



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE  
UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU-T G.9807.1, EN SAN  
MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES  
RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**

**Héctor Eduardo Hernández Ruiz**

Asesorado por el Ing. Héctor Rodolfo Reyes Gómez

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE  
UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU-T G.9807.1, EN SAN  
MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES  
RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HÉCTOR EDUARDO HERNÁNDEZ RUIZ**

ASESORADO POR EL ING. HÉCTOR RODOLFO REYES GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO A. I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE  
UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU-T G.9807.1, EN SAN  
MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES  
RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado con fecha de 21 de octubre 2023

  
**Héctor Eduardo Hernández Ruiz**



EEPFI-PP-1777-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica  
Presente.

**Estimado Mtro. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU T G.9807.1, EN SAN MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Héctor Eduardo Hernández Ruiz** carné número **201020495**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

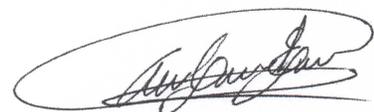
*"Id y Enseñad a Todos"*



Mtro. Héctor Rodolfo Reyes Gómez  
Asesor(a)



Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez  
Coordinador(a) de Maestría



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería

Oficina Virtual





EEP-EIME-1593-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU T G.9807.1, EN SAN MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**, presentado por el estudiante universitario **Héctor Eduardo Hernández Ruiz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, octubre de 2023



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.21.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN ESTÁNDAR ITU-T G.9807.1, EN SAN MATEO IXTATÁN, HUEHUETENANGO EN GUATEMALA PARA CLIENTES RESIDENCIALES, CORPORATIVOS Y MÓVILES**, presentado por: **Hector Eduardo Hernandez Ruiz** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Orden de impresión  
Fecha: 28/01/2024 11:17:53  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 21 CUI: 2222960460101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

A Dios, por ser mi guía durante mis estudios

### **Mis padres**

Byron Hernández y Elba Ruiz, por ser mi apoyo emocional y motivarme durante este nuevo reto académico.

Gracias por su paciencia, sacrificio y amor que han sido mi motivación

### **Mis hermanas**

Brenda y Lisbeth Hernández Ruiz, por su apoyo y por ser ejemplo de dedicación y experiencia.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por brindarme la oportunidad, conocimientos y recursos para crecer de forma profesional y académica.

**Mis amigos**

A mis queridos amigos, por motivarme y alentarme constantemente, brindando su alegría y apoyo durante esta etapa de mi vida

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
3.1. Contexto general .....	5
3.2. Descripción del problema .....	5
3.3. Formulación del problema .....	6
3.3.1 Pregunta central .....	6
3.3.2 Preguntas auxiliares.....	7
3.4. Delimitación del problema .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos .....	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
6.1. Esquema de solución .....	13

7.	MARCO TEÓRICO .....	15
7.1.	San Mateo Ixtatán .....	15
7.1.1.	Censo San Mateo Ixtatán.....	17
7.2.	Red óptica pasiva.....	20
7.2.1.	Divisor óptico .....	22
7.3.	Estándar ITU-T G.9807.1 .....	23
7.4.	Dispositivos inteligentes.....	23
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	25
9.	METODOLOGÍA .....	27
9.1.	Enfoque de la investigación .....	27
9.2.	Alcance de la investigación.....	27
9.3.	Diseño de la investigación .....	28
9.4.	Población y muestra.....	28
9.5.	Variables .....	28
9.6.	Técnicas y herramientas de investigación .....	29
9.7.	Fases del estudio.....	30
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	33
11.	CRONOGRAMA .....	35
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	37
12.1.	Factibilidad técnica.....	37
12.2.	Factibilidad legal .....	38
12.3.	Factibilidad económica.....	38
12.4.	Factibilidad operativa .....	38
12.5.	Presupuesto.....	39

REFERENCIAS .....	41
APÉNDICES .....	45

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Esquema de la solución .....	14
<b>Figura 2.</b>	Municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.....	16
<b>Figura 3.</b>	Características generales de la población.....	19
<b>Figura 4.</b>	Población total por grupos de edad.....	19
<b>Figura 5.</b>	Transmisión y recepción de datos en una red PON .....	22

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Tabla de censo poblacional de San Mateo Ixtatán.....	17
<b>Tabla 2.</b>	Variables en estudio.....	29
<b>Tabla 3.</b>	Cronograma .....	34
<b>Tabla 4.</b>	Presupuesto .....	39

### APÉNDICES

<b>Apéndice 1.</b>	Matriz de Vester .....	45
<b>Apéndice 2.</b>	Diagrama de Vester.....	47
<b>Apéndice 3.</b>	Árbol de problemas .....	48
<b>Apéndice 4.</b>	Árbol de objetivos.....	49

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>Gb</b>	Gigabit
<b>Gb/s o Gbps</b>	<i>Gigabits per second</i> , o Gigabits por segundo
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>Mb</b>	Megabit
<b>Mb/s o Mbps</b>	<i>Megabits per second</i> , o Megabits por segundo
<b>nm</b>	Nanómetro

## GLOSARIO

<b>Ancho de banda</b>	Cantidad de datos que se pueden transmitir en un período de tiempo fijo.
<b>Área rural</b>	Concepto que identifica al espacio geográfico del campo, visto o calificado como opuesto a lo urbano.
<b>CAPEX</b>	<i>Capital Expenditure</i> , o gasto de capital, es el gasto de capital de una compañía para adquirir o mejorar activos físicos no consumibles.
<b>COCODE</b>	Consejos Comunitarios de Desarrollo Urbano y Rural.
<b>DSL</b>	<i>Digital subscriber line</i> , o línea de abonado digital.
<b>FBT</b>	<i>Fused bi-conical taper</i> , o cono bicónico fundido.
<b>Fibra óptica</b>	Es una fibra de plástico o vidrio capaz de transmitir luz de un extremo a otro, utilizada para transmitir información en largas distancias y ancho de banda muy alto.
<b>FTTB</b>	Fiber to the building, o fibra hasta el edificio.
<b>FTTx</b>	<i>Fiber to the X</i> , o fibra hasta la X. Tipo de red de acceso donde la fibra óptica llega hasta el cliente, donde X,

puede incluir clientes residenciales o corporativos y pueden ubicarse en casas, edificios, postes, torres, entre otros.

<b>GPON</b>	<i>Gigabit passive optical network</i> , o red óptica pasiva con velocidad de hasta 1 Gigabit.
<b>ICT</b>	<i>Information and communication technology</i> , o tecnología de comunicación e información.
<b>ITU</b>	<i>International telecommunication union</i> , o unión internacional de telecomunicaciones, UIT.
<b>ITU-T</b>	Sector de Unión Internacional de Telecomunicaciones o UIT que se encarga de la coordinación de estandarización de telecomunicaciones y tecnologías de la información.
<b>NG-PON2</b>	<i>Next generation passive optical network 2</i> , o red óptica pasiva de la siguiente generación 2. Red sucesora de PON con ancho de banda de 2.5 Gb/s.
<b>OLT</b>	<i>Optical line terminal</i> , o terminal de línea óptica. Es el <i>hardware</i> de transmisión y recepción principal de una red PON con alta densidad de puertos. Cada puerto es capaz de brindar el ancho de banda para distribuir a 64 clientes.

<b>ONT</b>	<i>Optical network terminal</i> o terminal de red óptica. Es el equipo que sirve como <i>transceiver</i> , módem y router en la ubicación del cliente.
<b>OPEX</b>	<i>Operational expenditure</i> , o gastos operacionales. Es el gasto de capital de una compañía necesario para que el negocio funcione día a día.
<b>PLC</b>	<i>Planar waveguide circuit</i> , o circuito de guía de onda planar.
<b>PON</b>	<i>Passive optical network</i> , o red óptica pasiva. Red de acceso de fibra óptica que no contiene elementos eléctricos o activos, excepto por la OLT y ONT en los extremos de ésta.
<b>SDH</b>	<i>Synchronous digital hierarchy</i> , o jerarquía digital síncrona. Estándar que incluye un conjunto de protocolos de transmisión de datos sobre fibra óptica y transporta señales digitales de alta capacidad.
<b>Smart city</b>	Término utilizado para referirse a las ciudades inteligentes, que cuentan con alto nivel de automatización y conectividad a internet con alto ancho de banda.
<b>TDM</b>	<i>Time division multiplexing</i> , o multiplexación por división de tiempo.

