

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES
BASADO EN TRANSMISIÓN ÓPTICA EN EL ESPACIO LIBRE - FSO Y
REDUNDANCIA CON ENLACE WIRELESS PUNTO A PUNTO DE 5.8 GHZ
PARA SEDES EMPRESARIALES EN LA CIUDAD DE LIMA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

QUESQUEN CHILQUILLO, LUIS DENIS

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, por su apoyo, comprensión, consejos y ayuda en todo momento, gracias a ellos, he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y familiares que con su esfuerzo, apoyo material y espiritual en mi formación profesional contribuyeron a realizar el presente trabajo, a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, por darnos la formación con valores, principios, doctrina y a los profesores de la carrera Ing. Electrónica y Telecomunicaciones así como a mi asesor, Mg. Ing. Ricardo J. Palomares Orihuela que gracias a su guía se logró concluir el presente trabajo se suficiencia profesional, y además a todas las personas que me apoyaron y lo hicieron posible.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	13
1.2. Justificación del Problema.....	14
1.3. Delimitación del Proyecto.....	15
1.3.1. Teórica.....	15
1.3.2. Espacial.....	15
1.3.3. Temporal.....	15
1.4. Formulación del Problema.....	15
1.4.1 Problema General.....	16
1.4.2 Problemas Específicos.....	16
1.5. Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional.....	16
1.5.1 Objetivo General.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	17
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.3. Definición de términos básicos.....	35
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	
3.1. Modelo de diseño e implementación.....	38
3.2. Pruebas y resultados.....	68
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXO.....	78

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de enlace FSO	20
Figura 2 Aplicaciones de comunicación óptica en espacio libre.....	22
Figura 3 Espectro electromagnético.....	24
Figura 4 Espectro de Ventanas y Longitudes de Onda.....	28
Figura 5 Clasificación de las redes inalámbricas.....	30
Figura 6 Tipos de redes inalámbricas	31
Figura 7 Enlace PTP y PMP Cambium	33
Figura 8 Diagrama de bloques del enlace entre la sede A y la sede B.....	40
Figura 9 Diagrama lógico de red con el enlace FSO y Wireless de 5.8 GHz.....	41
Figura 10 Calcular distancias entre enlaces inalámbricos ópticos.....	42
Figura 11 Distancia entre el edificio principal y el edificio secundario.....	43
Figura 12 Equipo Sonabeam.....	52
Figura 13 Diagrama de conexión del equipo láser.....	53
Figura 14 Atenuación atmosférica Promedio contra Frecuencia.....	56
Figura 15 Atenuación de la onda de espacio por constituyentes atmosféricos.....	57
Figura 16 Solapamiento de los canales en la banda 2.4 GHz.....	59
Figura 17 Canales en todas las regiones para la banda de 2.4 GHz.....	59
Figura 18 Canales disponibles según región.....	60
Figura 19 Solapamiento de los canales en la banda de 5.8 GHz.....	61

Figura 20 Simulación del enlace para la banda de 2.4 GHz en RadioMobile.....	62
Figura 21 Simulación del enlace para la banda de 5.8 GHz en RadioMobile.....	63
Figura 22 Diagrama de flujo para solucionar problemas en el enlace.....	67
Figura 23 Grafica de ancho de banda del enlace láser.....	69
Figura 24 Gráfico de ancho de banda del enlace Wireless punto a punto.....	70
Figura 25 Interfaz del equipo SONABeam 1250-E.....	71
Figura 26 Configuración del equipo SONABeam 1250-E.....	72
Figura 27 Estado del equipo SONABeam 1250-E.....	73
Figura 28 Interfaz del equipo Wireless PTP y pruebas de ancho de banda.....	73

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías laser que se utilizan para los sistemas FSO.....	26
Tabla 2 Comparación entre diferentes tipos de redes inalámbricas.....	32
Tabla 3 Coordenadas y altura de los edificios a interconectar.....	43
Tabla 4 Especificaciones técnicas del equipo SonaBeam 1250-E.....	45
Tabla 5 Detalles de precipitación en Lima desde el 2008 hasta el 2014.....	47
Tabla 6 Código de Visibilidad Internacional.....	48
Tabla 7 Atenuación atmosférica obtenida	49
Tabla 8 Pérdidas del sistema obtenido	50
Tabla 9 Margen del enlace obtenido	50
Tabla 10 Características de un equipo Wireless.....	62
Tabla 11 Comparación entre las frecuencias 2.4 GHz y 5.8 GHz.....	64
Tabla 12 Equipos seleccionados para el enlace de comunicaciones.....	66
Tabla 13 Cuadro detallado de los precios.....	68

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia del diseño y configuración de un sistema de comunicaciones basado en transmisión óptica en el espacio libre – FSO y redundancia con enlace Wireless punto a punto de 5.8 GHz para sedes empresariales en la ciudad de Lima.....	78
Anexo 2 Datasheet del equipo Sonabeam 1250-E	80
Anexo 3 Datasheet del equipo Wireless Basebox.....	82
Anexo 4 Datasheet de la antena Hyperlink Wireless	83

LISTA DE ABREVIATURAS

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line, línea de abonado digital asimétrica

ATM: Asynchronous Transfer Mode, modo de transferencia asíncrona

BER: Bit Error Rate, tasa de error de bit

BGP: Border Gateway Protocol, protocolo de puerta de enlace de frontera

CDDI: Copper Distributed Data Interface, interfaz de distribución de datos por cobre.

CTS: Clear to Send, listo para enviar

dB: Decibelio, unidad relativa empleada en acústica, electricidad y telecomunicaciones para medir la intensidad del sonido y otras magnitudes

DFS: Distributed File System, sistema de archivos distribuidos

FDDI: Fiber Distributed Data Interface, interfaz de datos distribuidos por fibra

FSO: Free-Spaces Optics, óptica de espacio libre

GB: GigaBytes, equivalente a 10^9 bytes

HFC: Hybrid Fibre Coaxial, Híbrido de Fibra coaxial, define una red de fibra óptica que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha

IGP: Internal Gateway Protocol, protocolo de puerta de enlace interno

ITU: International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones

LAN: Local Area Network, red de área local

LED: Light Emitting Diode, diodo emisor de luz

LTE: Long Term Evolution, evolución a largo plazo

MAN: Metropolitan Area Network, red de área metropolitana

MB: MegaBytes, equivalente a 10^6 bytes

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por división de frecuencias ortogonales

OSPF: Open Short Path First, camino más corto primero

PTP: Punto a punto

RF: Radio Frequency, radio frecuencia

RIP: Routing Information Protocol, protocolo de información de enrutamiento

RTS: Request to Send, solicitud de envío

TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol, protocolo de control de transmisión/protocolo de internet

UDP: User Datagram Protocol, protocolo de datagrama de usuario

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles

VLAN: Virtual LAN, red de área local virtual

WAN: Wide Area Network, red de area amplia

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access, interoperabilidad mundial para acceso por microondas

WLAN: Wireless Local Network, red inalámbrica de área local

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional presenta el diseño de una red óptica inalámbrica para el envío de voz y datos en la ciudad de Lima, de manera específica se diseñará esta red para comunicar dos sedes en el distrito de San Isidro, este tipo de red en la actualidad están en constante crecimiento por su versatilidad y nivel de funcionamiento, ya que operan el medio ambiente sin la necesidad de cables o equipos complejos tanto en su configuración como su manejo.

En las diversas empresas de Lima que están en crecimiento, tienen por necesidad abrir otras sedes cercanas a su sede principal, y uno de los principales problemas es la interconectividad con su sede principal, más si las empresas tienen una intranet en la que se comparte información de alto volumen de data.

Por ello, se presentó la necesidad de contar con un sistema que envíe información a alta velocidad (Imágenes, documentos, planos, voz, etc), que sea confiable e inmune a la interferencia electromagnética; dado que la utilizada actualmente, comunicación vía radio frecuencia, es poco eficiente en tiempo y exactitud, además de presentar una alta sensibilidad a la presencia de interferencia electromagnética.

Este trabajo de investigación se constituye de un capítulo que trata del planteamiento del problema, un capítulo del marco teórico y análisis sobre las diferentes tecnologías que sirven para la transmisión de datos, tales como: el par trenzado, cable coaxial y fibra óptica en medios guiados, en lo referente a medios no guiados, por otro lado se introducirán conceptos básicos sobre la tecnología de óptica en espacio libre, como por ejemplo: características de luz láser y la Multiplexación DWDM, todos estos conceptos forman parte para la generación de

redes ópticas inalámbricas, que como se observará funciona bajo los mismos conceptos de la red de fibra óptica.

En el tercer capítulo también se realizará al detalle la ubicación del equipo FSO, la cual se ubicará en la sede B a un par de kilómetros de la sede A. Para la elección de este tipo de comunicación se realizó un análisis sobre las condiciones climáticas, además de observar su geografía y crecimiento vertical de los edificios cercanos a dicha sede, ya que se requiere una línea de vista para su funcionamiento.

El Autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Hace 6 meses, la empresa tiene 2 sedes, una de las cuales se encuentra ubicada en la Calle Esquilache, Lima, (Sede A) cuenta con 250 usuarios y la otra en la Avenida Conquistadores (Sede B) también en San Isidro, Lima, en la sede B cuenta con 30 usuarios, asimismo la empresa ha sido adjudicada en más proyectos de ingeniería, por lo cual tuvo la necesidad de ampliar el personal en la sede B. Para que la sede B pueda conectarse con la sede A, se instaló un radioenlace de 100 Mbps, pero a medida que aumentaba el personal en la sede B, hubo una serie de problemas, que los mencionaré de la siguiente manera:

- **Problema Laboral:** Los usuarios en la sede B, al tener inconvenientes con el ancho de banda, se retrasan en entregar documentos que tienen una determinada fecha de entrega. Estos proyectos tienen un plan de trabajo, y son divididos por diversos grupos como Ingenieros, diseñadores, Controladores de documentos, Gerentes, etc. al retrasarse un grupo en la fecha de entrega afecta a los otros, debido a que tendrán menos tiempo en realizar la tarea encomendada a dicha área.
- **Problema Económico:** Debido a la intermitencia que tiene el enlace, hay un tiempo determinado que el usuario no puede trabajar, y para llegar a la fecha de entrega tiene que realizar horas extras, dichas horas son pagadas por la empresa, generando egresos para la empresa.
- **Problema de Salud:** La jornada laboral de la empresa es de 8 am a 7 pm, 4 días a la semana. El usuario al trabajar horas extras genera un desgaste mental, ya que de por sí en el día trabajaría más de 12 horas al día incrementando el riesgo de padecer problemas relacionados con el corazón, depresión y gastrointestinales.
- **Problema Social:** El usuario al trabajar horas extras, hay un tiempo que no pasa con su familia, amigos, etc. generando diversos problemas en su entorno

social. Debido a que, al trabajar más de 48 horas a la semana, incrementa los niveles agotamiento y ansiedad.

1.2 Justificación del Problema

Este proyecto está orientado básicamente a diseñar un enlace inalámbrico capaz de satisfacer la necesidad de la demanda de ancho de banda requerido por los usuarios de la sede B.

Este tipo de enlace presentará una variedad de beneficios, debido a que este tipo de enlace garantizará una arquitectura modular, en la que no habrá ningún inconveniente en el caso de que aumente personal en la sede B, todo esto será posible gracias a la investigación teórica de los libros de investigación sobre la comunicación óptica por el espacio libre, la bibliografía respecto a los lentes ópticos, sistemas de transmisión de haz amplia, y de esta manera obtener el diseño de un enlace de transmisión óptica en el espacio libre (FSO), como una opción válida dentro del campo de las comunicaciones inalámbricas, para este caso se requiere mantener una comunicación permanente entre las sedes A y B en el envío y recepción de gran cantidad de flujo de información.

La implementación de conectar mediante fibra óptica y cable coaxial entre estas dos sedes requiere un alto costo y tiempo para. Por ello se vio la necesidad de investigar y analizar un enlace inalámbrico capaz de garantizar conectividad, seguridad en el envío de información y con un precio razonable. Gracias a este diseño, se podrá satisfacer la demanda de tráfico de ancho de banda de los ingenieros ubicados en la sede B, obteniendo como resultado un buen desempeño por parte de los ingenieros cumpliendo el plan de trabajo trazado para los diversos

proyectos a realizar, evitando que la empresa pague las multas por el incumplimiento de fechas pactadas.

1.3 Delimitación del Proyecto

1.3.1 Teórica: Se fundamenta en la teoría de comunicación óptica por el espacio libre, lentes ópticos, sistemas de transmisión de haz amplia.

1.3.2 Temporal: comprende en el periodo de tiempo entre marzo del 2019 hasta el mes de junio del 2019

1.3.3 Espacial: La investigación y diseño se realizará en los ambientes de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicada en el distrito de Villa el Salvador.

1.4 Formulación del Problema

El presente trabajo de suficiencia profesional describe la solución encontrada al problema con la intermitencia y lentitud del ancho de banda de la sede B con la sede A, dicho problema perjudica a los ingenieros de la sede B y a la empresa, ya que se retrasan en la entrega de documentos que tienen una determinada fecha de entrega, debido a que dichos proyectos tienen un plan de trabajo, y al no cumplir con dicho plan la empresa enfrentará problemas legales y económicos.

1.4.1 Problema general

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de comunicaciones inalámbrico con mayor ancho de banda y sea de alta disponibilidad, asegurando la comunicación entre el edificio Esquilache con la sede Conquistadores?

