacidad y baja latencia (Romero Melo, 2022).

## **Diseño de Red Bajo la Tecnología Gpon para Prestar Servicios de Internet a la Ciudadela Norte**

### **Análisis de la Ciudadela Norte**

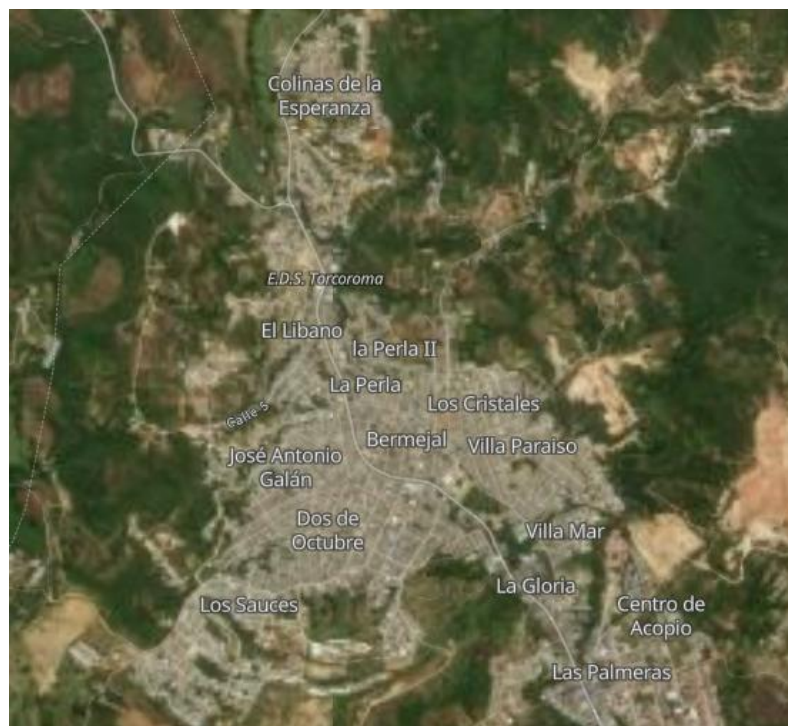
#### ***Como está Conformada la Ciudadela Norte***

La Ciudadela Norte está ubicada en la comuna 5 en el municipio de Ocaña Norte de Santander con un área de 6,26km<sup>2</sup>, tiene alrededor de 25.000 habitantes y está conformada por los siguientes barrios:

Santa Clara, Bermejál, Urbanización Colinas de La Florida, Colinas de La Esperanza, El Líbano, La Gloria, Dos de Octubre, Villa Paraíso, La Perla, Altos del Norte, Villa Mar, La Ondina, Los Cristales, Sauces, Villa Elvia.

#### ***Georreferenciación Topográfica de la Ciudadela Norte por medio de la Herramienta Google Earth.***

La ubicación de la ciudadela norte se realizó por medio de la herramienta Google Earth en la cual se puede apreciar algunos de los barrios que la conforman. En las siguientes imágenes, podemos observar donde se encuentra la ciudadela norte y la correspondiente zonificación para el diseño de la red GPON.

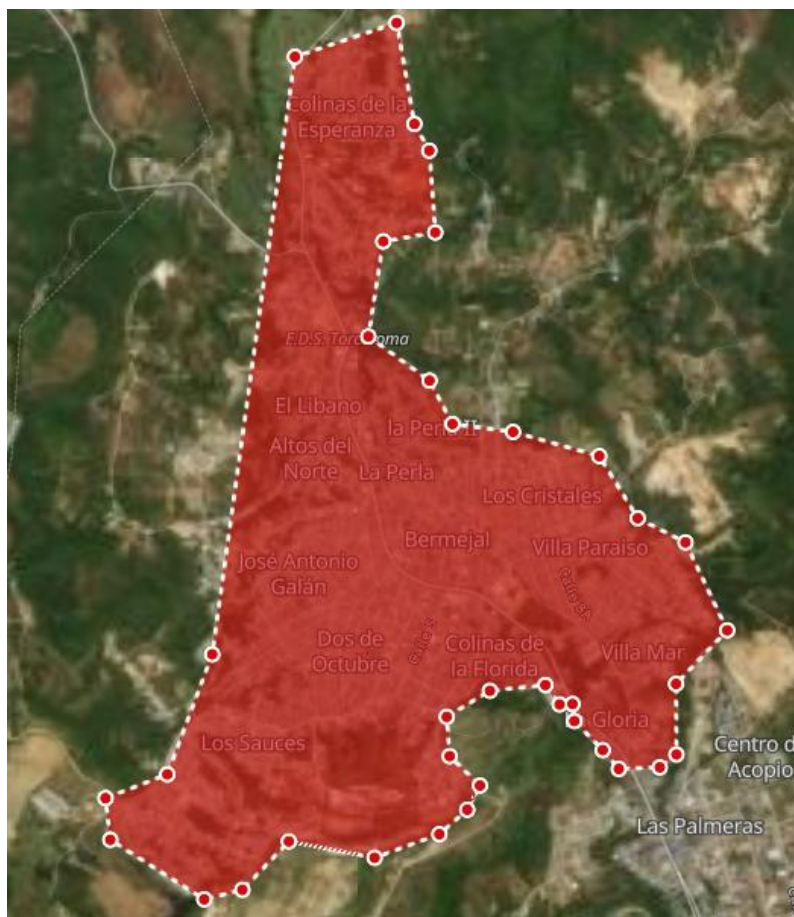
**Figura 16***Ubicación de la Ciudadela Norte*

*Fuente.* Autoría propia.

En la figura 17 se observa el sector delimitado (el área sombreada en rojo) que corresponde al área de cobertura del diseño de la red GPON, teniendo un área aproximadamente 1,23 km<sup>2</sup>, donde se incluyen los armarios y cada uno de los puntos de distribución de la fibra óptica. Con ayuda de la herramienta google earth que contiene cada uno de los barrios de la ciudadela norte se pudo realizar un análisis de los clientes que actualmente hacen uso del servicio de internet.

**Figura 17**

*Área de cobertura de la red GPON (Ciudadela Norte)*



*Fuente.* Autoría propia.

## **Diseño de la Red GPON en la Herramienta Packet Tracer**

### ***Herramienta Packet Tracer***

Packet tracer es una herramienta de simulación de las redes de telecomunicación que nos permite crear, diseñar topologías físicas/lógicas y experimentar el comportamiento de la red. Esta herramienta ofrece una interfaz intuitiva con varias funcionalidades de configuración real en el IOS que cisco provee, facilitando su uso al momento de añadir elementos que conforman una red, logrando conectarse y realizar las configuraciones necesarios para la red.






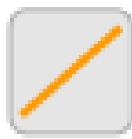

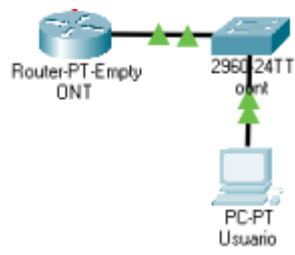
### *Diseño de la Tecnología Gpon en la Ciudadela Norte de Ocaña Norte de Santander*

El diseño de la red consta de 4 partes fundamentales de la red GPON las cuales son la OLT, la fibra óptica, el splitter y la ONT.