<b>Transceiver</b>	Dispositivo que transmite y recibe haces de luz de la fibra óptica y los convierte en señales eléctricas.
<b>XG-PON</b>	10 <i>gigabit passive optical network</i> , o red óptica pasiva con velocidad de hasta 10 gigabit.
<b>XGS-PON</b>	10 <i>gigabit symmetrical passive optical network</i> , o red óptica pasiva simétrica con velocidad de hasta 10 gigabit.



# 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de acceso de fibra óptica son cada vez más necesarias para la conectividad de los usuarios al internet. Este aspecto cobra importancia en el desarrollo económico y social de las comunidades de escasos recursos con poco acceso a información y tecnología.

El presente trabajo busca brindar un diseño según los criterios de implementación de redes de fibra óptica, basada en el estándar ITU-T G.9807.1, y orientadas a clientes residenciales, corporativos y móviles, que se explicará en los primeros capítulos del marco teórico junto al estudio de la población del municipio de San Mateo Ixtatán. Se propone diseñar una red de acceso FTTx y realizar de un plan de implementación que incluya las posibles ubicaciones de la OLT, feeder o cable de alimentación a las cajas de distribución, ubicaciones propuestas de las cajas de empalme y distribución; y herramientas, materiales y normas básicas para implementación. La familia de estándares ITU-T, para redes pasivas de fibra óptica, provee parámetros y metodologías de diseño que nos apoyarán a planificar la construcción de la red en San Mateo Ixtatán, Huehuetenango que cumpla con los requerimientos esperados en el área según las necesidades de los clientes residenciales, corporativos y móviles. Adicionalmente, en el marco teórico, también se estudiará los elementos a utilizar en la implementación de una red óptica pasiva, y el equipo de transmisión que se usará.

En la siguiente parte del proyecto, se estudiará la información obtenida y se procederá con el diseño de la red, que nos servirá como guía para la última parte del proyecto, donde se desarrollará el plan de implementación que se

centrará en la proyección de costos y tiempo de ejecución de la red, llegando así al cierre del proyecto, donde se hará una comparativa de beneficios y retos que traerá esta solución, si se desea implementarla.

## 2. ANTECEDENTES

“La tecnología de telecomunicaciones FTTx es un término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso (Mero, 2020, p. 1)”.

“Entre las ventajas de la distribución por Arquitectura de Tap, o *distributed tapped architecture*, se encuentra una instalación simplificada, reducción en número de hilos utilizados y compatibilidad con redes FTTx existentes” (COMMSCOPE, 2014, p. 3).

Según Mahmoud (2014), un proyecto de ingeniería debería ser implementado acorde a una secuencia de pasos predefinida. Esto es especialmente crucial en proyectos que tienen una mezcla de actividades de ingenierías, cómo civil y aspectos técnicos de FTTH.

Borzycki (2017), nos muestra que la ventaja principal de FTTB o fibra hasta el edificio, sobre DSL disminuye el uso de cobre hasta el cliente, aumentando el ancho de banda del medio.

Saraju (2016), nos indica que los componentes importantes de una ciudad inteligente, o *smart city*, son los siguientes: infraestructura Inteligente, edificios inteligentes, transporte inteligente, energía inteligente, cuidado de salud inteligente, tecnología inteligente, gobernación inteligente, educación y ciudadanos inteligentes.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Guatemala, el poco acceso a nuevas tecnologías y redes de acceso de alta velocidad con redes de fibra óptica GPON o FTTx afectan en distintas áreas el desarrollo social y por tanto la implementación de redes de alta capacidad y ancho de banda. Sin embargo, existen oportunidades de implementación de estas redes al buscar alianzas con líderes locales e interés de implementación de estas debido a la alta demanda de negocios, residencias y redes móviles o celulares.

#### **3.1. Contexto general**

La conexión limitada o falta de ésta en áreas rurales remotas de Guatemala, como el municipio de San Mateo Ixtatán, tienen un largo historial de conectividad limitada a redes de telecomunicaciones, que se ha visto en disminución gracias a la mejora de la cobertura móvil de proveedores nacionales y el surgimiento de cableras locales en estos municipios.

#### **3.2. Descripción del problema**

La falta de redes de alta capacidad y ancho de banda en San Mateo Ixtatán afecta directamente el desarrollo socioeconómico de la población y limita la implementación y uso de dispositivos inteligentes.

Entre las causas principales que afectan la conectividad de este municipio se cuentan los altos costos de traslado hacia la población, los altos costos de

materiales y la existencia de una red de acceso activa con un costo elevado de mantenimiento.

Lo anterior tiene como consecuencia altos costos en los servicios de internet y de televisión por cable, los cuales son determinados, normalmente, por las cableras locales. Adicionalmente, las radio bases altamente saturadas no están conectadas a la red por medio de fibra óptica y provocan mal servicio de telefonía celular.

### **3.3. Formulación del problema**

La correcta implementación de una red óptica pasiva de acceso debe incluir el estudio de un estándar que incluya los parámetros de implementación y un estudio del área de trabajo, así como los materiales y actividades necesarias para el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, se debe investigar las necesidades de los distintos tipos de clientes en el municipio, para garantizar que la red a diseñar cumpla con las expectativas de conectividad y ancho de banda de los usuarios.

#### **3.3.1. Pregunta central**

¿Cuál es el diseño de una red de acceso de fibra óptica, según el estándar ITU-T G.9807.1, que soporte la conectividad y ancho de banda para clientes residenciales, corporativos y móviles en el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango?

### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Cómo podemos utilizar el estándar ITU-T G.9807.1 para realizar un despliegue rápido de una red de acceso que cumpla con la demanda y necesidades de los clientes residenciales, corporativos y móviles en San Mateo Ixtatán, Huehuetenango?
- ¿Qué aspectos se necesita considerar para la correcta implementación de una red óptica pasiva de acceso o FTTx?
- ¿Cómo se pueden resolver los retos de traslados, instalación y despliegue que hay durante la construcción de una red óptica pasiva en un área rural remota como San Mateo Ixtatán en Huehuetenango?

### **3.4. Delimitación del problema**

El proyecto estará delimitado en el municipio San Mateo Ixtatán en el departamento de Huehuetenango del país de Guatemala, por lo que se incluirá un estudio topográfico y censo de este municipio, específicamente del área urbana.



## 4. JUSTIFICACIÓN

La implementación de una red de acceso por fibra óptica, como una red FTTx, presenta muchos retos a considerar como la infraestructura de instalación, la necesidad de redundancia física de fibra óptica y de energía para garantizar el correcto funcionamiento de ésta y la continuidad del servicio.

Los aspectos mencionados anteriormente cobran más importancia al momento de implementarse en las áreas rurales y remotas de Guatemala, impactando directamente la importancia de un buen diseño e implementación. Es importante así, apoyarnos en estándares de organizaciones internacionales como la ITU que nos brindan parámetros principales de diseño al momento de planificar y construir una red de acceso de fibra óptica que cumpla con las necesidades del área.

Otro aspecto por considerar y uno de los aportes importantes de este proyecto, es la percepción que tendrá la comunidad afectada. Contando con mejor ancho de banda, mejor conectividad móvil y la capacidad de uso de dispositivos móviles, se obtendrá mejor acceso a los distintos tipos de clientes, y desarrollo social y económico en la comunidad.

Al final del desarrollo del proyecto, se obtendrá un diseño viable para la construcción de una red de acceso en el municipio de San Mateo Ixtatán y un plan de implementación de éste, con los suficientes detalles para que otro grupo de trabajo pueda implementarlo. La construcción de la red mencionada, no se cubrirá en este trabajo.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar una red de acceso de fibra óptica, según el estándar ITU-T G.9807.1 que mejore la conectividad y ancho de banda para clientes residenciales, corporativos y móviles en el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.