1.4.2 Problemas Específicos:

1. ¿Qué tipo de tecnología se utilizará para mejorar el ancho de banda del sistema de comunicaciones actual?
2. ¿Qué enlace secundario se utilizará para garantizar la alta disponibilidad de la comunicación entre las dos sedes?

1.5 Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional

1.5.1 Objetivo general

Mejorar el sistema de comunicaciones actual mediante la propuesta de un diseño basado en la tecnología transmisión óptica en el espacio libre – FSO y un enlace secundario Wireless de 5.8 GHz punto a punto, para interconectar el edificio Esquilache con la sede Conquistadores en el departamento de Lima, Perú.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Realizar un estudio técnico teórico sobre la tecnología transmisión óptica en el espacio libre – FSO, conocer las características, ventajas y desventajas que estas ofrecen, y sí este tipo de tecnología se puede usar en el distrito de San Isidro por las condiciones climáticas.
2. Diseñar un enlace secundario Wireless de 5.8 GHz punto a punto, entre el edificio Esquilache con la sede Conquistadores, de esta forma nos permitirá usarlo en el caso de que tenga problemas el enlace de transmisión óptica en el espacio libre - FSO.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Antecedentes Nacionales

Gallegos (2009), en su tesis “Diseño de una red óptica inalámbrica para el envío de voz y datos en áreas no urbanas” para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, concluye que “Se realizó un análisis sobre diferentes tecnologías existentes actualmente para el envío o transmisión de datos, llegando como conclusión que la red óptica inalámbrica es la que mejor se adapta a los requisitos pedidos: No interferencia electromagnética y capacidad inalámbrica.” (p.74)

Díaz (2015), en su tesis “Diseño de radioenlace microondas Isla San Lorenzo – Campus PUCP para el proyecto Perú Magneto” para obtener el título de Ingeniero de las telecomunicaciones en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, concluye que “La banda de 5.8 GHz posee menos usuarios en comparación con la banda de 2.4 GHz, por lo que tendremos menor interferencia con otras redes aledañas. Adicionalmente, el tener una menor zona de Fresnel y/o lóbulo de propagación ayudarán a obtener menor interferencia.” (p.33).

Valdivieso (2011), en su tesis “Diseño de una Red para un Servicio Portador en la ciudad de Arequipa” para obtener el título de Ingeniero de Telecomunicaciones en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, concluye que “Los costos tanto de inversión como de mantenimiento de una red inalámbrica son menores a comparación de las redes que utilizan medios de transmisión físicos, como fibra

óptica, entre otros. Esta diferencia de costos se verá reflejada en el precio final que será ofrecido al cliente.” (p. 94)

Antecedentes Internacionales

Toapanta (2015), en su tesis “Estudio de la transmisión óptica en espacio libre (FSO) como una alternativa de red inalámbrica para enlaces punto a punto” para obtener el título de maestría en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador, concluye que “Estos sistemas no requieren el para el uso de licencia del espectro electromagnético, a entidades de control como la SUPERTEL; haciéndolo un sistema económico y muy útil; cabe resaltar que para ocupar tecnologías ópticas se requiere obtener un permiso especial de la ARCOTEL para el funcionamiento como una red privada.” (p.112)

Suarez (2014), en su tesis “Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO): Fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación” para obtener el grado académico de Magíster en Telecomunicaciones en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil – Ecuador, concluye que “La capacidad de transmisión de un sistema FSO actualmente es de 2,5 Gbit/s, lo que lo convierte en un sistema de altas tasas de velocidades, de manera que puede desempeñarse como soporte secundario de una red o como conexión principal de una red (backbone). Con los conocimientos acerca de esta tecnología, se mostró la implementación de una red inalámbrica óptica utilizando FSO, que permitirá satisfacer las necesidades de conexión entre los edificios, cumpliendo eficientemente las mismas, tanto por las distancias a cubrir como por la velocidad de transferencia de bits requerida. Se calcularon parámetros que permitieron evaluar su desempeño, como fueron la potencia emitida por el transmisor óptico y

el nivel de señal recibida en el receptor, el margen de enlace y la relación señal a ruido, por mencionar algunas de las magnitudes más importantes a tener en cuenta para garantizar la disponibilidad del sistema.” (p.112)

Benedetti (2016), en su proyecto “Desarrollo de un Transceptor basado en Óptica de espacio libre” para la obtención del título de Ingeniero Electricista en la Universidad de la República, Montevideo – Uruguay, concluye que “Por otra parte al realizar pruebas se notó que el enlace se comporta correctamente ante obstrucciones de corta duración, pudiendo recuperar la comunicación sin mayores inconvenientes. Esto resulta importante pues ante breves obstrucciones, como pueden ser cruces de aves, no se ve afectado el funcionamiento del sistema.” (p.98)

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Red Óptica inalámbrica

2.2.1.1. Definición

FSO, Free space Optics por sus siglas en inglés, consta del envío de datos a través de la luz, en este caso la luz láser a través del espacio libre usando el tipo de modulación DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing o Multiplexación por división en longitudes de onda densas) la cual tiene como característica principal poder enviar distintos canales de información a través de un solo rayo de luz, de esta forma además aumenta la velocidad que puede adquirir este tipo de transmisión; este tipo de modulación también es usado en la comunicación por fibra óptica. (Gallegos, 2009, p.15).

Estos sistemas se usan en otros países como sistemas en línea de vista ya que el receptor y el emisor deben ubicarse de tal forma que el rayo que sale del transmisor pueda llegar directamente y sin interrupciones. El objetivo que se busca al desarrollar este sistema de comunicación es lograr una comunicación rápida y sin interferencias, además que se pueda utilizar en cualquier lugar del mundo, ya que

no hace uso del espectro electromagnético cuyo uso está regulado en la mayoría de los países; por otro lado, también evita la instalación de medio alámbricos como fibra o cable el cual toma tiempo y puede ser costoso. (Gallegos, 2009, p.15).

Finalmente se puede concluir que este sistema puede superar al sistema de transmisión por radio convencional, o como se muestra puede combinarse con este para de esta manera combinar sus ventajas y además reemplazar el uso de fibra óptica cuya instalación puede ser muy tedioso. (Gallegos, 2009, p.15)

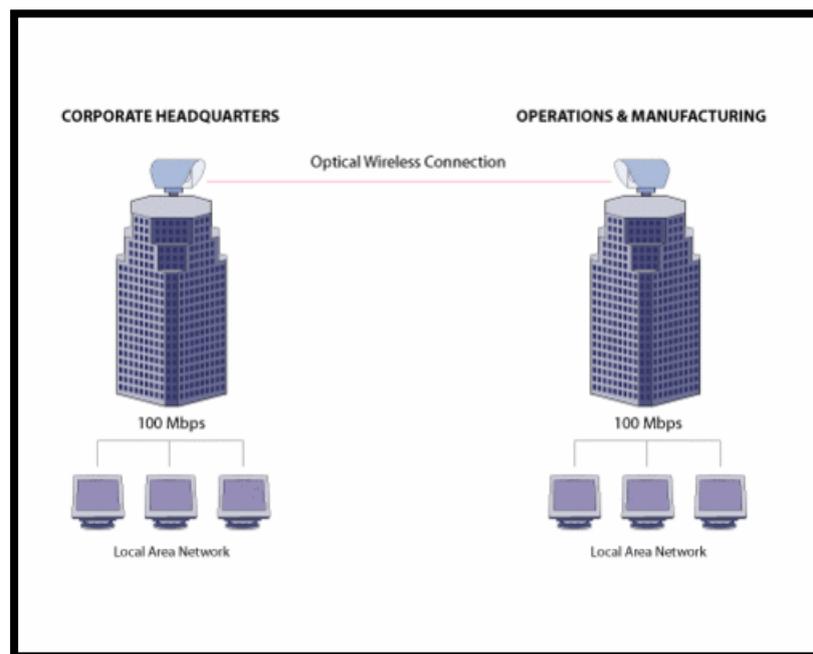


Figura 1 Ejemplo de enlace FSO

Fuente:

http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis_of_Free_Space_Optics_as_a_Transmission_Technology_Mar05.pdf

Aplicaciones de la Red Óptica Inalámbrica:

- Telecomunicaciones y redes informáticas. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Enlace de línea de vista punto a punto. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Instalación temporal de la red para eventos u otro propósito como recuperación de desastres. (Abdulsalam, 2014, p.160).

- Para comunicaciones entre naves espaciales, incluidos elementos de constelación de satélites. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Aplicaciones de seguridad (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Aplicación militar: (su potencial de baja emanación electromagnética al transferir datos confidenciales para fuerzas aéreas) (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Extensiones de red de Metro: los operadores pueden implementar FSO para extender los anillos de fibra existentes del área metropolitana, para conectar nuevas redes y, en su infraestructura central, para completar los anillos de SONET. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Conectividad empresarial: la facilidad con la que se pueden instalar los enlaces FSO los convierte en una opción natural para interconectar segmentos de red de área local que se encuentran en edificios separados por calles públicas u otras propiedades con derecho de paso. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Copia de seguridad de fibra: FSO también se puede implementar en enlaces redundantes para hacer copia de seguridad de fibra en lugar de una segunda conexión de fibra. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Backhaul: FSO se puede usar para transportar tráfico de telefonía celular desde torres de antenas a instalaciones conectadas a la red telefónica pública conmutada.
- Aceleración del servicio: FSO también se puede utilizar para proporcionar un servicio instantáneo a los clientes de fibra óptica mientras se está desplegando su infraestructura de fibra. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Acceso a la última milla: en las ciudades de hoy, más del 95% de los edificios no tienen acceso a la infraestructura de fibra óptica debido al desarrollo de los sistemas de comunicación después de las áreas metropolitanas. La tecnología FSO parece una solución prometedora para la conexión de los usuarios finales a los proveedores de servicios u otras redes existentes. Además, FSO proporciona una conexión de alta velocidad hasta Gbps, que está mucho más allá de los sistemas alternativos. (Abdulsalam, 2014, p.160).

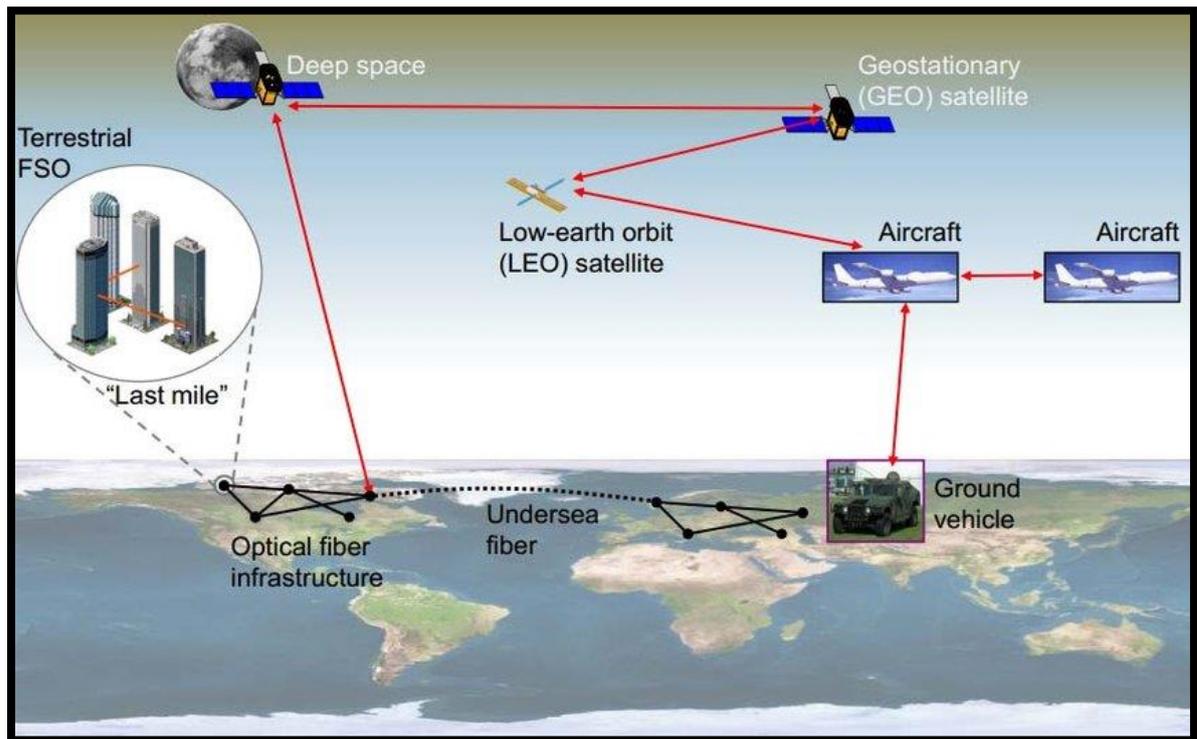


Figura 2 Aplicaciones de comunicación óptica en espacio libre.

Fuente:

https://www.researchgate.net/profile/Hemani_Kaushal/publication/283007460/figure/fig1/AS:608584698171392@1522109307061/Free-space-optical-communication-applications.png

Ventajas de la Red Óptica Inalámbrica:

- Larga distancia hasta 8 km. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Altas velocidades de velocidad de bits: la capacidad de gran ancho de banda de la fibra óptica de 2.5 Gbps a 10 Gbps se logra con la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Los sistemas modernos pueden manejar hasta 160 señales y, por lo tanto, pueden expandir un sistema básico de 10 Gbit / s sobre un par de fibra de señal a más de 1.6 Tbit / s. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Inmunidad a las interferencias electromagnéticas: no se puede detectar el seguro con medidor de RF o analizador de espectro, haces muy estrechos y direccionales. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Invisible y seguro para los ojos, no presenta riesgos para la salud por lo que incluso una mariposa puede volar ilesa a través de un rayo. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Baja tasa de error de bit (BER). (Abdulsalam, 2014, p.160).