Los dispositivos que se van a utilizar en la herramienta packet tracer para realizar el diseño de acuerdo a la arquitectura de la tecnología GPON se observan a continuación:

**Tabla 3**

*Dispositivos a utilizar en la herramienta packet tracer para realizar el diseño de la red GPON*

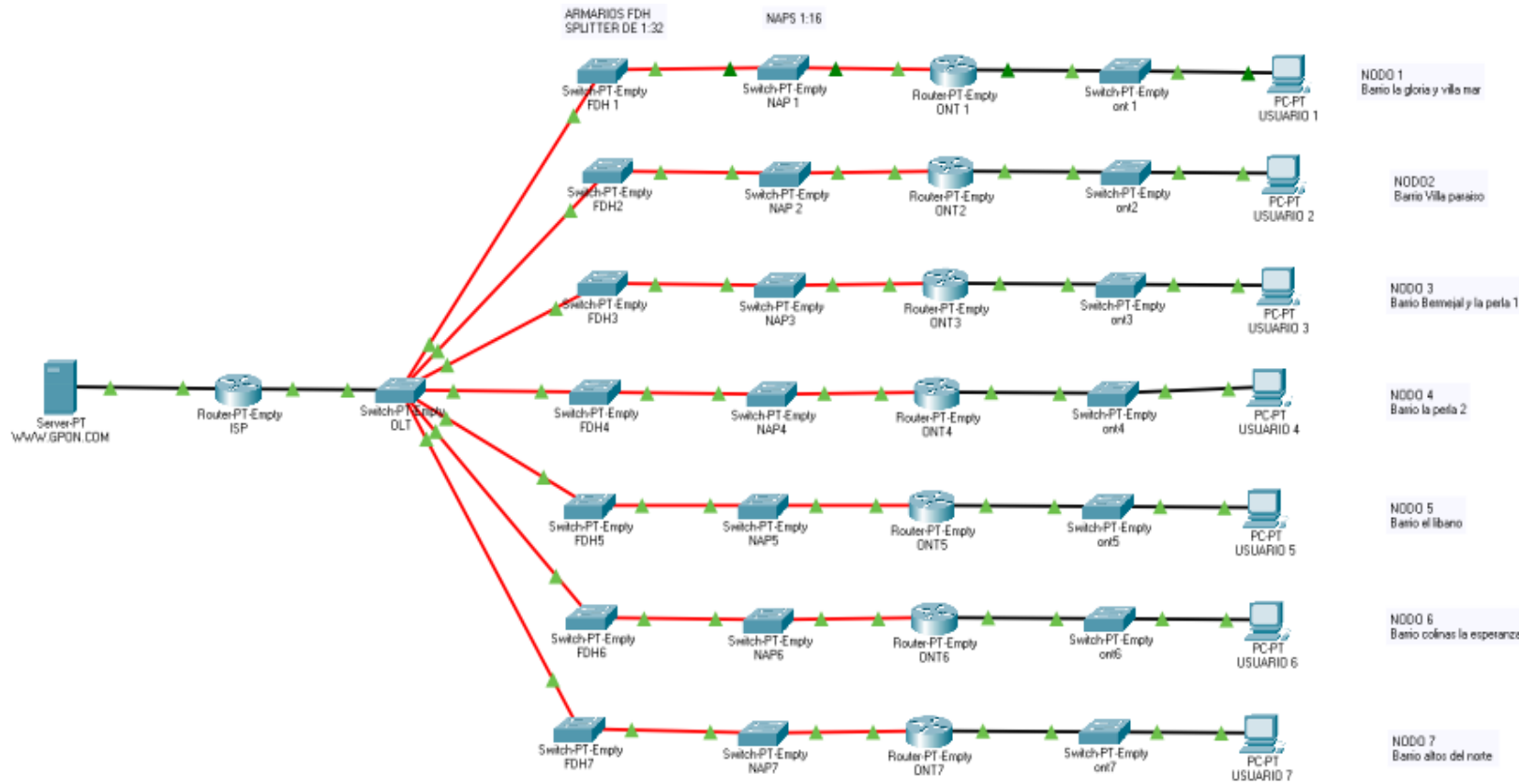
<b>Elemento GPON</b>	<b>Elemento GPON</b>	<b>Dispositivos en packet tracer</b>
<b>OLT</b>		
<b>SPLITTER</b>		
<b>FIBRA OPTICA</b>		
<b>ONT</b>		

*Fuente. Autoría propia.*

En el diseño de la red se simulan algunos puntos de distribución de la red ya que cada punto va a realizar el mismo funcionamiento. Se tiene en cuenta el primer nodo hasta el 8 nodo, cumpliendo con la conectividad de la red. En la figura 4 podemos observar el diseño de la red.

Figura 18

*Diseño de red GPON en la ciudadela norte*



*Fuente. Autoría propia.*

## **Cantidad de Tarjetas y Nodos Pon**

Para dimensionar los puertos PON es necesario conocer la cantidad de puertos a utilizar sabiendo que cada OLT tiene 8 puertos y cada puerto puede abastecer hasta 64 usuarios. Para este diseño la demanda existente más la demanda estimada a futuro, nos da un total de 8.400 usuarios, entonces dividiendo esta cantidad de usuarios por la capacidad de un puerto PON como se indica anteriormente, nos da un valor de 263 puertos PON a utilizar.

Es importante considerar los siguientes valores de umbral en la OLT:

La potencia de salida (Pt) del equipo OLT es de 1.5 Db

La sensibilidad el equipo ONT (S) es de -27 dB

Ancho de banda.

La ciudadela norte cuenta con alrededor de 25.000 habitantes por lo que se supone que encada hogar convivan aproximadamente 6 personas, se realiza una división de los habitantes entre las personas que ocupan cada hogar, dando como resultado 4.200 usuarios a los que se suministrara el servicio de internet. Teniendo en cuenta que a futuro puede presentarse un crecimiento de los usuarios se estima duplicar este resultado, la cual da un total de 8.400 usuarios

Para definir la velocidad del internet se toma en cuenta la cantidad de usuarios para proveer el servicio y suministrar una navegación de calidad donde el usuario se sienta a gusto, además sabemos que en la red GPON se dispone de 2,5 Gbps para downstream y 1.25 Gbps de subida por lo que se debe considerar que el ancho de banda disponible en la fibra troncal debe repartirse entre los servicios que son ofrecidos, en este caso solo se proveerá el servicio de internet a cada uno de los usuarios.

Para calcular el ancho de banda total requerido es necesario realizar una operación de multiplicación por usuario por el número total de usuarios de la red con la finalidad de conocer el ancho de banda total requerido. Se puede evidenciar en la siguiente formula:

$$\text{ancho de banda} = \text{numero de abonado} \times \text{ancho de banda por usuario}$$

La velocidad del servicio por la cantidad de usuarios conectado en la red la capacidad de internet estimada se calcula en la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Cantidad de usuarios conectado en la red*

<b>Servicio</b>	<b>Ancho de banda subida</b>	<b>Ancho de banda baja</b>
<b>Acceso a internet</b>	2 Mbps	10Mbps

#### ***Nodos de Distribución***

Se estima que en cada nodo se distribuya la fibra para 650 usuarios. Para calcular la cantidad de nodos se realiza de la siguiente manera:

$$\text{cantidad de nodos} = \frac{\text{total de abonados}}{650 \text{ usuarios}}$$

$$\text{cantidad de nodos} = \frac{8400}{650 \text{ usuarios}}$$

Al realizar dicha operación se encuentra que la cantidad de nodos corresponden a 13 aproximadamente.

#### ***Nivel de Splitteo***

En un área extensa lo más conveniente a nivel de planta externa es resguardar los splitter en un armario (FDH) con capacidad de 576 hilos de fibra y luego sacar cables de distribución de fibra óptica hacia las NAPS es por esto que se contempla una red centralizada.

De acuerdo a la cantidad de usuarios y el posible crecimiento de la población de la ciudadela norte se determina un nivel de splitteo de 1:32 esto significa que los usuarios finales recibirán 1/32 veces la potencia entregada por la OLT. Para determinar el área de dispersión se considera que cada NAP pueda abastecer máximo 16 usuarios (1:16) para que sea menor la atenuación que se pueda presentar, porque lo que se requiere 525 NAP para la ciudadela norte.

Las NAPS deben ubicarse en puntos estratégicos como por ejemplo en la mitad de las cuadras instaladas de forma aérea en los postes de las cuadras, con el fin de que tenga cobertura con todas las casas que conforman el área de dispersión.

