



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

**DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN
A TRES RADIOPASES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL
CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**

Byron Ivan Chanchavac Rucal

Asesorado por el Mtro ing. Manuel Enrique Huete Serrano

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN
A TRES RADIOPASES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL
CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BYRON IVAN CHANCHAVAC RUCAL

ASESORADO POR: MTRO. ING. MANUEL ENRIQUE HUETE SERRANO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, FEBRERO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAGEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez

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 RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN
A TRES RADIOBASES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL
CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Estudios de Postgrado, con fecha 19 de noviembre de 2022.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, enclosed within a roughly drawn oval shape.

Byron Ivan Chanchavac Rucal



EEPFI-PP-2167-2022

Guatemala, 19 de noviembre de 2022

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

Estimado Ing. 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 RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN A TRES RADIOPORTES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Byron Ivan Chanchavac Rucal** carné número **201213576**, 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. Manuel Enrique Huete Serrano
Asesor(a)

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



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EPP-EIME-1777-2022

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 RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN A TRES RADIOBASES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Byron Ivan Chanchavac Rucal**, 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

The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERIA".

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

Guatemala, noviembre de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.229.2023

La Decana 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 RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MIGRACIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN A TRES RADIOBASES DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES UBICADAS EN EL CASCO URBANO DE SAN ANTONIO ILOTENANGO, QUICHÉ**, presentado por: **Byron Ivan Chanchavac Rucal**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre	Miguel Chanchavac (q. d. e. p.), por su gran amor, por brindarme la oportunidad de estudiar, por su apoyo moral y económico. Este acto está dedicado especialmente a él.
Mi madre	Amanda Rucal, por sus consejos, apoyo y ánimos para alcanzar mis metas. Un ejemplo de amor incondicional.
Mis hermanos	Magaly, Jaqueline y Aroldo Chanchavac, por sus ánimos, ya que son pilar fundamental de mi vida.
Mi novia	Mariana Jiménez por su amor, comprensión y apoyo incondicional.
Mis amigos más cercanos	Que de alguna manera colaboraron y me apoyaron para culminar la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma <i>máter</i> , brindándome la oportunidad de expandir mis conocimientos y haberme permitido formar parte de tal honorable universidad.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas y conocimientos que me han permitido culminar la carrera.
Escuela de Mecánica Eléctrica	Por haberme formado en el camino del conocimiento proporcionándome los conocimientos que me permitieron realizar este trabajo.
Msc. Ing. Manuel Huete	Por su disposición y asesoría de manera desinteresada en la redacción de este trabajo de graduación.
Ing. Héctor Reyes	Por sus consejos, formación y apoyo brindado en el ámbito laboral.

Amigos de universidad

Felix Concohá, David López, David Noj, Cesar Saquec, Maximiliano Tun, Mynor Xicón, Antonio Tejaxún, Samuel Chis, David Chis, Kevin Rodas y Liser Mozcoso, por ser parte en el desarrollo de mi carrera, compartiendo alegrías y tristezas.

Amigos de trabajo

Kevin Rodas, Cesar Ramírez, Héctor Hernández, Erick Moya, José Cotí, Heber Vicente, y Medardo Canizalez, por los consejos, formación y apoyo que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Descripción general	9
3.2. Definición del problema	10
3.2.1. Especificación del problema.....	10
3.2.2. Pregunta principal de investigación.....	11
3.2.3. Preguntas complementarias de investigación	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR.....	17
6.1. Esquema de la solución.....	17
6.2. Ubicación del área y lugar de estudio	20

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Fibra óptica	21
7.1.1.	Partes de la fibra óptica	21
7.1.2.	Tipos de fibra óptica	23
7.1.2.1.	Monomodo.....	23
7.1.2.2.	Multimodo	23
7.2.	Parámetros de la fibra óptica.....	24
7.2.1.	Atenuación	24
7.2.2.	Perdidas por absorción.....	25
7.2.3.	Perdidas por dispersión	25
7.2.4.	Dispersión	25
7.2.4.1.	Dispersión modal	26
7.2.4.2.	Dispersión cromática de material	26
7.2.4.3.	Dispersión cromática de guía de onda	26
7.2.4.4.	Dispersión de modo de polarización	26
7.3.	Características de un enlace de fibra óptica	27
7.3.1.	Atenuación del enlace	27
7.3.2.	Atenuación en función a la longitud de onda	28
7.3.3.	Fibra con atenuación plana en el pico de agua (ZWPF)	29
7.3.4.	Fibra con dispersión desplazada distinta de cero (NZ-DSF).....	31
7.4.	Rango de operación	31
7.4.1.	Bandas de operación.....	32
7.4.1.1.	Banda O (original).....	32
7.4.1.2.	Banda E (extended).....	32
7.4.1.3.	Banda C (convencional).....	32
7.4.1.4.	Banda S (short wavelength).....	33
7.4.1.5.	Banda L (long wavelength)	33

	7.4.1.6.	Banda U (ultra-wavelength).....	33
7.5.		Instalación de redes ópticas	34
7.6.		Planta Externa	35
	7.6.1.	Instalación área.....	35
	7.6.2.	Instalación subterránea.....	35
7.7.		Planta Interna	35
7.8.		Elementos activos y pasivos	36
	7.8.1.	Caja terminal.....	36
	7.8.2.	Postes.....	36
	7.8.3.	Fibra óptica	36
	7.8.4.	Herrajes de sujeción	37
		7.8.4.1. Herrajes de remate	38
		7.8.4.2. Herrajes de paso	38
	7.8.5.	Distribuidor de fibra óptica (ODF).....	38
	7.8.6.	Cajas de empalmes	38
	7.8.7.	Conectores	38
		7.8.7.1. Pulido APC.....	40
		7.8.7.2. Pulido UPC	40
		7.8.7.3. Pulido SPC.....	40
		7.8.7.4. Pulido PC	40
		7.8.7.5. Conector SC.....	40
		7.8.7.6. Conector ST	41
		7.8.7.7. Conector FC.....	41
		7.8.7.8. Conector LC	41
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	43
9.		METODOLOGÍA	47
	9.1.	Diseño de la investigación	47

9.2.	Enfoque de la investigación.....	48
9.3.	Instrumentos de recolección de datos	48
9.4.	Población y muestra.....	49
9.5.	Técnicas de investigación	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	51
11.	CRONOGRAMA	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	55
13.	REFERENCIAS	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de la solución	19
2.	Localización de área de Estudio.....	20
3.	Partes de la fibra óptica.....	22
4.	Fibra monomodo	23
5.	Fibra multimodo	24
6.	Atenuación respecto a la longitud de onda.....	29
7.	Atenuación de fibra monomodo LWP	30
8.	Rangos de longitud de onda	34
9.	Código de colores para fibra óptica	37
10.	Tipos de pulidos para conectores.....	39
11.	Tipos de conectores de fibra óptica.....	39
12.	Cronograma	53

TABLAS

I.	Características importantes de fibra ZWPF según norma G.652 de la ITU-T.....	30
II.	Costos del estudio.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
α	Coefficiente de atenuación
dB	Decibelio
dB/km	Decibelio por cada kilómetro
Gbps	Gigabits por segundo
OH	Hidróxido
=	Igual que
km	Kilometro
L	Longitud
\leq	Menor o igual que
Nm	Nanómetro
α_c	Perdida media de conectores
α_s	Pérdida por empalme
%	Porcentaje

GLOSARIO

2G	Segunda generación.
3G	Tercera generación.
Acopladores	Elemento que conecta dos extremos de fibra óptica.
Aramida	Polímero sintético, ligero y muy resistente, utilizado para la fabricación de tejidos y plásticos.
BBU	Unidad de banda base.
CWDM	Multiplexación por división en longitudes de onda ligera.
DWDM	Multiplexación compacto por división de longitud de onda.
EIA	Asociación de industrias electrónicas.
GPON	Red óptica pasiva con capacidades Giga.
GPS	Sistema de posicionamiento global.
ITU-T	Sector de normalización de las telecomunicaciones.

KMZ	Lenguaje de marcas <i>Heyhole Markup Language</i> , utilizado para realizar anotaciones geográficas.
LTE	<i>Long term evolution</i> , evolución a largo plazo.
MMIMO	Masivas entradas y salidas multiplex.
MW	<i>Microwave</i> , enlaces por microondas.
NZDSF	Fibra óptica de dispersión desplazada.
PDF	Formato portátil de documento.
PDM	Dispersión por polarización del modo. La fibra óptica no es perfecta, debido a esto el modo o los modos sufren un retraso provocando un ensanchamiento en la señal.
RD-QUI-1	Carretera nacional ubicada en Santa Cruz del Quiché.
<i>Routers</i>	Dispositivo que permite interconectar distintas redes.
Servidores	Sistema que proporciona recursos, datos o servicios a otros ordenadores a través de la red.
<i>Switches</i>	Dispositivo de red que realiza interconexión de varios dispositivos en la misma red.
Ultra-wavelength	Longitud de onda ultra.

WDM	Multiplexación por longitud de onda.
WTTx	<i>Wireless to the x</i> , servicio inalámbrico hasta un lugar cualquiera.
ZWPF	<i>Zero water peak fiber</i> , cero pico de agua, es la característica de un cable de fibra óptica que no tiene atenuaciones por el efecto pico de agua.

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios móviles son una conexión a la red de telecomunicaciones mediante una red inalámbrica en la cual los usuarios pueden comunicarse realizando y recibiendo llamadas telefónicas de voz, además de las llamadas pueden enviar o recibir mensajes de texto y tener acceso a Internet, con el que pueden navegar, realizar videollamadas o realizar transferencias de datos. Estos servicios han impactado en la vida de los usuarios, de manera social, tecnológica y económica.

