



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCIÓN DE
INCIDENCIAS EN LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**

Luis Francisco Maldonado Mendizabal

Asesorado por el Maestro Ing. Juan Miguel Sitavi Cos

Guatemala, marzo 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCIÓN DE
INCIDENCIAS EN LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS FRANCISCO MALDONADO MENDIZABAL
ASESORADO POR MTR. ING. JUAN MIGUEL SIVATI COS

AL CONFERIRLE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MARZO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
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 EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez 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:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCIÓN DE INCIDENCIAS EN LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

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

Luis Francisco Maldonado Mendizabal



EEPI-PP-2172-2022

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: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCIÓN DE INCIDENCIAS EN LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Luis Francisco Maldonado Mendizabal** carné número **201213205**, 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"

Mg. Juan Miguel Sitavi Cos
Col 2907

Mtro. Juan Miguel Sitavi Cos
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





EEP-EIME-1782-2022

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: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCIÓN DE INCIDENCIAS EN LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Francisco Maldonado Mendizabal**, 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

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

Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.304.2023



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: **IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETECCION DE INCIDENCIAS EN LOS ENLACES DE CABLES OPTICOS DE UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**, presentado por: **Luis Francisco Maldonado Mendizabal**, 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, marzo de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** En agradecimiento por tantas bendiciones recibidas durante toda mi vida.
- La Virgen María** Por todas las gracias recibidas por su infinito amor e intersección ante Jesús por mi.
- Mis padres** Manuel Maldonado y Doroty Mendizabal, por su incondicional amor y apoyo, sin los cuales no hubiera sido posible lograr esta meta.
- Mi hermano** Carlos Maldonado, por cada palabra, acción y oración que fortaleció mi camino dentro de la universidad.
- Mi esposa** Aura Dalia Maribel Si, por brindarme su apoyo en todo momento.
- Mis hijas** María Belén y María Alejandra Maldonado, quienes son mi motivo e inspiración para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme formarme como profesional y ser un excelente centro de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por todos los conocimientos y experiencias recibidas a lo largo de toda mi carrera universitaria.

**Escuela de Estudios de
Postgrado**

Por la oportunidad de continuar mi formación en el área de las telecomunicaciones.

Maestro Ing. Juan Sitavi

Por su apoyo y conocimientos brindados para el desarrollo del presente diseño de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
INTRODUCCIÓN	XIII
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Descripción general	5
2.2. Delimitación del problema	6
2.3. Pregunta central de la investigación	6
2.4. Preguntas auxiliares de la investigación	6
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	11
4.1. General	11
4.2. Específicos	11
5. NECESIDADES A CUBRIR	13
5.1. Esquema de la solución	13
5.2. Ubicación de torre de telecomunicación para el estudio	16
6. MARCO TEÓRICO	17
6.1. Enlaces inalámbricos	17

6.1.1.	Componentes	17
6.1.2.	Zonas de Fresnel	19
6.1.3.	Presupuesto de potencia.....	20
6.2.	Parámetros de los enlaces inalámbricos.....	22
6.2.1.	Frecuencia.....	23
6.2.2.	Ancho del canal.....	25
6.2.3.	Potencia de transmisión	25
6.2.4.	Modulación	26
6.3.	Estado de los enlaces inalámbricos	26
6.3.1.	Relación señal a ruido.....	26
6.3.2.	Potencia de las cadenas de transmisión	28
6.3.3.	Calidad de conexión del cliente CCQ.....	28
6.3.4.	Otros indicadores	29
6.4.	Torres de telecomunicación	29
6.5.	Protocolo SNMP.....	31
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
8.	METODOLOGÍA	39
8.1.	Diseño de la investigación.....	39
8.2.	Revisión documental.....	39
8.3.	Plan de muestreo	39
8.4.	Diseño de instrumentos de recolección de datos.....	40
8.5.	Trabajo de campo	40
8.6.	Operacionalización de las variables	40
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	43
10.	CRONOGRAMA	45

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO 47

REFERENCIAS 49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de la solución	15
2.	Localización de torre de telecomunicación para el proyecto	16
3.	Componentes de un enlace inalámbrico	19
4.	Zona 1 de Fresnel	20
5.	Presupuesto de potencia.....	21
6.	Pérdida en el espacio libre	22
7.	Bandas de frecuencia.....	24
8.	Relación señal a ruido	27
9.	Torre de telecomunicación arriostrada o atirantada	30
10.	Funcionamiento del protocolo SNMP	31
11.	Estructura de la MIB.....	33
12.	Intercambio de mensajes SNMP	34
13.	Cronograma	45

TABLAS

I.	Recursos para el proyecto.....	48
----	--------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibelios
GHz	Gigahercio
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahercio
V	Voltaje

GLOSARIO

Ancho de banda	Es la cantidad de bits por segundo que se transmiten en un intervalo de tiempo.
Antena omnidireccional	Es una antena cuyo patrón de radiación horizontal tiene una cobertura horizontal de 360 grados y vertical variable, semejante a un toroide.
CCQ	Client Connection Quality. Es una medida de la calidad de la conexión de un enlace, expresada en porcentaje, basada en el tiempo mínimo y real que tardan las tramas en viajar por el canal de comunicación a una velocidad determinada.
Data rate	Velocidad de datos de negociación entre el dispositivo emisor y receptor.
DFS	Dynamic Frequency Selection. Es un método definido en el estándar 802.11 para la selección dinámica de frecuencias en la banda de 5 GHz, que permite a los dispositivos utilizar las frecuencias de radar
FDD	Frequency Division Duplex. Es la técnica de transmisión de datos en ambas direcciones al mismo tiempo mediante el uso de dos frecuencias portadoras separadas.

MIB	Management Information Base. Es una estructura jerárquica en forma de árbol que contiene los objetos SNMP de un dispositivo.
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Es una tecnología inalámbrica que utiliza dos o, mas cadenas de radio para la transmisión de señales.
NOC	Network Operation Center. Departamento de la empresa encargado del monitoreo y gestión de las incidencias de red.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Es una técnica de multiplexación de frecuencia que utiliza multiples portadoras ortogonales superpuestas para la transmisión de datos.
OID	Object Identifier. En un identificador de objeto SNMP en la Base de Información de Gestión.
PoE	Power Over Ethernet. Es una tecnología que permite alimentar eléctricamente a los dispositivos a través del cable Ethernet, definida en los estándares 802.3af, 802.3at y 802.3bt.

QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Es una modulación digital que combina desplazamientos de amplitud y fase de una señal portadora.
RSSI	Received Signal Strength Indicator. Es un indicador de la intensidad de señal recibida por el radio.
SINR	Signal to Interference & Noise Ratio. Es la relación de la intensidad de señal comparada con la interferencia de fuentes externas y el ruido local.
SNMP	Simple Network Management Protocol. Es un protocolo para el intercambio de información de gestión de los dispositivos.
SNR	Signal to Noise Ratio. Es una relación de la intensidad de la señal comparada con el ruido local.
TDD	Time Division Duplexing. Es la técnica de transmisión de datos en ambas direcciones mediante la asignación de intervalos de tiempo para el envío y la recepción de datos.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda el tema sobre la detección de incidencias en los enlaces inalámbricos de última milla de un proveedor de internet de Guatemala. Una incidencia puede definirse como “la interrupción no planificada de un servicio o reducción de la calidad de un servicio” (Ambit, 2020). En las comunicaciones inalámbricas el equipamiento es susceptible a presentar fallas no solo por la degradación de sus componentes, sino principalmente por el medio en el que operan que es el aire libre. Este trabajo tiene como finalidad implementar un sistema de monitoreo que permita detectar las incidencias en este tipo de enlaces de manera que el personal del centro de monitoreo de la empresa cuente con una herramienta para visualizar los eventos que se presenten y responder de forma proactiva ante ellos.

Actualmente, el principal problema que experimenta el personal del NOC es que las fallas en los enlaces inalámbricos se detectan únicamente cuando se presenta una desconexión o reciben un reporte del cliente final. Esto impacta directamente en la operación de los servicios y en el tiempo para su restablecimiento. Por otro lado, el control que se tiene sobre la ubicación, orientación de las antenas y el uso de frecuencias en las torres de telecomunicación también afecta en el diagnóstico y resolución de las incidencias en estos enlaces.

Para solucionar esta problemática se propone la instalación y configuración de un sistema de monitoreo que genere alertas de red y brinde una visualización del estado de los enlaces con ayuda de indicadores sobre su funcionamiento. Entre estos se pueden mencionar, el nivel de señal a ruido, la

interferencia, potencia de las cadenas de transmisión, modulación, data rate y CCQ. Con esto se facilitará la monitorización y notificación de las fallas que puedan darse mucho antes que se produzca una interrupción completa del servicio.

Como beneficios esperados de la implementación de este sistema se pueden mencionar, la mejora del monitoreo en los enlaces inalámbricos, el desarrollo de un nuevo método para detectar las incidencias, la mejora en el control de las frecuencias e instalación de las antenas y la detección proactiva de las fallas.

Para llevar a cabo la solución se dividirá en tres fases. En la primera, se realizará una visita a la torre de telecomunicación de la empresa bajo estudio, en la cual se obtendrán datos de las antenas principalmente su posición y orientación. Adicionalmente, se instalarán dos antenas omnidireccionales para escanear el espectro de frecuencias y tener monitoreo de las fuentes externas de interferencia. En la segunda fase, se implementará el sistema de monitoreo con la información de las antenas de la torre y finalmente se realizará un análisis de las incidencias detectadas. Para la ejecución del proyecto se cuenta con los recursos materiales y humanos necesarios como se describe en la factibilidad del estudio.

En el capítulo 1 se describirán los principales conceptos que serán de utilidad para desarrollar la investigación.

En el capítulo 2 se desarrollará la implementación del sistema de monitoreo desde su instalación y configuración hasta la propuesta del proceso para el monitoreo y detección de incidencias.