### ***Hilos de Feeder***

Es necesario conocer cuántos hilos de fibra óptica se requieren para el despliegue de la red para los usuarios de la ciudadela norte, a continuación, se presenta el cálculo de los hilos del feeder.

$$HF = \frac{Df}{S}$$

Donde

Hf: hilos de fibra

Df: Demanda final

S: Nivel de splitteo

Entonces:

$$HF = \frac{8400}{32} = 262.5$$

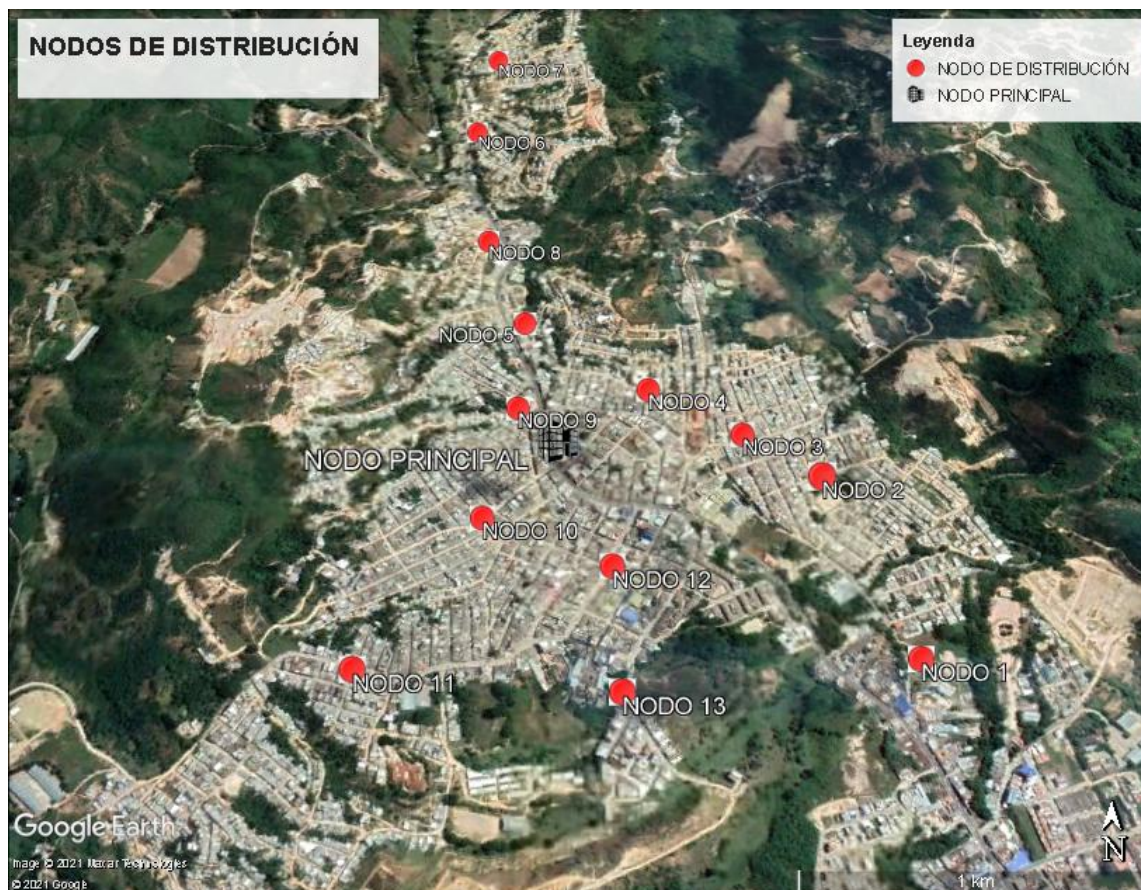
Por lo tanto, para la red troncal se necesitan alrededor de 263 hilos de fibra óptica.

Ubicación de nodos.

En la figura 22 se observa la ubicación de los nodos de distribución y el nodo principal de la red de la ciudadela norte. El nodo principal del diseño de la red se sitúa en el centro de la ciudadela norte donde se encuentra ubicado el proveedor de servicios y los equipos distribuidores de la fibra óptica como son la OLT y el ODF. Los nodos de distribución donde se encuentran los armarios FDH, se ubican en puntos estratégicos para poder suministrar el servicio de internet a cada uno de los barrios que conforman la ciudadela norte. Se contará con 13 armarios los cuales cada uno contendrá una capacidad máxima de servicio de 576 puertos.

### Figura 19

*Ubicación de modos de distribución (FDH) y nodo principal*



*Fuente.* Autoría propia.

El nodo central se ubica en la parte central de la ciudadela norte.

En el nodo 1 se ubica el barrio la gloria y villa mar

En el nodo 2 se ubica el barrio villa paraíso

En el nodo 3 se ubica el barrio bermejál y la perla 1

En el nodo 4 se ubica el barrio la perla 2

En el nodo 5 se ubica el barrio el Líbano

En el nodo 6 y 7 se ubica el barrio colinas de la esperanza

En el nodo 8 se ubica el barrio Altos del norte

En el nodo 9 se ubica el barrio galán

En el nodo 10 se ubica el barrio dos de octubre

En el nodo 11 se ubica el barrio los sauces

En el nodo 12 se ubica el barrio santa clara y colinas de la florida

En el nodo 13 se ubica el barrio villa lisa

### ***Direccionamiento y Asignación IP***

**Tabla 5**

#### *Direccionamiento IP*

<b>Nodos</b>	<b>Red</b>	<b>Mascara</b>	<b>Ip utilizables</b>	<b>broadcast</b>
N1	192.168.0.0	255.255.252.0	192.168.0.1-192.168.3.254	192.168.3.255
N2	192.168.4.0	255.255.252.0	192.168.4.1-192.168.7.254	192.168.7.255
N3	192.168.8.0	255.255.252.0	192.168.8.1-192.168.11.254	192.168.11.255
N4	192.168.12.0	255.255.252.0	192.168.12.1-192.168.15.254	192.168.15.255
N5	192.168.16.0	255.255.252.0	192.168.16.1-192.168.19.254	192.168.19.255
N6	192.168.20.0	255.255.252.0	192.168.20.1-192.168.23.254	192.168.23.255
N7	192.168.24.0	255.255.252.0	192.168.24.1-192.168.27.254	192.168.27.255
N8	192.168.28.0	255.255.252.0	192.168.28.1-192.168.31.254	192.168.31.255
N9	192.168.32.0	255.255.252.0	192.168.32.1-192.168.35.254	192.168.35.255
N10	192.168.36.0	255.255.252.0	192.168.36.1-192.168.39.254	192.168.39.255

N11	192.168.40.0	255.255.252.0	192.168.40.1-192.168.43.254	192.168.43.255
N12	192.168.44.0	255.255.252.0	192.168.44.1-192.168.47.254	192.168.47.255
N13	192.168.48.0	255.255.252.0	192.168.48.1-192.168.51.254	192.168.51.255
WEB	200.200.200.2	255.255.255.0	N/A	N/A

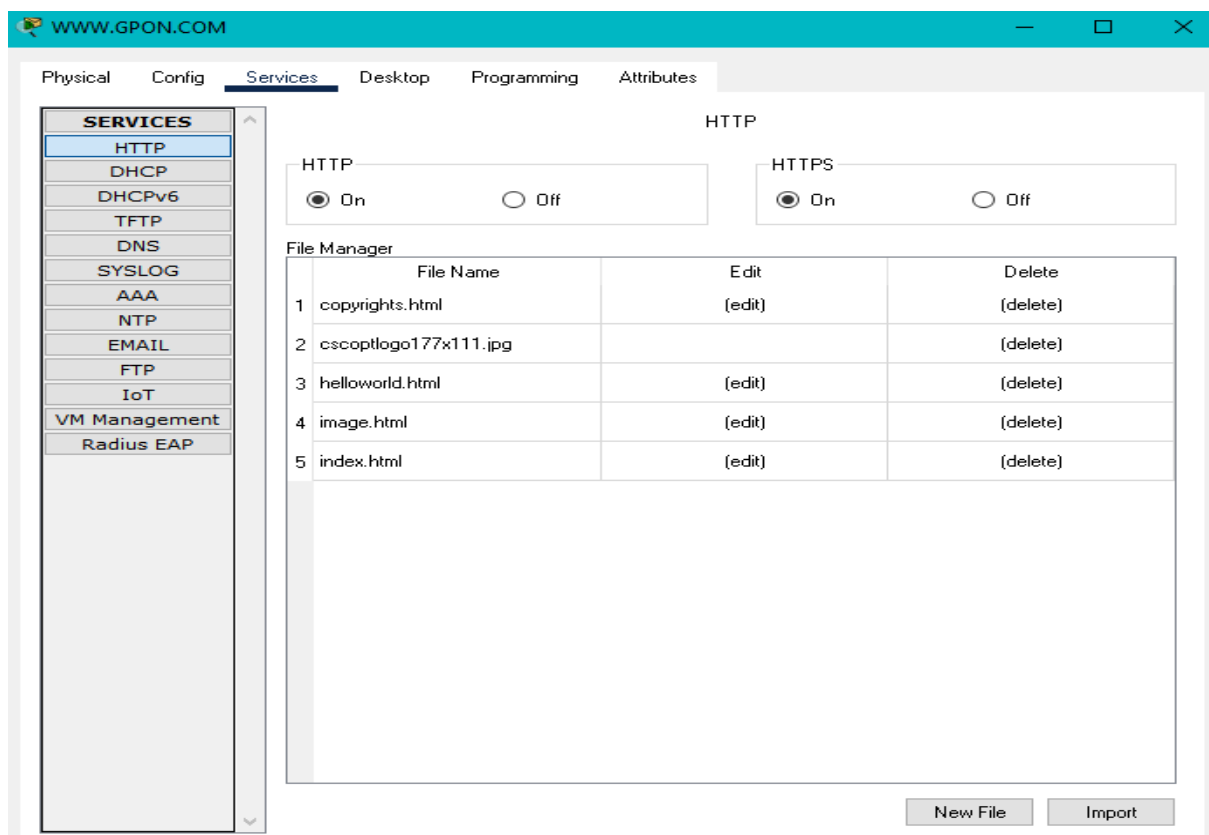
*Fuente. Autoría propia.*

### **Configuración de los Dispositivos**

El diseño de la red cuenta con la configuración el router ISP que será el proveedor de servicios de internet y además se controlará el ancho de banda en cada uno de los hogares. Se configura un servidor con un sitio web y se activa el servicio HTTP. En la imagen podemos observar esta configuración.