Con los años las tecnologías móviles han ido evolucionando, desde únicamente realizar llamadas de voz hasta poder realizar video conferencias en tiempo real, estos cambios en los servicios móviles además de facilitar y dar mayor comodidad al usuario, a nivel tecnológico implica mayor transferencia de datos. Por este motivo las operadoras deben tener una red capaz de atender las demandas de consumo de datos de los usuarios. Esta red debe proveer mayor ancho de banda de lo que solicitan los usuarios, para que tengan una buena experiencia al momento de utilizar los servicios móviles.

En Guatemala las operadoras telefónicas para sus radiobases utilizan como medio de transmisión enlaces microondas o enlaces ópticos, cada uno de estos enlaces tienen sus ventajas y desventajas. Debido a que los servicios móviles van aumentando y la transferencia de datos es cada vez mayor, es necesario migrar de enlaces microondas a enlaces ópticos, por tal razón se debe realizar un diseño de red de fibra óptica para poder atender la demanda del usuario y entregar una mejor experiencia.

Para poder realizar este diseño se necesita saber a qué radiobases se les debe llevar fibra óptica, las distancias entre redes de fibra existentes o bien equipos de acceso a los que se conectarán estas radiobases por medio de la fibra óptica, los requerimientos para poder elegir la topología a utilizar, la cantidad de material que se empleara y servicios de ejecución.

Por ello en esta investigación se recolectarán datos para poder analizarlos y obtener la información para poder diseñar una red de fibra óptica que cubra las necesidades requeridas en el casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango, Quiché.

Se muestran las bases teóricas que se necesitan conocer sobre las características y propiedades de los cables de fibra óptica, con esta información se podrá realizar un diseño adecuado según las propiedades para que un enlace óptico cumpla con los criterios requeridos. Así también se muestran las características y funciones principales de distintos materiales y elementos para una red de fibra, esto con el fin de conocer la razón del uso y la necesidad de cada uno de estos elementos.

Con las bases teóricas presentadas, se plantean las metodologías para recolección y análisis de datos, de qué manera se utilizarán los datos para poder diseñar la red de fibra de la mejor manera para que cubra las necesidades requeridas.

Se propone un cronograma para poder llevar a cabo este diseño, tomando en cuenta las ocasiones en la que se deberá realizar trabajo de campo, las actividades de campo presentadas en el cronograma corresponden a verificación de ruta para instalación de fibra óptica, visita a la municipalidad para obtener

información acerca de permisos de construcción para poder realizar un análisis y según esta información saber si es factible o no la propuesta de red.

Esta factibilidad se presenta también en una tabla donde también se pueden ver los costos estimados para poder ejecutar este trabajo de investigación.

2. ANTECEDENTES

Sandoval y Yovera (2019) quienes realizaron el trabajo *Propuesta de diseño de una red de transporte de fibra óptica para la mejora de la calidad y cobertura de telecomunicaciones en el distrito de Lalaquiz – Piura*, quienes mencionan sobre la necesidad de tener una red de telecomunicaciones de banda ancha que sea capaz de soportar transmisiones a alta capacidad, por esta razón diseñan una red basada en fibra óptica en la que se interconecta el distrito de Lalaquiz, Piura con todo el país, debido a que actualmente en el distrito no se cuenta con dicha red.

Se puede mencionar el trabajo de Soto (2019) que es *Migración de la red de acceso por radioenlace a fibra óptica con tecnología GPON para la empresa GLOBALWIFI en el municipio de Guadalupe Huila*, en ella indica que se realizará la migración de la red de acceso por radioenlace a fibra óptica con tecnología GPON por parte de la Empresa GLOBALWIFI en el municipio de Guadalupe, lo que permitirá ampliar su cobertura actual y mejorar el acceso hacia las aplicaciones y servicios ofertados a grandes velocidades con la confiabilidad que así lo caracteriza a esta tecnología de red de datos.

Gracias a una mayor velocidad de transmisión y una mayor capacidad en la red de acceso, los usuarios se pueden conectar a internet de formas más rápidas obteniendo acceso a la información de cualquier índole que el usuario desea, y puede transmitir esta información a cualquier parte del mundo y disfrutar de diversos servicios de entretenimiento, tener la posibilidad de acceder a cursos, capacitaciones y entrenamientos en línea.

La tesis de Espinoza (2016) *Proceso de implementación de una radiobase para la tecnología LTE*, en la cual habla sobre los distintos medios de transmisión para una radiobase, y la conexión hacia la BBU.

La radiobase que ofrece la cobertura de servicios móviles debe estar conectada a la red de la operadora para que se pueda establecer un enlace de comunicación, por tal razón es necesario que la red de telefonía móvil cuente con los recursos necesarios para que la transmisión de la radiobase esté integrada a la red.

Entre los recursos se encuentran los equipos y medios de transmisión, de los medios de transmisión actualmente existen dos que son los más utilizados los cuales son los radioenlaces y las redes pasivas de fibra óptica.

Núñez (2018) con la tesis *Diseño de una red de transporte sobre fibra óptica para incrementar la banda ancha de las regiones: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna*, propone realizar un diseño de red interdepartamental, usando la fibra óptica como medio de transmisión, logrando que en los departamentos involucrados durante los siguientes diez años se satisfaga la demanda del ancho de banda y una mayor conectividad entre estos.

Para poder llevar a cabo la ejecución de un diseño óptimo se realizaron estudios demográficos de los departamentos involucrados, y se realizó el análisis sobre la necesidad y la influencia del ancho de banda en el desarrollo socioeconómico en la población.

Se puede ver la investigación de Gutiérrez (2014) con la tesis *Estudio de factibilidad para la implementación de una red de fibra óptica entre Desaguadero y Moquegua*, en ella se determina que tan factible económicamente es realizar la

construcción de un enlace de fibra óptica cuya función principal es tener una interconexión alternativa de datos hacia el mercado boliviano.

Planteando un enlace punto a punto con tecnología WDM se busca disminuir costos de acceso de internet para la población.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción general

San Antonio Ilotenango es un municipio del departamento del Quiché, se encuentra ubicado al sur del Quiché, a 178 kilómetros de la ciudad de Guatemala, posee una extensión territorial de 80 kilómetros cuadrados en total, asimismo está conformado por 27 comunidades. Limita al Norte con el municipio de San Pedro Jocopilas y Santa Lucía la Reforma, al este con San Pedro Jocopilas y Santa Cruz del Quiché, Al sur con Santa Cruz del Quiché y Patzité, por último, al oeste con los municipios de Totonicapán y Santa María Chiquimula.

En los últimos años se ha observado como las telecomunicaciones en Guatemala han tenido un desarrollo exponencial, según las necesidades de la sociedad, convirtiéndose en un servicio indispensable para distintos sectores como salud, comercio y comunicaciones. Por lo tanto, actualmente diferentes operadoras se encuentran desplegando redes de fibra óptica en todo el territorio nacional, con la finalidad de dar mejor servicio con más capacidad de transmisión y que garantice la estabilidad de este.

La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala (2021) informa en su página web, en el boletín estadístico del segundo semestre del año 2021 que en San Antonio Ilotenango existen dieciséis infraestructuras de radiobases de telefonía móvil, de estas dieciséis radiobases tres se encuentran ubicadas en el casco urbano del municipio, que pertenecen a una de las operadoras del país, la operadora telefónica de estas tres radiobases informa que en San Antonio Ilotenango se tiene cobertura de datos 2G, 3G y LTE.

Por lo que se realizará el estudio y factibilidad para la migración del medio de transmisión de microondas a fibra óptica, debido a que actualmente el consumo del enlace microonda del medio de transmisión de estas tres radiobases está a un 80 %.

3.2. Definición del problema

El aumento de usuarios y a la vez mayor demanda de transferencia de datos en servicios móviles, ha incrementado la ocupación del ancho de banda de los enlaces microondas que se tienen para los tres sitios ubicados en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, llegando a tener ocupaciones arriba del 80 % configurado.

3.2.1. Especificación del problema

El medio de transmisión actualmente de las radiobases ubicadas en San Antonio Ilotenango son enlaces microondas, estos radioenlaces están configurados según la capacidad de tráfico de red que se tiene en el área.

Con el aumento en el uso de los servicios móviles en el municipio, el consumo del ancho de banda configurado de los radioenlaces ha ido creciendo hasta llegar a tener una ocupación superior al 80 % del ancho de banda, esta ocupación adicionalmente de saturar el ancho de banda, implica que haya pérdidas de paquetes en subida y bajada, generando así en el usuario una experiencia no agradable al momento de navegar por internet, realizar video llamadas, enviar mensajes de texto o bien recibir llamadas telefónicas.

San Antonio Ilotenango al estar ubicado en el área occidental del país, pertenece a la parte donde las redes microondas se encuentran saturadas, por

tal razón un aumento en el ancho de banda de los radioenlaces no es una opción que vaya a generar mejora en la experiencia del usuario, debido a que, con el tiempo, se llegará a ocupar el nuevo ancho de banda. Por tal razón se propone diseñar una red de fibra óptica en el casco urbano del municipio para migrar el medio de transmisión de radioenlaces a enlaces ópticos y así brindar mayor ancho de banda, desaturar la red de microondas del área al que pertenece San Antonio Ilotenango y brindar una mejor experiencia al usuario.

3.2.2. Pregunta principal de investigación

¿Cómo deberá ser una red de fibra óptica en el municipio de San Antonio Ilotenango para migrar el medio de transmisión de radioenlaces a enlaces ópticos, mejorando la calidad y servicios de datos 2G, 3G y LTE para las tres radiobases ubicadas en el casco urbano que actualmente existen para un operador de telecomunicaciones?