### **5.2. Específicos**

1. Utilizar las características del estándar ITU-T G.9807.1, para realizar el diseño y plan de implementación de una red de acceso de fibra óptica simétrica que cumpla con la demanda y necesidades de clientes residenciales, corporativos y móviles en San Mateo Ixtatán, Huehuetenango.
2. Realizar un estudio de campo y de información poblacional de San Mateo Ixtatán, que considere los aspectos de infraestructura para la instalación de fibra óptica aérea o subterránea, y los requerimientos de energía y fácil acceso necesarios para la implementación de una red óptica pasiva de acceso FTTx.
3. Identificar los retos de traslados, instalación y despliegue que afectan la construcción de una red óptica pasiva de acceso en un área rural remota como San Mateo Ixtatán en Huehuetenango.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

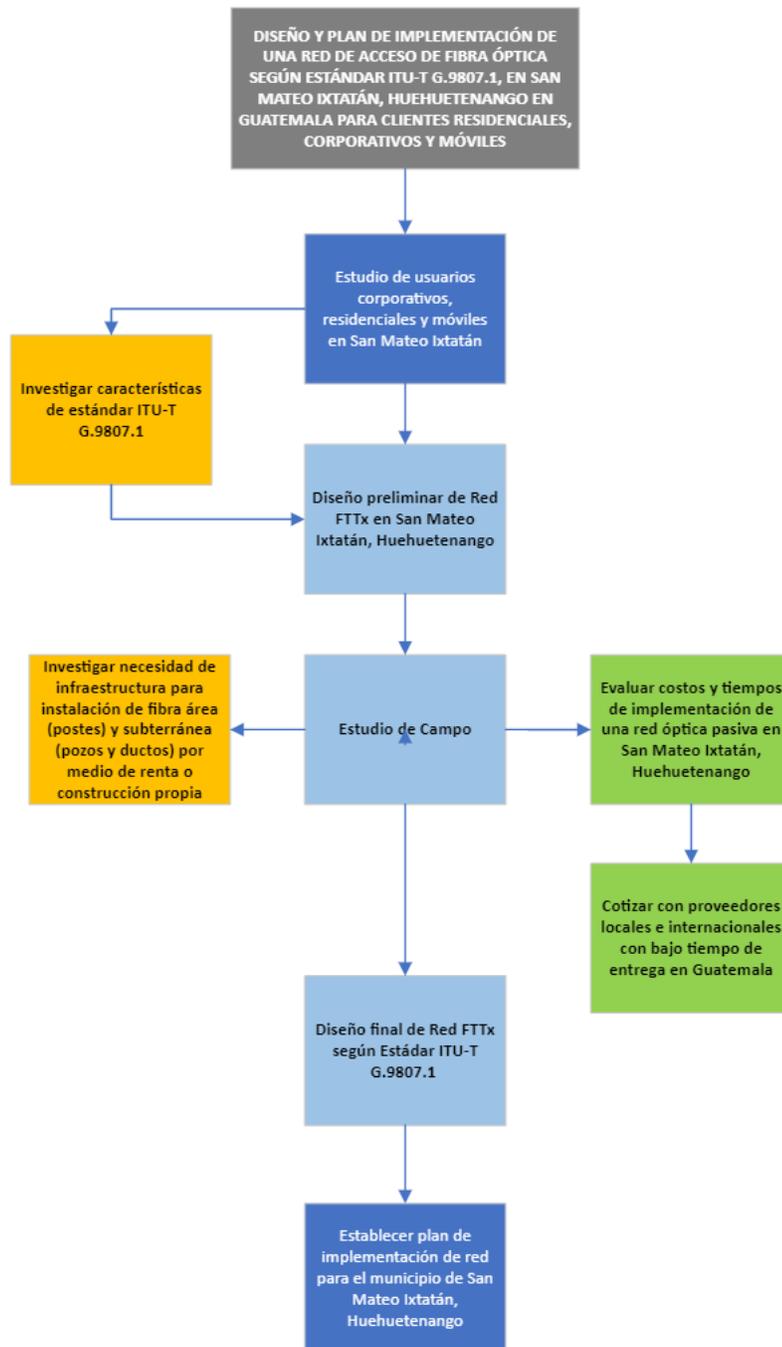
El presente trabajo de graduación consiste en diseñar una red óptica pasiva de acceso para el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango, que cubre las necesidades de clientes residenciales, corporativos y móviles ubicados principalmente en el casco urbano, para mejorar la conectividad y ancho de banda, permitiendo el desarrollo socioeconómico futuro del área.

### **6.1. Esquema de la solución**

La solución se divide en tres fases:

- En la primera fase, se realizará el estudio teórico, el levantamiento en campo y el estudio del último censo de población realizado, para obtener un diseño preliminar de la red, según las necesidades de San Mateo Ixtatán, con base en el estándar ITU-T G.9807.1.
- En la segunda fase, se realizará la evaluación de costos de implementación, con proveedores locales, según la necesidad de infraestructura validada en el levantamiento y los estudios realizados.
- En la tercera fase, se definirá el diseño final de la red y se establecerá el plan de implementación. Este plan incluirá los siguientes elementos: cronograma con tiempos de cada fase de construcción, certificación, documentación y proceso de entrega de la red al personal que se encargará de administrar y dar mantenimiento a la red.

**Figura 1.**  
*Esquema de la solución*



*Nota.* Esquema de solución de la investigación. Elaboración propia, realizado con Visio.

## **7. MARCO TEÓRICO**

El diseño de una red de acceso de fibra óptica requiere el conocimiento de varios aspectos importantes, como lo son: la topografía del terreno, censo poblacional del área a trabajar, levantamiento del área urbana con identificación de las residencias y negocios, materiales a utilizar para la construcción de la red, herramientas para la instalación de fibra óptica y su infraestructura, y equipos que soporten la red a diseñar.

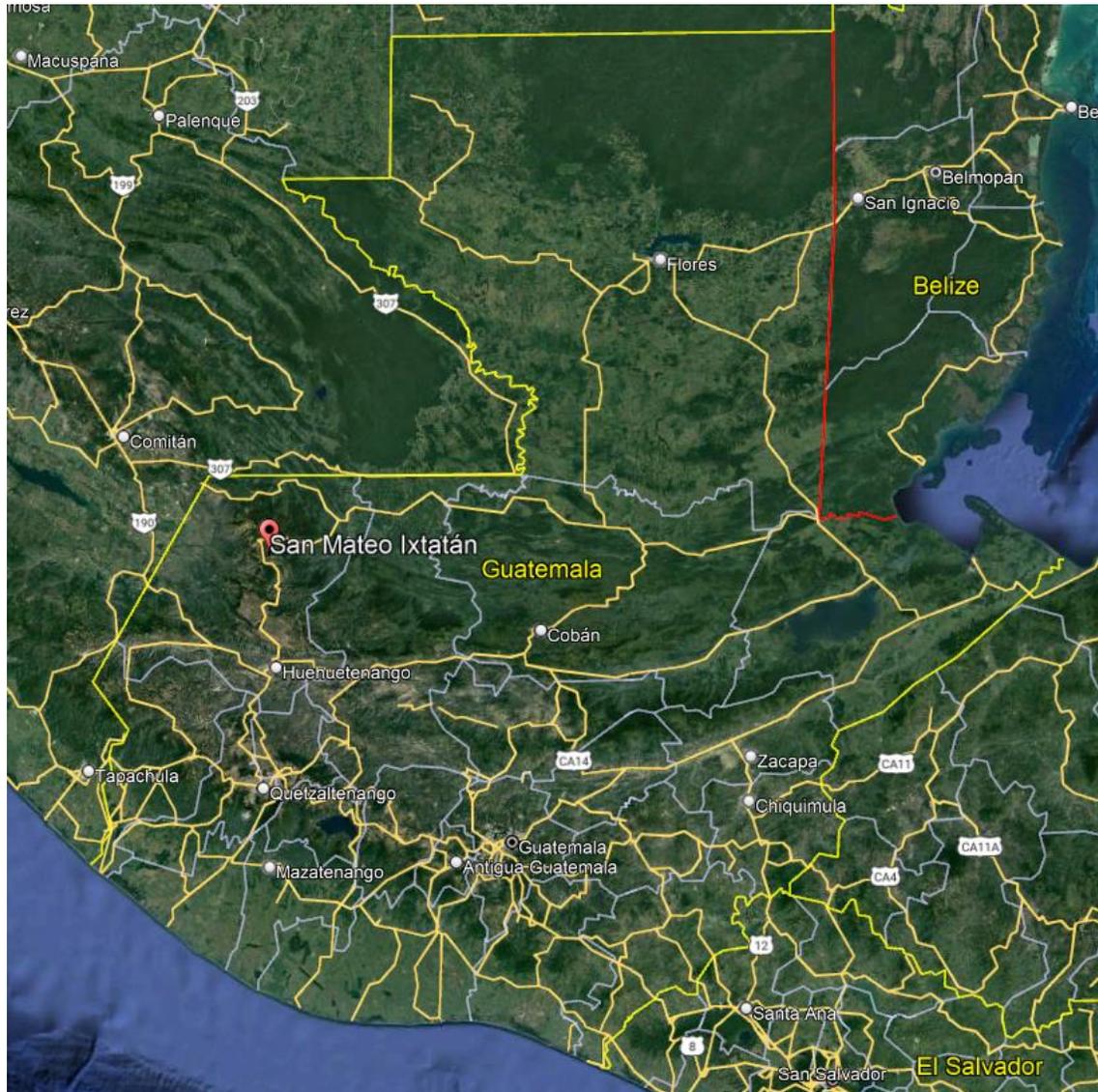
A continuación, se expondrán los conocimientos necesarios para entender cada uno de los elementos enumerados anteriormente.