- Despliegue de sistemas FSO de forma rápida y sencilla. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- No es necesaria la zona de Fresnel. (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Bajo mantenimiento (Práctico). (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Costos más bajos en comparación con las redes de fibra (los costos de FSO son tan bajos como 1/5 de los costos de la red de fibra). (Abdulsalam, 2014, p.160).
- Operación de largo alcance sin licencia (en contraste con la comunicación por radio). (Abdulsalam, 2014, p.160).

Desventajas de la red Óptica Inalámbrica:

Para aplicaciones terrestres, los principales factores limitantes son:

Dispersión del haz, absorción atmosférica, lluvia, niebla, nieve, interferencia de fuentes de luz de fondo (incluido el sol), sombra, estabilidad del viento y contaminación. (Abdulsalam, 2014, p.161).

Comparación entre la red Óptica Inalámbrica, Fibra óptica y otras tecnologías

En el futuro, la fibra óptica será reemplazada por FSO por las siguientes razones:

- La óptica es el estudio del comportamiento y propiedades de la luz. (Abdulsalam, 2014, p.161).
- Las fibras ópticas pueden llevar un rayo láser para largas distancias. (Abdulsalam, 2014, p.161).
- La mayor parte del gran esfuerzo reciente de excavar el suelo y depositar nueva fibra se ha dirigido a extender la red troncal de fibra óptica a las nuevas oficinas centrales, y no a colocar la fibra directamente al cliente. (Abdulsalam, 2014, p.161).
- Al igual que la fibra, FSO utiliza láseres para transmitir datos, pero en lugar de encerrar el flujo de datos en una fibra de vidrio, se transmite a través del aire. (Abdulsalam, 2014, p.161).

Espectro de luz y electromagnético

El espectro electromagnético es el rango de todas las frecuencias posibles de radiación electromagnética. El "espectro electromagnético" de un objeto tiene un significado diferente, y es, en cambio, la distribución característica de la radiación electromagnética emitida o absorbida por ese objeto en particular. El espectro electromagnético se extiende desde debajo de las bajas frecuencias utilizadas para la comunicación por radio moderna hasta la radiación gamma en el extremo de longitud de onda corta (alta frecuencia), cubriendo así las longitudes de onda desde miles de kilómetros hasta una fracción del tamaño de un átomo. El límite para longitudes de onda largas es el tamaño del universo en sí, mientras que se piensa que el límite de longitud de onda corta está cerca de la longitud de Planck, aunque en principio el espectro es infinito y continuo. La mayoría de las partes del espectro electromagnético se utilizan en la ciencia para las interacciones de sondeo espectroscópicas y otras, como formas de estudiar y caracterizar la materia. Además, la radiación de varias partes del espectro ha encontrado muchos otros usos para las comunicaciones y la fabricación (consulte la sección de radiación electromagnética para más aplicaciones). (Abdulsalam, 2014, p.162).

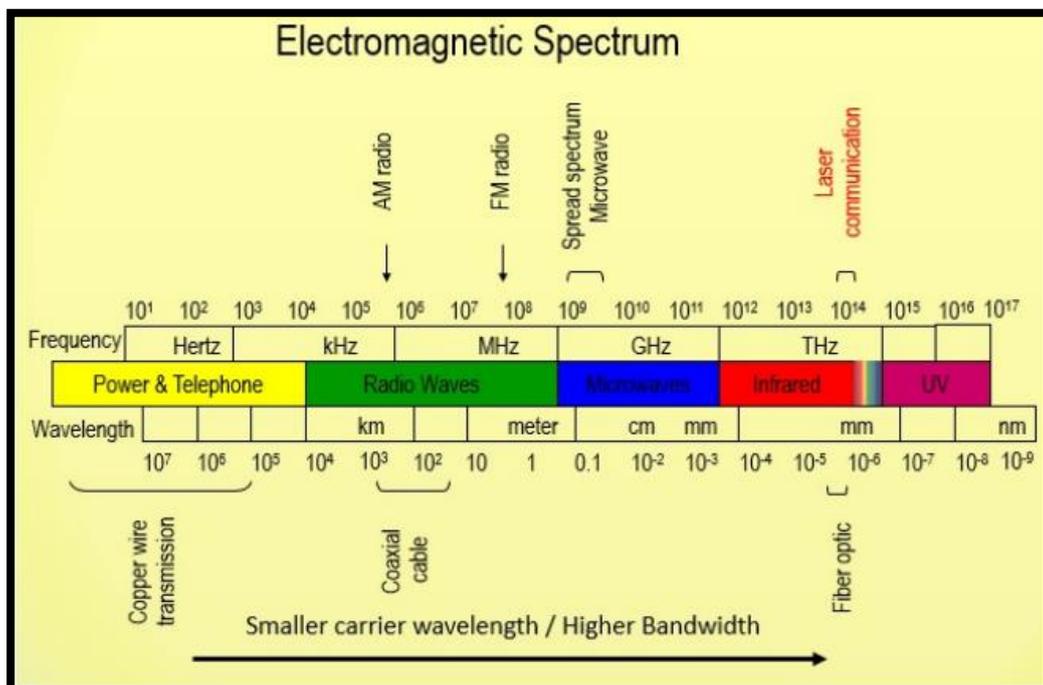


Figura 3. Espectro electromagnético

Fuente: <https://www.intechopen.com/chapter/pdf-download/47585>

El espectro electromagnético como se muestra en la Fig. 3, se puede expresar en términos de onda Longitud, frecuencia o energía. La longitud de onda (λ), la frecuencia (ν) está relacionada por la expresión [1]. Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la energía. (Abdulsalam, 2014, p.162).

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad de la luz (2.998×10^8 m / s). La energía de los diversos componentes de El espectro electromagnético está dado por la expresión. (Abdulsalam, 2014, p.163).

$$E = h\nu \quad (2)$$

Donde h es la constante de Planck = 6.63×10^{-34} Joule segundos. Las unidades de longitud de onda son metros. con los términos micrones (denotados μm e iguales a 10^{-6} m) y nanómetros (10^{-9} m) utilizados con la misma frecuencia La frecuencia se mide en Hertz (Hz), con un Hertz igual a uno Ciclo de un ciclo de onda sinusoidal por segundo. Una unidad de energía comúnmente utilizada es la electron-volt. (Abdulsalam, 2014, p.163).

Hay varias ventanas de transmisión que son casi transparentes (atenuación <0.2 dB / km), entre 780 nm y 1600 nm rango de longitud de onda. Estas ventanas se encuentran alrededor de varias longitudes de onda específicas del centro: (Abdulsalam, 2014, p.163).

En la Tabla 1 muestra las tecnologías láser que se utilizan comúnmente para los sistemas FSO

Tabla 1 Tecnologías laser que se utilizan para los sistemas FSO

Tipo de tecnología	Longitud de onda de operación	Características
VCSEL	850 nm	Baja densidad de potencia barata y fácilmente disponible. Sin refrigeración activa Alta confiabilidad Potencia óptica de salida: máx. Hasta 20 mW y Potencia típica: 6 mW. Umbral bajo y corriente de funcionamiento. Velocidad de datos de 8.5Gbps y confiable hasta 10Gbps. Las aplicaciones son: comunicaciones de fibra óptica, ratones de computadora, detección de gases, relojes ópticos, láseres sin umbral.
Fabry Perot	1300/1550 nm	Densidad de potencia 50 veces mayor. Larga vida. Bajo criterio de seguridad ocular. Potencia óptica de salida: 20mW-100mW y potencia típica: 28mW. $\pm 0.03\text{db}$ CW estabilidad de potencia. Insensible a la reflexión trasera y estabilizada para aplicaciones a corto y largo plazo. Resolución espectral estrecha. Modulación digital interna. Velocidad de datos de hasta 40 Gbps. Las aplicaciones son: en filtros dicróicos, multiplexores de adición y caída con bancos de sílice fundida o diamantes en sintonía miniatura, ondulator óptico, resonador láser, técnicas de espectrometría de absorción láser, en la detección de ondas gravitacionales.

Distributed feedback lasers	1300/1550 nm	<p>Compatible con EFDA Mayores tasas de datos de hasta 40Gbps.</p> <p>Pequeña dependencia de la temperatura. Fabricación compleja. Ancho de línea de emisión estrecho de <1nm. Proporcionar discriminación de modo longitudinal superior sobre Fabry perot. Potencia óptica de salida:> 20mW y potencia típica; 1-2Cuando se combina con EFDA. ± 0.01db Estabilidad de potencia CW Las aplicaciones son: DWDM, CATV y comunicación de larga distancia.</p>
Solid state lasers	1064 nm	<p>Alta potencia en espectro infrarrojo. Ancho de banda de ganancia pequeña del orden de 1 nm o menos. Muy buena coherencia y adecuado para sistemas homodinos. Birrefringente natural. La ganancia del láser es fuertemente dependiente de la polarización. Las aplicaciones son oftalmología para corregir la opacificación capsular posterior, técnicas de visualización de flujo en dinámica de fluidos, cirugías de tejidos blandos, designadores y telémetros láser, espectroscopia de cavidad de cavidad, bombeo láser, espectroscopia de ruptura inducida por láser.</p>

Fuente:

https://www.researchgate.net/publication/283007460_Free_space_optical_communication_laser_sources_modulation_schemes_and_detection_techniques

En la figura 4 podemos observar el espectro de las diversas ventanas de transmisión y longitudes de ondas.

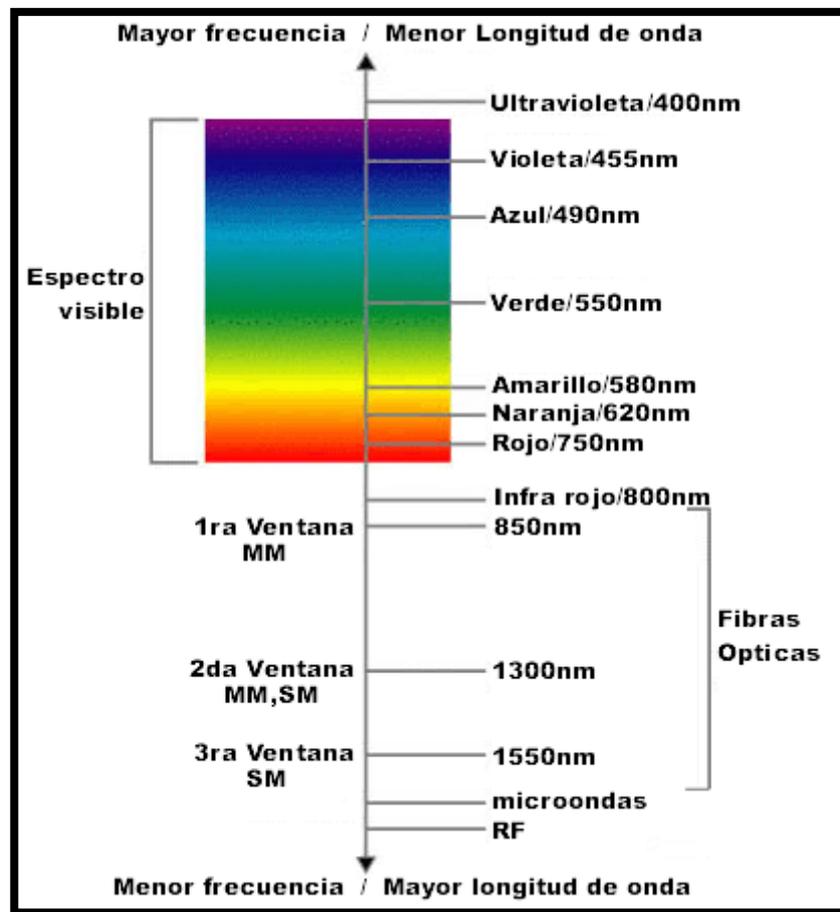


Figura 4 Espectro de Ventanas y Longitudes de Onda

Fuente: <http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/imagenes/espectro-luz-frecuencias-longitud-de-onda.gif>

Enlace wireless

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo. Las redes inalámbricas sirven a muchos propósitos. En algunos casos se utilizan en sustitución a las redes cableadas, mientras que en otros casos se utilizan para proporcionar acceso a datos corporativos desde ubicaciones remotas. La infraestructura inalámbrica puede ser construida a muy bajo coste en comparación con las alternativas cableadas tradicionales. Pero el ahorro de dinero justifica muy parcialmente la construcción de redes inalámbricas. Si a la gente de una comunidad

local se le proporciona un acceso más barato y más fácil a la información, se beneficiarán directamente de lo que Internet tiene para ofrecer. El tiempo y el esfuerzo ahorrado al tener acceso a la red mundial de información se traduce en riqueza a escala local, ya que se puede hacer más trabajo en menos tiempo y con menos esfuerzo. Las redes inalámbricas permiten a los dispositivos remotos que se conecten sin dificultad, independientemente que estos dispositivos estén a unos metros o a varios kilómetros de distancia. (Salazar, 2017, p. 6)

Todo ello sin necesidad de romper paredes para pasar cables o instalar conectores. Esto ha hecho que el uso de esta tecnología sea muy popular, extendiéndose muy rápidamente. Existen muchas tecnologías diferentes que difieren en la frecuencia de transmisión utilizada, la velocidad y el alcance de sus transmisiones. Por otro lado, hay algunas cuestiones relacionadas con la regulación legal del espectro electromagnético. Las ondas electromagnéticas se transmiten a través de muchos dispositivos, pero son propensas a la interferencia. Por esta razón, todos los países necesitan regulaciones que definan los rangos de frecuencia y potencia de transmisión permitidos para cada tecnología. (Salazar, 2017, p. 6)

Además, las ondas electromagnéticas no se pueden confinar fácilmente a un área geográfica limitada. Por esta razón, un hacker puede escuchar fácilmente a una red si los datos transmitidos no están codificados. Por lo tanto, se deben tomar todas las medidas necesarias para garantizar la privacidad de los datos transmitidos a través de redes inalámbricas. (Salazar, 2017, p. 6)

Tecnologías inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en cuatro grupos específicos según el área de aplicación y el alcance de la señal [1-3]: redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN), redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN), redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN), y redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN). La Figura 1 ilustra estas cuatro categorías. (Salazar, 2017, p. 7).