3.2.3. Preguntas complementarias de investigación

- ¿Qué elementos de red se necesitan para el diseño de red de fibra óptica en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, Quiché?
- ¿Cuál es el presupuesto necesario para poder instalar esta red de fibra óptica para tres radiobases de un operador de telecomunicaciones ubicadas en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, Quiché?
- ¿Cuáles son las ventajas de una red de fibra óptica como medio de transmisión sobre una red de enlaces microondas para las radiobases ubicadas en San Antonio Ilotenango?

4. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la cantidad de usuarios móviles ha estado creciendo en la región del departamento de Quiché, este se ve reflejado en el aumento del consumo de datos móviles.

En San Antonio Ilotenango, en el casco urbano existen tres radiobases de un operador de telecomunicaciones que dan cobertura 2G, 3G y LTE a los usuarios de este sector del municipio, el medio de transmisión de estos sitios es por enlaces microondas, en consecuencia, se ha presentado una saturación en el ancho de banda del medio de transmisión, la ocupación de cada enlace microonda es del 54.96 %, 78.57 % y 39.53 % de su capacidad respectivamente

La justificación para realizar el estudio es poder aumentar el ancho de banda de la transmisión de las tres radiobases migrando los enlaces por microondas a enlaces ópticos, así tener una transmisión de 1Gbps para cada una de las tres radiobases.

Con la migración del medio de transmisión, ya no existirán las altas pérdidas de paquetes de datos que actualmente se tienen, que son de 3401, 227 y 527 paquetes diarios en promedio para cada una de las tres radiobases, reduciendo estas pérdidas a menores de 100 paquetes diarios en promedio

Esta red de fibra en el casco urbano de San Antonio Ilotenango a futuro podría utilizarse para proveer enlaces corporativos, así también se prepara la red para futuros servicios residenciales.

Con una red de fibra en el municipio, distintas empresas contarían con la seguridad de que pueden optar por enlaces de fibra óptica, por eso, no les sería un inconveniente ubicarse en este municipio, creando así empleo y desarrollo para los habitantes.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar una red de transporte por fibra óptica para migrar la transmisión de tres radiobases de un operador de telecomunicaciones ubicadas en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, Quiché, de radioenlaces a enlaces ópticos.

5.2. Específicos

- Identificar los elementos de red de fibra óptica necesarios para la ejecución de este diseño a realizar en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, Quiché.
- Establecer un presupuesto financiero para la instalación de la red de acceso de fibra óptica de un operador de telecomunicaciones para el casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango, Quiché.
- Mejorar los servicios de redes móviles en el casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango, Quiché para un operador de telecomunicaciones.
- Determinar las ventajas de una red de fibra óptica en el casco urbano de San Antonio Ilotenango como medio de transmisión para tres radiobases de un operador de telecomunicaciones.

6. NECESIDADES A CUBRIR

El presente trabajo de graduación consiste en diseñar una red de acceso por fibra óptica en el casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango, Quiché, para que el medio de transmisión de tres radiobases de un operador de telecomunicaciones ubicadas en el casco urbano, se migren de enlaces microondas a enlaces ópticos. Así mejorar la calidad de servicios móviles en el sector, disminuyendo la pérdida de paquetes por transmisión y aumentando el ancho de banda, así también tener el medio de transmisión listo para poder implementar a futuro otros servicios como WTTx y MMIMO.

6.1. Esquema de la solución

El esquema de la solución se divide en tres fases:

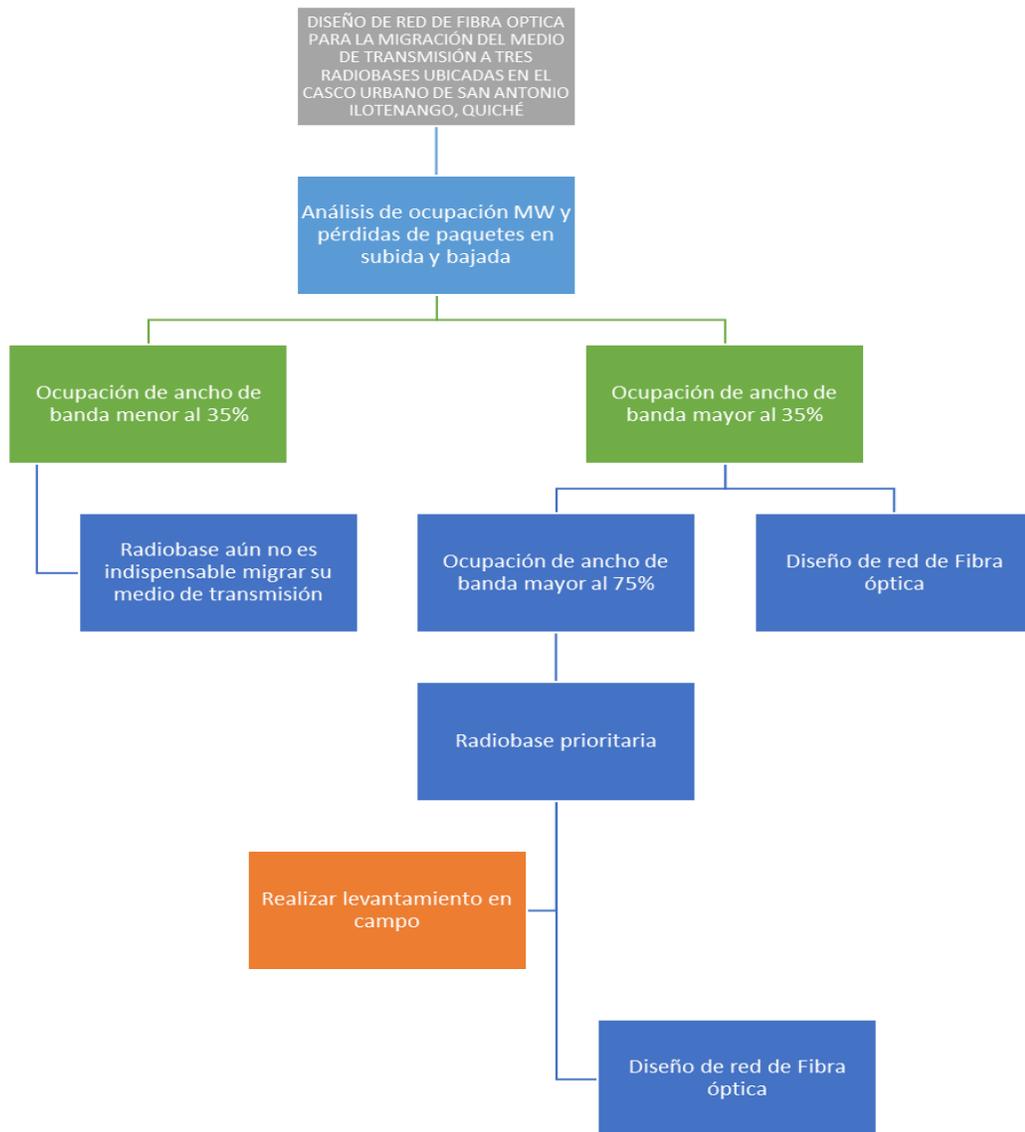
- En la primera fase se realizará el análisis del consumo y ocupación del ancho de banda en cada uno de los enlaces microondas de las tres radiobases, se analizarán las pérdidas de paquetes tanto en subida como en bajada, con el análisis de las pérdidas de paquetes obtenidas, se realizará un promedio para estimar las pérdidas semanales y por día de cada una de las radiobases. Al tener los resultados del análisis del consumo y ocupación del ancho de banda de cada radiobase, se verificará si tienen una ocupación mayor del 35 % del ancho de banda, si es así, la radiobase correspondiente al enlace microonda será candidata para entrar en el diseño de red de fibra óptica. Si la ocupación del ancho de banda es mayor al 75 %, la radio base se vuelve prioritaria para el diseño de red de fibra óptica y migración del medio de transmisión. Finalmente, con los

datos obtenidos, se hará una comparación de pérdidas de paquetes con radiobases que tengan las mismas características y tengan como medio de transmisión fibra óptica.

- En la segunda fase, se realizará un levantamiento en campo para obtener la distancia exacta entre donde se encuentra actualmente la red de fibra a interconectar y las tres radiobases del casco urbano. Igualmente, se verificará la ruta por la cual deberá pasar la fibra óptica, obteniendo así las vías en donde es posible realizar la instalación y las vías en donde no es posible, buscando caminos alternos para poder llevar el cable de fibra óptica a cada una de las tres radiobases. Al tener la ruta por la que se realizará la instalación del cable de fibra óptica se procederán a tomar puntos de coordenadas con GPS para obtener las ubicaciones en las que se instalarán los postes de concreto, metal o madera, según lo requiera la topología del terreno. La ruta obtenida se trasladará en un archivo KMZ y las ubicaciones de los postes se entregarán en un archivo de Excel. Durante este levantamiento en campo, se puede tener acercamientos con COCODES y vecinos para informar los posibles trabajos a realizar y contar desde ya con la autorización de ellos, o bien tenerlos monitoreados para realizar pláticas con ellos al momento de que se lleguen a realizar los trabajos en un futuro.
- Como tercera fase se realizará el diseño de la red de fibra óptica, en este diseño se indicarán los puntos de unión y derivación de fibra, tipo de postes a utilizar, tipo de fibra, y cada material necesario para la construcción de este diseño de red. Se asignarán los hilos que deben utilizarse para cada una de las radiobases y la topología de red a utilizar. Se entregará un presupuesto de materiales y un presupuesto de ejecución

por los servicios de construcción e instalación de esta red, este diseño se entregará en formatos KMZ, VISIO y PDF.