### **7.1. San Mateo Ixtatán**

San Mateo Ixtatán es un municipio del departamento de Huehuetenango en el noroccidente de Guatemala. Su altura, sobre el nivel del mar es 2540 metros y se encuentra en la cordillera de los Cuchumatanes en las coordenadas N15°49'52.64", O91°28'34.16". El municipio tiene un área de 560 km<sup>2</sup>. Su clima es frío y la temperatura fluctúa entre 0.5 y 20 °C.

## Figura 2.

*Municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango*



*Nota.* Mapa de ubicación del municipio de San Mateo Ixtatán en el departamento de Huehuetenango. Obtenido de Google Earth Pro. (2023). *Ubicación.* (<https://earth.google.com/web/search/N15%C2%B049%2752.64%22,+w91%C2%B028%2734.16%22/@15.57122518,-91.4328083,2592.90305706a,726973.35921295d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCSII23fhpzFAEWWhRQIK-3ipAGd332kIBAVbAIVT8VgBltfAOgMKATA>), consultado el 11 de noviembre de 2023. De dominio público.

### 7.1.1. Censo San Mateo Ixtatán

A continuación, se describen las características poblacionales del municipio de San Mateo Ixtatán en Huehuetenango. Se incluye la distribución por sexo, edad, y por ubicación urbana o rural.

**Tabla 1.**

*Tabla de censo poblacional de San Mateo Ixtatán*

Municipio - 1318 San Mateo Ixtatán	
<b>Clasificación por sexo</b>	<b>Cantidad</b>
Hombres	20930
Mujeres	22880
<b>Población total</b>	<b>43810</b>
<b>Clasificación por área</b>	<b>Cantidad</b>
Urbana	15090
Rural	28720
<b>Población total</b>	<b>43810</b>
<b>Clasificación por edad</b>	<b>Cantidad</b>
0 - 4	6960
5 - 9	6559
10 - 14	5740
15 - 19	5568
20 - 24	3793
25 - 29	2819
30 - 34	2352
35 - 39	2479
40 - 44	1866
45 - 49	1439
50 - 54	1095

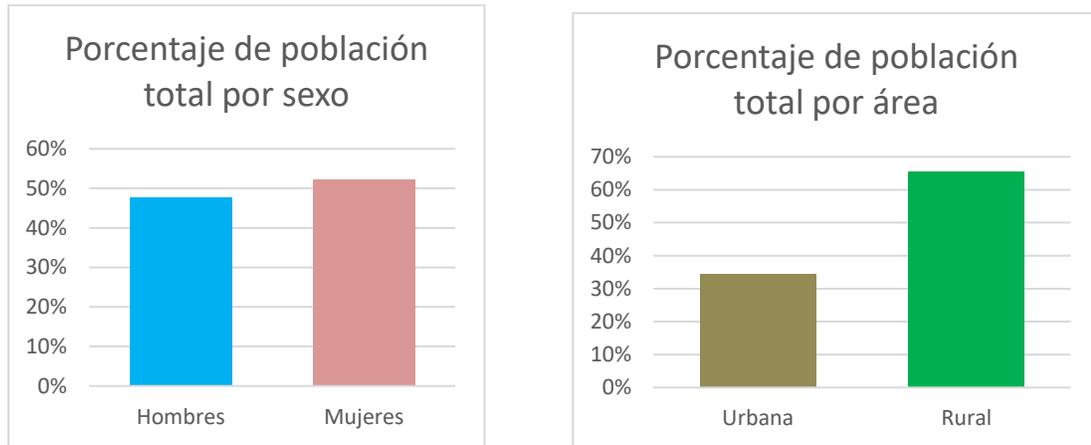
Continuación de la tabla 1.

Municipio - 1318 San Mateo Ixtatán	
<b>Clasificación por edad</b>	<b>Cantidad</b>
55 - 59	930
60 - 64	758
65 - 69	608
70 - 74	454
75 - 79	203
<b>Clasificación por edad</b>	<b>Cantidad</b>
80 - 84	106
85 - 89	44
90 - 94	22
95 - 99	8
100 o más	7
<b>Población total</b>	<b>43810</b>

*Nota.* La tabla muestra la población total por sexo, por área, y por edad del municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. Obtenido de Censo Poblacional (2018). *Características generales de la población.* (<https://www.censopoblacion.gt/censo2018/poblacion.php>), consultado el 20 de noviembre de 2023. De dominio público.

**Figura 3.**

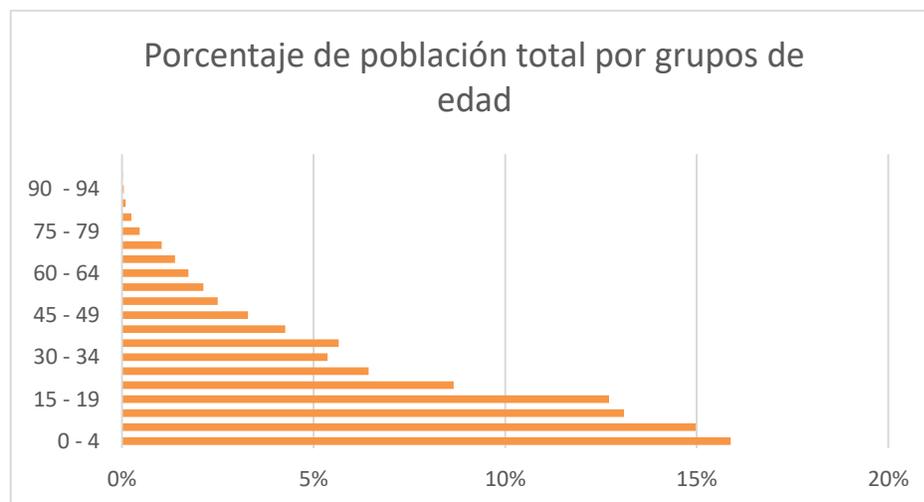
*Características generales de la población*



*Nota.* Porcentaje de población total por sexo y por área, del municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 4.**

*Población total por grupos de edad*



*Nota.* Población total por grupos de edad del municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. Elaboración propia, realizado con Excel.

## 7.2. Red óptica pasiva

Una red óptica pasiva o PON, o *passive optical network*, se refiere a una red de fibra óptica, usualmente punto a multipunto, que no contiene elementos activos en su distribución. Es decir, no tiene elementos o equipos que estén conectados a la corriente eléctrica.