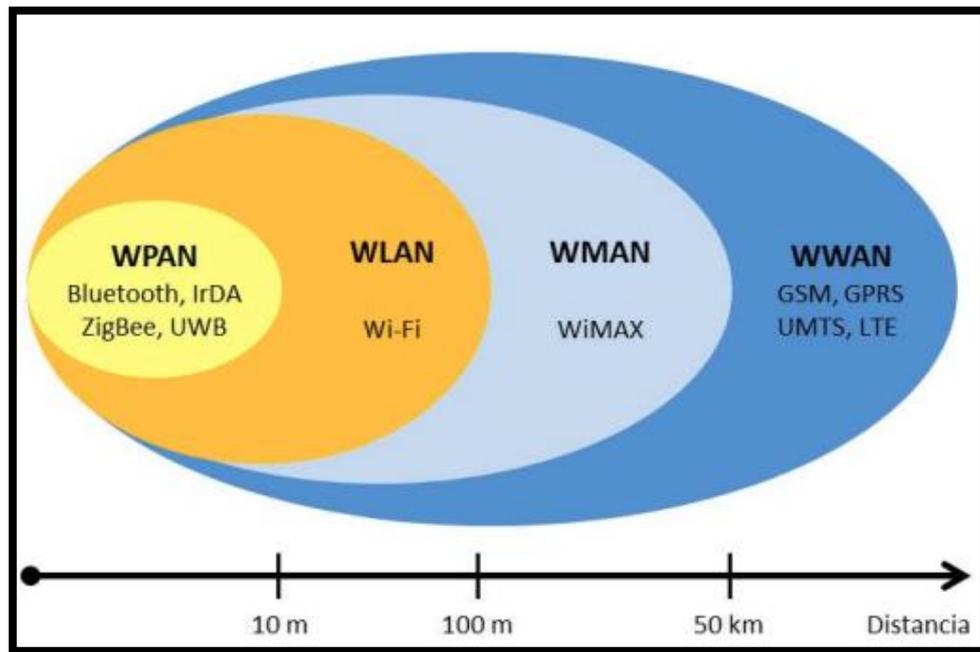


Figura 5 Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf

Además, las redes inalámbricas pueden dividirse también en dos grandes segmentos: de corto y de largo alcance. Inalámbrica de corto alcance se refiere a las redes confinadas en un área limitada. Esto se aplica a las redes de área local (LAN), como edificios corporativos, los campus escolares y universitarios, fábricas o casas, así como a las redes de área personal (PAN) donde los ordenadores portátiles necesitan estar muy cerca entre sí para comunicarse. Estas redes suelen operar sobre un espectro sin licencia y reservado para uso industrial, científica y médica (banda ISM). Las frecuencias disponibles difieren de país a país. Las bandas de frecuencia más comunes son la de 2,4 GHz y la de 5 GHz, que están disponibles en la mayor parte del mundo. La disponibilidad de estas bandas de frecuencias permite a los usuarios operar con redes inalámbricas sin necesidad de obtener una licencia, y además sin cargo alguno. Al no requerirse una licencia para su uso, ello ha facilitado la expansión de este tipo de redes. (Salazar, 2017, p. 7).

En las redes de largo alcance, la conectividad es típicamente proporcionada por las empresas que comercializan la conectividad inalámbrica como un servicio. Estas redes abarcan grandes áreas, tales como un área metropolitana (WMAN), un estado o provincia, o un país entero. El objetivo de las redes de largo alcance es proporcionar cobertura inalámbrica a nivel mundial. La red de largo alcance más

común es la red inalámbrica de área amplia (WWAN). Cuando se requiere verdadera cobertura global, también están disponibles las redes de satélites. (Salazar, 2017, p. 8)

Se puede elegir entre diferentes tecnologías aquella que mejor se adapte a los requisitos de la aplicación y al alcance, desde unos pocos metros hasta varios kilómetros. Sin duda, las redes inalámbricas ofrecen nuevas oportunidades para soluciones industriales pero deben implementarse con especial atención a la seguridad. (Salazar, 2017, p. 39).

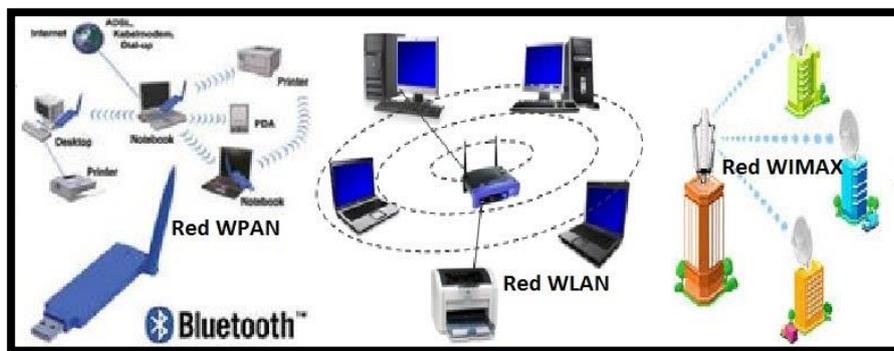


Figura 6: Tipos de redes inalámbricas

Fuente: https://sites.google.com/site/wredwiki/_/rsrc/1427785198933/home/tipos-de-redes-inalambricas/rEDES.jpg

Estas comparaciones se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2 Comparación entre diferentes tipos de redes inalámbricas

Tipo de red	Nombre	Estándar	Banda de frecuencia	Rango nominal	Máxima Velocidad. Transmis.
WPAN	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	10 m	720 Kbps
	IrDA	IrDA	Ventana Infrarrojo 850-900 nm longitud de onda	1 m	16 Mbps
	ZigBee	IEEE 802.15.4	868 MHz, 900 MHz, 2.4 GHz	10 m	250 Kbps
	UWB	IEEE 802.15.3	3.1-10.6 GHz (USA) 3.4-4.8 GHz & 6-8.5 GHz (Europa)	10 m	480 Mbps
WLAN	Wi-Fi	IEEE 802.11	2.4 / 5 GHz	100 m	1 Mbps
		IEEE 802.11a	5 GHz	100 m	48 Mbps
		IEEE 802.11b	2.4 GHz	100 m	11 Mbps
		IEEE 802.11g	2.4 GHz	100 m	54 Mbps
		IEEE 802.11n	2.4 / 5 GHz	250 m	600 Mbps
		IEEE 802.11ac	5 GHz	250 m	1.3 Gbps
WMAN	WiMAX	IEEE 802.16	2-11 GHz y 10-66 GHz	50 km	70 Mbps
WWAN	Móvil	AMPS, GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE	700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz	> 50 km	1 Gbps
	Satélite	DVB-S2	3-30 GHz	> 50 km	60 Mbps

Fuente: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf

Topologías inalámbricas

Existen dos tipos de topologías inalámbricas Punto a Punto y Punto a Multipunto que son utilizadas por tecnologías Wi-Fi, WiMAX, LTE, etc.

a) Topología Punto a Punto (PTP)

Es un modelo más simple de red inalámbrica, se usa para enlaces troncales compuesta por dos antenas de alta ganancia. Este tipo de conexión se utiliza para conexiones dedicadas, por ejemplo, ISP (Proveedor de Servicio de Internet) de alto rendimiento o de alta capacidad. (Quispe, 2017, p.9)

b) Topología Punto a Multipunto (PMP)

Se utiliza para brindar enlaces de banda ancha inalámbrica residencial. El cual se caracteriza por tener una antena omnidireccional, sectorial o direccional. Este tipo, es más sencillo de implementar. Dado que, en el momento de añadir un suscriptor, solo requiere incorporar equipamiento de lado del cliente, no teniendo nada que variar al lado de la Estación Base, más bien, cada suscriptor debe encontrarse dentro del radio de cobertura. (Quispe, 2017, p.9)

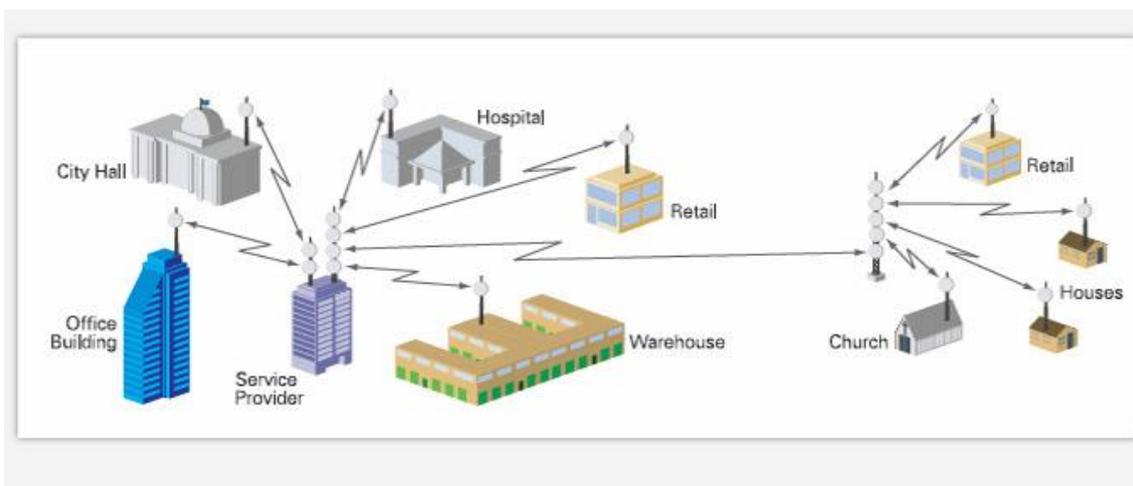


Figura 7: Enlace PTP y PMP Cambium

Fuente: https://www.anfer.com/productos_motorola_Radio-enlacesDigitalesBandaAncha.asp

Radioenlace

Es un tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes sea terminal o repetidora. Es importante porque constituye una manera de comunicar dos estaciones a diferentes distancias sea punto a punto o punto a multipunto. (Quispe, 2017, p.10)

Unidades de radioenlace

a. Vatio, o Watt (W), es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencia de 1 voltio es igual a 1 amperio de corriente eléctrica. (Quispe, 2017, p.10)

b. Decibel (Db), es para medir la potencia de una señal o intensidad de un sonido, representado con la ecuación (3). (Quispe, 2017, p.10)

$$dB = 10 \text{Log} \frac{\text{Potencia}}{P_{\text{Referencia}}} \quad (3)$$

Algunas reglas generales en relación entre dB y la potencia.

- Un incremento de 3 dB duplica la potencia.
- Una reducción de 3 dB reduce la potencia a la mitad.
- Un incremento de 10 dB es igual a 10 veces la potencia.
- Una reducción de 10 dB es igual a la décima parte de la potencia

c. Decibelio mili vatio (dBm), es una unidad logarítmica a la potencia de 1 mili vatio. Es positivo cuando es $> 1\text{mW}$ y negativo $< 1\text{mW}$. Representada con la ecuación (4). (Quispe, 2017, p.10)

$$dBm = 10 \text{Log} \frac{\text{Potencia}}{0.001\text{w}} = 10 \text{Log} \frac{\text{Potencia}}{1\text{mW}} \quad (4)$$

d. Decibelio isotrópico (dBi), usado para representar la ganancia de la antena. Una antena isotrópica irradia energía por igual en todas las direcciones en forma de una esfera. En el mundo real no existe una antena isotrópica, pero, es útil para calcular coberturas teóricas y áreas débiles. (Quispe, 2017, p.10)

2.3 Definición de términos básicos

Ancho de banda: Rango de frecuencias en el espectro de difusión que se encuentra ocupada por una señal. El “ancho de banda necesario” es la cantidad de espectro requerido para transmitir la señal sin distorsión o pérdida de información.

Arquitectura de red: Configuración de la red que identifica y define entidades e interfaces físicas entre esas entidades físicas

Backbone: Refiere a las principales conexiones troncales de Internet

Bit de servicio: Información de la Capa 1 que se utiliza para la transmisión en tiempo real de bits de control, como por ejemplo el informe de nivel de interferencia o el control de potencia del transmisor, que se utilizan para mantener el enlace radioeléctrico.

Calidad de servicio (QoS): Efecto global de las características de servicio que determina el grado de satisfacción del usuario de un servicio. Se caracteriza por los aspectos combinados de los factores de comportamiento aplicables a todos los servicios.

Capacidad: Posibilidad de un dispositivo de responder a la demanda de un servicio con unas características cuantitativas determinadas, según ciertas condiciones internas.

Capacidad de información: Número total de bits de información del canal de usuario que puede soportar una sola célula (o un haz puntual) que forme parte de un conjunto infinito de células idénticas (o de un gran número de haces puntuales de satélite) en un modelo uniforme bidimensional (o tridimensional).