Figura 1. **Esquema de la solución**

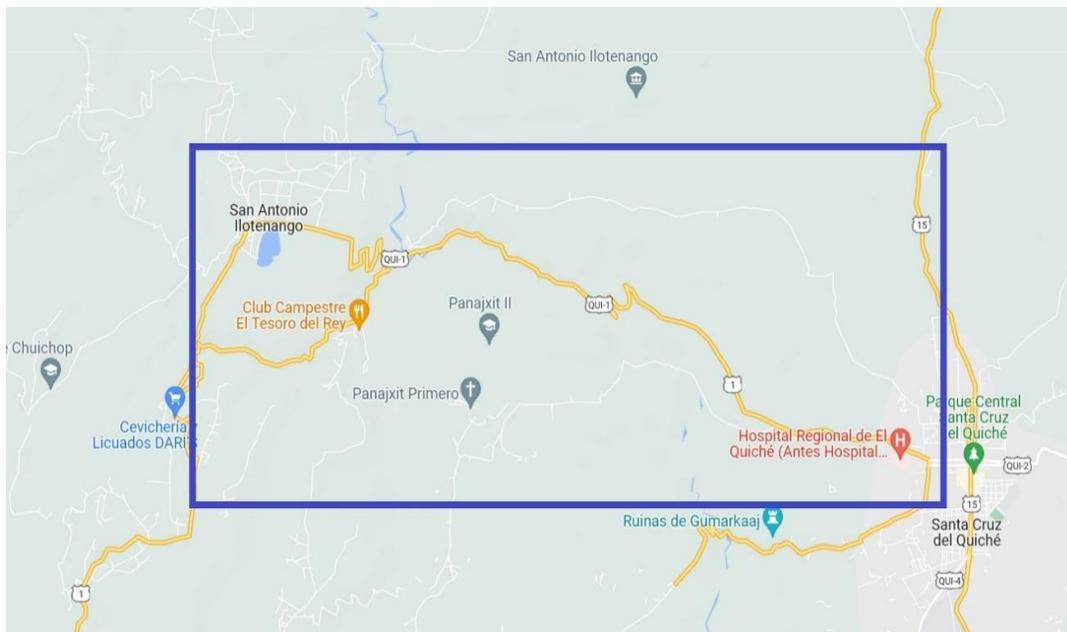


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

6.2. Ubicación del área y lugar de estudio

El área de Estudio abarcará las tres radiobases ubicadas en el casco urbano de San Antonio Ilotenango, Quiché, así como el acceso a San Antonio Ilotenango a través de la RD-QUI-1 para poder interconectarse a la red de fibra existente para la operadora de las radiobases ubicada en Santa Cruz del Quiché, Quiché.

Figura 2. Localización de área de Estudio



Fuente: elaboración propia, realizado con captura de pantalla Google Maps 2022.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Fibra óptica

Es un medio físico utilizado para la transmisión de datos, está formado por una parte interna y una externa, en la parte interna se encuentra un hilo construido de vidrio transparente o de otros materiales plásticos, obteniendo un filamento visualmente transparente, su diámetro mide 8 a 600 micras según el tipo de fibra. Ambas partes tienen índice de refracción distintas, siendo el de la parte interna mayor al de la parte externa.

La parte exterior está formada por un revestimiento de plástico o cuarzo. Al inyectar una señal óptica en un extremo del filamento, a un determinado ángulo, esta señal será reflejada incidiendo entre el límite del núcleo y el revestimiento hasta que pueda llegar al otro extremo del filamento, esto ocurre cuando se da la reflexión total interna.

7.1.1. Partes de la fibra óptica

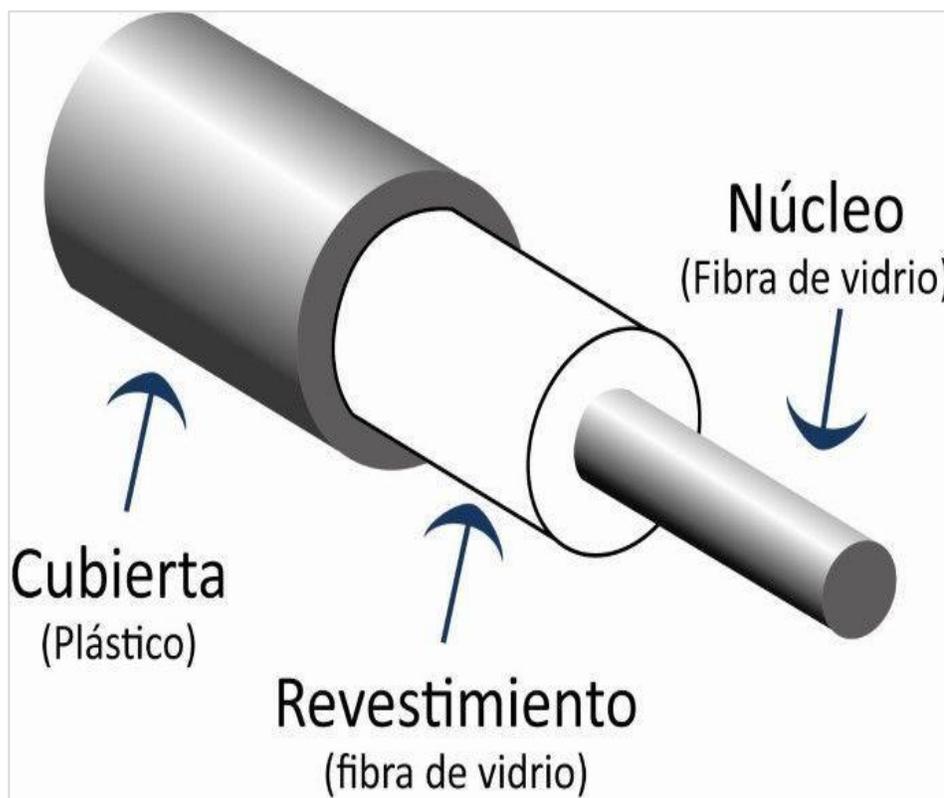
Consta de tres partes que son:

- Core (núcleo), es la parte interna en donde la señal óptica viaja. Consiste en materiales como el silicio, dióxido de titanio, cuarzo o plástico.
- Cladding (revestimiento), es la parte que se encuentra entre el núcleo y el recubrimiento. Tiene un índice menor de refracción al de núcleo, actuando como una superficie reflectante, haciendo que los haces de luz

se reflejen y transmitan por medio del largo de la fibra. Están formadas por varias capas de plástico para poder absorber golpes, daños, forcejeos o estiramientos que pueda recibir la fibra.

- Coating (recubrimiento), es la parte exterior que protege al núcleo y revestimiento de algunos daños y factores externos que pueden alterar las características de la fibra, tales como la humedad, aplastamiento y roedores.

Figura 3. **Partes de la fibra óptica**



Fuente: adrianordones (2015). *Fibra óptica*. Consultado el 13 de septiembre de 2022.
Recuperado de <https://adrianordones.wordpress.com/2015/08/29/fibra-optica/>.

7.1.2. Tipos de fibra óptica

Según el tipo de propagación de luz se pueden dividir en dos tipos, siendo estos el monomodo y multimodo.

7.1.2.1. Monomodo

Esta fibra tiene un núcleo con diámetro de 8.3 a 10 micrómetros. Permitiendo así la propagación de únicamente un modo de luz, permite la transmisión de información a grandes distancias que podrían llegar hasta los 400 km.

Figura 4. **Fibra monomodo**



Fuente: Beyondtech (2017). *Diferencias entre cables de fibra óptica monomodo y multimodo.*

Consultado el 13 de septiembre de 2022. Recuperado de

[https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo.](https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo)

7.1.2.2. Multimodo

En este tipo de fibra las señales ópticas circulan por distintos modos de propagación, normalmente se utilizan para aplicaciones a distancias que regularmente son menores a los 2 km.

Figura 5. **Fibra multimodo**



Fuente: Beyondtech (2017). *Diferencias entre cables de fibra óptica monomodo y multimodo*. Consultado el 13 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>.

7.2. **Parámetros de la fibra óptica**

La fibra óptica presenta pérdidas, estas se muestran a continuación.

7.2.1. **Atenuación**

Es la pérdida de potencia de señal óptica a razón del aumento de la distancia, esto representa que mientras mayor sea la distancia, mayor es la disminución en la potencia. Estas pérdidas se generan principalmente por el tipo de material de propagación de la señal y la longitud de onda que se está empleando.

La atenuación se expresa en dB/km, y permite cuantificar la pérdida de luz en un kilómetro y se define como la relación entre las potencias de señales ópticas al inicio y final de la fibra.

Los efectos que provoca la pérdida de potencia es una disminución en la capacidad del ancho de banda, disminución en la eficiencia y en la tasa de

transmisión. Los factores principales que intervienen con la atenuación de la fibra son las pérdidas por absorción y pérdidas por dispersión.

7.2.2. Pérdidas por absorción

Son las pérdidas ocasionadas por la impureza de los materiales con lo que está fabricada la fibra óptica, estas impurezas concentran la luz transmitida y la transforman en calor.

Entre las principales causas de pérdidas por absorción, se tiene la interacción de rayos ultravioletas y rayos infrarrojos que viajan por la fibra. Otra de las causas es la presencia de partículas de vapor de agua, debido a su proceso de fabricación.

7.2.3. Pérdidas por dispersión

Estas pérdidas son ocasionadas por deformidades en la fibra y por irregularidades físicas en la misma, dado que ocasionan variaciones en el índice de refracción.

7.2.4. Dispersión

Es la distorsión de la información transmitida por la fibra debido al ensanchamiento de los pulsos de luz, esta dispersión tiene una relación directamente proporcional a la longitud de la fibra.

Hay diferentes clases de dispersión, como la dispersión modal, dispersión cromática y por polarización de modo.