En el capítulo 3 se presentarán los resultados obtenidos de las incidencias detectadas por el sistema de monitoreo.

Y finalmente, en el capítulo 4 se analizarán y discutirán los resultados obtenidos.

1. ANTECEDENTES

El primer aporte realizado en Guatemala es el de Allan Flores en 2017, en el cual presenta diversos modelos de servicios de banda ancha para redes inalámbricas. Se centra en las tecnologías inalámbricas celulares, brindando un panorama general de sus antecedentes y evolución desde la primera generación hasta las generaciones del futuro. Aunque el estudio se desarrolla específicamente para las tecnologías 4G/WiMAX, el modelado de redes presentado es aplicable a otras tecnologías, como es el caso del estándar IEEE 802.11. Flores (2017) menciona que de acuerdo con Stallings “los requerimientos importantes en la evaluación de una red son: el retardo promedio de acceso, la máxima transmisión de datos, la utilización de la red y los paquetes perdidos” (p. 75). Estos parámetros son de utilidad para la evaluación de la red y algunas otras propiedades como: “Capacidad del canal, retardo de propagación, número de bits por frame, el protocolo local de la red y el número de estaciones”. Así mismo, el autor destaca los modelos de propagación de las redes inalámbricas, clasificándolos en los siguientes tipos: “empíricos o estadísticos, teóricos o deterministas y semi-empíricos” (p. 79). Entre los modelos presentados, se encuentra el modelo de propagación en el espacio libre, el cual también es utilizado para los enlaces de microondas y permite determinar las pérdidas que sufre la señal de radio frecuencia en el medio de transmisión.

Otro trabajo en relación con el tema es el “Análisis de redes inalámbricas, sus tecnologías, arquitecturas físicas, lógicas y los diferentes componentes para su implementación” (Gómez Morales, 2012). El autor presenta un “análisis situación actual redes inalámbricas en los países en desarrollo” (p. 51), en el cual se resalta la “disminución continua del costo del equipamiento, mientras que la

capacidad de este continúa incrementándose”. Presenta una gráfica que prevé la cantidad de datos móviles por mes para el 2014, de acuerdo con Cisco. En la actualidad, Cisco estima que en Latinoamérica para el 2023 habrá 470 millones de usuarios de internet y la tasa de velocidad promedio será de 59.3 Mbps para las conexiones fijas y de 28.8 Mbps para las conexiones móviles (Cisco, 2020).

Gómez (2012), se destaca el análisis realizado con respecto a la estimación de la capacidad y la planificación de enlaces. El autor menciona que, “para estimar el rendimiento necesario para cada red, debe multiplicarse el número esperado de usuarios por el tipo de aplicación que probablemente vayan a usar”. Sugiere realizar el cálculo en las horas pico tomando en cuenta la latencia permitida. Así como, si el equipamiento inalámbrico “es *half dúplex* (esto es, sólo transmite o recibe, nunca las dos cosas a la vez) debe duplicar el rendimiento requerido” (p. 69). De eso dependerá el consumo promedio del enlace y la percepción que tengan los usuarios sobre el servicio.

En 2007, Morales realiza un estudio sobre el rendimiento del protocolo TCP/IP en redes inalámbricas. En los primeros capítulos, presenta la teoría relacionada a la tecnología, los escenarios de transmisión más comunes y las razones del mal desempeño del protocolo en las redes inalámbricas, los cuales son debidos a los medios inalámbricos y las limitaciones propias del protocolo. En el cuarto capítulo enumera y describe los métodos para solucionar el problema de desempeño. Finalmente, implementa un escenario real con un enlace Wireless 802.11b, en el cual se aplican diferentes mediciones controladas antes y después de aplicar los métodos propuestos. Entre las pruebas realizadas se destacan pruebas de ping, descarga de archivos desde un servidor FTP, subida de archivos al servidor, descarga de archivos desde un servidor HTTP y descarga de páginas de internet. En este trabajo sobresale la metodología empleada, al realizar una práctica para la comprobación de los conceptos.

En el ámbito internacional, se puede mencionar el trabajo “Implementación de un Centro de Operaciones de Red para el Monitoreo de Servicios Inalámbricos en la Empresa Interconexiones Ocaney” (Calderón Lucero, 2021). Los resultados de esta investigación muestran la evaluación de la empresa en tres dimensiones que son: los recursos informáticos, disponibilidad y escalabilidad, así mismo la calificación de la muestra sobre los aspectos de la gestión y el monitoreo de la red, los cuales están basados en las mejores prácticas de ITIL. En cuanto a la metodología, el autor aplicó un enfoque cuantitativo para el análisis de las variables con un alcance explicativo. Como solución al problema de deficiencia en el monitoreo de los servicios, se propone el uso de la herramienta Zabbix y para el registro de las incidencias OSTicket. Así mismo, se describen los procesos a seguir por el NOC para la gestión de la configuración, las incidencias, el registro, la seguridad, capacidad y monitoreo de los servicios inalámbricos.

Como último trabajo se cita: “Implementación de un prototipo de monitoreo de dispositivos de comunicación y usuarios finales utilizando el protocolo SNMP basada en software libre para una empresa e-Commerce” (Quispe Ccuno, 2019). Como resultado de la investigación se implementa un sistema de monitoreo open source para analizar el comportamiento de los dispositivos mediante el uso del protocolo SNMP. Con esto, se mejora el control de los equipos que conforman la red, haciendo uso de dashboards y reportes de alertas y notificaciones que genera el prototipo propuesto basado en OpenNMS. Quispe (2019) realiza un diagnóstico del estado actual de la red tanto de la sede central como las sedes remotas, describe las alarmas encontradas de los principales protocolos como HTTP, HTTPS e ICMP. Las gráficas proporcionadas por el prototipo también le permiten visualizar un “pronóstico de la transmisión de datos fiable por un período de 1 mes en adelante” (p. 96). Con respecto a la metodología empleada sobresale el análisis detallado de cada dispositivo de la red luego de la implementación del sistema.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción general

Conforme la cantidad de nodos inalámbricos de la empresa incrementó, el monitoreo de los enlaces se convirtió en una tarea más compleja y de suma importancia para la atención de las fallas. La implementación de un sistema de monitoreo que obtuviera gráficas de los enlaces como el consumo de ancho de banda y su capacidad, ayudó verificar inconvenientes de saturación y latencia que se estaban presentando entre los nodos, sin embargo, esta solución se enfocó para los enlaces Wireless troncales de la red y no para el resto de las instalaciones inalámbricas de las torres de telecomunicaciones. La razón de esto es porque el inconveniente principal se encontraba en los enlaces de backbone y al mejorarlos, los reportes de los usuarios disminuyeron. Pero, el uso de tecnologías inalámbricas en última milla amerita especial atención, ya que, al utilizar el espacio libre para la transmisión, compiten en el uso de recursos con las demás redes y adicionalmente los factores climáticos pueden afectar el funcionamiento y degradar la calidad de los enlaces

Actualmente, el problema central es que las fallas o incidencias en los enlaces inalámbricos son atendidas hasta que se detecta la desconexión total de los enlaces o los usuarios reportan inestabilidad en su servicio. Ya que no se cuentan con alertas programadas para el monitoreo que tomen en cuenta los demás parámetros de los enlaces como, por ejemplo, el nivel de señal a ruido, la interferencia, potencia de las cadenas de transmisión, modulación, data rate y CCQ. Esta carencia en el monitoreo produce que se tengan mayores tiempos

para el restablecimiento de los servicios afectados y la respuesta sea reactiva ante los eventos presentados.

2.2. Delimitación del problema

La investigación se pretende realizar en el centro de operaciones de red de una empresa de telecomunicaciones ubicada en la ciudad de Guatemala. La empresa cuenta con una gran cantidad de torres de telecomunicaciones distribuidas en varias regiones del país. Debido al tiempo para el desarrollo de la investigación, se trabajará con los enlaces de una torre ubicada en la ciudad, con el fin de obtener los principales parámetros que ayuden a los operadores de la red a detectar las incidencias antes que se produzca una mayor afectación de los servicios. El tiempo estipulado para el desarrollo del trabajo es en los primeros 6 meses del año 2023.

2.3. Pregunta central de la investigación

¿Cómo detectar las incidencias de los enlaces inalámbricos instalados una torre de una empresa de telecomunicaciones de Guatemala?

2.4. Preguntas auxiliares de la investigación

- ¿Cuál es el procedimiento para el monitoreo y la detección de incidencias de los enlaces inalámbricos?
- ¿Cómo notificar a los operadores de la red sobre las incidencias en los enlaces de microondas de manera eficiente?

- ¿Cómo visualizar las incidencias de los enlaces de microondas para facilitar el diagnóstico de la falla a los operadores de la red?
- ¿Cómo llevar un control del uso de frecuencias e interferencia del espectro en el área donde se encuentra ubicada la torre de telecomunicación?
- ¿Cómo evaluar las incidencias detectadas en los enlaces inalámbricos?

3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación contribuirá a resolver un problema práctico en el ámbito del monitoreo de las comunicaciones inalámbricas por microondas, las cuales hoy en día son un medio muy utilizado para el transporte de datos entre dos puntos debido a las capacidades que ofrecen, en este caso la tecnología es empleada para brindar servicios de internet a los usuarios. Así mismo, los resultados del estudio ayudarán a comprender la importancia de contar con procesos definidos para el control, monitoreo y registros de configuración de los enlaces inalámbricos, que debido a muchos factores físicos son susceptibles a presentar fallas. Por otro lado, mediante la investigación se desarrollará un método para analizar las variables de estudio en una empresa proveedora de servicios particular, pero puede aplicarse en otras empresas del sector de las telecomunicaciones.