### **Figura 20**

#### *Activación del servicio HTTP*

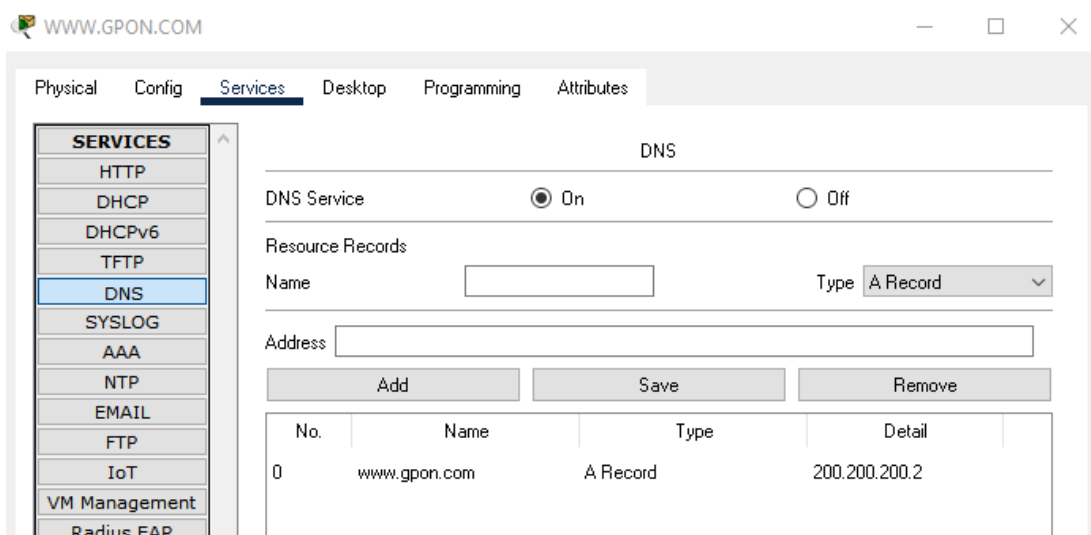


*Fuente. Autoría propia.*

Activación de DNS y creación del sitio web WWW.GPON.COM con su respectiva dirección I.

## Figura 21

*Activación del servicio DNS y creación del sitio web*



*Fuente. Autoría propia.*

## Figura 22

*Configuración del ISP*

```
ISP(config-if)#exit
ISP(config)#interface GigabitEthernet1/0
ISP(config-if)#ip address 200.200.200.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#ip address 200.200.200.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#no shutdown
ISP(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet1/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/0, changed state to up

ISP(config-if)#exit
ISP(config)#interface GigabitEthernet2/0
ISP(config-if)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
ISP(config-if)#no shutdown
ISP(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet2/0, changed state to up

ISP(config-if)#END
ISP#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

*Fuente. Autoría propia.*

Para la comunicación de la olt hasta cada ont se configura el protocolo de enrutamiento Rip versión 2, cabe resaltar que esta versión no se activa de forma automática. Es necesario conocer las redes que están conectadas directamente para luego agregarlas a la tabla de enrutamiento para que sea compartida.

### Figura 23

#### Enrutamiento del ISP

```

ISP#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ISP#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       10.10.10.0 is directly connected, GigabitEthernet2/0
R       192.168.0.0/22 [120/1] via 10.10.10.2, 00:00:07, GigabitEthernet2/0
R       192.168.4.0/22 [120/1] via 10.10.10.3, 00:00:07, GigabitEthernet2/0
C       200.200.200.0/24 is directly connected, GigabitEthernet1/0

ISP#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
ISP(config)#router rip
ISP(config-router)#
ISP(config-router)#version 2
ISP(config-router)#network 10.0.0.0
ISP(config-router)#network 200.200.200.0
ISP(config-router)#end
ISP#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ISP#
ISP#
ISP#
ISP#

```

*Fuente.* Autoría propia. *Nota.* Configuración de la ONT del nodo 1 que corresponde al barrio Villa Mar y la Gloria

**Figura 24***Configuración de la ONT1*

```
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet7/0, changed state to down ^
ONT1(config-if)#exit
ONT1(config)#interface GigabitEthernet0/0
ONT1(config-if)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0
ONT1(config-if)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0
ONT1(config-if)#no shutdown
ONT1(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

ONT1(config-if)#exit
ONT1(config)#interface GigabitEthernet7/0
ONT1(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.252.0
ONT1(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.252.0
ONT1(config-if)#no shutdown
ONT1(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet7/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet7/0, changed state to up

ONT1(config-if)#END
ONT1#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
ONT1#
```

*Fuente.* Autoría propia. *Nota.* Configuración de la ONT del nodo 1 que corresponde al barrio Villa Paraiso.

Figura 25

## Configuración de ONT2

```

ONT2(config)#interface GigabitEthernet0/0
ONT2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to administratively down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down

%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to administratively down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to down
ip address 192.168.4.1 255.255.252.0
ONT2(config-if)#ip address 192.168.4.1 255.255.252.0
ONT2(config-if)#no shutdown
ONT2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

ONT2(config-if)#exit
ONT2(config)#interface GigabitEthernet3/0
ONT2(config-if)#ip address 10.10.10.3 255.255.255.0
ONT2(config-if)#ip address 10.10.10.3 255.255.255.0
ONT2(config-if)#no shutdown
ONT2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#
ONT2(config-if)#

```

*Fuente.* Autoría propia. *Nota.* Configuración de la ONT del nodo 1 que corresponde al barrio la perla 1 y bermejál

**Figura 26***Configuración de la ont3*

```
Router#CONF
Configuring from terminal, memory, or network [terminal]?
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
Router(config)#
Router(config)#HOSTNAME ONT3
ONT3(config)#
ONT3(config)#interface GigabitEthernet3/0
ONT3(config-if)#ip address 10.10.10.4 255.0.0.0
ONT3(config-if)#ip address 10.10.10.4 255.0.0.0
ONT3(config-if)#no shutdown
ONT3(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

ONT3(config-if)#exit
ONT3(config)#interface GigabitEthernet0/0
ONT3(config-if)#ip address 192.168.8.1 255.255.255.0
ONT3(config-if)#ip address 192.168.8.1 255.255.252.0
ONT3(config-if)#no shutdown
ONT3(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up
shutdown
ONT3(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to administratively down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down

ONT3(config-if)#
ONT3(config-if)#
ONT3(config-if)#
ONT3(config-if)#
ONT3(config-if)#
```

*Fuente.* Autoría propia.

## Figura 27

### Enrutamiento de la ont 4

```

ONT4(config-router)#END
ONT4#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT4#CONF T
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
ONT4(config)#END
ONT4#ROUT
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by cons
ONT4#SHOW IP ROUTE
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, GigabitEthernet3/0
C    192.168.12.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0

ONT4#CONF T
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
ONT4(config)#ROUTER RIP
ONT4(config-router)#VERSION 2
ONT4(config-router)#NETWORK 10.0.0.0
ONT4(config-router)#NETWORK 192.168.12.0
ONT4(config-router)#END
ONT4#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT4#

```

Fuente. Autoría propia.

## Figura 28

### Configuración de la ont 4.