7.2.4.1. Dispersión modal

Esta dispersión ocurre en fibras multimodo y se da debido a que los rayos de luz realizan su trayectoria en diferentes tiempos y longitudes para recorrer la fibra, provocando que la señal óptica se disperse mientras se transmite por la fibra.

7.2.4.2. Dispersión cromática de material

Esta dispersión afecta a las fibras monomodo y multimodo, tiene una relación con las fuentes de luz que llegan a producir algunas longitudes de onda no requeridas durante la transmisión de la señal óptica.

7.2.4.3. Dispersión cromática de guía de onda

Esta dispersión está relacionada con el núcleo y el revestimiento de la fibra, pues al tener núcleos o revestimientos distintos los pulsos de luz se transmitirán a distintas velocidades. En donde los que tienen una longitud de onda menor, tendrán una refracción mayor y los que tienen una longitud de onda mayor, su refracción será menor.

7.2.4.4. Dispersión de modo de polarización

Esta se da únicamente en las fibras monomodo cuando las componentes de un modo que se introduce en una fibra se desplazan con diferente velocidad, debido a los diferentes valores de índice de refracción los cuales llegan al otro extremo de la fibra en diferentes tiempos, generalmente se provoca cuando el núcleo no tiene el mismo índice de refracción o el mismo diámetro.

El modo de polarización o PMD es generalmente utilizado en enlaces de alta velocidad en los que la dispersión cromática se ve reducida por la utilización de fibras de baja dispersión, y fuentes de reducción de ancho espectral.

Esta dispersión ocurre únicamente en las fibras monomodo, usualmente cuando el núcleo de las fibras empleadas no es del mismo diámetro o no tienen el mismo índice de refracción. Este modo de polarización es conocido también como PMD y se emplea para enlaces de alta velocidad.

7.3. Características de un enlace de fibra óptica

Un enlace de fibra óptica debe cumplir con ciertas características ópticas para que este sea aceptado para su uso, entre estas características se encuentra la atenuación total del enlace, la atenuación por longitud de onda y el efecto pico de agua.

7.3.1. Atenuación del enlace

Es el cálculo y análisis del presupuesto de pérdidas ópticas, se emplea para calcular la pérdida de una red de fibra óptica. Este cálculo se realiza durante el diseño y antes de ejecutar la instalación, puesto que determinará si la red funcionará con presupuestos ópticos definidos por los equipos y sistemas de transmisión.

El valor de la pérdida del cable de fibra óptica se obtiene según las recomendaciones ITU-T G653.D (11/16), o bien las del fabricante del cable de fibra óptica.

El valor de pérdida por empalme se obtiene de las recomendaciones ITU-T L.400/L.12 (02/2022) y el valor de atenuación de inserción de conectores de acuerdo con las recomendaciones ITU-T L.36(01/14).

La atenuación del enlace está dada por la siguiente fórmula:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

Donde:

α = Coeficiente de atenuación típico de un enlace

L = Longitud del enlace

α_s = Pérdida por empalme

x = Número de empalmes en el enlace

α_c = Pérdida media de conectores

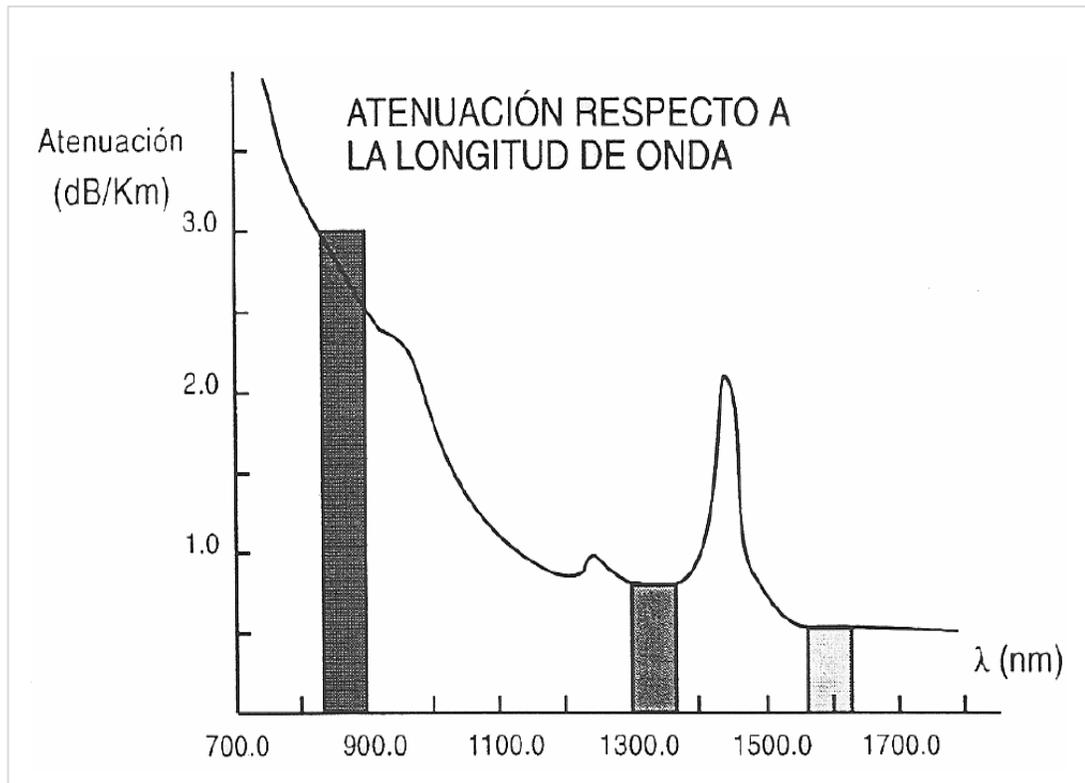
y = Número de conectores presente en el enlace

En el diseño de red siempre debe considerarse dejar un margen extra en el presupuesto óptico para modificaciones de red que surjan adelante, como empalmes, efectos de envejecimiento en la fibra óptica, entre otros.

7.3.2. Atenuación en función a la longitud de onda

La atenuación está relacionada directamente con la longitud de onda que se transmite por el medio, en la gráfica siguiente se observa esta relación y se observa un caso especial entre los 1300 nm y 1500 nm.

Figura 6. **Atenuación respecto a la longitud de onda**

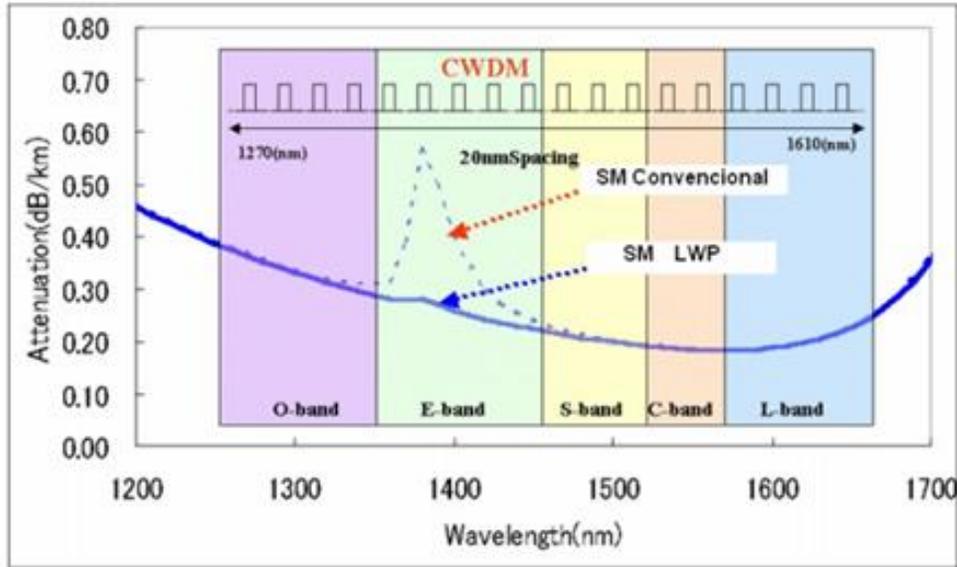


Fuente: Enredados 2012 (2013). *Atenuación en función a la longitud de onda*. Consultado el 16 de septiembre de 2022. Recuperado de <http://enredados2012.blogspot.com/2013/03/atenuacion-en-funcion-la-longitud-de.html>.

7.3.3. **Fibra con atenuación plana en el pico de agua (ZWPF)**

Este tipo de fibra es fabricada con procesos de manufactura en la que los iones de OH que se encuentran en la fibra son removidos, por lo que se logra técnicamente eliminar el pico de agua centrado en 1383 nm y que causa una alta tasa de error en la recepción de las ventanas ubicadas entre 1370 nm y 1430 nm. Este tipo de fibra permite que se tenga una banda de operación continua que va desde 1260 nm hasta 1625 nm.

Figura 7. **Atenuación de fibra monomodo LWP**



Fuente: Opticas Blogspot (2013). *Factores que limitan la transmisión en redes de fibra óptica*. Consultado el 16 de septiembre de 2022. Recuperado de <http://com-opticas.blogspot.com/2013/05/>.

Las fibras ZWPF son fibras ópticas monomodo de estándar G.652, pero bajo las subcategorías C y D de espectro de atenuación aplanado (G.652.C; G.652.D).

Tabla I. **Características importantes de fibra ZWPF según norma G.652 de la ITU-T**

	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
Atenuación (db/km)	≤ 0.5 a 1310 nm \leq 0.4 a 1560 nm	≤ 0.4 a 1310 nm, ≤ 0.35 a 1550 nm, \leq 0.4 a 1625 nm	≤ 0.4 de 1310 nm a 1525 nm, ≤ 0.47 de 1250 nm a 1625 nm	≤ 0.4 de 1310 nm a 1525 nm, ≤ 0.47 de 1250 nm a 1625 nm

Continuación de la tabla I.