La solución al problema planteado en la investigación permitirá mejorar el proceso de detección de fallas con lo cual se espera reducir el tiempo de afectación de los servicios, proporcionando mayor valor para la empresa y sus usuarios. Los operadores de la red también serán beneficiados al brindarles una herramienta y un procedimiento definido para la detección y diagnóstico inicial de las incidencias. Se facilitará la gestión de la información y monitoreo de los enlaces a través de la implementación de un sistema.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Implementar un sistema de monitoreo para la detección de incidencias en los enlaces inalámbricos instalados en una torre de telecomunicaciones de una empresa de Guatemala.

4.2. Específicos

- Establecer el procedimiento a seguir por el centro de operaciones de red para el monitoreo y detección de incidencias de los enlaces inalámbricos.
- Configurar alertas de monitoreo que notifiquen a los operadores de la red las incidencias en los enlaces inalámbricos de acuerdo con rangos de operación definidos para los parámetros.
- Diseñar un panel de visualización para el reconocimiento de incidencias que se presenten en los enlaces inalámbricos.
- Proponer un método para el control del uso de frecuencias y monitoreo del espectro en el área de la torre de telecomunicaciones.
- Analizar las incidencias detectadas en los enlaces inalámbricos por el sistema de monitoreo implementado.

5. NECESIDADES A CUBRIR

La investigación contribuirá a resolver una problemática en el ámbito laboral, cubriendo las siguientes necesidades:

- Registro de la posición, orientación y uso de frecuencias de los enlaces de microondas ubicados en una torre de la empresa de telecomunicaciones.
- Detección proactiva de incidencias en los enlaces inalámbricos a través de la implementación de un sistema de monitoreo con paneles de visualización y alertas de fallas por categorías.
- Establecimiento del proceso para el monitoreo y detección de incidencias de los enlaces inalámbricos.
- Monitoreo del espectro de frecuencias en una torre de telecomunicaciones de la empresa.

5.1. Esquema de la solución

En la primera fase para la solución del problema se hará una visita a la torre de telecomunicación con el fin de obtener los datos de instalación de las antenas, como la posición en la torre, orientación, modelo y número de serie del equipo. Para obtener información de la utilización del espectro de frecuencias se propondrá la instalación de dos antenas omnidireccionales, las cuales también serán una fuente de información para detectar incidencias desde el sistema. Se complementará con los datos que se pueden obtener desde el centro de

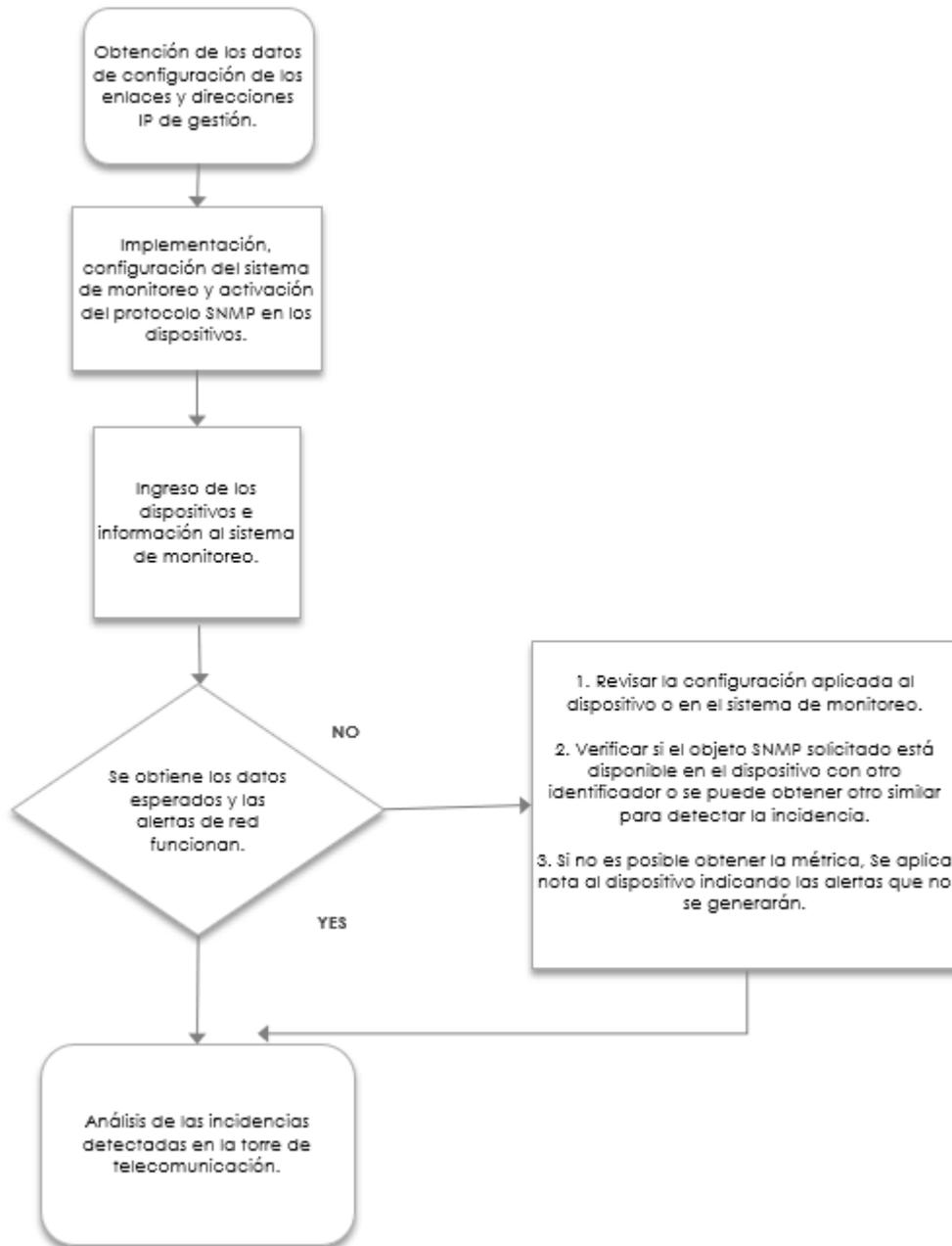
operaciones de red como la dirección IP de cada dispositivo, la frecuencia del enlace, ancho del canal y velocidad contratada del servicio. Esto servirá para alimentar el sistema de monitoreo que se implementará.

En la segunda fase del proyecto se configurará el sistema de monitoreo con las plantillas, grupos de dispositivos, categorías, mapas, clasificación de las alarmas, panel de visualización y gráficas, el método de notificación a los operadores y se definirá la forma de manejar los umbrales en los parámetros de los enlaces para las alertas. Se procederá a ingresar al sistema los dispositivos e información necesaria obtenida en la fase 1 y se aplicará a cada elemento la configuración que le corresponda. Los parámetros de los enlaces se monitorearán mediante el uso del protocolo SNMP, el cual se activará en los dispositivos previamente. En esta etapa se revisarán que se obtengan los parámetros esperados para cada dispositivo y se generen las alertas ante las incidencias.

Para el monitoreo de los parámetros, se buscará en la documentación proporcionada por los fabricantes, los identificadores específicos de los objetos a monitorear, en caso no se cuente con esta información, se aplicará una nota al dispositivo indicando las alertas que no se generarán.

En la tercera fase, de acuerdo con los datos recopilados por el sistema de monitoreo y las alertas generadas se analizarán las incidencias que presentan los enlaces inalámbricos de la torre, durante un tiempo determinado. La finalidad de esto es evaluar si las fallas se detectan de forma eficiente y brindan una ayuda a los operadores de la red para continuar con el proceso de diagnóstico y resolución de los problemas.

Figura 1. Esquema de la solución

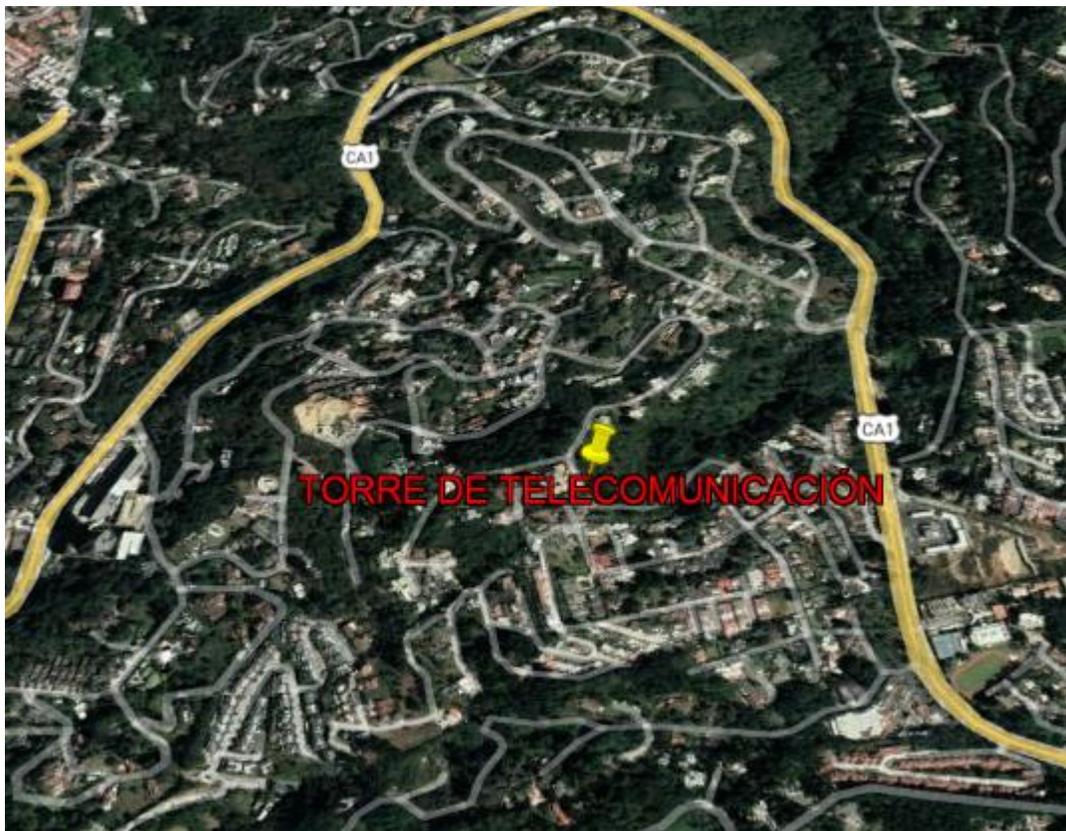


Fuente: elaboración propia, realizado con Google Microsoft Excel.