```

Router#CONF T
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#HOSTNAME ONT4
ONT4(config)#
ONT4(config)#interface GigabitEthernet3/0
ONT4(config-if)#ip address 10.10.10.5 255.0.0.0
ONT4(config-if)#ip address 10.10.10.5 255.0.0.0
ONT4(config-if)#no shutdown
ONT4(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

ONT4(config-if)#exit
ONT4(config)#interface GigabitEthernet0/0
ONT4(config-if)#ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
ONT4(config-if)#ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
ONT4(config-if)#no shutdown
ONT4(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

```

Fuente. Autoría propia.

## Figura 29

### Enrutamiento ONT5

```

ONT5(config-if)#
ONT5(config-if)#END
ONT5#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT5#SHOW IP ROUTE
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, GigabitEthernet3/0
C    192.168.16.0/22 is directly connected, GigabitEthernet0/0

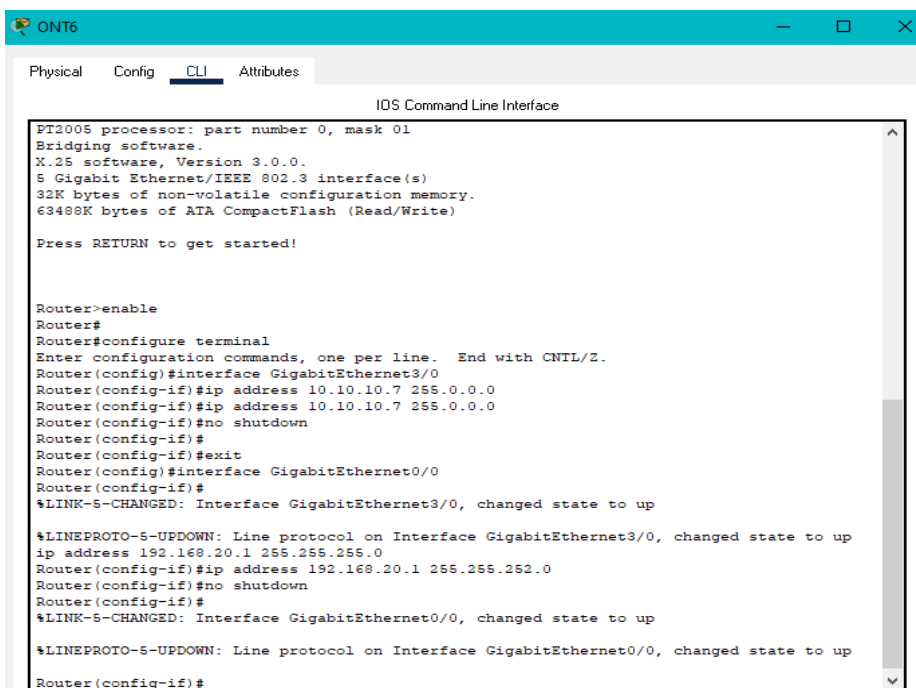
ONT5#CONF T
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
ONT5(config)#ROUTER RIP
ONT5(config-router)#VERSION 2
ONT5(config-router)#NETWORK 10.0.0.0
ONT5(config-router)#NETWORK 192.168.16.0
ONT5(config-router)#END
ONT5#
%SYS-5-CONFIG I: Configured from console by console

```

Fuente. Autoría propia.

## Figura 30

### Configuración de la ont 5



```

ONT6
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

PT2005 processor: part number 0, mask 01
Bridging software
X.25 software, Version 3.0.0.
5 Gigabit Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)
32K bytes of non-volatile configuration memory.
63488K bytes of ATA CompactFlash (Read/Write)

Press RETURN to get started!

Router>enable
Router#
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface GigabitEthernet3/0
Router(config-if)#ip address 10.10.10.7 255.0.0.0
Router(config-if)#ip address 10.10.10.7 255.0.0.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#
Router(config-if)#exit
Router(config)#interface GigabitEthernet0/0
Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up
ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
Router(config-if)#ip address 192.168.20.1 255.255.252.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up
Router(config-if)#

```

Fuente. Autoría propia.

## Figura 31

### Enrutamiento ONT6.

The screenshot shows a window titled 'ONT6' with tabs for 'Physical', 'Config', 'CLI', and 'Attributes'. The 'CLI' tab is active, displaying the 'IOS Command Line Interface'. The terminal output shows the following sequence of commands and responses:

```

Router(config-if)#END
Router#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Router#SHOW IP ROUTE
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, GigabitEthernet3/0
C    192.168.20.0/22 is directly connected, GigabitEthernet0/0

Router#
Router#CONF T
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
Router(config)#ROUTER RIP
Router(config-router)#VERSION 2
Router(config-router)#NETWORK 10.0.0.0
Router(config-router)#NETWORK 192.168.20.0
Router(config-router)#END
Router#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Router#
Router#
Router#
Router#
Router#
Router#

```

At the bottom of the window, there is a 'Ctrl+F6 to exit CLI focus' prompt, 'Copy' and 'Paste' buttons, and a 'Top' button.

Fuente. Autoría propia.

**Figura 32***Configuración de la ont 7*

```
5 Gigabit Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)
32K bytes of non-volatile configuration memory.
63488K bytes of ATA CompactFlash (Read/Write)

Press RETURN to get started!

Router>ENABLE
Router#CONF T
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#HOSTNAME ONT7
ONT7(config)#
ONT7(config)#interface GigabitEthernet3/0
ONT7(config-if)#no ip address
ONT7(config-if)#ip address 10.10.10.8 255.0.0.0
ONT7(config-if)#ip address 10.10.10.8 255.0.0.0
ONT7(config-if)#no shutdown
ONT7(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet3/0, changed state to up

ONT7(config-if)#exit
ONT7(config)#interface GigabitEthernet0/0
ONT7(config-if)#ip address 192.168.24.1 255.255.255.0
ONT7(config-if)#ip address 192.168.24.1 255.255.252.0
ONT7(config-if)#no shutdown
ONT7(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

ONT7(config-if)#
ONT7(config-if)#
```

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 33***Enrutamiento ONT7*

```
ONT7(config-if)#END
ONT7#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT7#SHOW IP ROUTE
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, GigabitEthernet3/0
C    192.168.24.0/22 is directly connected, GigabitEthernet0/0

ONT7#CONF T
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
ONT7(config)#ROUTER RIP
ONT7(config-router)#VERSION 2
ONT7(config-router)#NETWORK 10.0.0.0
ONT7(config-router)#NETWORK 192.168.24.0
ONT7(config-router)#END
ONT7#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