PMD del enlace (ps/km)	≤ 0.5	≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 0.2
---------------------------	------------	------------	------------	------------

Fuente: elaboración propia.

7.3.4. Fibra con dispersión desplazada distinta de cero (NZ-DSF)

Esta fibra monomodo está diseñada para mitigar los problemas resultantes de la dispersión desplazada, sus características están especificadas en el estándar ITU-T G.656. Esta fibra puede utilizarse para aplicaciones CWDM y DWDM.

Esta dispersión disminuye el aumento y crecimiento de efectos no lineales en sistemas DWDM.

7.4. Rango de operación

Esta característica se determina dependiendo de diversos factores que incluyen el tipo de fibra a utilizar, el rango de atenuación del enlace, la dispersión y las características de los recursos.

Cuando se tiene definido el rango de operación, se debe tomar en cuenta que el equipo de transmisión y el de recepción operen en el rango definido.

7.4.1. Bandas de operación

Los enlaces de fibra óptica se encuentran divididos por seis bandas, estas son O, E, S, C, L y U.

7.4.1.1. Banda O (original)

Esta banda comprende entre los 1260 nm y 1360 nm. El límite inferior está determinado por la frecuencia de corte del medio de transmisión y el límite superior se encuentra donde inicia la atenuación del agua de la longitud de onda o como es llamado también el pico de agua.

7.4.1.2. Banda E (extended)

Esta banda se encuentra entre los 1360 nm y 1460 nm, en este rango se encuentran incluidas las fibras que tienen picos de atenuación del agua bajas o cero picos de agua, que le permite su utilización y operación en frecuencias superiores a 1360 nm. Sobre los 1460 nm los niveles de atenuación por el pico de agua son despreciables.

7.4.1.3. Banda C (convencional)

Comprende las longitudes de onda entre 1530 nm y 1565 nm. Al principio los EDFA's se utilizaban en esta banda debido a que tenían una ganancia muy útil dentro de esta banda.

7.4.1.4. Banda S (short wavelength)

Esta banda se encuentra entre los 1460 nm y 1530 nm. Su límite inferior se encuentra en el límite superior de la banda E y su límite superior se encuentra en el límite inferior de la banda C. En esta banda algunas longitudes de onda son reservadas para un canal óptico de supervisión y otras longitudes de onda se han llegado a utilizar para el bombeo de amplificadores de fibra óptica del tipo de iones activos.

7.4.1.5. Banda L (long wavelength)

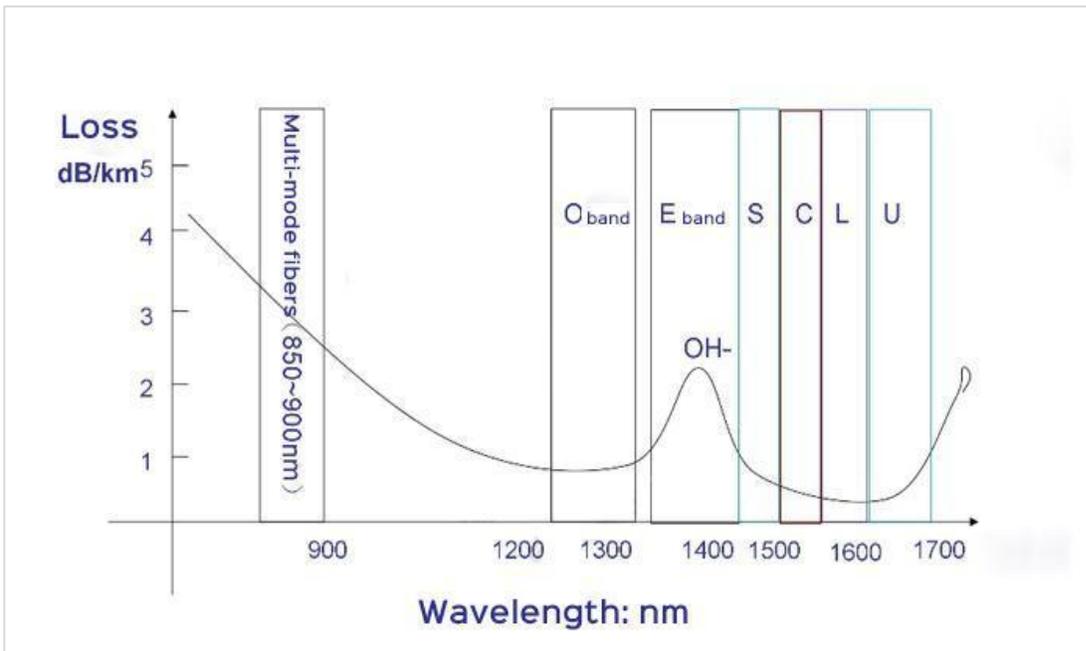
Esta banda está comprendida entre los rangos de longitud de onda de 1565 nm y 1625 nm. Se encuentra después de la banda C. En esta banda la fibra óptica tendrá un buen rendimiento en el que trabajará correctamente en un intervalo de temperaturas que permiten una transmisión adecuada hasta los 1625 nm.

7.4.1.6. Banda U (ultra-wavelength)

Esta banda se encuentra comprendida entre los 1625 nm y 1675 nm. En esta banda no se pretende la ocupación de canales de transmisión, sino para el mantenimiento aun teniendo una pérdida mayor.

Se ha definido esta banda exclusivamente para operaciones de mantenimiento. La transmisión de tráfico actualmente no está prevista en esta banda. Esta banda garantiza no generar interferencia a otras bandas dado a que su uso no tiene fines de transmisión de datos.

Figura 8. Rangos de longitud de onda



Fuente: HUAWEI (2020). *¿Qué es la banda C y la banda L en WDM (Wavelength Division Multiplexing)?* Consultado el 16 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-banda-c-y-la-banda-l-en-wdm-wavelength-division-multiplexing/thread/644263-100243>.

7.5. Instalación de redes ópticas

La instalación de cables de fibra óptica es más especializada que la instalación de cables de cobre, debido a la fragilidad de las fibras. Se debe realizar un análisis de la infraestructura existente antes de realizar cualquier instalación, en razón de que no es posible realizar una buena instalación de fibra con una infraestructura inadecuada.

7.6. Planta Externa

La planta externa es toda la infraestructura de telecomunicaciones diseñada para realizar instalaciones en el exterior, son todos los componentes de la red que se ubican en la calle como postes, cables, bajadas, entre otros.

Existen dos tipos de instalación de planta externa, no se toma en cuenta la instalación de fibra óptica submarina sino las instalaciones más comunes comercialmente.

7.6.1. Instalación área

Consiste en la instalación de cables de fibra óptica sobre una infraestructura de postes, remates, herrajes y elementos de suspensión y soporte.

7.6.2. Instalación subterránea

Consiste en el despliegue de fibra óptica bajo tierra, en este tipo de instalación la fibra óptica se instala a través de ductos o bien por enterrado directo.

7.7. Planta Interna

Son todos los elementos de la red que se encuentran dentro de una instalación física, como un edificio, una caseta, entre otros.

Entre los elementos más comunes de la planta interna se encuentran los elementos como *switches*, *routers*, servidores, cables de distribución, conectores, acopladores, atenuadores, entre otros.

7.8. Elementos activos y pasivos

Los elementos activos son aquellos que envían y reciben señales, los elementos pasivos son aquellos que sirven como medio de transmisión o bien permiten la interconexión de los elementos activos.

7.8.1. Caja terminal

Es un elemento pasivo cuya función es proteger empalmes de fibra óptica. Este se instala en la ubicación final del enlace.

7.8.2. Postes

Son elementos que dan soporte a líneas eléctricas aéreas, telecomunicaciones y otros dispositivos. Es el elemento principal de planta externa para la instalación aérea de fibra óptica.

Existen de diferentes materiales, como lo son los postes de madera, de concreto y metálicos.

7.8.3. Fibra óptica

Un cable de fibra óptica está formado por uno o varios hilos de fibra, el centro de estos hilos es conocido como núcleo y están rodeados por un

revestimiento que es la que refleja los haces de luz en su interior. Estos hilos se identifican por un código de colores.

Figura 9. **Código de colores para fibra óptica**

Código de color de la fibra óptica para Tubo holgado, Tubo estrecho(TIA/EIA-598)

Posición	Colores
1	Azul
2	Anaranjado
3	Verde
4	Café
5	Plateado (Gris)
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Violeta
11	Rosa (Rosado)
12	Aqua (Celeste)

Fuente: EMTT (2010). *Código de colores en fibras ópticas*. Consultado el 16 de septiembre de 2022. Recuperado de <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/06/codigo-de-colores-en-fibras-opticas.html>.

7.8.4. **Herrajes de sujeción**

Son materiales utilizados para la fijación de los cables de fibra óptica en los postes instalados para tendidos aéreos, estos elementos están hechos de materiales que pueden soportar los diferentes climas.

7.8.4.1. Herrajes de remate

Este herraje es utilizado para fijar el cable de fibra óptica en los postes a distintas distancias según la especificación del cable.

7.8.4.2. Herrajes de paso

Conocidos también como herrajes de suspensión, alojan el cable de fibra óptica, se utiliza para mantener la linealidad del tendido aéreo.

7.8.5. Distribuidor de fibra óptica (ODF)

Es el elemento utilizado para entregar conexiones de cables de fibra óptica hacia los equipos o bien hacia otros cables, este elemento organiza los hilos de fibra óptica y protege las conexiones de estos.