Capacidad de tráfico: Tráfico total que puede soportar una sola célula (o haz puntual), que forma parte de un conjunto infinito de células idénticas (o de un gran número de haces puntuales de satélite en un modelo uniforme bidimensional o tridimensional).

Célula: Zona de cobertura radioeléctrica de un haz puntual de satélite o de una estación de base, o de un subsistema (por ejemplo, una antena de sector) de esa estación de base que corresponde a una identificación lógica específica del trayecto radioeléctrico, tomando entre ambas la superficie más pequeña.

Encriptación: Función utilizada para transformar datos a fin de ocultar el contenido de la información con objeto de evitar su utilización no autorizada.

Equipo terminal (TE): Dispositivo o funcionalidad que proporciona las capacidades para utilizar las aplicaciones de usuario (por ejemplo, telefonía), incluida la interfaz de usuario.

Estación de base (EB): Nombre común de los equipos radioeléctricos situados en un mismo lugar y utilizados para dar servicio a una o varias células.

Ethernet: Estándar de redes LAN

Fresnel: Volumen de espacio entre el emisor de onda electromagnética

Interferencias: tanto en los guiados como en los no guiados y ocasionan la distorsión o destrucción de los datos.

Internet: Red de computadoras expandida alrededor del mundo que vincula a los usuarios con comercios, agencias gubernamentales, universidades y otras personas. Internet brinda a las computadoras la capacidad de conectarse con otras computadoras para comunicar, diseminar y recoger información.

Intranet: Interconexión de varios ordenadores entre sedes dispersas geográficamente de una misma organización. Permite el uso a los empleados y trabajadores de dicha organización, restringiendo totalmente el acceso a la misma desde el exterior. Se basa en los mismos protocolos que Internet, con lo que para el usuario es como si estuviese trabajando en Internet.

Puerta de acceso (gateway): equipo para conectar diversas redes que utilizan protocolos de comunicación diferentes. Adapta el formato de los datos para que puedan viajar por la red y llegar a su destino de forma inteligible.

Red: Conjunto de nodos y enlaces que proporciona conexiones entre dos o más puntos definidos para facilitar las telecomunicaciones entre ellos.

Red privada virtual (VPN): Configuración de un sistema donde el abonado puede construir una red privada mediante conexiones con diferentes conmutadores de red que pueden incluir capacidades de red privada.

Repetidor: Equipo que incluye esencialmente uno o varios amplificadores o regeneradores –o ambos- y dispositivos asociados; está insertado en un punto de un medio de transmisión con objeto de restituir a su estado de partida las señales atenuadas, debilitadas o deformadas en el curso de la propagación.

Retransmisión: Término extraído del Acta de Cable del año 1992, se refiere a la transmisión obligatoria de señales comerciales y no comerciales, impuesta a los

sistemas de cable, de difundir las estaciones locales de aire local en el área de prestación del sistema de cable.

Robustez: Capacidad para soportar los errores aleatorios, errores en ráfaga y proporciones de bits erróneos elevadas en toda la zona de servicio.

Señal: Variación de una cantidad física utilizada para transmitir datos

Zona de Cobertura: Parte de la red de radiocomunicaciones móviles cubierta por una estación base dentro de la cual los móviles pueden ser alcanzados por el equipo de radio de dicha base.

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Modelo de diseño e implementación

Descripción del proyecto

En el siguiente capítulo abordare los criterios para el diseño y configuración de la red de transmisión óptica inalámbrica, donde, expresaremos las necesidades principales de la red (medio, alimentación, ancho de banda) que deben ser satisfechas.

Una vez conocida estas necesidades se procederá a explicar cada una de ellas; empezando por el medio de comunicación, donde se discutirán los diferentes fenómenos que suceden cuando el rayo láser viaja a través del aire, y cómo se previenen pérdidas en la potencia del láser por dichos fenómenos. Luego se procedió a ubicar el equipo transmisor y la estación receptora, determinar la distancia en la que se encontrarán y la clase de clima que enfrentará dicho enlace.

Como se mencionó en el capítulo anterior dicho enlace es fundamental para el continuo trabajo de los ingenieros, y con el enlace actual no es posible por la lentitud del enlace e intermitencia con los servidores de la sede principal.

a) Análisis del enlace radio enlace anterior

Entre las dos sedes hay un radio enlace de 100 Mbps, dicho radioenlace tiene varias desventajas, en la cual la más importante de ellas es el reducido ancho de banda, otra de las desventajas es que es susceptible a la interferencia electromagnética, generando intermitencia o lentitud. Es más costoso, debido a que se necesita un licenciamiento por la frecuencia que se está usando, dicho licenciamiento es un pago que se realiza mensualmente, asimismo al ser omnidireccional el radioenlace, los datos que son transmitidos por el medio aéreo,

hay una gran probabilidad de que dichos datos puedan ser extraídos por un hacker, ya que al transmitirse omnidireccionalmente, cualquier receptor que esté operando y detecte a que frecuencia está trabajando dicho radioenlace, será capaz de adquirir esta información. La información puede estar encriptada, asimismo después de implementar algunas normas de encriptación, es cuestión de tiempo de que pueda desencriptar dicha información.

b) Análisis del enlace radio enlace anterior

Cuando se empezó a buscar alternativas, se tenía por seguro de que dicho enlace tenía que ser inalámbrico, ya que no se podía cablear fibra óptica entre ambas sedes, por problemas de permisos con la municipalidad, costo y tiempo que demorará en implementar, otra característica que se tomó en cuenta para dicho enlace, es que debe ser direccional, de esta forma se asegura de que dicha información no pueda ser extraída por otra persona no autorizada, y dicho enlace debe ser de arquitectura escalable, en el caso de que se requiera mayor ancho de banda. Por ello, el diseño que se implementó se basa en la tecnología FSO, para ello se realizó una rigurosa investigación, si esto funcionase en el distrito de Lima, ya que las condiciones climáticas nos proponen un gran reto para realizar dicha implementación. Ya que una de las desventajas del FSO, son las condiciones climáticas, y Lima tiene una gran variedad de climas, asimismo la densa neblina puede generar una gran pérdida de potencia del láser. Por ello como redundancia se pensó un enlace Wireless punto a punto de 5.8 GHz, con un ancho menor que el enlace FSO, pero capaz de mantener la conectividad de ambas sedes.

3.1.2 Consideraciones del diseño

Ante la necesidad de diseñar un enlace inalámbrico entre estas dos sedes, se estableció los siguientes requerimientos para satisfacer el diseño a realizar, por lo tanto, se toma en cuenta las siguientes características técnicas:

- Velocidad de transmisión 1250 Mbps
- Potencia consumida entre los equipos sea menor a 1.5 KVA, debido a que ya cuenta instalado un UPS de 1.5 KVA, para dichos equipos
- Voltaje de entrada 100-240 VAC

Con estos datos se procedió a elegir el tipo de equipo láser óptico:

En el siguiente diagrama de bloques observaremos las partes del sistema definido con sus necesidades:

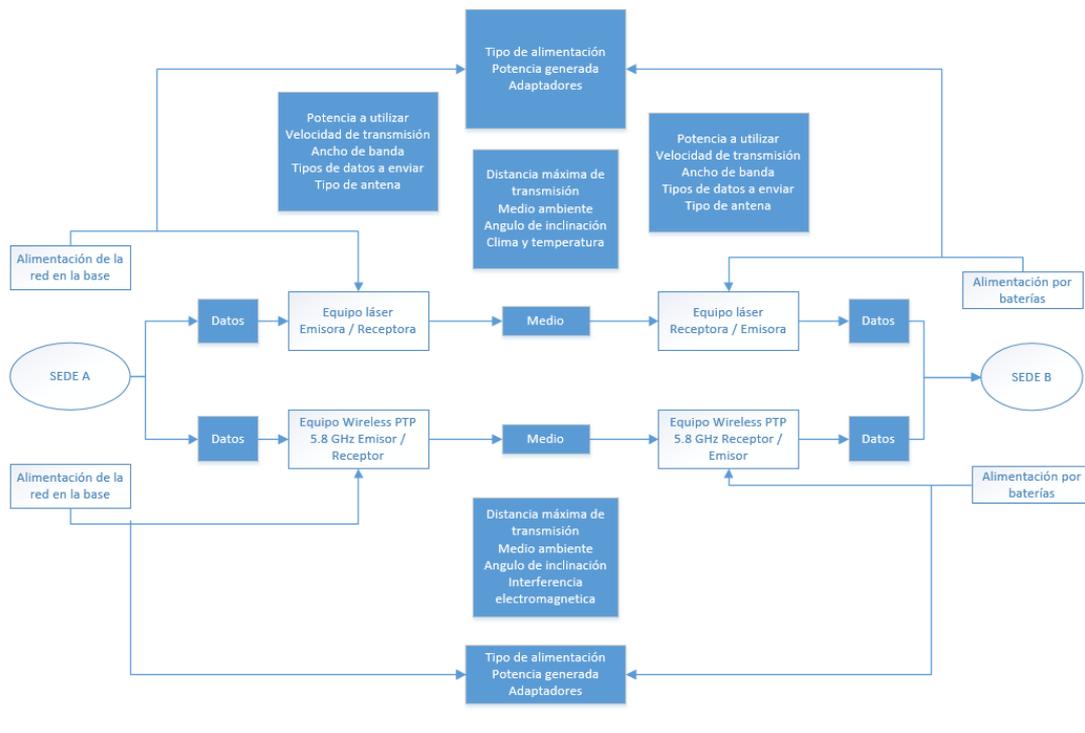


Figura 8: Diagrama de bloques del enlace entre la sede A y la sede B

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 9, se detalla el diagrama lógico de red a la cual se tiene como meta.

Diagrama lógico de red con el enlace FSO y el enlace Punto a punto a 5.8 GHz

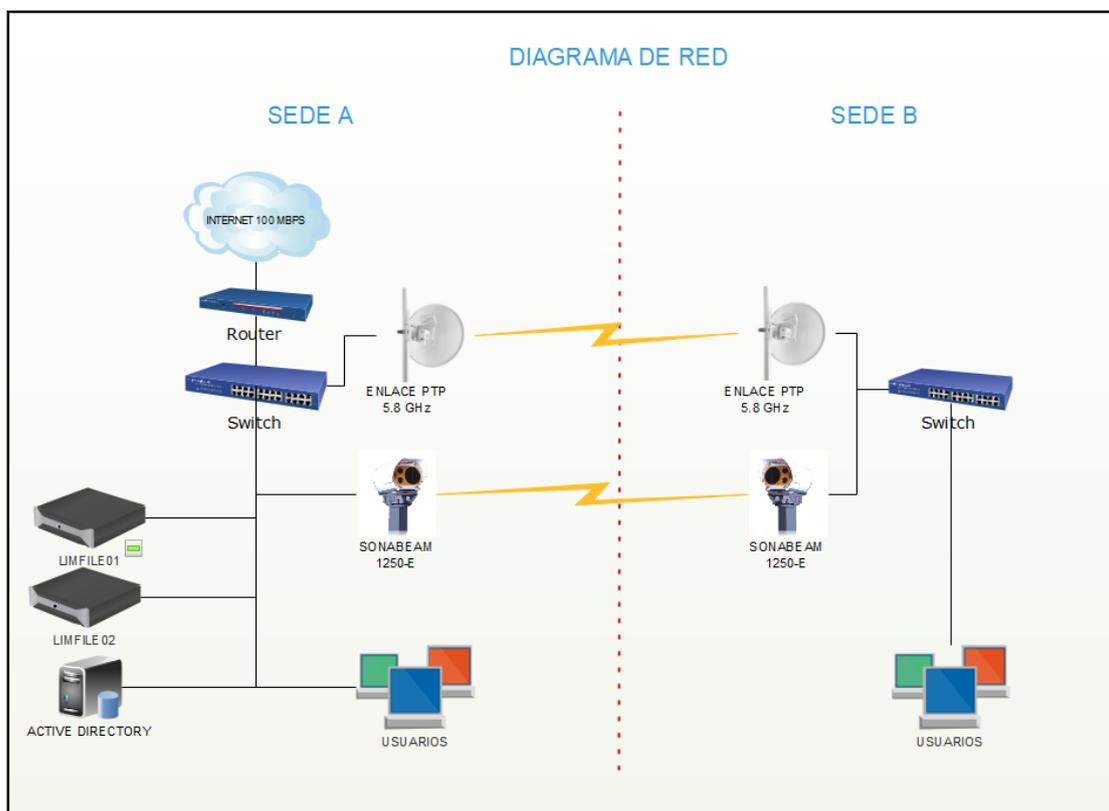


Figura 9: Diagrama lógico de red con el enlace FSO y Wireless de 5.8 GHz

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones del diseño para el enlace FSO

Análisis de distancia y alturas entre edificios de la sede A y la sede B

Para la medición del enlace y la línea de vista se utilizó un sistema de posicionamiento global GPS y un telémetro para la medición y cálculo de las distancias entre ambas sedes, estos dispositivos se utilizaron para tener datos más exactos entre ambos nodos de la interconexión inalámbricos ópticos.

Estas mediciones se realizaron en ambos edificios y en los lugares específicos en donde se van a instalar los equipos.