La idea de una red óptica pasiva fue propuesta para reducir la demanda de fibra y fusiones que es entre el 35 % y 45 % de una red FTTH (Borzycki, 2017).

La reducción de equipos activos, que no requieren energía, es un aspecto positivo en la implementación rápida y efectiva de una red de acceso, siendo este aspecto uno de los beneficios importantes de esta tecnología.

La principal ventaja en la transmisión por medio de fibra óptica se encuentra en la transmisión a través de luz, la cual permite la habilitación de enlaces con distancias muy por encima de los enlaces de cobre y, además, sin la interferencia eléctrica que puede presentar cualquier cableado con conductores eléctricos.

Esta transmisión se logra por medio del uso de elementos pasivos como los *splitter* o divisores ópticos, que cuentan con una entrada y n salidas por las cuales se transmite las señales de luz en distintas longitudes de onda y el enlace se entrega a los n clientes por medio de multiplexación de división de tiempo o TDM.

Los circuitos TDM proveen servicios de voz, datos y video confiables y de bajo retraso, siendo así, la tecnología ideal para red punto-multipunto sobre fibra óptica (Parikh & Kim, 2007).

Construir una red para cubrir la demanda de fibra hasta el hogar, o FTTH, y que también cubra las necesidades de pequeños negocios, celdas 5G y soporte a la industria 4.0 es una consideración importante al diseñar una nueva red de acceso en la actualidad. Es esta demanda la que exige la conectividad de fibra hasta todos los puntos por medio de una red óptica pasiva (Guillén, 2022).

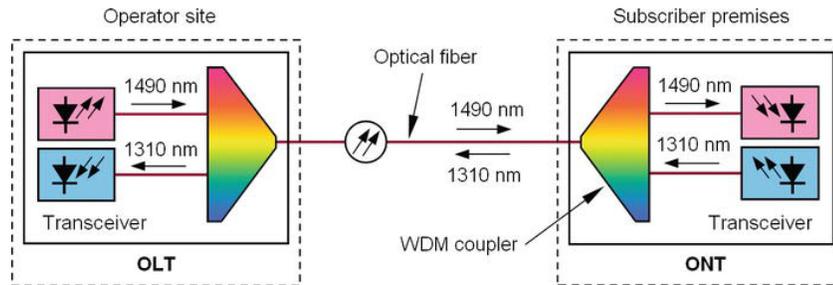
La gran disponibilidad de fibra y los avances en su desempeño han desencadenado un nuevo paradigma. ya no es solo fibra hasta el hogar, es fibra para todo. Una sola infraestructura de fibra que sustenta toda la industria de las telecomunicaciones (Pesovic, 2022).

Durante el diseño de la red, se deben considerar distintas configuraciones en la distribución de los elementos pasivos según la topografía del área. Estas arquitecturas, en su mayoría, se dividen en 2: centralizada y en cascada. Compañías como COMMSCOPE (2018), nos muestran como la opción centralizada se enfocará en un punto central con alta densidad de puertos donde un puerto de la OLT llegará directamente a 32 o 64 clientes u ONTs. Mientras que la opción en cascada nos permite tener varios *splitter* en la ruta, derivando grupos de 4 u 8 clientes en distintos puntos y donde los tendidos de fibra hacia el cliente serán más cortos, que es altamente efectivo en áreas rurales donde el costo de la fibra puede ser significativo.

Considerando divisores ópticos desbalanceados y la arquitectura en cascada, tenemos a nuestra disponibilidad una nueva opción: distribución por arquitectura de tap. Esta arquitectura nos permite colocar cajas de distribución en serie, conectadas por un solo hilo de fibra entre ellas, e internamente con 2 divisores: uno balanceado para la distribución a clientes, y uno desbalanceado para la división de potencia entre el divisor para clientes y la señal que se dirige a la siguiente caja de distribución en la cascada (COMMSCOPE, 2021).

## Figura 5.

### *Transmisión y recepción de datos en una red PON*



*Nota.* La figura muestra la transmisión desde OLT hacia receptor. Obtenido de ONT (2017). *FTTx Access Networks: Technical Developments and Standardization*. (<https://www.intechopen.com/chapters/57730>), consultado el 20 de noviembre de 2023. De dominio público.

### 7.2.1. Divisor óptico

El divisor óptico es un elemento pasivo que divide un haz de luz en varios haces. Esto dependerá de la cantidad de salidas y la configuración de este: balanceado o desbalanceado. Un divisor balanceado divide la potencia del haz de entrada en proporciones iguales, mientras que el desbalanceado, usualmente, lo divide en 2 salidas de distintos porcentajes.

El divisor desbalanceado, usualmente es de tipo FBT y son de bajo costo, aunque no pueden ser de proporción mayor a 1x4. El divisor balanceado, usualmente es de tipo PLC y aunque es más complicado y costoso de fabricar, es más estable, de menor pérdida y permite configuraciones de salidas de hasta 1x128.

### **7.3. Estándar ITU-T G.9807.1**

En 2016 se lanzó la recomendación ITU-T G.9807.1, definiendo el XGS-PON una tecnología que utiliza tasas simétricas, con velocidades de 9953 Mb/s tanto para bajada como para subida, pudiendo usar las mismas longitudes de onda que un sistema XG-PON existente, o usar longitudes de onda GPON, soportando así, tanto la migración y coexistencia con estas tecnologías, como con NG-PON2. Un aspecto destacado de las características de XGS-PON es la máxima reutilización de las recomendaciones anteriores de ITU-T PON, es decir, este estándar tiene las especificaciones de transmisión física, o PMD, derivadas de XG-PON, y lógica, basadas en la capa TC de ambos NG-PON2 y XG-PON. Una curiosidad es que todas las tasas de transmisión de las tecnologías PON están basadas en las tasas del estándar SDH (Furukawa Solutions, 2023)

XGS-PON como evolución de XG-PON son tecnologías compatibles, por lo que en algunos casos se puede utilizar las mismas ONU que funcionan en la misma ventana de longitud de onda, y puede disminuir el CAPEX del proyecto si ya se contara con esta tecnología previamente (Pesovic, 2018).

Aunque XGS-PON trae nuevos retos de infraestructura, hay que considerar que, en temas de energía, consume el doble de la energía, utilizada por GPON en una red FTTH, pero brinda 4 veces la velocidad de ésta, haciendo que esta sea la más eficiente de hoy (Heyninck, 2021)

### **7.4. Dispositivos inteligentes**

Los dispositivos inteligentes tienden a ser dispositivos multipropósito ICT que se utilizan para enviar y recibir mensajes y videos. Entre los más utilizados se incluyen las computadoras, celulares y tabletas que están conectados a un

mismo portal o múltiples aplicaciones interconectados a través de una misma red o el internet. Sus características principales son la facilidad de transporte, la constante conectividad a la red y el diseño multifuncional para distintas aplicaciones y actividades.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

NECESIDADES A CUBRIR

### **1. MARCO TEÓRICO**

1.1. Estudio poblacional y pymes de San Mateo Ixtatán

1.2. Red óptica pasiva

1.2.1. Estándar ITU-T G.9807.1

1.2.2. Elementos pasivos

1.3. Redes ópticas preconectorizadas

1.3.1. Elementos comúnmente utilizados

1.4. Equipos activos en red óptica pasiva

1.4.1. OLT

1.4.2. ONT

### **2. DISEÑO DE LA RED**

2.1. Áreas de cobertura y penetración de la red

2.1. Metodología y establecimiento de población y muestra

2.2. Propuesta de ubicación de antenas de red móvil

- 2.3. Ubicación de cajas de empalme y de distribución
  - 2.4. Ruta propuesta de fibra óptica principal y de distribución
  - 2.5. Consideraciones de ancho de banda y enlace de subida
  - 2.6. Elaboración de presupuesto óptico
3. DESARROLLO DE PLAN DE IMPLEMENTACIÓN
- 3.1. Cotización de materiales
  - 3.2. Cotización de equipo de transmisión
  - 3.3. Cotización de mano de obra de actividades
    - 3.3.1 Cotización de equipo y herramientas
  - 3.4. Cotización de traslados
  - 3.5. Estimación de costo de permisos municipales y permisos de COCODES
  - 3.6. Elaboración de cronograma
  - 3.7. Definición de entregables
    - 3.7.1. Elaboración de normas de trabajo
    - 3.7.2. Elaboración de formato de documentación final
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 4.1. Costo total y tiempo de ejecución de la construcción de la red
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

A continuación, se describen el proceso y metodología a utilizar durante el proceso de investigación, diseño y desarrollo de plan de implementación de una red de acceso en el municipio de San Mateo Ixtatán, así como las herramientas y variables que afectan el proyecto.