5.2. Ubicación de torre de telecomunicación para el estudio

Los dispositivos bajo estudio se encuentran ubicados en una torre de telecomunicaciones en la zona 15 de la ciudad de Guatemala.

Figura 2. **Localización de torre de telecomunicación para el proyecto**



Fuente: elaboración propia, realizado con Google Earth Pro.

6. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los conceptos teóricos que serán de utilidad para el desarrollo de la investigación.

6.1. Enlaces inalámbricos

Los enlaces inalámbricos son un medio de comunicación que mediante el uso ondas electromagnéticas permiten enviar y recibir información entre dos puntos a través del aire libre. Se emplean comúnmente en escenarios donde la instalación de fibra óptica es complicada para brindar acceso a internet o conexiones de datos a los clientes de un proveedor de servicios. Su principal ventaja es el ahorro en los costes y un menor tiempo de implementación comparado con las instalaciones cableadas. Sin embargo, son vulnerables a factores climáticos, interferencia de fuentes externas y descargas electro atmosféricas, por lo cual requieren una supervisión continua de su funcionamiento.

6.1.1. Componentes

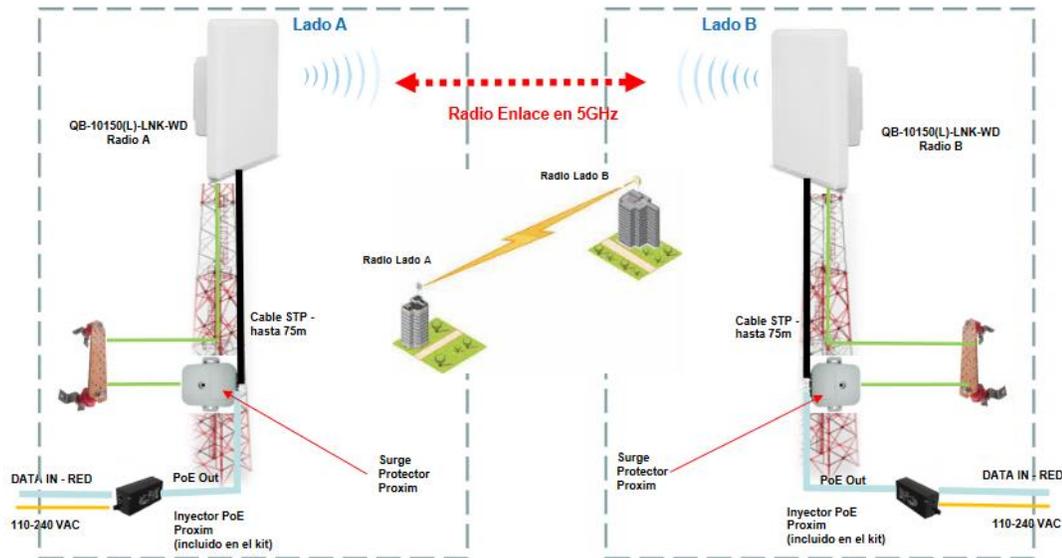
Los principales componentes de un enlace inalámbrico son los siguientes:

- Radios: son los equipos encargados de procesar las señales inalámbricas y los datos digitales provenientes de los equipos de telecomunicación.
- Antenas: encargadas de dirigir o enfocar la señal hacia un punto remoto y aumentar el nivel de señal tanto entrante como saliente de la antena. Entre

sus características se encuentra la ganancia, directividad, patrón de radiación, polarización y construcción física.

- Cableado: para la transmisión de los datos entre los equipos de telecomunicación activos y el radio, los cuales pueden ser de fibra óptica o cobre; así como las líneas de transmisión coaxiales entre el radio y la antena.
- Adaptadores PoE: los cuales permiten encender los equipos sin necesidad de desplegar cableado eléctrico hasta la ubicación de la antena. Comúnmente se emplean de 24, 48 y 50 V según el estándar y especificaciones del fabricante para cada radio.
- Protectores de sobre tensión: son dispositivos diseñados para proteger los radios de los transientes o picos de voltaje. Estos son de suma importancia, ya que evitan daño a los equipos por mal estado del suministro eléctrico.
- Accesorios de montaje: comprenden todos los herrajes o soportes, elementos de sellado y cables de conexión a tierra de los equipos. Son parte fundamental para la sujeción del equipamiento a la torre o mástil y protección del radio frente a los factores climáticos.

Figura 3. Componentes de un enlace inalámbrico

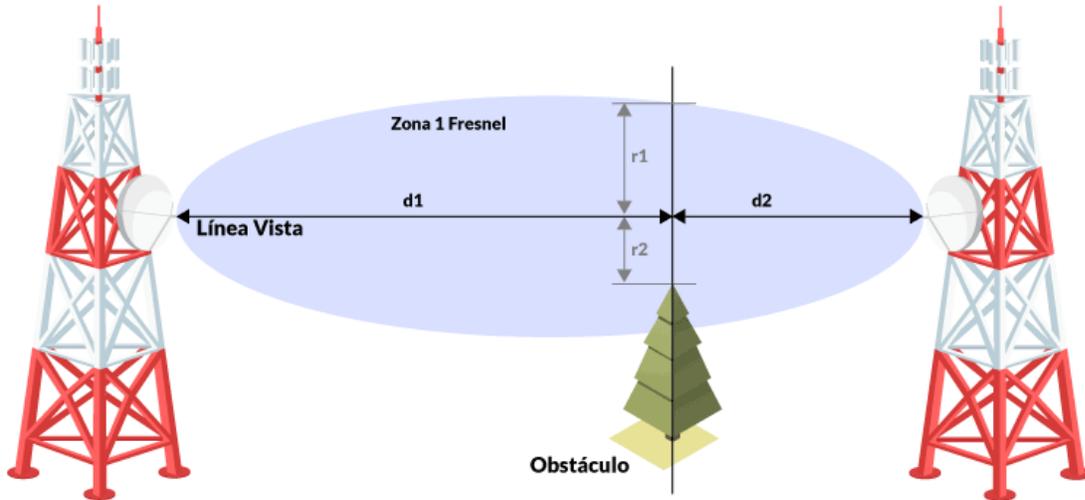


Fuente: Castillo (2020). *Componentes y accesorios del Sistema de Radio Enlaces PtP & PtMP*. Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de <http://www.proxim.com/downloads/webinar-recordings/Webinar-ProximWireless-Componentes-y-Accesorios-del-Sistema-de-Radio-Enlaces-PtP-PtMP.pdf>.

6.1.2. Zonas de Fresnel

De acuerdo con la teoría de propagación de las ondas electromagnéticas, las zonas de Fresnel son volúmenes del espacio entre el emisor y receptor de un enlace inalámbrico que delimitan los puntos donde la señal se transmite sin reflejarse o refractarse entre su línea de visión. Para un funcionamiento adecuado del enlace “la primera zona de Fresnel debe estar libre en un 60 % a lo largo de toda su extensión” (Martínez, 2018).

Figura 4. **Zona 1 de Fresnel**

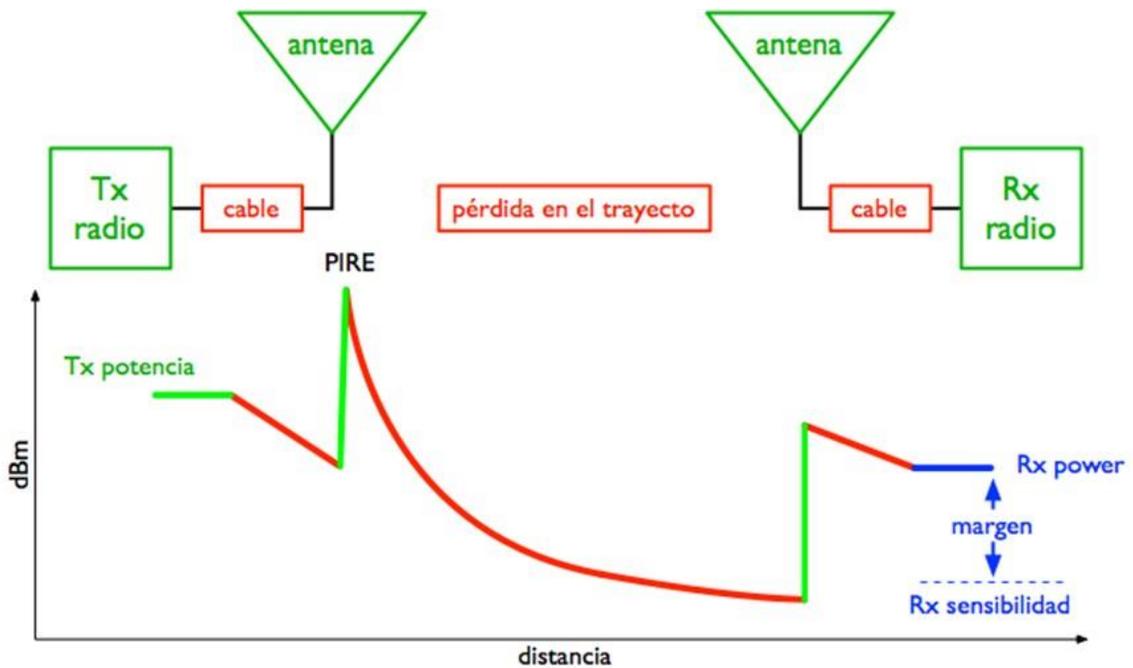


Fuente: Martínez (2018) *Zonas de Fresnel*. Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>.