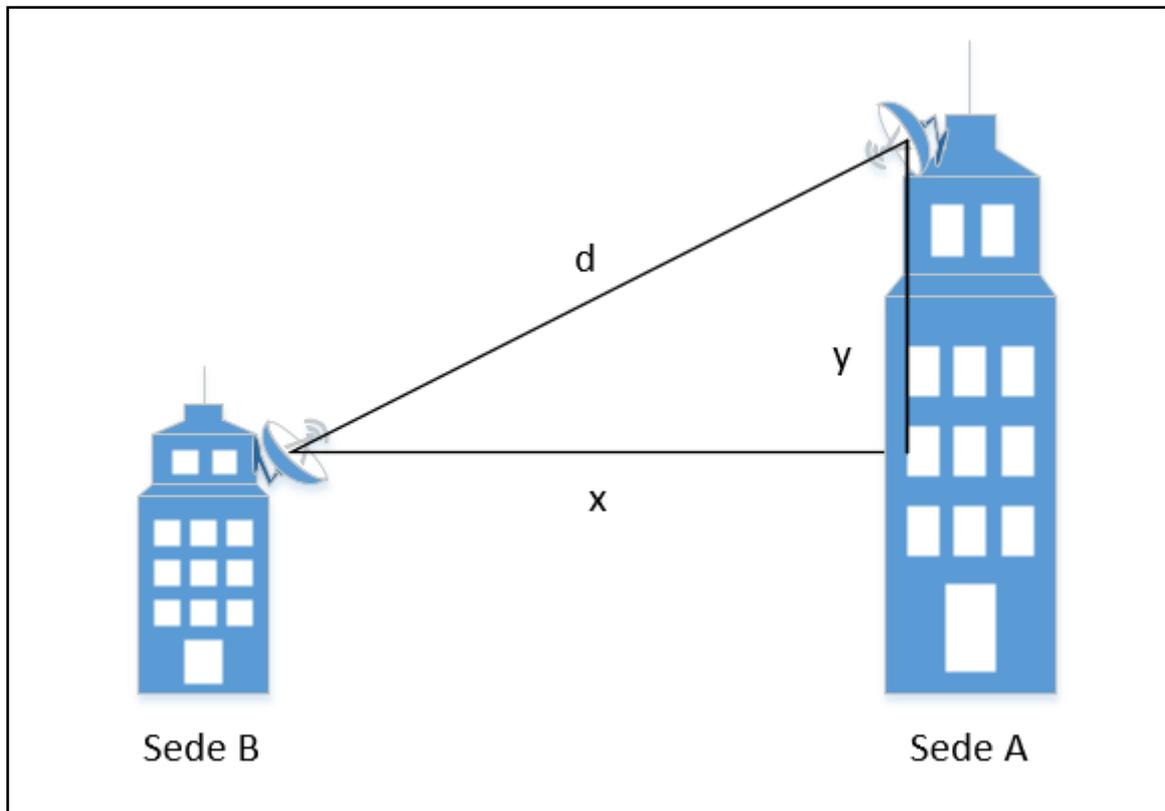


Figura 10: Calcular distancias entre enlaces inalámbricos ópticos

Fuente: Elaboración Propia

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

En la tabla 3 se indican las mediciones de las alturas y las coordenadas geográficas de los edificios, tanto el de la sede A y de la sede B que son los edificios por interconectarse.

Tabla 3: Coordenadas y altura de los edificios a interconectar

Edificios	Coordenadas Geográficas	Altura
Edificio de la sede A	Latitud 12° 6'14.35"S	45m
	Longitud 77° 2'18.61"O	
Edificio de la sede B	Latitud 12° 6'7.65"S	20m
	Longitud 77° 2'18.61"O	

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se utilizó el software informático Google Earth el cual permite tener una visualización cartográfica del globo terrestre en base a imágenes virtuales, el cual permite tener una distancia referencial entre ambas sedes. Debido a este software, se pudo confirmar que la distancia entre estas dos sedes es de 266m. En la figura 11 se indica la distancia entre estas dos sedes.

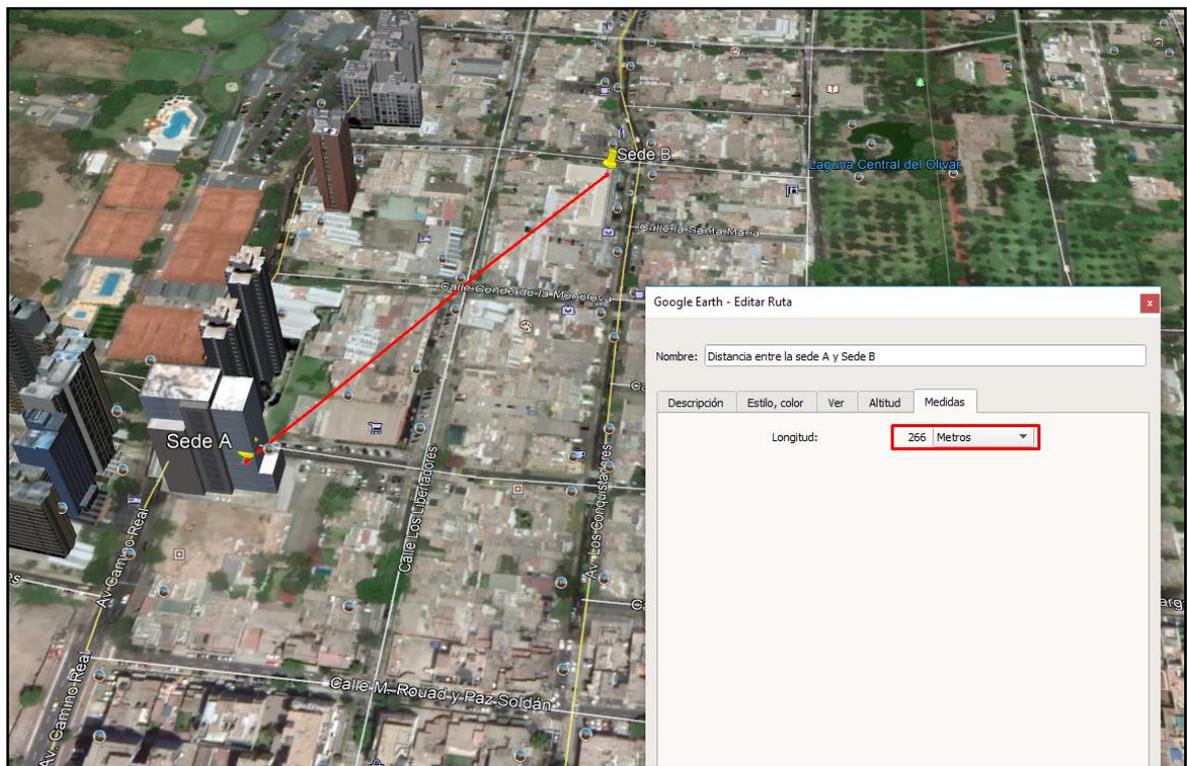


Figura 11: Distancia entre el edificio principal y el edificio secundario

Fuente: Google Earth Pro

Al ser evaluado dicha zona y la ubicación de los edificios, se procede a reemplazar los datos para hallar “y”:

$$y = 45 - 20$$

$$y = 25m$$

Al reemplazar dichos datos, de la ecuación (5), se obtiene lo siguiente:

$$d = \sqrt{266^2 + 25^2}$$

$$d = 267.17m$$

La distancia que recorrerá el haz de luz óptico es de 267.17 m que es el equivalente a 0.26717km; el cual está dentro del rango permitido para las comunicaciones ópticas de espacio libre (FSO) que actualmente se halla hasta las 10 Km, el cual no tiene serias complicaciones en lo que respecta a las distancias.

Cálculo del margen del enlace

El margen de enlace permite conocer la disponibilidad de los enlaces frente a los fenómenos atmosféricos.

Los parámetros necesarios para determinar el margen de enlace se indican y calculan a continuación, en la ecuación (6):

$$\text{Margen de enlace} = P_{Tx} + S_{Rx} + At_{GEO} + At_{ATM} + Perd_{SIST} \quad (6)$$

En donde:

P_{Tx} = Potencia del transmisor

S_{Rx} = Sensibilidad del receptor

At_{GEO} = Atenuación geométrica

At_{ATM} = Atenuación atmosférica

$Perd_{SIST}$ = Perdidas del sistema

Potencia de emisión de la señal

Con respecto a la potencia de señal del emisor y a la sensibilidad del receptor, estas especificaciones son proporcionadas por el fabricante SonaBeam, para los enlaces inalámbricos ópticos entre los edificios, se analizan para su instalación el equipo SonaBeam 1250-E en cada sede, estos equipos presentan características multihaz, lo que permite disminuir considerablemente efectos como la dispersión atmosférica, en este caso como el modelo mencionado usa 2 haces; la potencia calculada sería la siguiente:

$$P_e = 2 * 160mW = 320 mW$$

$$P_e = 25.05 dBm$$

Sensibilidad del receptor

El valor de sensibilidad del receptor se obtuvo del datasheet del equipo SonaBeam 1250-E, siendo esta de -20 dBm.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del equipo SonaBeam 1250-E

Características	SONABeam 1250-E
Fuente de luz	Láser
Potencia de emisión	2x160mW
Sensibilidad	-20dBm
Velocidad de Tx	1.25 Gbps
Fuente de poder	100-240 VAC
Ventana (Longitud de láser)	1550 nm
Apertura del Receptor	0.00785m ²
Distancia de Tx. (m)	50m a 2700m si es limpio el aire
	50m a 1400m si es extremadamente lluvioso
Potencia salida láser	320nW (2x160 mW)

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la atenuación geométrica

El valor de la divergencia del haz se calcula con la ecuación (7), para equipos de tecnología FSO de acuerdo a las características técnicas de los distintos fabricantes tiene un

$$A_{geo} = \frac{\pi(d.\theta)^2}{4.S_{captura}} \quad (7)$$

$$A_{geo} = \frac{\pi(267.17m*0,003rad)^2}{4*0.00785m^2} = 64.27 = 18.08 \text{ dB}$$

Cálculo de atenuación atmosférica

La atenuación atmosférica se determina utilizando la ley de Beer, para esto es necesario encontrar el coeficiente de atenuación, para ello se usará la ecuación (8):

$$\frac{P_R}{P_O} = \tau(R) = e^{-\gamma R} \quad (8)$$

En donde:

P_R = Potencia de la señal a una distancia R

P_O = Potencia inicial de la señal

$\tau(R)$ = Transmitancia

γ = Coeficiente total de atenuación

La dispersión de Mie es la que afecta más al enlace FSO. Utilizando la ecuación (9), se puede determinar el coeficiente de atenuación atmosférica.

$$\delta = \beta_n = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q} \quad (9)$$

En donde:

λ_{nm} = Longitud de onda en nm

V = Visibilidad en Km

q = Factor de dispersión en el medioambiente

La ecuación (9) necesita de un factor de dispersión en el ambiente, éste es determinado utilizando la ley de Kruse, que describe la visibilidad de la ciudad donde será instalado el enlace.

La visibilidad de la ciudad de Lima está determinada en base a los datos tomados del Instituto Nacional de Estadística e Informática, y se indica un promedio de 9.8 mm/h de precipitación como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5: Detalles de precipitación en Lima desde el 2008 hasta el 2014

Departamento	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Lima	9.4	15.3	6.9	10.2	7.2	8.6	11.3

Fuente: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1253/cap02/cap02061.xlsx

Además, el pronóstico diario tiene una visibilidad de 10 Km, estos datos permiten situar en la tabla 6 del código de visibilidad internacional 2 en una visibilidad de 1.2 Km

Tabla 6: Código de Visibilidad Internacional

Weather Conditions	Precipitation		Visibility (km)	
		mm/h		
Dense Fog	Snow		0	
			50	
Thick Fog			200	
Moderate Fog			500	
Light Fog		Storm	100	770
Very Light Fog				1000
		Strong Rain	25	1900
Light Haze				2000
		Average Rain	12.5	2800
				4000
Very Light Haze	Light rain	2.5	5900	
			10000	
Clear Air			18100	
	Drizzle	0.25	20000	
			23000	
Very Clear Air			50000	

Fuente: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1253/cap02/cap02061.xlsx

$$q = 0.16V + 0.34$$

$$q = 0.16 * 1.2 + 0.34$$

$$q = 0.53$$

Con el valor de q se calcula la atenuación atmosférica, con la ecuación (9):

$$\delta = \beta_n = \frac{3.91}{1.2} \left(\frac{1550}{550} \right)^{-0.53}$$

$$\delta = \beta_n = 1.9$$

Cálculo de la transmitancia del enlace, con la ecuación (8):

$$\tau(d) = e^{-(1.9)(0.267)}$$

$$\tau(d) = 0.6021$$

Finalmente se calcula la atenuación atmosférica, con la ecuación (10)

$$At_{ATM} = \frac{1}{\tau(d)} \quad (10)$$

$$At_{ATM} = \frac{1}{0.6021}$$

$$At_{ATM} = 10\log(1.66)$$

$$At_{ATM} = 2.20 \text{ dB}$$

Tabla 7: Atenuación atmosférica obtenida

Distancia (metros)	$\delta=\beta$	Transmitancia	Atenuación atmosférica
267.17m	1.9	0.6021	2.20 dB

Fuente: Elaboración Propia

Perdidas del sistema:

Corresponde a la pérdida total de los distintos componentes físicos que constituyen el enlace, a continuación, se detalla el valor de pérdida de cada uno:

- Pérdida de los equipos FSO, para el enlace se considera una pérdida de 1 dB según el datasheets del fabricante.
- Pérdida de conectores, cada fabricante recomienda utilizar conectores de fibra SC, por estándar el valor de pérdida es de 1dB por conector.
- Pérdida de fibra óptica, esta pérdida es cero (0), ya que la distancia entre los componentes del enlace y los equipos FSO mantienen una distancia menor a 1Km.
- Pérdida por des alineamiento, se producen por movimientos de los equipos inalámbricos, ya sea vientos, temblores, etc. Esto provoca un des

alineamiento entre los equipos FSO, es decir se interrumpe el enlace, se considera pérdida de 1 dB/Km.