### **9.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es mixto, porque se realizará una comparación cuantitativa de las características de la población para el diseño de la red de acceso, que nos permitirán tomar decisión con respecto a las características de ésta. Adicionalmente, se tiene un carácter cualitativo una vez diseñada la red, donde se estudiarán los beneficios de la implementación y se describirá el proceso y plan de implementación, aunque la implementación y construcción de la red no se expondrán en este trabajo.

### **9.2. Alcance de la investigación**

El alcance de esta investigación revisará aspectos descriptivos, en la revisión del censo poblacional para establecer variables a considerar en el diseño de la red de acceso, como la penetración esperada para los clientes residenciales, corporativos y móviles.

Adicionalmente, esta revisión contiene aspectos correlacionales que nos permitirán predecir el proceso de saturación de la red en el futuro, y cómo se

espera cubrir la demanda por medio de ampliaciones de la red y los aspectos a considerar para proceder de forma correcta y ordenada.

### **9.3. Diseño de la investigación**

El diseño adoptado será no experimental, pues la información poblacional a investigar se obtendrá de las páginas oficiales del gobierno de Guatemala y se utilizará el estándar de la ITU como base para el diseño de la red. También tendrá un aspecto transversal, debido a que la información de San Mateo Ixtatán se recopilará del último censo realizado y no estará basado en la variable de la población en tiempo real.

### **9.4. Población y muestra**

La población en estudio será el casco urbano del municipio San Mateo Ixtatán en el departamento de Huehuetenango de Guatemala. Aunque el área del municipio es mayor al área del casco urbano municipal, sólo se considerará éste, debido a que el área no urbana es completamente rural y no puede ser cubierta por una red de acceso de fibra óptica punto multipunto, por consideraciones de estándar y distancias de cobertura del equipo de transmisión.

### **9.5. Variables**

Las variables en estudio que afectarán las dimensiones, capacidad y penetración de la red de acceso a diseñar, se describen a continuación.

**Tabla 2.***Variables en estudio*

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
<b>Población</b>	Los servicios de telefonía móvil cubren casi la totalidad de la población	Estudio de censo poblacional del municipio
<b>Población de familias</b>	Los servicios residenciales están enfocados a residencias o núcleos familiares	Cantidad de casas o residencias en el casco urbano según levantamiento
<b>Pymes</b>	Los servicios corporativos buscan brindar conectividad a pequeños y medianos negocios	Estudio de PYMES y comercios en el municipio
<b>Infraestructura y materiales</b>	La infraestructura pública del municipio y los materiales necesarios para implementar la red	Estudio de la infraestructura pública del municipio y del costo y disponibilidad de los materiales necesarios para la implementación de la red
<b>Permisos de construcción</b>	Permisos necesarios para la construcción e implementación de la red	Investigación de las tasas municipales para construcción y existencia de COCODES en el área donde se implementará la red
<b>Nivel de conectividad a los distintos tipos de clientes</b>	Nivel de señal en red existente y ancho de banda en redes residenciales existentes	Investigación de señal y servicios disponibles en el casco urbano del municipio

*Nota.* Variables en estudio durante el diseño de la red. Elaboración propia, realizado con Word.

## **9.6. Técnicas y herramientas de investigación**

El estudio de clientes móviles, residenciales y corporativos se realizará a través del censo de la población del municipio de San Mateo Ixtatán en las

páginas oficiales del gobierno de Guatemala según el último censo realizado en el país y el municipio. Adicionalmente se utilizará herramientas de información geográfica, como Google Earth, para realizar un estudio de la cantidad de residencias en el casco urbano del municipio, según las últimas fotos satelitales y el último censo realizado. Por último, se investigará la existencia de pequeñas y medianas empresas en el sector a través de páginas de internet dedicadas a este segmento de negocios.

El diseño de la red se realizará según el estándar ITU-T G.9807.1, que nos brindará los parámetros de decisión para la correcta implementación de esta, junto con otros documentos de ITU para redes de acceso pasivas.

Se realizará investigación y cotización, con proveedores locales, de los materiales necesarios para la construcción de la red de acceso, que cumplan con los estándares y necesidades del diseño realizado.

## **9.7. Fases de estudio**

A continuación, se describen las fases, esperadas, del desarrollo del proyecto de investigación.

- Fase 1: revisión de literatura del estándar ITU-T G.9807.1
  - Estudio de criterios y factores de decisión para el correcto diseño de la red.
- Fase 2: recolección de la información del municipio de San Mateo Ixtatán de población, vivienda y PYMES

- Información necesaria para el establecimiento de la población del casco urbano de posibles clientes móviles, residenciales y corporativos, según los límites municipales.
- Fase 3: análisis de información del municipio
  - Delimitación de áreas de cobertura de la red
  - Definición del porcentaje de penetración de la red a diseñar
- Fase 4: interpretación de información y diseño de la red de acceso
  - Diseño de red de acceso
  - Propuesta de ubicación de equipo de transmisión
  - Propuesta de ruta de fibra óptica y ubicación de postes o infraestructura donde se instalará la fibra
  - Propuesta de ubicación de cajas de distribución
- Fase 5: elaboración de plan de implementación según red diseñada
  - Elaboración de cronograma
  - Propuesta de presupuesto de materiales y mano de obra
  - Delimitación de puntos adicionales que puedan afectar la construcción de la red



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

En el análisis de población del municipio de San Mateo Ixtatán, se utilizará técnicas de estadística inferencial, siendo esta información un dato cuantitativo y tomando en cuenta el crecimiento de la población de los años posteriores al último censo realizado e información geográfica que nos ayude a determinar las áreas de cobertura y el porcentaje de puertos de acceso que se dejará disponibles según cada unidad de negocio (móvil, corporativo y residencial).

Adicionalmente, se realizará una comparativa y expectativa de crecimiento de la población y la red para los próximos 5 años, realizando una regresión lineal según los datos obtenidos.

Por último, los estándares de ITU nos apoyarán en definir los alcances de la red, como ancho de banda, cantidad de clientes para entrega inmediata según unidad de negocio, y disponibilidad de crecimiento de la red y los costos aproximados de estas ampliaciones comparando con los costos de los materiales durante la implementación de la red.



## 11. CRONOGRAMA

Se presenta, a continuación, el proceso de elaboración de la investigación, diseño de la red, desarrollo de plan de investigación y presentación de reporte final en el transcurso de 6 meses a partir de octubre del año 2023.

**Tabla 3.**  
*Cronograma*

No.	Actividades	Inicio	Final	2022													2023												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	Revisión de literatura del estándar ITU-T G.9807.1	2-Oct-23	27-Oct-23	█	█	█	█																						
2	Recolección de la información del municipio de San Mateo Ixtatán de población y PYMES	30-Oct-23	17-Nov-23			█	█	█																					
3	Análisis de información del municipio	20-Nov-23	24-Nov-23					█																					
4	Delimitación de áreas de cobertura de la red y definición de porcentaje de penetración	27-Nov-23	1-Dec-23						█																				
5	Propuesta de ubicación de equipo de transmisión, ruta de fibra, ubicación de postes y/o infraestructura donde se instalará la fibra y propuesta de cajas de distribución	4-Dec-23	22-Dec-23							█	█	█																	
6	Diseño preliminar de red de acceso	25-Dec-23	19-Jan-24										█	█	█	█													
7	Validación de diseño con visita y levantamiento en campo	22-Jan-24	2-Feb-24														█	█											
8	Listar materiales y servicios para implementación de red	5-Feb-24	9-Feb-24															█	█										
9	Investigación de costos de materiales y servicios para implementación de red	5-Feb-24	9-Feb-24															█	█										
10	Obtener información para trámites de licencias de construcción en municipalidad	12-Feb-24	16-Feb-24																█	█									
11	Obtener información para trámites de construcción con COCODES de San Mateo Ixtatán	19-Feb-24	23-Feb-24																	█	█								
12	Diseño final de red de acceso	26-Feb-24	8-Mar-24																		█	█							
13	Realizar presupuesto final	11-Mar-24	15-Mar-24																			█	█						
14	Validación con asesor	18-Mar-24	29-Mar-24																				█	█					
15	Elaboración de informe final según correcciones	1-Apr-24	5-Apr-24																								█		

*Nota.* Cronograma del diseño y plan de implementación de la red. Elaboración propia, realizado con Excel.