6.1.3. **Presupuesto de potencia**

Se refiere al cálculo teórico que se realiza para estimar la potencia que se recibirá en el punto remoto a una frecuencia y distancia determinada. Este presupuesto permite determinar si es posible alcanzar cierta modulación y por ende capacidad del enlace si se supera el valor de sensibilidad mínimo para que el radio reconozca la señal.

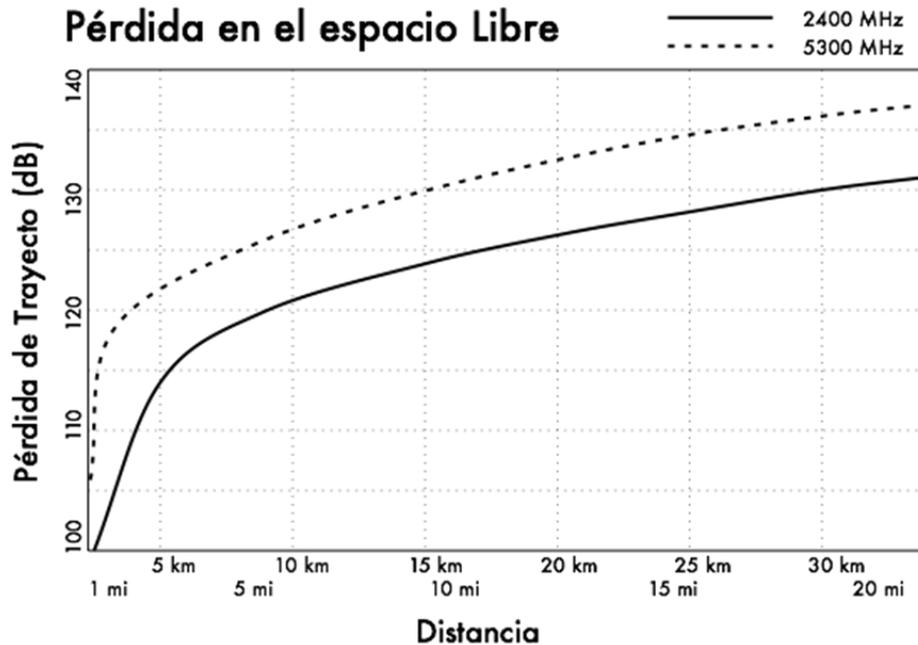
Figura 5. Presupuesto de potencia



Fuente: Correa Guzmán (2015). *Cálculo del presupuesto de potencia*. Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/5387430/>.

El balance se obtiene mediante la suma de la potencia generada por los radios, las ganancias de las antenas, las pérdidas de potencia en los cables y la pérdida en el trayecto o espacio libre. El valor de potencia en el receptor se compara con la sensibilidad del radio para determinar si la señal recibida podrá ser reconocida. Entre la potencia recibida y la sensibilidad del radio se obtiene un margen de guarda para que en caso existan variaciones en el nivel señal, el enlace permanezca estable. En la práctica se recomiendan márgenes de 10 dB o superiores.

Figura 6. Pérdida en el espacio libre



Fuente: Correa Guzmán (2015). *Cálculo del presupuesto de potencia*. Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/5387430/>.

Las pérdidas en el espacio libre aumentan entre más alta es la frecuencia y mayor es la distancia del enlace. Hoy en día, existen muchas herramientas en línea para realizar este cálculo que permite determinar si es factible o no su instalación antes de ir al sitio. Entre ellas se pueden mencionar Radio Mobile, Linkplanner y Pathloss.

6.2. Parámetros de los enlaces inalámbricos

A continuación, se presentan los principales elementos que caracterizan un enlace inalámbrico.

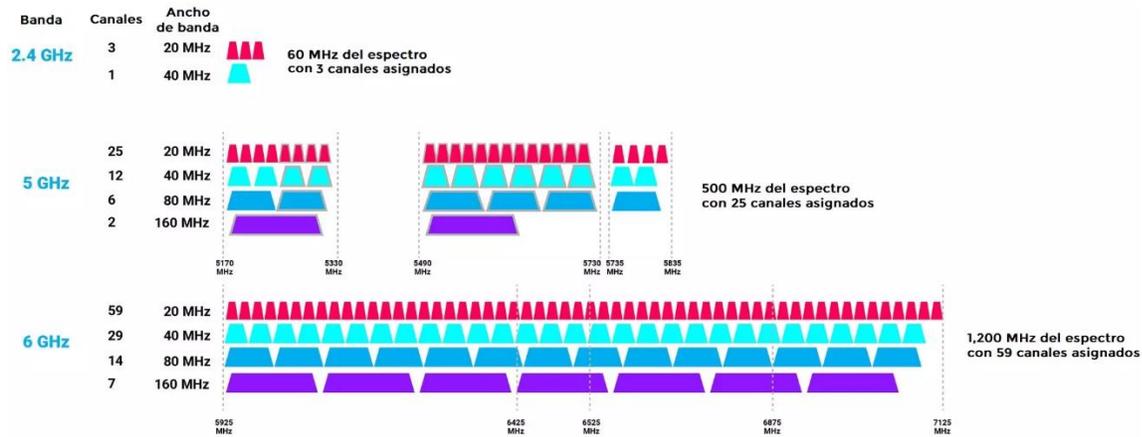
6.2.1. Frecuencia

Para su operación el enlace se configura con una o dos frecuencias portadoras dependiendo de las características del radio y la aplicación para la que este destinado. Los enlaces FDD o de doble frecuencia manejan por separado la transmisión y la recepción, es decir son full dúplex. Los que utilizan una sola frecuencia son half dúplex, asignan intervalos de tiempo para el envío y recepción con una técnica conocida como TDD. A menor frecuencia las señales se propagan a una mayor distancia y con una mejor penetración, sin embargo, las mayores tasas de datos se alcanzan a frecuencias más altas.

El uso del espectro para los enlaces inalámbricos está dividido en bandas de frecuencias licenciadas y no licenciadas, las cuales son designadas por organismos a nivel mundial y regional. En Guatemala, la institución encargada de administrar y supervisar el uso del espectro radioeléctrico es la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT, s.f.).

Entre las bandas consideradas sin licencia en muchos países se encuentran principalmente la de 2.4, 5 y 6 GHz para las tecnologías Wireless y algunas propietarias de los fabricantes de equipos. Aunque en cada país existen regulaciones de potencia o anchos de canal máximos para cada banda. El rango de la frecuencia de 2.4 GHz tiene la característica que posee un mayor alcance de transmisión y penetración, pero tiene la limitante en el ancho de banda que es de 60 MHz. En el caso de las otras bandas poseen más canales disponibles lo cual permite tener una mayor cantidad de enlaces o dispositivos con mejores tasas de transferencia de datos.

Figura 7. **Bandas de frecuencia**



Fuente: López (2022). *Aprende todo sobre las bandas de frecuencia Wi-Fi: 2.4GHz, 5 GHz y 6GHz*. Consultado el 20 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/>.

Existen otras frecuencias menos utilizadas, pero con una gran capacidad de transmisión de datos, entre ellas se encuentran las bandas de 11, 24 y 60 GHz. Sin embargo, conforme la frecuencia de un radio enlace aumenta, a partir de los 10 GHz “se producen atenuaciones de la señal debidas a la absorción y dispersión causadas por hidrometeoros, como la lluvia, el granizo o la niebla” (Ramos, s.f.). Este fenómeno afecta la comunicación de los puntos remotos especialmente en época de invierno, ya que el enlace se desconecta continuamente debido al desvanecimiento de la señal.

Para este estudio, la mayor parte de los enlaces inalámbricos se encuentran ubicados en la banda de 5 GHz. En ese caso, se cuenta con 25 canales de 20 MHz, 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz. En esta banda se reserva un rango de canales denominados DFS, que pueden ser utilizados según indica el estándar 802.11, pero son propensos a cambiar dinámicamente si existe un radar en el medio que haga uso de la

frecuencia, esto afecta la comunicación por un período de tiempo en el que se selecciona un canal alternativo para el enlace (López, 2022).

6.2.2. Ancho del canal

Es la propiedad que tienen los enlaces para incrementar la cantidad de información que se puede transmitir en determinado tiempo al disponer de un rango más amplio de frecuencias. Los operadores varían este parámetro en los casos que desean obtener mayores velocidades en el enlace para cumplir con el requerimiento solicitado. Sin embargo, un canal muy ancho puede resultar contradictorio, ya que se captura más interferencia y se reduce la densidad de potencia de la señal. Dependiendo del fabricante de los equipos se pueden seleccionar anchos de canal variables, por ejemplo, en múltiplos de 10 MHz, los valores por defecto son canales de 20, 40 u 80 MHz para la banda de 5 GHz.

6.2.3. Potencia de transmisión

Se refiere a la intensidad con que se transmite o recibe la señal de radio frecuencia. Al aumentar la potencia en uno de los radios se incrementa el nivel de señal que se transmite, sin embargo, esto no significa que también se incremente la potencia con que se recibe la señal del otro radio. Para ello, es preferible utilizar antenas con un mayor ganancia, cuyo efecto mejora la intensidad de la señal en ambas direcciones.

La suma de la potencia del radio, la ganancia y la pérdida del cable es conocida como EIRP e indica el nivel de señal a la salida de la antena. Así mismo, el nivel de señal medido al ingreso del radio es conocido como RSSI, el cual toma en cuenta la potencia de la señal y ganancia en la antena receptora (Premachandran, 2010).