7.8.6. Cajas de empalmes

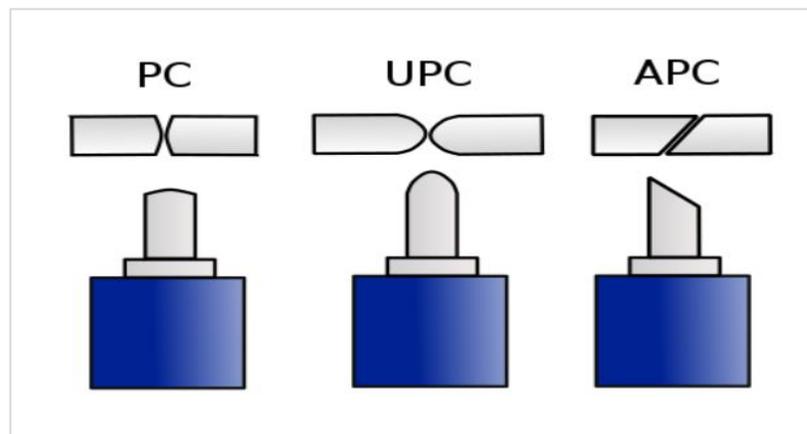
Conocidos también como mufas, protegen los empalmes y derivaciones de los cables de fibra óptica, evitan el ingreso de humedad a su interior, y el ingreso de aire.

7.8.7. Conectores

Un conector finaliza el extremo de un cable de fibra óptica y permite que la conexión sea más rápida que una fusión o empalme. Debe estar alineado correctamente con los hilos de fibra. Existen varios tipos de conectores y se utiliza el tipo según el uso y eficiencia que se desea tener.

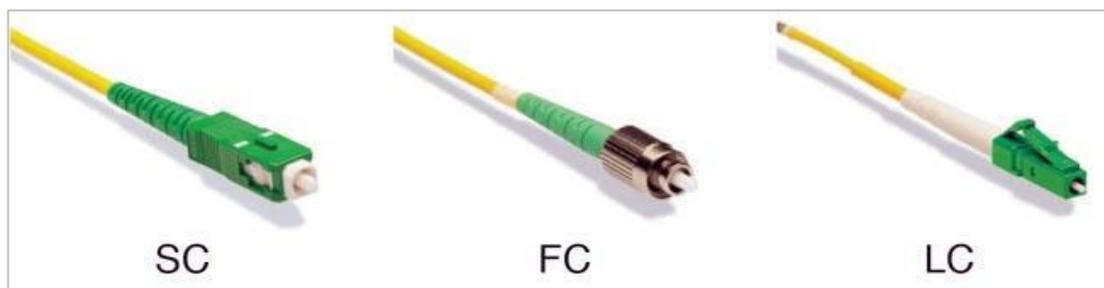
Así también existen diferentes tipos de pulidos, como lo son los APC, UPC, SPC y PC.

Figura 10. Tipos de pulidos para conectores



Fuente: SmythSys (2021). *Tipos de pulidos y conectores en fibras ópticas*. Consultado el 18 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://www.smythsys.es/14497/tipos-de-conectores-y-de-pulido-en-la-fibra-optica/>.

Figura 11. Tipos de conectores de fibra óptica



Fuente: instaladoresdetelecomhoy. (2013). *Conectores para FTTH*. Consultado el 17 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/conectores-para-ftth/>.

7.8.7.1. Pulido APC

Por sus siglas en ingles significa físico en ángulo de contacto, su superficie tiene una inclinación de 8 grados

7.8.7.2. Pulido UPC

Significa ultra pulido contacto físico, su pulido tiene una mejor superficie lineal con forma de cúpula, tiene una pérdida de inserción menor a 0.3 dB y una pérdida de retorno mayor a 40 dB.

7.8.7.3. Pulido SPC

Es el súper pulido contacto físico, es convexo y tiene una pérdida de inserción menos a 0.3 dB y una pérdida de retorno mayor a 40 dB.

7.8.7.4. Pulido PC

Es el pulido de contacto físico, es plano y tiene una pérdida de inserción menor a 0.4 dB y una pérdida de retorno mayor a 30 dB.

7.8.7.5. Conector SC

Son las siglas de conector cuadrado (Square Connector), su característica es que tiene un ajuste a presión, es compacto, con lo cual permite integrar una gran densidad de conectores por elementos. Para fibras monomodo y multimodo tiene una pérdida de 0.25 dB.

7.8.7.6. Conector ST

Son las siglas de punta recta en inglés (Straight tip), se utiliza en fibras monomodo y su pérdida de inserción es de 0.25 dB.

7.8.7.7. Conector FC

De las siglas conector de férula (Ferrule Connector), es un conector con rosca lo que le permite tener una fijación muy estable, así que es usado generalmente en instalaciones donde exista algún movimiento. En fibras monomodo su pérdida de inserción es de 0.3 dB.

7.8.7.8. Conector LC

De las siglas conector pequeño (Little conector), es más compacto que el conector SC, por consiguiente, permite que se puedan instalar más para un mismo espacio asignado para conectores SC. Para fibras monomodo y multimodo tiene una pérdida de inserción de 0.10 dB.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fibra óptica

1.1.1. Partes de la fibra óptica

1.1.2. Tipos de fibra óptica

1.1.2.1. Monomodo

1.1.2.2. Multimodo

1.2. Parámetros de la fibra óptica

1.2.1. Atenuación

1.2.2. Perdidas por absorción

1.2.3. Perdidas por dispersión

1.2.4. Dispersión

1.2.4.1. Dispersión modal

1.2.4.2. Dispersión cromática de material

1.2.4.3. Dispersión cromática de guía de onda

1.2.4.4. Dispersión de modo de polarización

1.3. Características de un enlace de fibra óptica

- 1.3.1. Atenuación del enlace
- 1.3.2. Atenuación en función a la longitud de onda
- 1.3.3. Fibra con atenuación plana en el pico de agua (ZWPF)
- 1.3.4. Fibra con dispersión desplazada distinta de cero (NZ-DSF)
- 1.4. Rango de operación
 - 1.4.1. Bandas de operación
 - 1.4.1.1. Banda O (original)
 - 1.4.1.2. Banda E (extended)
 - 1.4.1.3. Banda C (convencional)
 - 1.4.1.4. Banda S (short wavelength)
 - 1.4.1.5. Banda L (long wavelength)
 - 1.4.1.6. Banda U (ultra-wavelength)
- 1.5. Instalación de redes ópticas
- 1.6. Planta Externa
 - 1.6.1. Instalación área
 - 1.6.2. Instalación subterránea
- 1.7. Planta Interna
- 1.8. Elementos activos y pasivos
 - 1.8.1. Caja terminal
 - 1.8.2. Postes
 - 1.8.3. Fibra óptica
 - 1.8.4. Herrajes de sujeción
 - 1.8.4.1. Herrajes de remate
 - 1.8.4.2. Herrajes de paso
 - 1.8.5. Distribuidor de fibra óptica (ODF)
 - 1.8.6. Cajas de empalmes
 - 1.8.7. Conectores

- 1.8.7.1. Pulido APC
- 1.8.7.2. Pulido UPC
- 1.8.7.3. Pulido SPC
- 1.8.7.4. Pulido PC
- 1.8.7.5. Conector SC
- 1.8.7.6. Conector ST
- 1.8.7.7. Conector FC
- 1.8.7.8. Conector LC

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. ANALISIS DE RESULTADOS

4. METODOLOGÍA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación, se describen los procesos de investigación que se utilizarán para realizar el diseño de red de fibra óptica, se describe el enfoque que se utiliza según los objetivos y variables, así como las distintas técnicas y herramientas necesarias para la recopilación y análisis de información.

9.1. Diseño de la investigación

Para esta investigación se utilizará un diseño no experimental descriptivo a causa de que la información que se necesita sobre la ocupación del ancho de banda de los enlaces, se estará recolectando de registros históricos de los equipos de transmisión para las radiobases por lo cual no se manipularán las variables. De igual manera, esta investigación no experimental será transeccional descriptiva, debido a que se recolectarán datos históricos sobre el cambio en el desempeño en el ancho de banda y pérdidas de paquetes en radiobases en donde el medio de transmisión ya se migro a fibra óptica, así también se investigará sobre históricos de costos de licencia de construcción para empresas de telecomunicaciones en el municipio de San Antonio Ilotenango. Esta investigación describirá una situación o caso de estudio.

Según Sampieri, Collado, Lucio, Valencia y Torres (2014), en un estudio experimental se construye el contexto y se manipula de manera intencional la variable, y la investigación no experimental es sistemática y empírica en la que las variables no se manipulan porque ya han sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa.

Es lo que se demostrará en esta investigación, la relación en la ocupación del ancho de banda y las pérdidas de paquetes entre distintos medios de transmisión, siendo enlaces microondas o enlaces ópticos.

9.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto debido a que se cuantificarán los datos recolectados del histórico de ocupación del ancho de banda de los radioenlaces y establecer rangos si se obtienen ocupaciones menores al 50 %, ocupaciones entre el 50 % y 80 % y ocupaciones críticas mayores al 80 %, así mismo se debe cuantificar presupuesto óptico, que se deberá cumplir al momento de realizar el diseño de red de fibra óptica. Será también cualitativo y durante el estudio en campo, el diseño podrá variar por factores como permisos municipales, topología de terreno, permisos e inconvenientes con vecinos.

Según Sampieri et. al. (2014), los métodos mixtos representan a un conjunto de procesos críticos, empíricos y sistemáticos de investigación que implican la recolección de datos cualitativos y cuantitativos y su respectivo análisis, y discusión e integración conjunta para posteriormente realizar inferencias como producto de toda la información anteriormente recabada y así lograr un mejor entendimiento del caso bajo estudio.