Tabla 8: Pérdidas del sistema obtenido

Distancia (metros)	Pérdidas (dB)				
	Equipo	Conectores	Fibra Óptica	Desalineamiento	Sistema
267.17m	1	2	0	2	5

Fuente: Elaboración Propia

Luego se reemplaza los datos obtenidos de potencia, sensibilidad, atenuación geométrica, atmosférica y las pérdidas del sistema antes determinadas, con la ecuación (7).

$$\text{Margen de enlace} = 25.05 - 20 - 18.08 - 2.2 - 5$$

$$\text{Margen de enlace} = 20.23 \text{ dB}$$

Tabla 9: Margen del enlace obtenido

Distancia (metros)	Potencia de Transmisor	Sensibilidad Receptor	Atenuación geométrica	Atenuación atmosférica	Margen del enlace
267.17m	25.05 dB	20 dB	18.08 dB	2.2 dB	20.23 dB

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla 9 tiene un margen de enlace positivo, es decir, el enlace FSO tiene buena disponibilidad.

Especificaciones eléctricas del equipo láser:

En este caso, se deben considerar dos tipos de redes eléctricas, para alimentar ambos equipos, la primera es la red proporcionada por el edificio Esquilache (Sede A), en la cual actualmente es abastecido por un sistema de respaldo que consta de equipos electrógenos y UPS, en lo cual abastece por 3 horas de energía de respaldo, para los servidores y equipos de telecomunicaciones.

Por otro lado, en el edificio Conquistadores (Sede B), solo existe la red eléctrica que provee el edificio, por ello se debe diseñar un sistema de alimentación adecuado para el funcionamiento del equipo láser.

El equipo Sonabeam 1250-E, soporta la alimentación de 100 a 240 voltios con una frecuencia de 50 a 60 Hertz, por lo que la alimentación proporcionada por el edificio se encuentra dentro de los rangos permitidos. Debido a que este tipo de equipo de comunicaciones presentan gran sensibilidad a los picos de corriente, es recomendable instalar un UPS antes de realizar la instalación eléctrica, así de esta forma limpie la red de los altos picos de corriente eléctrica y de los armónicos que puedan existir en ella, por otro lado al instalar dicho equipo, también brindará un sistema de respaldo por un corto tiempo.

Características del Equipo Láser:

En esta parte, se detallará las características del equipo láser, entre las cuales tenemos características físicas y operacionales:

Características físicas del equipo láser:

Existen diferentes tipos de fabricantes, pero en este caso las principales características entre estos equipos son las siguientes:

- La carcasa o case es usualmente de aluminio, al igual que las repisas donde el equipo va montado. El aluminio es un material que tiene propiedades térmicas, el cual ayuda a disipar el calor, por otro lado, es bastante resistente al aire y neblina.
- El equipo es aprueba de agua con el estándar IP66 + NEMA4, el cual previene también toda acumulación de agua dentro del equipo.
- Según las especificaciones técnicas del equipo, el cabezal del equipo pesa 10 Kg, y las dimensiones son 25 x 33 x 46 cm. Asimismo, para la instalación

de este equipo se tuvo que anclar al piso del techo del edificio, de esta forma prevenir que los fuertes vientos o temblores muevan el chasis, y no perder la comunicación del enlace.

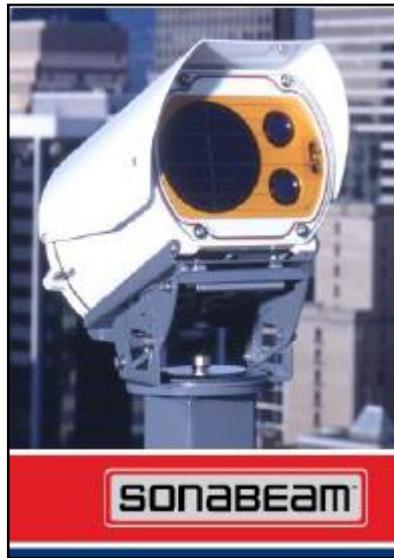


Figura 12: Equipo Sonabeam
Fuente: Google imágenes

Dada las características físicas, este equipo puede ser instalado sin ningún problema en un ambiente exterior, ya que es resistente a diferentes condiciones climáticas, tales como lluvia o fuertes vientos.

Características operacionales del equipo láser:

Entre las principales características del equipo láser tenemos lo siguiente:

- Utiliza una longitud de onda de 1310 nm., dicha longitud de onda permite evitar el fenómeno de la absorción, por otro lado, se trata de una longitud de onda que es invisible al ojo humano y no es dañina, esto último es un requisito para su diseño según los estándares internacionales.
- Tienen un rango de velocidad de transmisión de aproximadamente de 1.25 Gbps.

- La conexión de este equipo láser hacia el switch, se realiza mediante un enlace de fibra óptica, esta fibra posee una longitud de onda de 1280 a 1335 nm. Esta conexión puede realizarse con una fibra multimodal o mono modal. Algunos de estos equipos poseen una interface mediante la cual se puede utilizar cable UTP. Una vez escogido el tipo de módulo de interface, este se conecta al switch de la red. En la siguiente figura se puede visualizar el diagrama de conexión.

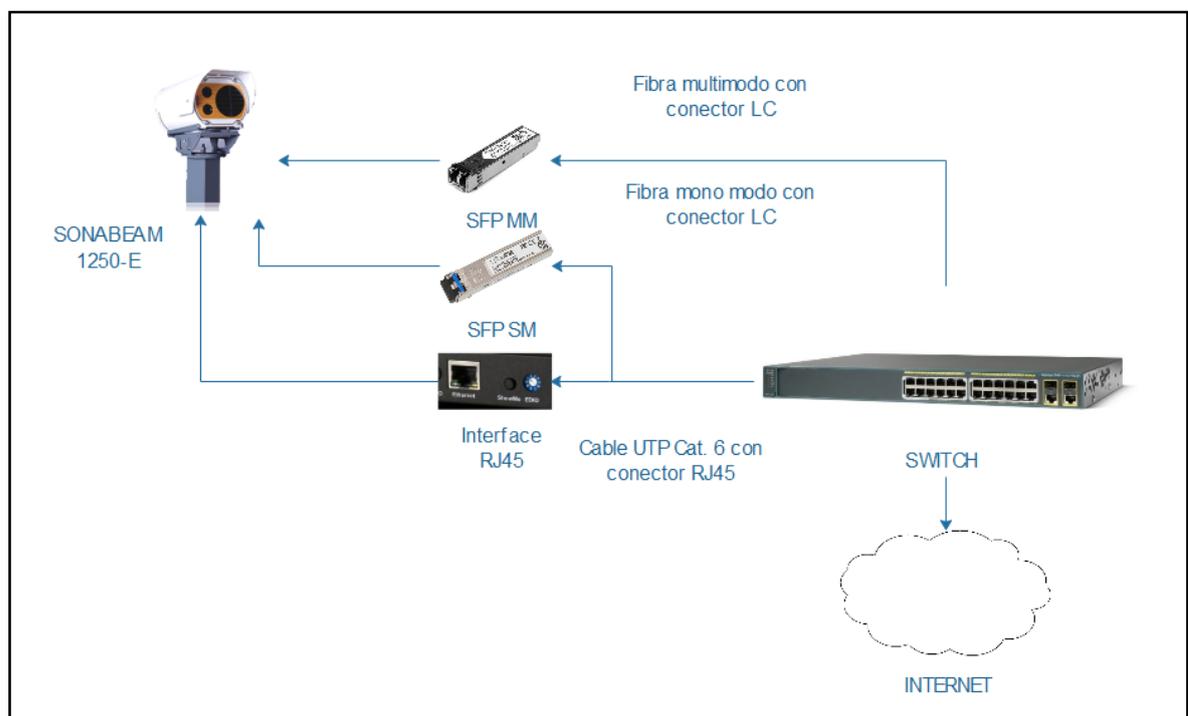


Figura 13: Diagrama de conexión del equipo láser
Fuente: Elaboración propia

Consideraciones del diseño para el enlace Backhaul Punto a Punto de 5.8 GHz

Antes de realizar el cálculo, se analizará que frecuencia utilizar para este enlace. Para ello se realizará una comparación entre las frecuencias de 2.4Ghz y 5.8 GHz.

Longitud de Onda:

Es la distancia espacial en que se repite el periodo de la onda. A menores frecuencias, tendremos longitudes de onda más grandes y viceversa.

En el caso de una frecuencia de 2.4 GHz, la longitud de onda será de 12.5 cm

En el caso de una frecuencia de 5.8 GHz, la longitud de onda será de 5.1724 cm

Zona de Fresnel:

Es el lóbulo que se genera para la propagación de la señal y es dependiente de la frecuencia. Se recomienda mantener al 60% de la primera zona de Fresnel sin obstrucciones para obtener enlaces óptimos.

En el medio del enlace de una distancia total de 267.17 m se tendrá los siguientes valores para la zona de Fresnel:

En el caso de que la frecuencia sea de 2.4 GHz, el radio de la primera zona de Fresnel será de 2.89 m y el radio que deberá estar libre para una transmisión óptima, 60% de la primera zona de Fresnel, será de 2.23 m.

En el caso de que la frecuencia sea de 5.8 GHz, el radio de la primera zona de Fresnel será de 1.86 m y el radio que deberá estar libre para una transmisión óptima, 60% de la primera zona de Fresnel, será de 1.44 m.

La banda de 5.8 GHz posee una mejor zona de Fresnel, por lo cual será más fácil evitar los obstáculos en la trayectoria del enlace y, por consecuencia tener una mayor calidad de enlace.

Perdidas por trayectoria (path loss)

Es el valor de pérdida o atenuación en el espacio libre Se obtiene usando la fórmula del Path Loss. Esta se calcula para un enlace en el vacío con una trayectoria ideal. Para nuestro caso aplicaremos una distancia de 267.17m y obtendremos los siguientes valores para cada banda.

Utilizando la ecuación (11):

$$L_0(dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) > 0 \quad (11)$$

$$R = 0.267 \text{ Km} = 267.17\text{m}$$

$$\lambda = 12.5 \text{ cm} = 0.125 \text{ m}$$

$$L_0 = 88.58 \text{ dB}$$

En el caso de una frecuencia de 2.4 GHz, tendremos una pérdida por trayecto de 88.58 dB

$$R = 0.267 \text{ Km} = 267.17\text{m}$$

$$\lambda = 5.1724 \text{ cm} = 0.051724 \text{ m}$$

$$L_0 = 96.25 \text{ dB}$$

En el caso de una frecuencia de 5.8 GHz, tendremos una pérdida por trayecto de 96.25 dB

Atenuación atmosférica:

La atenuación atmosférica es la atenuación adicional que tiene la onda al pasar por distintos entornos durante su trayectoria.

Para obtener el factor de atenuación atmosférica correspondiente a cada frecuencia, se obtiene de la Figura 15 y a este dato obtenido lo sumamos un factor

de corrección para transportarla al nivel del mar, dicho factor se obtiene de la Figura 14. Con los datos obtenidos, se calcula el factor de atenuación y la atenuación total para un enlace de 0.267 Km de distancia:

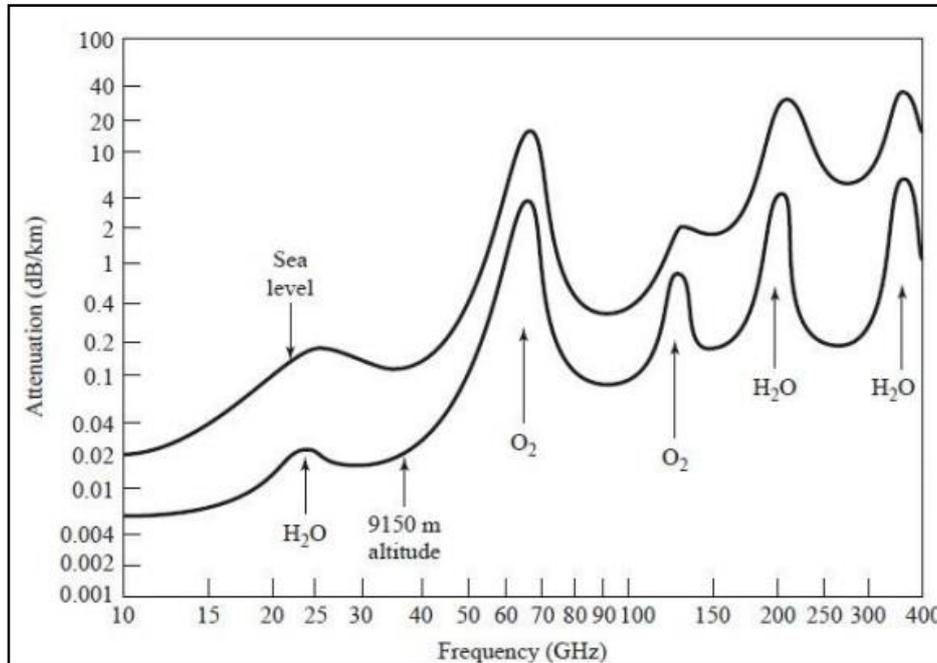


Figura 14: Atenuación atmosférica Promedio contra Frecuencia

Fuente:

https://radfiz.org.ua/share/s8_DEK/SECONDARY/%E4%C5%D2%D6/%E4%C5%D2%D6/%CE%D7%DE%20%D4%C5%C8%CE%A6%CB%C1/%CC%A6%D4/Pozar.%20Microwave%20Engineering.pdf