6.2.4. Modulación

La modulación es otro parámetro que juega un papel importante en la velocidad de los enlaces. A partir de la tecnología 802.11ac se implementan radios capaces de manejar modulaciones de 256QAM y 1024QAM, permitiendo alcanzar tasas de datos mayores a los 500 Mbps dependiendo del ancho del canal seleccionado. Para lograrlo, hacen uso de la multiplexación ortogonal de frecuencia OFDM y la tecnología MIMO, lo cual mejora enormemente la tasa de transmisión de datos.

Una característica de las tecnologías Wireless 802.11n/ac de los equipos utilizados hoy en día es la adaptación automática de la modulación. Esto permite aumentar o disminuir las tasas de datos de los enlaces según los niveles de señal recibidos por los radios. Sin embargo, en un ambiente de mucha interferencia, las tasas adaptativas provocan inestabilidad en la transmisión de la información, especialmente cuando el tráfico del enlace es alto. En la práctica se recomienda fijar las modulaciones máximas que se logran establecer con el fin de evitar los saltos constantes entre los órdenes de modulación.

6.3. Estado de los enlaces inalámbricos

A continuación, se describen los principales indicadores del funcionamiento de los enlaces, los cuales serán empleados para la detección de incidencias en la práctica de esta investigación.

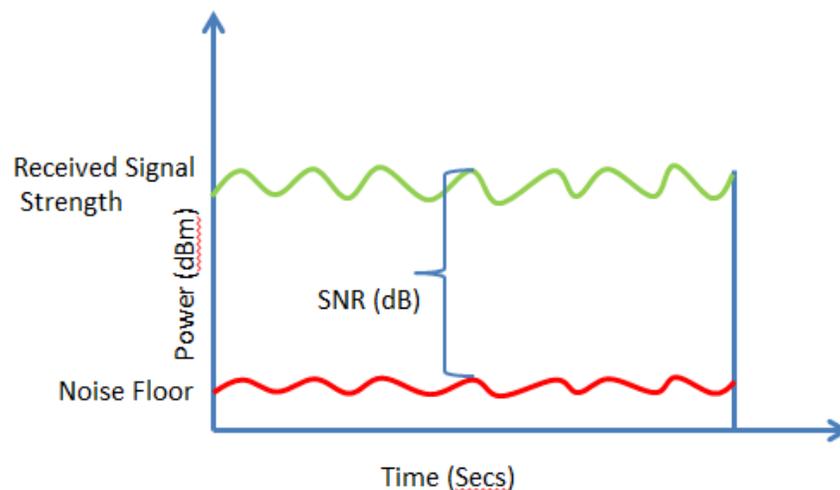
6.3.1. Relación señal a ruido

Se refiere a la diferencia entre el nivel de señal recibido por el radio comparado con el ruido en el sitio. Las principales fuentes son el ruido térmico,

el generado por los componentes del radio y la interferencia de señales externas que existen en el ambiente. Entre mayor sea esta relación, el radio receptor tiene la capacidad de decodificar la información sin errores con lo cual se evitan las retransmisiones.

El ruido térmico está relacionado directamente con el ancho del canal de frecuencias del enlace. Al aumentar el canal así también aumenta el ruido térmico, disminuyendo el nivel de señal recibido. Así mismo, un radio puede estar recibiendo la cantidad de señal suficiente para lograr la modulación y velocidad deseada, sin embargo, si el nivel de ruido presente es muy alto habrá mucha interferencia y los equipos no podrán reconocer las tramas teniendo que retransmitirlas. En la práctica se recomienda un SINR de 30 dB o superior.

Figura 8. **Relación señal a ruido**



Fuente: Venn (2020). *How To Interpret SINR parameters in 2G, 3G and LTE routers.*

Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de:

<https://help.venntelecom.com/support/solutions/articles/44001931194-how-to-interpret-sinr-parameters-in-2g-3g-and-lte-routers->

Algunos autores diferencian la relación señal a ruido o SNR que toma en cuenta únicamente el piso de ruido y ruido térmico del SINR el cual añade la interferencia del ruido causado por las señales de fuentes externas cercanas a la frecuencia de operación. Ésta representa una medida más cercana al valor real, ya que toma en cuenta las señales del medio en cual se encuentra el equipo. Si la interferencia se reduce a cero, el SINR se convierte en la relación SNR conocida (How To Interpret SINR parameters in 2G, 3G and LTE routers., 2020).

6.3.2. Potencia de las cadenas de transmisión

Las cadenas de transmisión son los radios que generan y reciben las señales moduladas hacia y desde la antena con determinada polarización, comúnmente vertical y horizontal. Al momento de alinear las antenas se utilizan los valores de potencia recibidos por las cadenas de transmisión para determinar si la señal de ambas antenas se encuentra sincronizadas en acimut y elevación. Los valores muy separados en esta medición, por ejemplo, -65 dB / -73 dB pueden indicar que una de las antenas se movió de su posición original, provocando que el enlace disminuya su capacidad y se afecte la calidad de la transmisión. Una buena alineación de las cadenas es aquella cuyos valores tienen una diferencia menor a 3 dB, idealmente cero.

6.3.3. Calidad de conexión del cliente CCQ

Representa una medida de la calidad del enlace expresada en porcentaje que mide la eficiencia del uso del ancho de banda del enlace comparando las cantidad de tramas transmitidas a cierta velocidad con las que son retransmitidas (Manual:Wireless FAQ, 2020). Este factor es otra medida que puede denotar el grado de interferencia que tiene el enlace, ya sea por obstáculos presentes en la

línea vista del enlace o altos niveles de ruido en el canal de la frecuencia portadora.

6.3.4. Otros indicadores

Además de los indicadores de funcionamiento de los enlaces inalámbricos mencionados anteriormente también son de utilidad los siguientes para la detección de incidencias:

- Tiempo de aire utilizado por las estaciones.
- Saturación por consumo del tráfico de red.
- Interferencia de redes externas.
- Retransmisiones excesivas de las tramas.
- Tasa de error de bit.
- Latencia o tiempos de respuesta elevados.
- Velocidad de negociación de la interfaz de datos.
- Uso de recursos como la memoria RAM y CPU.
- Temperatura de los equipos de transmisión.

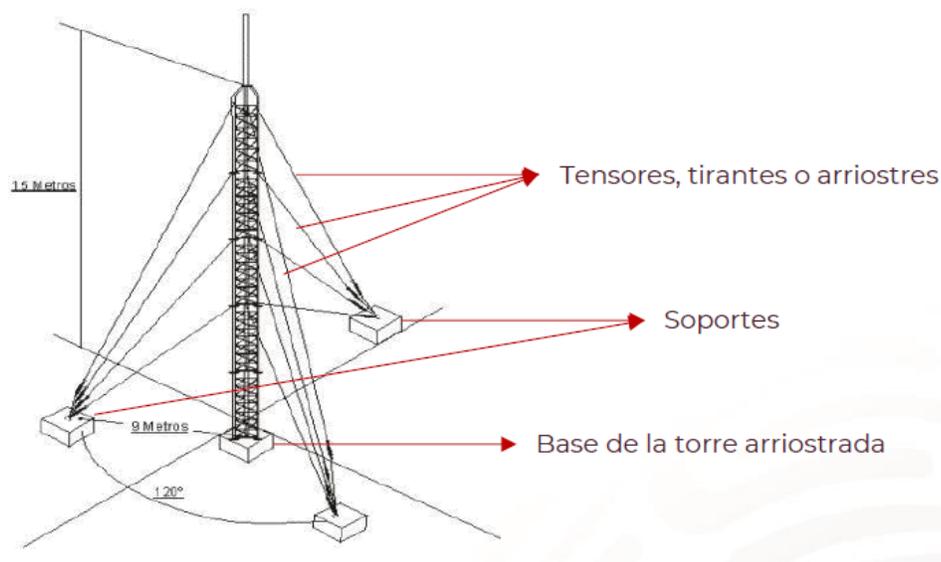
6.4. Torres de telecomunicación

Las torres de telecomunicación son estructuras metálicas que se instalan en diferentes zonas como la azotea de un edificio o un terreno libre para colocar las antenas a una mayor altura con el fin de superar los obstáculos que impidan la línea vista entre los equipos. Existen diversos tipos de torres, entre ellas están las de monopolo, macropostes, autosoportadas, arriostradas y mástiles. (Guía de infraestructura de telecomunicaciones, 2019)

En particular en la empresa donde se desarrollará esta investigación, se emplean torres arriostradas sostenidas con tensores de acero. Están construidas con secciones de 6 metros y tienen una altura aproximada de 60 metros, en el caso de las torres más altas. Para poder ubicar una antena en la torre se propone dividir cada sección en unidades de 1 metro diferenciando su posición en el plano horizontal mediante su orientación en grados.

En los puntos remotos las antenas de los usuarios se instalan sobre mástiles en las azoteas o puntos altos de los edificios.

Figura 9. **Torre de telecomunicación arriostrada o atirantada**

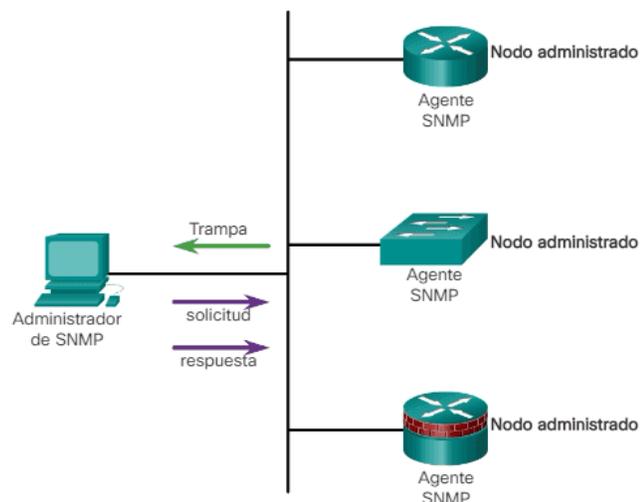


Fuente: *GUÍA DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483497/Gu_a_Infraestructura_Telecomunicaciones.pdf.