ONT7#
ONT7#
ONT7#
ONT7#
ONT7#
ONT7#
```

*Fuente.* Autoría propia.

En la configuración de los usuarios finales se utilizan computadoras, lo cual primero se debe acceder a su configuración para asignarle la dirección IP manualmente bajo la red en la que se encuentra como se observa en las siguientes imágenes

**Figura 34**

*Configuración de Ip del usuario 1.*

The screenshot displays the 'IP Configuration' window for 'USUARIO 1'. The window has a teal title bar and a menu bar with 'Physical', 'Config', 'Desktop', 'Programming', and 'Attributes'. The 'Desktop' tab is active. The main content area is titled 'IP Configuration' and includes a dropdown menu for 'Interface' set to 'FastEthernet0'. Below this, there are three sections: 'IP Configuration', 'IPv6 Configuration', and '802.1X'. The 'IP Configuration' section has radio buttons for 'DHCP' (unselected) and 'Static' (selected). It contains text input fields for 'IPv4 Address' (192.168.0.2), 'Subnet Mask' (255.255.252.0), 'Default Gateway' (192.168.0.1), and 'DNS Server' (200.200.200.2). The 'IPv6 Configuration' section has radio buttons for 'Automatic' (unselected) and 'Static' (selected). It contains text input fields for 'IPv6 Address' (empty), 'Link Local Address' (FE80::209:7CFF:FED2:23BB), 'Default Gateway' (empty), and 'DNS Server' (empty). The '802.1X' section has a checkbox for 'Use 802.1X Security' (unchecked), a dropdown menu for 'Authentication' (MD5), and text input fields for 'Username' and 'Password'.

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 35***Configuración de Ip del usuario 2*

USUARIO 2

Physical Config **Desktop** Programming Attributes

IP Configuration

Interface: FastEthernet0

IP Configuration

DHCP  Static

IPv4 Address: 192.168.4.2

Subnet Mask: 255.255.252.0

Default Gateway: 192.168.4.1

DNS Server: 200.200.200.2

IPv6 Configuration

Automatic  Static

IPv6 Address: /

Link Local Address: FE80::201:64FF:FEE7:7DD3

Default Gateway:

DNS Server:

802.1X

Use 802.1X Security

Authentication: MD5

Username:

Password:

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 36***Configuración de Ip del usuario 3*

The image shows a software window titled 'USUARIO 3' with a 'Desktop' tab selected. The main content is the 'IP Configuration' dialog for the 'FastEthernet0' interface. It is divided into three sections: IP Configuration, IPv6 Configuration, and 802.1X.

**IP Configuration:**

- Interface: FastEthernet0
- Configuration:  DHCP,  Static
- IPv4 Address: 192.168.8.10
- Subnet Mask: 255.255.252.0
- Default Gateway: 192.168.8.1
- DNS Server: 200.200.200.2

**IPv6 Configuration:**

- Configuration:  Automatic,  Static
- IPv6 Address: [Empty] / [Empty]
- Link Local Address: FE80::20C:85FF:FED1:54AB
- Default Gateway: [Empty]
- DNS Server: [Empty]

**802.1X:**

- Use 802.1X Security
- Authentication: MD5
- Username: [Empty]
- Password: [Empty]

At the bottom left, there is a 'Top' button.

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 37***Configuración de IP del usuario 4*

The screenshot shows a network configuration window titled "IP Configuration" for the interface "FastEthernet0". The window has tabs for "Physical", "Config", "Desktop", "Programming", and "Attributes", with "Desktop" selected. The configuration is divided into three sections: IP Configuration, IPv6 Configuration, and 802.1X.

**IP Configuration:**

- Interface: FastEthernet0
- IP Configuration:  DHCP,  Static
- IPv4 Address: 192.168.12.12
- Subnet Mask: 255.255.252.0
- Default Gateway: 192.168.12.1
- DNS Server: 200.200.200.2

**IPv6 Configuration:**

- IPv6 Configuration:  Automatic,  Static
- IPv6 Address: [Empty] / [Empty]
- Link Local Address: FE80::2E0:B0FF:FE28:DE3
- Default Gateway: [Empty]
- DNS Server: [Empty]

**802.1X:**

- Use 802.1X Security
- Authentication: MD5
- Username: [Empty]
- Password: [Empty]

At the bottom left, there is a "Top" button.

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 38**

*Configuración de Ip del usuario 5.*

The screenshot shows a network configuration window titled 'IP Configuration' for the interface 'FastEthernet0'. The window is divided into three main sections: IPv4 Configuration, IPv6 Configuration, and 802.1X.

**IPv4 Configuration:**

- Interface: FastEthernet0
- IP Configuration:  DHCP,  Static
- IPv4 Address: 192.168.16.12
- Subnet Mask: 255.255.252.0
- Default Gateway: 192.168.16.1
- DNS Server: 200.200.200.2

**IPv6 Configuration:**

- IP Configuration:  Automatic,  Static
- IPv6 Address: [ ] / [ ]
- Link Local Address: FE80::207:ECFF:FE8C:A979
- Default Gateway: [ ]
- DNS Server: [ ]

**802.1X:**

- Use 802.1X Security
- Authentication: MD5
- Username: [ ]
- Password: [ ]

At the bottom left, there is a 'Top' button.

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 39**

*Configuración de Ip del usuario 6.*

The screenshot shows a window titled 'USUARIO 6' with a tabbed interface. The 'Desktop' tab is active, displaying the 'IP Configuration' settings for the 'FastEthernet0' interface. The window has a blue title bar and standard window controls (minimize, maximize, close). The configuration is organized into three sections: IP Configuration, IPv6 Configuration, and 802.1X. In the IP Configuration section, 'Static' is selected, and the IPv4 address is set to 192.168.20.12 with a subnet mask of 255.255.252.0, a default gateway of 192.168.20.1, and a DNS server of 200.200.200.2. The IPv6 Configuration section shows 'Static' selected, with a link local address of FE80::2D0:FFFF:FEC1:3732. The 802.1X section has 'Use 802.1X Security' unchecked, 'Authentication' set to MD5, and empty fields for 'Username' and 'Password'. A 'Top' button is located at the bottom left of the window.

Physical Config **Desktop** Programming Attributes

IP Configuration

Interface: FastEthernet0

IP Configuration

DHCP  Static

IPv4 Address: 192.168.20.12

Subnet Mask: 255.255.252.0

Default Gateway: 192.168.20.1

DNS Server: 200.200.200.2

IPv6 Configuration

Automatic  Static

IPv6 Address: /

Link Local Address: FE80::2D0:FFFF:FEC1:3732

Default Gateway:

DNS Server:

802.1X

Use 802.1X Security

Authentication: MD5

Username:

Password:

Top

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 40**

*Configuración de Ip del usuario 7.*

The screenshot displays a configuration window titled "USUARIO 7" with a "Desktop" tab selected. The main content area is titled "IP Configuration" and shows the following settings:

- Interface:** FastEthernet0
- IP Configuration:**
  - DHCP
  - Static
  - IPv4 Address: 192.168.24.12
  - Subnet Mask: 255.255.252.0
  - Default Gateway: 192.168.24.1
  - DNS Server: 200.200.200.2
- IPv6 Configuration:**
  - Automatic
  - Static
  - IPv6 Address: [Empty] / [Empty]
  - Link Local Address: FE80::290:21FF:FEB2:1774
  - Default Gateway: [Empty]
  - DNS Server: [Empty]
- 802.1X:**
  - Use 802.1X Security
  - Authentication: MD5
  - Username: [Empty]
  - Password: [Empty]

At the bottom left, there is a "Top" button with a square icon.

*Fuente. Autoría propia.*

## Pruebas

### Verificación Simulada de la Conectividad a los Hogares de la Ciudadela Norte, por Medio de la Herramienta Packet Tracer

Para evaluar los resultados del diseño de la infraestructura de red se emplearon las siguientes pruebas:

Pruebas de conexión

Pruebas de latencia

#### *Pruebas de Conexión*

Es necesario una prueba de conexión de la red el cual emplea el comando ping que permite comprobar si existe conexión entre un dispositivo y otro. Ping opera mediante el envío de paquetes de solicitud de eco del protocolo de mensajes de control de Internet (ICMP) al host de destino y la espera de una respuesta del ICMP. Puede registrar el tiempo de ida y vuelta y la pérdida de paquetes.

Los indicadores más comunes son:

! : indica la recepción de un mensaje de respuesta de eco ICMP. El ping se completó correctamente y comprueba la conectividad de capa de red.

(.) : indica que el tiempo de espera que se estima para una respuesta al eco ICMP además puede significar que tiene problemas en la comunicación o que se produjo un problema de conectividad de la red

U: mensaje ICMP inalcanzable. Indicando que un router no contaba con una ruta hacia la dirección de destino, respondiendo con un mensaje ICMP inalcanzable

Esta prueba de conexión se realiza mediante la interfaz CLI de los dispositivos que componen el diseño de la red en la herramienta Packet tracer. A continuación, observamos el resultado de la conexión con el comando PING.

#### Figura 41

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 1 (Barrio la gloria y villa mar)*

```
ISP#ping 192.168.0.2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.0.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 14/99/361 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

#### Figura 42

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 2. (Barrio villa paraíso)*

```
ISP#
ISP#ping 192.168.4.2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.4.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 17/202/754 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

#### Figura 43

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 3. (Barrio bermejál y la perla 1)*

```
ISP#ping 192.168.8.10

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.8.10, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/88/135 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 44**

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 4. (Barrio la perla 2)*

```
ISP#ping 192.168.12.12

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.12.12, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 12/180/359 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 45**

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 5. (Barrio el Líbano)*

```
ISP#ping 192.168.16.12

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.16.12, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 23/33/43 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 46**

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 6. (Barrio villa paraíso)*

```
ISP#ping 192.168.20.12

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.20.12, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/33/90 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 47**

*Pruebas de conexión desde el proveedor de servicios al usuario 7. (Barrio colinas La Esperanza)*

```
ISP#ping 192.168.24.12
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.24.12, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 12/27/49 ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

Mediante la prueba de ping se logró verificar que la conectividad del ISP a cada uno de los usuarios es satisfactoria en las ilustraciones 4,5,6,7,8,9 y 10 se observa que existe una buena conexión en la red, los paquetes que se enviaron desde la ISP a cada usuario han llegado y recibidos satisfactoriamente.

La configuración del ISP ha sido configurada correctamente y las direcciones asignadas a cada uno de los equipos no son repetidas para evitar que se presenten conflictos en la red.