9.3. Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizarán registros, documentación y entrevistas.

Los registros y documentación se utilizarán para obtener los datos de ocupación del ancho de banda de los radioenlaces y las pérdidas de paquete

tanto en subida como en bajada, el precio de materiales y servicios necesarios para la implementación de la red, también para obtener costos de permisos y licencias de construcción en las municipalidades de San Antonio Ilotenango y Santa Cruz del Quiché, ambos del departamento del Quiché.

La entrevista se empleará para obtener por parte de la municipalidad los requisitos para la licencia de construcción, lugares en donde es posible realizar construcción de red de fibra y los lugares en donde no, y obtener de los vecinos las ubicaciones de los postes propuestos de tal manera que no les causen molestias.

9.4. Población y muestra

La población serán las radiobases ubicadas en el municipio de San Antonio Ilotenango, Quiché, y de ellas se obtendrán los datos de ocupación del ancho de banda y pérdidas de paquetes, junto con los datos cualitativos de las rutas óptimas para la instalación de postes y fibra y así desarrollar un diseño de red de fibra óptica.

Según Sampieri et. al. (2014), las muestras no probabilísticas, que también son conocidas como muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización, las ventajas de las muestras no probabilísticas es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieran una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema.

El tipo de muestreo será no probabilístico y la muestra serán las radiobases ubicadas en el casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango,

Quiché, que tengan una ocupación de ancho de banda del enlace microondas superior al 50 %. Se define que serán muestras dirigidas y polietápicas.

9.5. Técnicas de investigación

Se implementarán documentación de registros históricos de la ocupación del ancho de banda de los radioenlaces de las radiobases de San Antonio Ilotengo. También de las pérdidas de paquetes en subida y en bajada para estas radiobases

Se realizará documentación de registros históricos de la ocupación del ancho de banda de radiobases que tengan las mismas características a las ubicadas en San Antonio Ilotenango pero que su medio de transmisión sea por fibra óptica, recolectando también los registros de pérdidas de paquetes en subida y bajada.

Se procederá a realizar entrevista a la municipalidad y vecinos de San Antonio Ilotenango en la que se consultará sobre que, espacios se pueden utilizar para poder realizar la instalación de postes y cable de fibra óptica. Así obtener los lugares donde podría existir conflicto con comunidades o vecino. Esto se realizará al momento de ejecutar un levantamiento de datos en campo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

- En la primera fase se analizarán las radiobases ubicadas en el casco urbano de San Antonio Ilotenango obteniendo la ocupación del ancho de banda de cada uno de los radioenlaces y las pérdidas de paquetes, con estos datos se decidirá las radiobases que estarán en el diseño preliminar de red de fibra óptica.
- En la segunda fase se realizará un levantamiento en campo, orientado por el diseño preliminar de red de fibra óptica. En este levantamiento se realizarán consultas a la municipalidad y vecinos sobre los puntos en donde si es posible realizar instalación de postes y los puntos en donde no, estos datos se registrarán en coordenadas geográficas.
- En la tercera fase según los datos obtenidos en el levantamiento en campo, las coordenadas geográficas se trabajarán en un archivo KMZ para poder tener la vista de la ruta ya validada por la municipalidad y los vecinos, así también con estas coordenadas se tendrán las distancias exactas para poder cuantificar materiales y servicios que se requieren para este diseño de red.
- En la cuarta fase se realizará el diseño de red de fibra óptica para las radiobases del casco urbano del municipio de San Antonio Ilotenango, indicando la topología a utilizar, asignación de hilos, determinando que tipos y cantidad de materiales a utilizar y los servicios de ejecución para esta red de fibra óptica.

11. CRONOGRAMA

Se presenta a continuación la organización cronológica del proceso de elaboración de la investigación, abarcando un total de 6 meses desde la recolección de información hasta la entrega del informe final.

Figura 12. Cronograma

No.	Actividades/Semanas	Inicio	Fin	2022					2023																				
				Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo																			
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Análisis de ocupación del ancho banda de radiobases en San Antonio Ilotenango	07-11-22	11-11-22	█																									
2	Análisis de pérdidas de paquetes en radiobases de San Antonio Ilotenango	08-11-22	11-11-22	█																									
3	Diseño preliminar de red de fibra óptica	14-11-22	18-11-22		█																								
4	Validación en campo del diseño preliminar	21-11-22	25-11-22			█																							
5	Levantamiento en campo del diseño preliminar	28-11-22	16-12-22				█	█																					
6	Descarga de datos obtenidos en campo	19-12-22	23-12-22								█																		
7	Realizar diseño de red de fibra óptica	26-12-23	13-01-23									█	█																
8	Lista materiales	16-01-23	18-01-23																										
9	Lista servicios de ejecución	19-01-23	20-01-23																										
10	Obtener información para tramites de licencias de construcción en municipalidad	23-01-23	03-03-23																										
11	Obtener información para tramites de construcción con COCODES de San Antonio Ilotenango	23-01-23	03-03-23																										
12	Realizar presupuesto final	06-03-23	08-03-23																										
13	Redacción de Informe	09-03-23	03-05-23																										
14	Validación con asesor	27-03-23	03-05-23																										
15	Correcciones del informe	03-04-23	01-05-23																										

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La investigación será financiada por el investigador. Dentro de los recursos necesarios para desarrollar la investigación, en el aspecto humano se toma en cuenta el tiempo del investigador. Dentro de los recursos físicos se consideran los distintos traslados hacia el municipio, para realizar el levantamiento en campo, la obtención de información con la municipalidad y vecinos del sector. En los recursos materiales se toman en cuenta el equipo personal de computación para realizar el análisis de datos y diseño de la red en diferentes softwares, un dispositivo móvil en el que se podrá validar la ubicación por coordenadas geográficas de las rutas propuestas en el diseño de la red, y material de librería como hojas, fólderres, marcadores, lapiceros, entre otros, necesarios para plasmar el diseño y realizar anotaciones en campo.

Tabla II. **Costos del estudio**

	MATERIAL/RECURSO	COSTO
HUMANO	INVESTIGADOR	Q 15,000.00
FISICO	Oficina	Q -
	Traslados hacia San Antonio llotenango	Q 4,000.00
	Servicios móviles e internet	Q 1,500.00
MATERIAL	Dispositivo móvil de gama media	Q 2,000.00
	Equipo de computo	Q 2,500.00
	Hojas, impresiones y material de librería	Q 400.00
SOFTWARE	MAPS.ME	Q -
	Google Earth	Q -
	Acceso a gestor para análisis de datos de equipos	Q -
FINANCIERO	Financiada por el investigador	Q 25,400.00
	TOTAL	Q 25,400.00

Fuente: elaboración propia

13. REFERENCIAS

1. Comunidad FS. (24 de diciembre, 2021). Los tipos y las características del SFP+ 10G [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://community.fs.com/es/blog/optical-module-guide-10g-sfp-types-classification.html>
2. Conectónica. (s.f.). Dispositivos y técnicas de compensación de dispersión cromática [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.conectonica.com/fibra-optica/redes-opticas/dispositivos-y-tecnicas-de-compensacion-de-dispersion-cromatica>
3. Deltaeu. (s.f.). Atenuación de la fibra óptica [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://shopdelta.eu/atenuacion-de-lafibraoptica_l6_aid811.html
4. Espinoza, G. (2016). *Proceso de implementación de una radiobase para la tecnología LTE* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-gabriel-rene-moreno/investigacion-ii/implementacion-radiobase-com-tecnologia-lte/21611493>
5. FibreMex. (24 de mayo, 2022). ¿Cómo hacer un presupuesto óptico? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=144&nom=presupuesto-optico>

6. Gutiérrez, E. (2014). *Estudio de factibilidad para la implementación de una red de fibra óptica entre Desaguadero y Moquegua* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5671>
7. Hernandez, P. (2019). *Propuesta de diseño de una red de transporte de fibra óptica para la mejora de la calidad y cobertura de telecomunicaciones en el distrito de Lalaquiz - Piura* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3654>
8. Icoptiks. (s.f.). Cables de fibra óptica [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.icoptiks.mx/fibra-optica/cables-de-fibra-optica/>
9. Nuñez, A. (2018). *Diseño de una red de transporte sobre fibra óptica para incrementar la banda ancha de las Regiones: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7959>
10. Orange. (s.f.). Todo sobre los cables de fibra óptica multimodo [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://blog.orange.es/consejos-y-trucos/fibra-multimodo/>
11. Organización de los Estados Americanos. (abril de 2010). La fibra óptica [Mensaje en un blog]. Recuperado de http://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp

12. Prored. (s.f.). La dispersión modal [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.prored.es/la-dispersion-modal/>
13. Redes zone. (13 de marzo, 2022). ¿Qué es un transceptor SFP y cómo elegir uno según tus necesidades? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/que-es-transceptor-sfp/>
14. Soto, L. (2019). *Migración de la red de acceso por radioenlace a fibra óptica con tecnología gpon para la empresa GLOBALWIFI en el municipio de Guadalupe Huila* (tesis de licenciatura). Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/15357>
15. Tech-dir. (s.f.). Estación base [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://tech-dir.net/estacion-base/>
16. The Fiber Optic Association, Inc. (s.f.). Capítulo 8 - Elección de los componentes [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch8.htm>
17. The Fiber Optic Association, Inc. (s.f.). Capítulo 9 – Presupuesto de potencia y de pérdida óptica [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch8.htm>
18. Todofibraoptica. (23 de septiembre, 2021). Estándares, normas, códigos, y asociaciones que gobiernan la evolución de FTTH [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://todofibraoptica.com/estandares-normas-codigos-y-asociaciones-que-gobiernan-la-evolucion-de-ftth/>