6.5. Protocolo SNMP

SNMP es un protocolo de la capa de aplicación del modelo OSI que dicta la manera de cómo se organizan y accesa a los datos de los dispositivos de red como servidores, equipos de telecomunicación y en general cualquier hardware o software que este interconectado a la red e implemente el agente en su sistema. Actualmente existen tres versiones del protocolo, SNMP v1, v2 y v3 cuya principal diferencia es el grado de seguridad que poseen. La versión 1 del protocolo sondea los datos sin encriptar lo cual es un riesgo para redes grandes o que permiten que los dispositivos tengan salida a internet. La versión 2 agrega aumenta el tamaño de los contadores de 32 a 64 comparado con su predecesora, sin embargo, presenta el mismo inconveniente de encriptación de los datos. En la versión 3 se agrega seguridad al protocolo mediante la autenticación, autorización y encriptación opcional de los datos (SNMP, s.f.).

Figura 10. **Funcionamiento del protocolo SNMP**

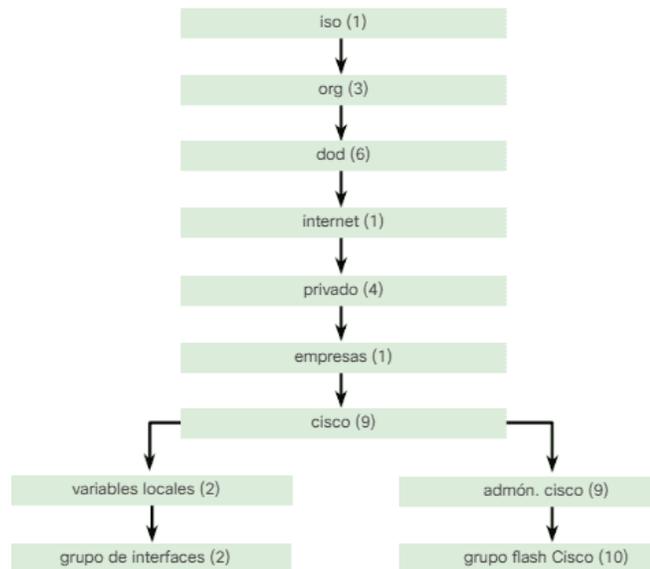


Fuente: *SNMP: Funcionamiento y Configuración*. Consultado el 25 de octubre de 2022.
Recuperado de: <https://ccnadesdezero.es/snmp-funcionamiento-configuracion/>.

El protocolo SNMP consta de los siguientes elementos que en conjunto permiten monitorizar los dispositivos:

- Agente: componente o módulo de software del dispositivo que conoce la información de la operación y uso de recursos como por ejemplo la memoria, procesamiento y tráfico de las interfaces y convierte los datos a un formato apto para el sistema administrador.
- NMS: sistema que administra la red SNMP y colecta toda la información proporcionada por los agentes mediante una solicitud de los datos o el envío por parte de los dispositivos cuando se produce un evento. En redes de telecomunicaciones con una gran cantidad de equipos la utilización de los recursos suele ser elevada por lo cual la implementación de mas de un sistema mejorará el rendimiento y monitoreo de los dispositivos.
- Base de información de gestión (MIB): es la estructura jerárquica en forma de árbol que representa la información almacenada por el dispositivo. En otras palabras, es el diccionarios o ruta de los objetos que pueden ser leídos por el sistema. Las MIBs organizan la información por grupos de identificadores de objetos OID, los cuales son recorridos por niveles de acuerdo con su definición. El estándar define los objetos o variables públicas para que los fabricantes las implementen dentro de los agentes, pero cada proveedor puede definir las propias según las características de diseño de sus dispositivos.

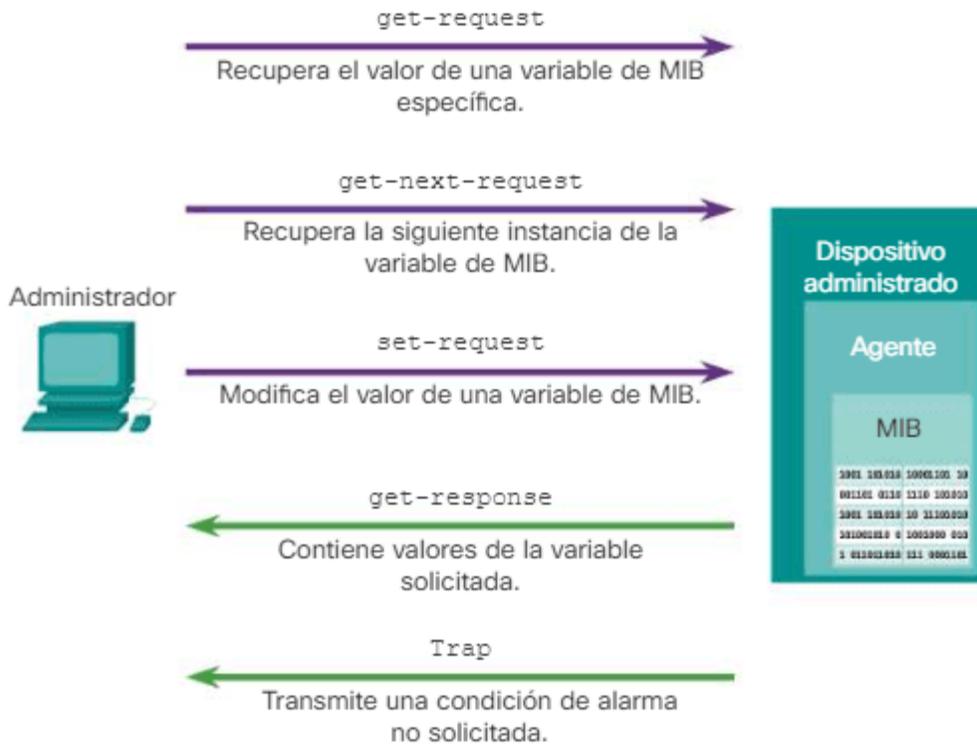
Figura 11. Estructura de la MIB



Fuente: *SNMP: Funcionamiento y Configuración*. Consultado el 25 de octubre de 2022.
Recuperado de: <https://ccnadesdecero.es/snmp-funcionamiento-configuracion/>.

- Tipos de mensaje: la obtención de los objetos se realiza mediante solicitudes o traps de la información manejada por los agentes. Entre los mensajes SNMP definidos por el protocolo están: GetRequest, GetNextRequest, SetRequest, GetResponse y Trap.

Figura 12. Intercambio de mensajes SNMP



Fuente: *SNMP: Funcionamiento y Configuración*. Consultado el 25 de octubre de 2022.
Recuperado de: <https://ccnadesdecero.es/snmp-funcionamiento-configuracion/>.

- Comunidad y puertos: la comunidad es un mecanismo de autenticación para que los sistemas de administración puedan acceder a las MIBs. Se configuran en los dispositivos con acceso de solo lectura o lectura y escritura con lo cual se pueden establecer las configuraciones desde el NMS. Son cadenas de texto o nombres que no se encriptan dentro del protocolo e indican a que servidor será enviada la información en el puerto 161 y 162 de UDP. Adicional, en los agentes se puede configurar la dirección IP del servidor del cual se permiten las solicitudes de mensajes.

7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Enlaces inalámbricos
 - 1.1.1. Componentes
 - 1.1.2. Zonas de Fresnel
 - 1.1.3. Presupuesto de potencia
- 1.2. Parámetros de los enlaces inalámbricos
 - 1.2.1. Frecuencia
 - 1.2.2. Ancho del canal
 - 1.2.3. Potencia de transmisión
 - 1.2.4. Modulación
- 1.3. Estado de los enlaces inalámbricos
 - 1.3.1. Relación de señal a ruido
 - 1.3.2. Potencia de las cadenas de transmisión
 - 1.3.3. Calidad de conexión del cliente CCQ
 - 1.3.4. Otros indicadores
- 1.4. Torres de telecomunicación
- 1.5. Protocolo SNMP

2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

- 2.1. Instalación y configuración
- 2.2. Caracterización y definición de umbrales de operación
- 2.2. Bases de información de gestión de enlaces
- 2.3. Diseño del panel de visualización
- 2.4. Diseño y configuración de alertas
- 2.6. Uso y control de frecuencias
- 2.7. Monitoreo de enlaces
- 2.8. Detección de incidencias

3. RESULTADOS

- 3.1. Cantidad de incidencias detectadas por saturación del enlace.
- 3.2. Cantidad de incidencias detectadas por solapamiento en frecuencias.
- 3.3. Cantidad de incidencias detectadas por variación en la negociación de la velocidad de la interfaz.
- 3.4. Cantidad de incidencias detectadas por variación de la potencia de las cadenas de transmisión más de 3 dB.
- 3.5. Cantidad de incidencias detectadas por disminución del SINR.
- 3.6. Cantidad de incidencias detectadas por disminución de la capacidad del enlace
- 3.7. Cantidad de incidencias detectadas por flaping de la modulación o data rate.
- 3.8. Cantidad de incidencias detectadas por valores de CCQ inferiores al 50 %.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

8. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología que se empleará para el desarrollo de la investigación.

8.1. Diseño de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará un diseño no experimental transeccional descriptivo, ya que se recolectarán los parámetros de los enlaces inalámbricos instalados en una torre de telecomunicación en un momento determinado. La variable independiente (detección de las incidencias) será analizada según los datos recabados por el sistema de monitoreo. Se plantea un enfoque cuantitativo, ya que se obtendrán los resultados de la cantidad de incidencias detectadas de cada tipo.