## **12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

El proceso de diseño de la red FTTx en San Mateo Ixtatán debe considerar los siguientes recursos para una correcta implementación:

- Estudio de la topografía del área.
- Levantamiento y censo de la población y vivienda para determinar la penetración de la red a construir.
- Infraestructura existente que puede ser utilizada durante la implementación.
- Materiales y equipo necesarios durante la implementación.
- Personal necesario y cronograma de ejecución, que incluya costos de actividades y fechas de entrega.
- Procedimiento y normas de ejecución y proceso de entrega de la red.

### **12.1. Factibilidad técnica**

Según lo mencionado anteriormente, el desarrollo del diseño de la red y el plan de implementación es técnicamente factible, utilizando las herramientas e información enumeradas en las cinco fases del estudio, en la metodología: primera fase, revisión de literatura del estándar de XGS-PON, segunda fase recolección de la información de población, vivienda y PYMES del municipio de

San Mateo Ixtatán, tercera fase análisis de la información, cuarta fase interpretación de la información y diseño de la red, y quinta fase desarrollo del plan de implementación.

## **12.2. Factibilidad legal**

El diseño de la red, al contrario de la construcción de ésta, no requiere generación de ningún tipo de permiso y se puede realizar completamente ajena a la implementación del proyecto. Si en un futuro se desea implementar la construcción, se debe tomar en cuenta la gestión, requisitos y pago de permisos municipales y acuerdos con COCODES y vecinos. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, el proyecto es legalmente factible.

## **12.3. Factibilidad económica**

El acceso a la información necesaria para el diseño y desarrollo del plan de implementación se puede conseguir a través de recursos y estándares públicos y levantamientos en campo, por lo que es factible realizar el proyecto. Aunque cabe mencionar que, la construcción de la red está fuera del alcance del proyecto debido a los altos costos de compra de materiales, generación de permisos y pago de sueldos de técnicos capaces de construir esta red.

## **12.4. Factibilidad operativa**

El proyecto es operativamente factible ya que se enfoca en el diseño, estudio y cuantificación de materiales, actividades y tiempo, que se pueden realizar sin mayor inversión económica.

Aunque la construcción de esta red queda fuera del alcance del proyecto, se estará incluyendo un plan de implementación de la construcción de la respectiva red, así como los pasos a tomar y las normas para tener en cuenta en caso se decida implementar el proyecto, en campo, en una fecha futura. El tiempo de ejecución se estará elaborando en el plan de acción.

## 12.5. Presupuesto

Se presenta, a continuación, la proyección de costos durante el diseño y plan de implementación de una red de acceso FTTx para el municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango en Guatemala.

**Tabla 4.**

*Presupuesto*

Descripción	Cantidad	Costo esperado (GTQ)	Subtotal (GTQ)
Traslado a San Mateo Ixtatán	2	500.00	1,000.00
Alimentación (por día)	2	150.00	300.00
Hospedaje (por noche)	2	400.00	800.00
Compra de documentos de referencia y antecedentes	10	150.00	1,500.00
Estudio y redacción de diseño y plan de implementación (por día)	30	100.00	3,000.00
		<b>Total</b>	<b>6,600.00</b>

*Nota.* Proyección de costos durante el desarrollo del diseño y plan de implementación de la red de acceso FTTx. Elaboración propia, realizado con Word.



## REFERENCIAS

- Borzycki, K. (2017). *FTTx Access Networks: Technical Developments and Standardization* [Redes de acceso FTTx: desarrollos técnicos y estandarización]. <https://www.intechopen.com/chapters/57730>
- COMMSCOPE (2014). *Fiber Architecture for Rural FTTx Deployments* [Arquitectura de fibra para implementaciones FTTx rurales]. <https://www.scribd.com/document/220428070/Fiber-Arch-for-Rural-FTTx-WP>
- COMMSCOPE (2018). *Fiber to the home (FTTH) architecture overview* [Descripción general de la arquitectura de fibra hasta el hogar (FTTH)]. <https://www.alliancecorporation.ca/img/manufacturer/Documents/CommScope/White-Paper-FTTH-Architecture-Overview.pdf>
- COMMSCOPE (2021). *Leveraging fiber optical tap technology* [Aprovechando la tecnología de derivación de fibra óptica]. <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/915282-taps-application-guide-co-115251-en.pdf>
- Furukawa Solutions (10 de febrero de 2023). *¿Por qué las tecnologías PON garantizan las ventajas y alto desempeño en redes POL?* <https://furukawasolutions.com/es/por-que-las-tecnologias-pon-garantizan-las-ventajas-y-alto-desempeno-en-redes-pol/>

- Guillén, F. (25 de octubre de 2022). *Networks that inspire infinite possibilities* [Redes que inspiran infinitas posibilidades]. Nokia. <https://www.nokia.com/blog/networks-that-inspire-infinite-possibilities/>
- Heyninck, G. (17 de marzo de 2021). *Fiber for a sustainable broadband future* [Fibra para un futuro de banda ancha sostenible]. Nokia. <https://www.nokia.com/blog/fiber-for-a-sustainable-broadband-future/>
- Mahmoud, M. A. (2014). Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON [Diseño e Implementación de una Red de Acceso FTTH de Fibra hasta el Hogar basada en GPON]. *Baghdad, Iraq: College of Engineering, Al-Nahrain University*, 92(6), 30-42.
- Mero, R. A. (2020). *Redes FTTx & Redes xPON*. Universidad Técnica Luis Vargas Torres.
- Parikh, J., & Kim J. (2007). *TDM Services over IP Networks* [Servicios TDM sobre redes IP]. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4455093>
- Pesovic, A. (11 de agosto de 2022). *Fiber for everything* [Fibra para todo]. Nokia. <https://www.nokia.com/blog/fiber-for-everything/>
- Pesovic, A. (17 de mayo de 2018). *XG-PON or XGS-PON: don't make a costly spelling mistake* [XG-PON o XGS-PON: no cometas una costosa falta de ortografía]. Nokia. <https://www.nokia.com/blog/xg-pon-or-xgs-pon-dont-make-costly-spelling-mistake/>

Saraju P. Mohanty (2016). *Everything you wanted to know about smart cities*  
[Todo lo que querías saber sobre las ciudades inteligentes]. University of  
North Texas.