### **Pruebas de Latencia**

Es el tiempo que se estima para la llegada de un paquete y que llegue correctamente hacia su destino. Este es un factor importante al momento de querer tener una buena conexión a internet debido a que va a depender de la conexión que se tenga para que el valor pueda ser mayor o menor; por ejemplo, si el valor de la latencia es bajo el tiempo que se demore en cargar una página web va a ser bajo.

Utilizaremos el comando ping, en la terminal de los equipos para verificar el tiempo de llegada de los paquetes a su destino.

El TTL es un factor importante a analizar ya que es el tiempo de vida del paquete enviado y su valor óptimo es 128.

En las siguientes ilustraciones se observa el tiempo de vida de los paquetes que se envían a cada nodo que conforman la red.

Se comprueba la conexión del servidor web hacia el usuario 1 que tiene asignada la dirección IP 192.168.0.2.

### Figura 48

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 1. (Barrio la gloria y villa mar)*

```
Packet Tracer SERVER Command Line 1.0
C:\>ping 192.168.0.2

Pinging 192.168.0.2 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.0.2: bytes=32 time=983ms TTL=126
Reply from 192.168.0.2: bytes=32 time=518ms TTL=126
Reply from 192.168.0.2: bytes=32 time=17ms TTL=126
Reply from 192.168.0.2: bytes=32 time=47ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.0.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 17ms, Maximum = 983ms, Average = 391ms

C:\>
```

*Fuente.* Autoría propia.

### Figura 49

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 2. (Barrio Villa paraíso)*

```
C:\>ping 192.168.4.2

Pinging 192.168.4.2 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.4.2: bytes=32 time=37ms TTL=126
Reply from 192.168.4.2: bytes=32 time=41ms TTL=126
Reply from 192.168.4.2: bytes=32 time=201ms TTL=126
Reply from 192.168.4.2: bytes=32 time=10ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.4.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 10ms, Maximum = 201ms, Average = 72ms

C:\>
```

*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 50**

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 3. (Barrio Villa bermejál y la perla 1)*

```
C:\>ping 192.168.8.10

Pinging 192.168.8.10 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.8.10: bytes=32 time=122ms TTL=126
Reply from 192.168.8.10: bytes=32 time=51ms TTL=126
Reply from 192.168.8.10: bytes=32 time=151ms TTL=126
Reply from 192.168.8.10: bytes=32 time=151ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.8.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 51ms, Maximum = 151ms, Average = 118ms
```

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 51**

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 4. (Barrio la perla 2)*

```
C:\>ping 192.168.12.12

Pinging 192.168.12.12 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.12.12: bytes=32 time=41ms TTL=126
Reply from 192.168.12.12: bytes=32 time=14ms TTL=126
Reply from 192.168.12.12: bytes=32 time=12ms TTL=126
Reply from 192.168.12.12: bytes=32 time=13ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.12.12:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 12ms, Maximum = 41ms, Average = 20ms
```

*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 52**

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 5. (Barrio Villa paraíso)*

```
C:\>ping 192.168.16.12

Pinging 192.168.16.12 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.16.12: bytes=32 time=222ms TTL=126
Reply from 192.168.16.12: bytes=32 time=196ms TTL=126
Reply from 192.168.16.12: bytes=32 time=366ms TTL=126
Reply from 192.168.16.12: bytes=32 time=27ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.16.12:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 27ms, Maximum = 366ms, Average = 202ms
```

*Fuente. Autoría propia.*

### Figura 53

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 6. (Barrio el Líbano)*

```
C:\>ping 192.168.20.12

Pinging 192.168.20.12 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.20.12: bytes=32 time=90ms TTL=126
Reply from 192.168.20.12: bytes=32 time=27ms TTL=126
Reply from 192.168.20.12: bytes=32 time=134ms TTL=126
Reply from 192.168.20.12: bytes=32 time=50ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.20.12:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 27ms, Maximum = 134ms, Average = 75ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

### Figura 54

*Pruebas del servidor Web hacia el nodo 1. (Barrio altos del norte)*

```
C:\>ping 192.168.24.12

Pinging 192.168.24.12 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.24.12: bytes=32 time=24ms TTL=126
Reply from 192.168.24.12: bytes=32 time=57ms TTL=126
Reply from 192.168.24.12: bytes=32 time=11ms TTL=126
Reply from 192.168.24.12: bytes=32 time=11ms TTL=126