8.2. Revisión documental

Para el desarrollo del proyecto se revisará la documentación de los enlaces y la torre bajo estudio con la que cuenta la empresa para fines de recolección de los datos que sean necesarios ingresar al sistema de monitoreo y con lo cual se puedan detectar incidencias.

8.3. Plan de muestreo

Se escoge un plan de muestreo no probabilístico por conveniencia. Ya que se obtendrán mediciones de la variable independiente de un grupo de objetos (los enlaces inalámbricos) a los cuales se tiene acceso y representan la totalidad

de la población bajo estudio. Se obtendrán las mediciones que representarán el estado de los enlaces en un tiempo determinado y con esto se detectarán las incidencias.

8.4. Diseño de instrumentos de recolección de datos

La recolección de los datos se hará a través del sistema con el monitoreo de los parámetros de los enlaces inalámbricos. Este sistema se configurará para detectar las incidencias de forma que el departamento del NOC pueda visualizarlas y recibir notificaciones cuando se presenten.

8.5. Trabajo de campo

El trabajo en campo consistirá en la visita a una torre de telecomunicación de la empresa para recabar los datos de utilización del espectro de frecuencias, ubicación y orientación de las antenas en la torre. Así mismo, se instalarán dos antenas omnidireccionales con el fin de escaenar el espectro de frecuencias del lugar.

8.6. Operacionalización de las variables

- Cantidad de incidencias detectadas por saturación del enlace.
- Cantidad de incidencias detectadas por solapamiento en frecuencia.
- Cantidad de incidencias detectadas por variación en la negociación de la velocidad de la interfaz.
- Cantidad de incidencias detectadas por variación de la potencia de las cadenas de transmisión más de 3 dB.
- Cantidad de incidencias detectadas por disminución del SINR.

- Cantidad de incidencias detectadas por disminución de la capacidad del enlace
- Cantidad de incidencias detectadas por flapping de la modulación o data rate.
- Cantidad de incidencias detectadas por valores de CCQ inferiores al 50 %.

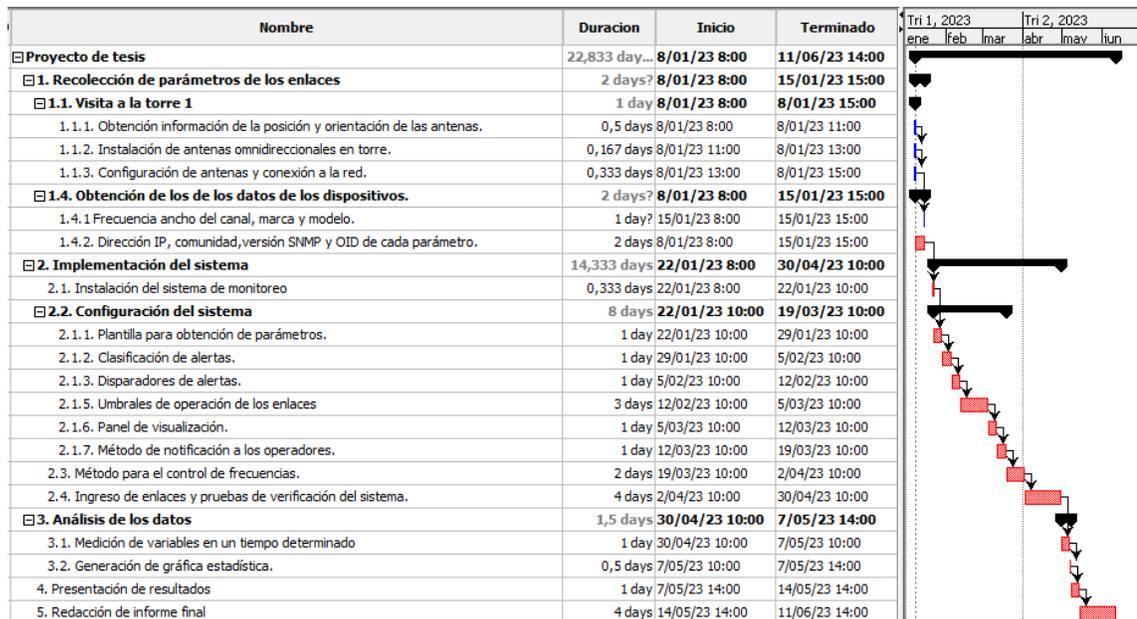
9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de los datos recabados por el sistema de monitoreo se utilizará la estadística descriptiva con el método de distribución de frecuencias de las variables del estudio. Se utilizará el programa Microsoft Excel, el cual tiene la capacidad de generar gráficas de barras, histogramas, polígonos, gráficos 2D, entre otros. El propósito de este análisis es mostrar la cantidad de incidencias detectadas por el sistema de monitoreo como solución al problema que tienen el departamento del NOC en la visualización y notificación de las fallas que presentan los enlaces de uno de los nodos de la empresa.

10. CRONOGRAMA

A continuación, se muestra el cronograma de actividades a realizar para el desarrollo de la investigación, la cual tiene una duración de 23 semanas, iniciando con la recolección de los parámetros y culminando con la redacción del informe final.

Figura 13. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Project Libre.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se contemplan los recursos humanos y materiales para llevar a cabo la investigación, la cual será financiada por el autor en su totalidad. Para la visita a la torre se tomará en cuenta la asignación de un técnico de la empresa, quién apoyará en la recolección de los datos e instalación de antenas omnidireccionales. La instalación del sistema de monitoreo se realizará en una máquina virtual dentro de un servidor de la empresa. El acceso al sistema y a las redes de gestión de las antenas será a través de una VPN. Entre los recursos materiales se encuentran: las antenas omnidireccionales, equipo de protección, cable STP, acceso a internet, hojas de papel bond y una computadora.

Tabla I. **Recursos para el proyecto**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Total
Recursos materiales			
Computadora personal	1	Q2,500.00	Q2,500.00
Servicio de internet	6 meses	Q150.00	Q900.00
Máquina virtual en servidor	1	Q1,000.00	Q1,000.00
Antenas omnidireccionales y accesorios	2	Q1,500.00	Q3,000.00
Equipo de protección (arnes, casco, línea de vida, guantes, lentes, chaleco, botas)	1	Q4,250.00	Q4,250.00
Cableado STP	150 metros	Q3.00	Q450.00
Material de oficina (Hojas e impresiones)	1	Q1,000.00	Q1,000.00
Viáticos para visita a torre	1	Q600.00	Q600.00
Recursos humanos			
Mano de obra del investigador	1	Q3,500.00	Q3,500.00
Mano de obra del técnico	1	Q200.00	Q200.00
Total			Q17,400.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

REFERENCIAS

1. Ambit BST. (2020). *Metodología ITIL: gestión de incidencias y objetivos*. Recuperado de <https://www.ambit-bst.com/blog/metodolog%C3%ADa-itol-gesti%C3%B3n-de-incidencias-y-objetivos>.
2. Benito J. (2019). *Guía de infrascritura de telecomunicaciones*. Ciudad de Mexico. Promtel, Organismo promotor de inversiones en telecomunicaciones. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483497/Gu_a_Inf-raestructura_Telecomunicaciones.pdf.
3. Calderón Lucero, B. (2021). *Implementación de un Centro de Operaciones de Red para el Monitoreo de Servicios Inalámbricos en la Empresa Interconexiones Ocaney* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayque. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10003>.
4. Ccnadesdecero. *SNMP: Funcionamiento y Configuración*. [Mensaje en un blg]. Recuperado de <https://ccnadesdecero.es/snmp-funcionamiento-configuracion/>.
5. Cisco. (9 de marzo, 2020). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. Recuperado de <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.

6. Correa Guzmán, A. (2015). *Cálculo del Presupuesto de Potencia*. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/5387430/>.
7. Flores Pirir, A. J. (2017). *Caracterización y modelado de servicios de banda ancha para redes inalámbricas* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6539/>.
8. Gómez Morales, E. A. (2012). *Análisis de redes inalámbricas, sus tecnologías, arquitecturas físicas, lógicas y los diferentes componentes necesarios para su implementación* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0299_EO.pdf.
9. López, A. (4 de octubre, 2022). *Aprende todo sobre las bandas de frecuencia Wi-Fi: 2.4GHz, 5GHz y 6GHz*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/>.
10. *Manual:Wireless FAQ*. (2020). *Mikrotik Documentation*. Recuperado de https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Wireless_FAQ.
11. Martínez, J. L. (2018). *Zonas de Fresnel*. Recuperado de <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>.
12. Morales Salazar, I. A. (2007). *Métodos para el mejoramiento del desempeño del protocolo tcp/ip sobre redes inalámbricas* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0194_EO.pdf.

13. Paessler. *SNMP*. Recuperado de <https://www.paessler.com/it-explained/snmp>.
14. Premachandran, R. (18 de noviembre, 2020). *SNR, RSSI, EIRP and Free Space Path Loss*. [Mensaje en un blog.]. Recuperado de <https://community.cisco.com/t5/wireless-mobility-knowledge-base/snr-rssi-eirp-and-free-space-path-loss/ta-p/3128478>.
15. Quispe Ccuno, J. R. (2019). *Implementación de un prototipo de monitoreo de dispositivos de comunicación y usuarios finales utilizando el protocolo SNMP basada en software libre para una empresa e-Commerce* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11017>.
16. Ramos, F. (2011). *Cálculo de la atenuación por lluvia en un radioenlace*. Recuperado de <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace/>.
17. Venn Telecom. (2020). *How to Interpret SINR parameters in 2G, 3G and LTE routers*. Recuperado de <https://help.venntelecom.com/support/solutions/articles/44001931194-how-to-interpret-sinr-parameters-in-2g-3g-and-lte-routers>.