## APÉNDICES

### Apéndice 1.

#### Matriz de Vester

Situación problemática												
Muchas poblaciones en Guatemala tienen poco acceso a tecnología y/o conectividad a internet, y se debe considerar elementos clave para la correcta implementación de una ciudad inteligente a través de la construcción de una red FTTx												
Código	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	INFLUENCIA
P1	Infraestructura pública en mal estado (banquetas, iluminación y áreas públicas)	0	3	1	1	1	1	2	0	0	1	10
P2	Calles y carreteras en mal estado y poco pavimentadas	2	0	0	0	1	1	1	0	0	1	6
P3	Cableras locales venden internet y televisión por cable inestable y a altos precios	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	7
P4	Falta de señal en el sector debido a infraestructura móvil habilitada por microondas	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
P5	Energía eléctrica inestable e infraestructura vieja	2	0	1	2	0	0	2	0	1	0	8
P6	Ubicación remota implica dificultad de tránsito a áreas más urbanas y costos elevados de insumos básicos	1	1	1	3	1	0	3	1	0	1	12
P7	Falta de fibra óptica en área implica telecomunicaciones lentas y falta de dispositivos inteligentes	1	0	3	3	1	2	0	1	1	0	12

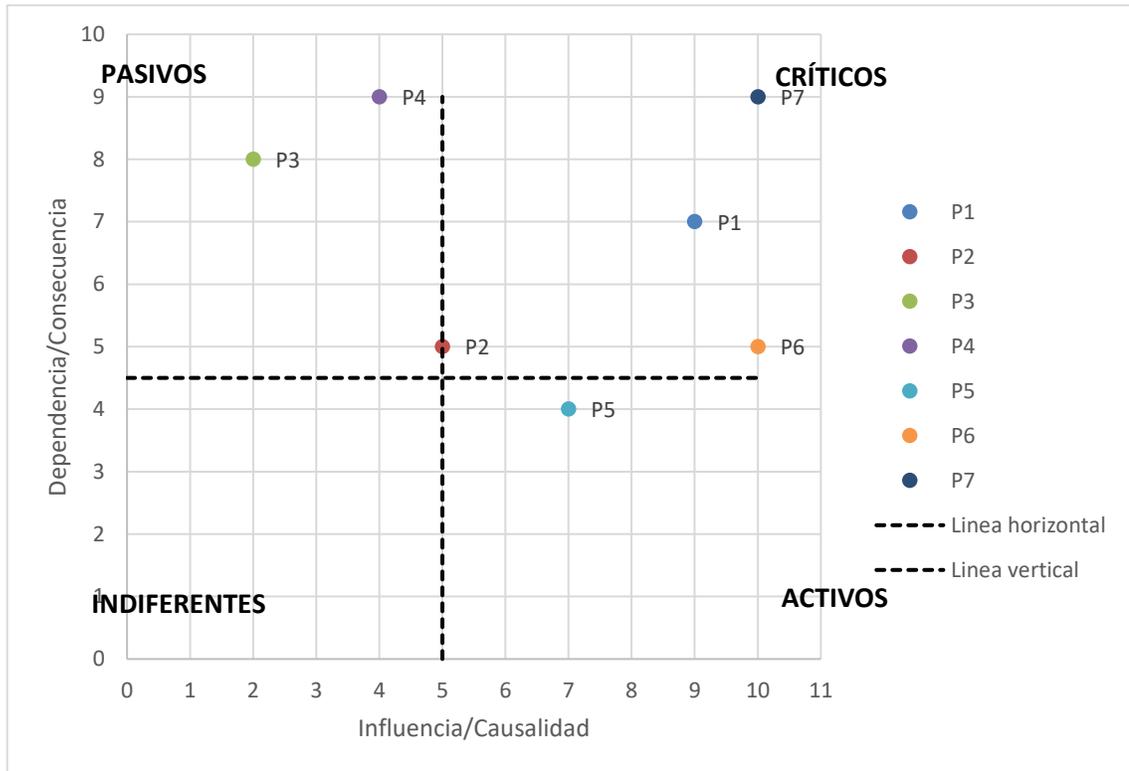
Continuación del apéndice 1.

<b>Situación problemática</b>												
<b>Muchas poblaciones en Guatemala tienen poco acceso a tecnología y/o conectividad a internet, y se debe considerar elementos clave para la correcta implementación de una ciudad inteligente a través de la construcción de una red FTTx</b>												
<b>Código</b>	<b>Variable</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>INFLUENCIA</b>
P8	Altos costos de materiales para implementación de enlaces punto a punto con fibra óptica	0	0	2	2	0	2	3	0	0	0	9
P9	Conexión por cobre o coaxial genera mucho ruido y equipo activo requiere alto mantenimiento	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3
P10	Redes de cobre y equipo activo es propenso a robo en áreas poco supervisadas	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	6
<b>DEPENDENCIA</b>		<b>9</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>65</b>

*Nota.* La tabla muestra el análisis de la matriz de Vester. Elaboración propia.

## Apéndice 2.

### Diagrama de Vester



*Nota.* El gráfico muestra los resultados del análisis de la matriz de Vester. Elaboración propia.

### Apéndice 3.

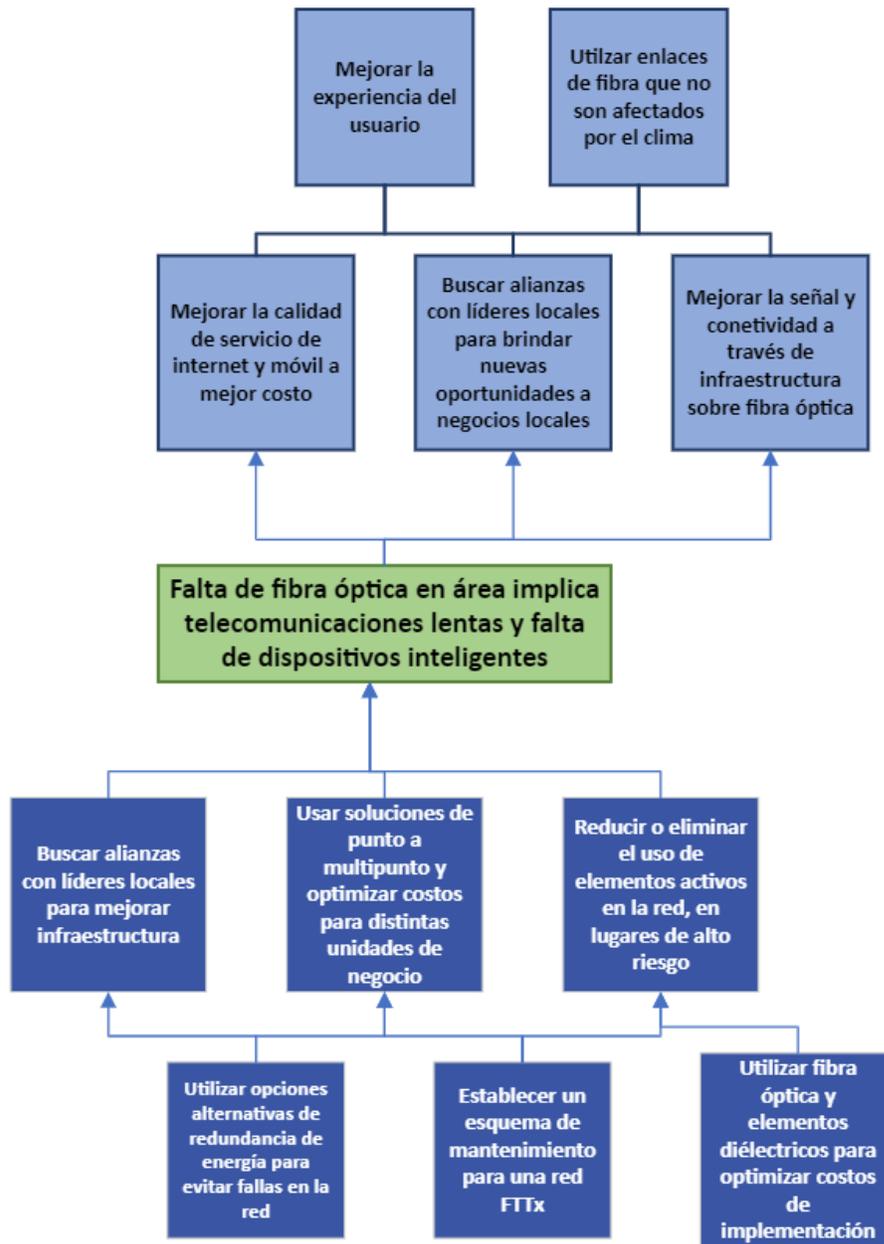
#### Árbol de problemas



Nota. La figura muestra el Árbol de problemas, de 2 niveles, enfocado al análisis de las telecomunicaciones en áreas remotas de Guatemala. Elaboración propia.

#### Apéndice 4.

#### Árbol de objetivos



*Nota.* La figura muestra el árbol de objetivos, de 2 niveles, enfocado al análisis de las telecomunicaciones en áreas remotas de Guatemala. Elaboración propia.