Ping statistics for 192.168.24.12:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 11ms, Maximum = 57ms, Average = 25ms
```

*Fuente.* Autoría propia.

El resultado indica que se enviaron cuatro paquetes de prueba de 32 bytes desde el servidor web y se obtuvieron tiempos devueltos a este diferentes. Fueron enviados 4 paquetes a cada host y se recibieron satisfactoriamente sin tener pérdida de estos, por lo cual favorece a la red ya que la latencia que manejan es baja y va a lograr que la conectividad a internet sea de calidad.

TTL son las siglas de tiempo de vida, que define la cantidad de saltos que le restan al paquete ping antes de que se descarte.

### Pruebas de Conectividad a Internet

Desde el navegador de cada usuario navegamos en un sitio web en este caso nuestro sitio WWW.GPON.COM para comprobar que la conectividad a internet sea satisfactoria.

#### Figura 55

*Conectividad a internet del usuario 1 (barrio villa mar y la gloria)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 56**

*Conectividad a internet del usuario 2 (barrio villa paraíso)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 57**

*Conectividad a internet del usuario 3 (barrio bermejál y la perla 1)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 58**

*Conectividad a internet del usuario 4 (barrio la perla 2)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 59**

*Conectividad a internet del usuario 5 (barrio Villa el Líbano)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 60**

*Conectividad a internet del usuario 6 (barrio Colinas de la Esperanza)*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 61**

*Conectividad a internet del usuario 1 (barrio Altos del Norte)*



*Fuente. Autoría propia.*

## Resultados

Se identificaron de manera detallada los componentes fundamentales que conforman una red GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network), los cuales son esenciales para su funcionamiento eficiente. Entre ellos se encuentran la OLT (Optical Line Terminal), que actúa como el punto central de distribución ubicado generalmente en la central del proveedor de servicios; la ONT (Optical Network Terminal), que se instala en el domicilio del usuario final para convertir la señal óptica en una señal eléctrica comprensible por los dispositivos del cliente; los splitters ópticos, encargados de dividir la señal óptica en múltiples ramificaciones sin requerir alimentación eléctrica; y la fibra óptica, que funge como el medio de transmisión principal. La comprensión integral de estos elementos permitió visualizar cómo la arquitectura GPON se diferencia positivamente de otras tecnologías de red tradicionales, tales como las redes de cobre o coaxial, al ofrecer mayores velocidades, menor latencia, y una infraestructura más eficiente y de bajo mantenimiento.

Mediante un riguroso análisis bibliográfico y técnico, se corroboró que la fibra óptica empleada en redes GPON posee una capacidad notable para transmitir datos a largas distancias —hasta 20 kilómetros— sin necesidad de repetidores activos. Esta característica es posible gracias a la naturaleza pasiva de la red, que emplea dispositivos sin alimentación eléctrica intermedia, lo que no solo reduce significativamente los costos operativos, sino que también minimiza la atenuación de la señal. Además, al no estar sujeta a interferencias electromagnéticas, la red GPON ofrece una estabilidad y confiabilidad superiores, lo cual es fundamental para asegurar la calidad del servicio en entornos urbanos densamente poblados.

El diseño específico de la red GPON para la Ciudadela Norte se llevó a cabo a partir de un estudio detallado del número de viviendas existentes en la zona. Esta evaluación permitió

dimensionar con precisión la cantidad y disposición de splitters ópticos, así como la ubicación de nodos de red y la longitud de los tramos de fibra óptica requeridos para cubrir eficientemente toda el área. Este enfoque metodológico garantiza una cobertura óptima, evitando tanto la subutilización de recursos como la saturación de los mismos, y asegurando que todos los usuarios tengan acceso equitativo y de calidad al servicio.

Finalmente, la red GPON diseñada tiene la capacidad de proporcionar servicios de internet de alta velocidad, con velocidades de hasta 2.4 Gbps por usuario en el canal de bajada. Esta capacidad se ve reforzada por el soporte para diversos tipos de tráfico, incluyendo Ethernet, TDM (Time Division Multiplexing) y ATM (Asynchronous Transfer Mode), gracias al uso del método de encapsulación GEM (GPON Encapsulation Method). Esta versatilidad convierte a la red GPON en una solución altamente escalable y adaptable, permitiendo no solo satisfacer las demandas actuales de conectividad, sino también integrarse con tecnologías futuras, como el IoT, servicios en la nube, y aplicaciones de alta demanda de ancho de banda.

## Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió adquirir conocimientos teóricos y prácticos sobre la tecnología GPON, identificando sus componentes esenciales como la OLT, ONT, splitters y la fibra óptica, elementos clave en la implementación de redes pasivas de alta eficiencia.

Se comprobó que la tecnología GPON es ideal para entornos urbanos como la Ciudadela Norte, ya que permite transmitir datos hasta 20 km con mínima atenuación y baja susceptibilidad a interferencias, gracias a su arquitectura basada en elementos pasivos.

El diseño realizado demuestra la viabilidad de implementar una red GPON en la zona de estudio, al garantizar cobertura, velocidad de hasta 2.4 Gbps y la capacidad de ofrecer múltiples servicios digitales. Esta solución supera ampliamente las limitaciones de las redes tradicionales basadas en cobre.

### **Recomendaciones**

Se recomienda iniciar la ejecución del diseño GPON por fases, priorizando los sectores con mayor déficit de conectividad, a fin de maximizar el impacto positivo de la infraestructura en el menor tiempo posible.

Es fundamental que las entidades responsables del proyecto gestionen alianzas con proveedores de servicios de telecomunicaciones y organismos gubernamentales, para asegurar la viabilidad financiera y técnica de la implementación.

Se sugiere complementar el despliegue de la red con campañas de capacitación comunitaria sobre el uso de las tecnologías de la información, con el fin de garantizar una apropiación efectiva por parte de los habitantes

### Referencias Bibliográficas

- Agrawal, G. P. (2002). Fiber-optic communication systems. John Wiley & Sons.
- Alcivar, Jefferson (2016) Diseño e implementación de una red de fibra óptica FTTH utilizando el estándar GPON entre la facultad de sistemas y telecomunicaciones y sus laboratorios en la Universidad Estatal Península de Santa Elena (tesis de licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones).
- Bhandari, S., & Raghuwanshi, R. (2018). Energy efficiency in optical network systems. *Optical Fiber Technology Journal*, 30(4), 87-94.
- Blanco Coronado, J. (2021). Impacto de la tecnología GPON en la conectividad urbana y el desarrollo sostenible. Bogotá: Editorial Universitaria de Telecomunicaciones.
- Blanco Coronado, J. (2021). Impacto de la tecnología GPON en la conectividad urbana y el desarrollo sostenible. Bogotá: Editorial Universitaria de Telecomunicaciones.
- Bibing.us.es.* (s.f.). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11492/fichero/1VOLUMEN%252F3+LA+FIBRA+%C3%93PTICA.pdf>
- Carrera Flores, A., 2016. Diseño de una red de planta externa FTTH con tecnología GPON para la población de Barreiro Nuevo, de la ciudad de Babahoyo, Provincia de Los Ríos.
- Camacho, F., & Leguizamón, M. (2023). El acceso GPON en aplicaciones de comunicaciones inmersivas 3D. *Revista de Tecnología Avanzada en Redes*, 15(3), 78-89.
- Carpentier, D., & Roques, M. (2020). Bridging the digital divide: The role of fiber optic technology in community development. *Telecommunications Journal*, 14(6), 145-158.

cisco. (5 de noviembre de 2020). Obtenido de cisco:

<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/switches/catalyst-pon-series/216230-understand-gpon-technology.html>

cisco. (s.f.). Principios básicos de enrutamiento y switching. CCNA1 V5. En cisco, *Principios básicos de enrutamiento y switching. CCNA1 V5*. (pág. 176).

Coimbra, E. (14 de abril de 2018). Obtenido de Es.slideshare.net:

<https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/81-el-canal-ptico-la-fibra-ptica>

Cuzme, M. (2015). Smart cities and optical networks: The GPON solution. *Journal of Urban Communications*, 12(5), 67-72.

Castro Mandujano, R., 2019. Diseño de una red FTTH basado en el estándar GPON para la conexión de videocámaras para el distrito de San Martín de Porres.

Chillo, Freddy (2017) Implementación de redes FTTH – GPON en la ciudad de La Paz (tesis de licenciatura en Ingeniería Electrónica). La Paz: Universidad Mayor de Andrés

Cortes, a., 2018. Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios. *revistas.utp*,

Dávila Arteaga, M., 2017. Estudio y diseño para la construcción de una red GPON FTTH, en una urbanización del cantón Manta – provincia de Manabí. *REVISTA RIEMAT*, (NÚMERO 1).

*electritel*. (7 de Julio de 2018). Obtenido de ARQUITECTURA DE LAS REDES GPON FTTH:

<https://www.electritel.ec/blog/arquitectura-de-las-redes-gpon-ftth>

Garcia, J. (7 de noviembre de 2019). *Blog de SEAS*. Obtenido de

<https://www.seas.es/blog/automatizacion/reflexion-y-refraccion-de-la-luz-en-transmisiones-de-fibra->



- ONU. (2018). Objetivos de desarrollo sostenible: Guía para la implementación de tecnologías sustentables en el sector de telecomunicaciones. Naciones Unidas.
- ONU. (2018). Objetivos de desarrollo sostenible: Guía para la implementación de tecnologías sustentables en el sector de telecomunicaciones. Naciones Unidas.
- Ortiz, M. (2023). El rol de las redes ópticas en el desarrollo sostenible de las comunidades urbanas. Ciudad Universitaria de Bogotá.
- Palmetto, G. (2020). *Passive Optical Networks: Design, Implementation, and Management*. Academic Press.
- Parra Cortés, A. (2018). Reducción de huella de carbono mediante el uso de redes ópticas pasivas. *Ciencia y Medio Ambiente*, 7(2), 113-120.
- Peralvo vaca, a., 2017. Diseño e implementación de un sistema VoIP e internet vía GPON. Escuela politécnica del ejército.
- Perla Benbeniste P y Rodríguez E, 2016. Movimiento y luz para medir el tiempo. Disponible en: <http://www.perfil.com/cultura/Movimiento-y-luz-para-medirel-tiempo-20140125-0085.html>.
- Robles, O. (2021). *syscom*. Obtenido de <https://soporte.syscom.mx/es/articles/2620040-introduccion-completa-a-los-sistemas-gpon>
- telecable*. (s.f.). Obtenido de <https://www.telecable.com/blog/splitter-de-fibra-optica/398>
- telpro*. (5 de abril de 2019). Obtenido de <https://telpromadrid.eu/que-es-la-fibra-optica-monomodo-y-multimodo/>
- Rivera Galeano, L.; Huertas Campo, O., 2017. estudio para la implementación de red gpon en el sector comercial de Barrancabermeja.

- Rodríguez, Felipe (2015) Diseño de una red de distribución óptica (ODN) multiservicio con tecnología GPON en el sector occidental de la ciudad de Loja para la corporación nacional de telecomunicaciones E.P. (tesis de licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones).
- Romero Melo, C. (2022). Arquitecturas GPON para soportar 5G: GATP y C-RAN en redes avanzadas. *Telecomunicaciones de Última Generación*, 10(1), 35-47.
- Sabbaghian, J., & Manzar, A. (2020). Comparative study of passive and active optical networks in energy consumption. *International Journal of Energy Efficient Computing*, 4(5), 45-55.
- Samadi, H., & Carter, T. (2021). GPON and FTTx: Evolving the fiber landscape. *Telecommunications Research*, 9(2), 61-72.
- Sánchez, R., & Vázquez, J. (2012). Eficiencia energética en redes de telecomunicaciones: Una comparación entre radioenlaces y tecnologías de fibra óptica. *Innovación y Telecomunicaciones*, 3(1), 45-57.
- Unión Internacional De Telecomunicaciones (2003) UIT-T G.984.1 Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas
- Unidas, N. (2018). *Objetivos de desarrollo sostenible: Guía para la implementación de tecnologías sustentables en el sector de telecomunicaciones*. Naciones Unidas.
- Yoon, H., Tanaka, M., & Shimizu, T. (2021). Gigabit optical networks in smart cities. *Journal of Urban Telecommunications*, 7(1), 87-94.
- Zarghami, M., & Taeb, A. (2019). Challenges and opportunities in deploying GPON for urban broadband. *Journal of Digital Cities*, 11(4), 89-96.