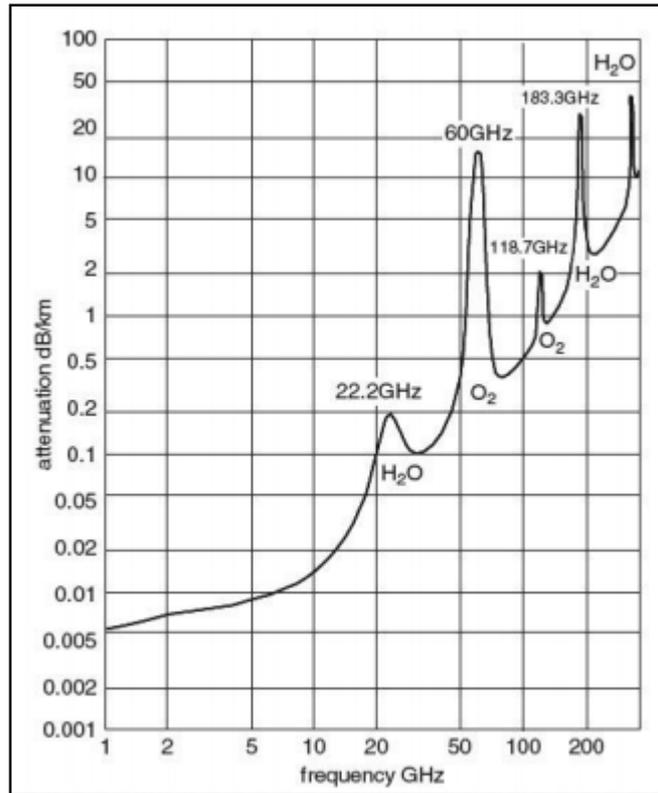


Figura 15: Atenuación de la onda de espacio por constituyentes atmosféricos

Fuente: <https://www.springer.com/gp/book/9783540771241>

En el caso de una frecuencia de **2.4 GHz**, notamos una constante de atenuación de **0.007 dB/Km** con un factor de corrección a nivel del mar de **0.015 dB/Km**, con lo que se obtiene un total de **0,022 dB/Km**.

Para nuestro enlace de **0.267 Km** de distancia se tendrá una atenuación total de **0.005874 dB** para la banda de **2.4 GHz**, para ello se usará la ecuación (12), que nos permitirá hallar la pérdida por atenuación atmosférica.

$$L_A(f) = (F_1 + F_2) * R \tag{12}$$

L_A : Pérdida por atenuación atmosférica (dB)

F_1 : Factor de atenuación atmosférica (dB/km)

F_2 : Factor de corrección al nivel del mar

R : Distancia del enlace (Km)

f : Frecuencia del enlace (GHz)

$$F_1 (2.4) = 0.007$$

$$F_2 (2.4) = 0.015$$

$$F_1 + F_2 (2.4) = 0.022 \text{ dB/Km}$$

$$L_A(2.4): 0.022 * 0.267 = 0.005874 \text{ dB}$$

En el caso de una frecuencia de 5.8 GHz, notamos una constante de atenuación de 0.01 dB/Km con un factor de corrección a nivel del mar de 0.015 dB/Km, con lo que se obtiene un total de 0.025 dB/Km.

Para nuestro enlace de 0.267 Km de distancia se tendrá una atenuación total de 0.006675 dB para la banda de 5.8 GHz

La atenuación total es menor para la banda de 2.4 GHz, pero la diferencia entre los valores para cada banda es muy pequeña y por tanto, despreciable para una comparación contra el beneficio de cada banda en este enlace.

Interferencia:

Esta sucede cuando dos ondas viajan sobre el mismo medio y por tanto, a más redes existan en la trayectoria del enlace, más interferencia se producirá y tendremos una menor calidad del enlace. El manejo de selección de frecuencias dentro de cada banda se da mediante la configuración de portadoras. Estas portadoras pueden o no solaparse entre ellos, dependiendo del estándar que siga cada banda, equipo o fabricante.

a) Interferencia en la banda de 2.4 GHz

Esta banda posee 11 canales, hasta 14 para ciertas regiones, regidos por el estándar IEEE 802.11 b/g, cuya gran mayoría se solapa entre ellas por

excepción de aquellas que se diferencian por 5 canales. Ejemplo: los canales 1, 6 y 11.

Podemos notar el solapamiento de canales en las siguientes figuras:

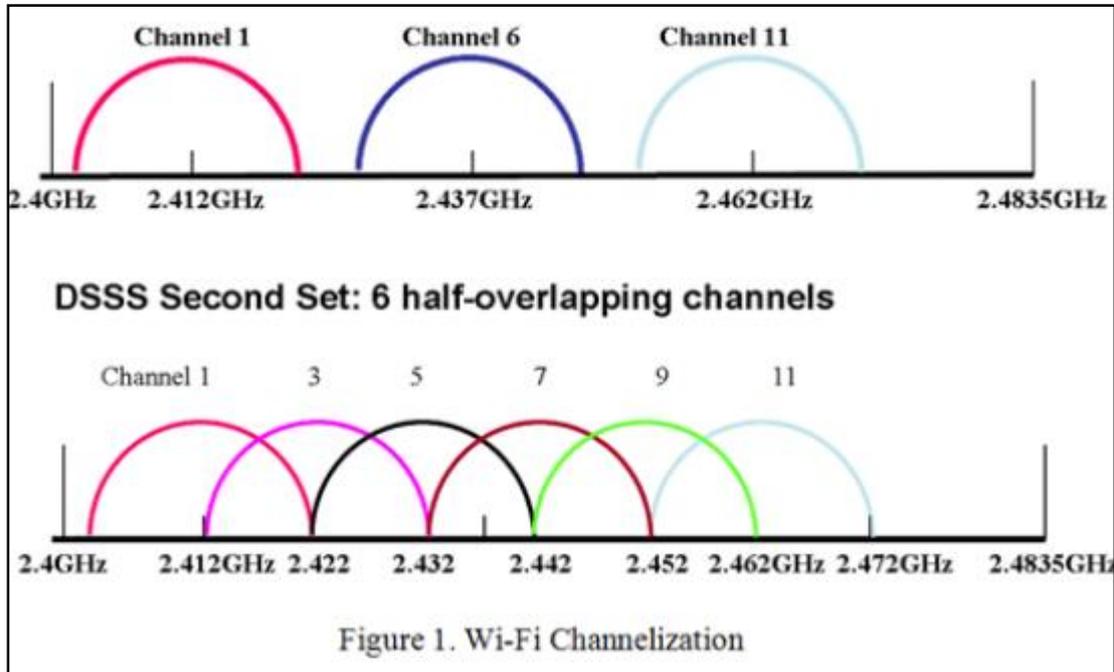


Figura 16: Solapamiento de los canales en la banda 2.4 GHz

Fuente: <https://transition.fcc.gov/pshs/techtocps/techtocps10.html>.

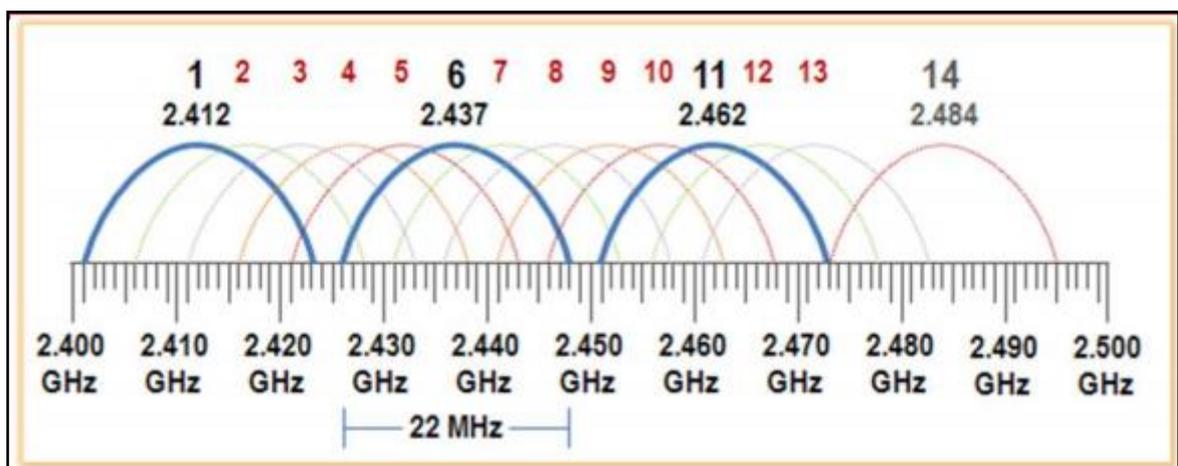


Figura 17: Canales en todas las regiones para la banda de 2.4 GHz

Fuente: <http://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/Real-world-examples-and-discussion-around-WiFi-channels/ba-p/66712>

Channel	Center Frequency (GHz)	North America	Europe	Spain	France	Japan
1	2.412	X	X			X
2	2.417	X	X			X
3	2.422	X	X			X
4	2.427	X	X			X
5	2.432	X	X			X
6	2.437	X	X			X
7	2.442	X	X			X
8	2.447	X	X			X
9	2.452	X	X			X
10	2.457	X	X	X	X	X
11	2.462	X	X	X	X	X
12	2.467		X		X	X
13	2.472		X		X	X
14	2.484					X

Figura 18: Canales disponibles según región

Fuente: http://wiki.mikrotik.com/wiki/Testwiki/MikroTik_Wireless_Networks

b) Interferencia en la banda 5.8 GHz

Se cuentan con cerca de 40 canales, de acuerdo con el estándar IEEE 802.11a, dependiendo de la región. Cada uno de estos canales se solapa muy poco con los otros en comparación a la banda de 2.4; esto se da por la forma de onda que se utiliza para el protocolo en esta banda.

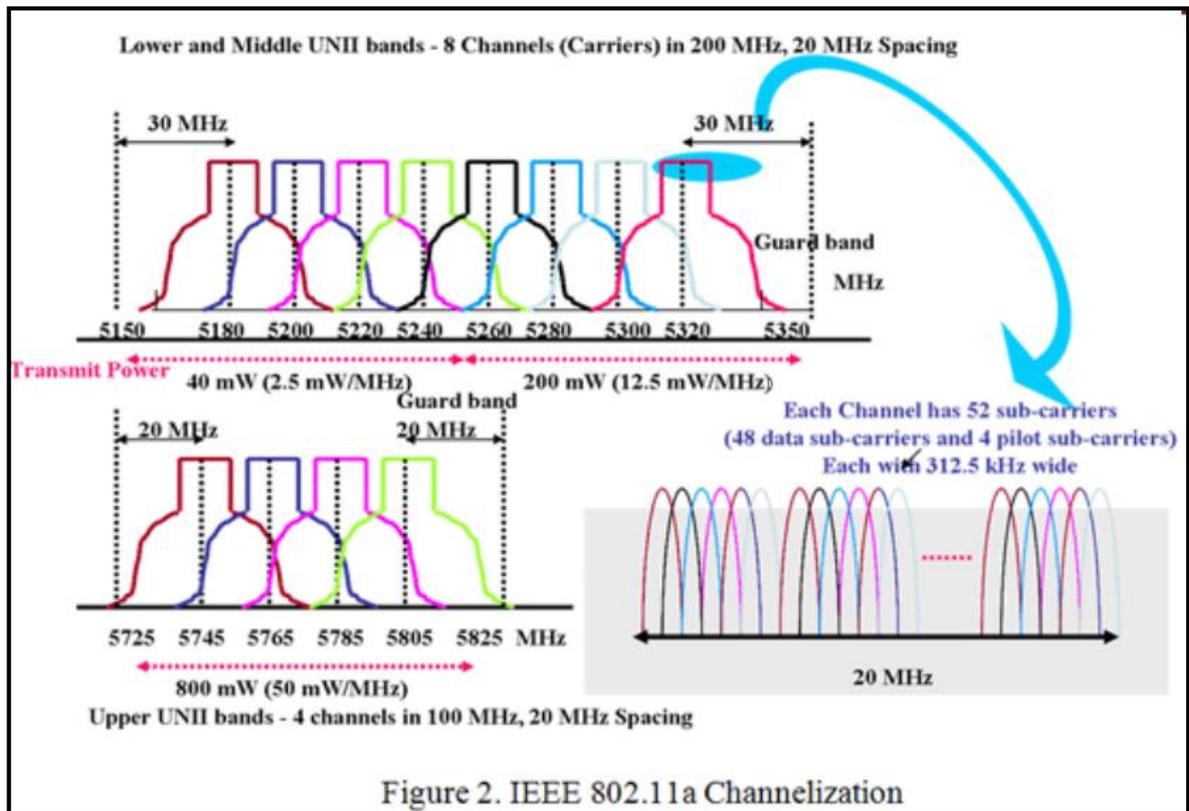


Figura 19: Solapamiento de los canales en la banda de 5.8 GHz

Fuente: <https://transition.fcc.gov/pshs/techtomics/techtomics10.html>

La banda de 5.8 GHz posee menos usuarios en comparación con la banda de 2.4 GHz, por lo que tendremos menor interferencia con otras redes aledañas. Adicionalmente, el tener una menor zona de Fresnel y/o lóbulo de propagación ayudarán a obtener menor interferencia.

Ancho de Banda Disponible:

Los anchos de bandas disponibles dependerán de los estándares, IEEE u otros, que soporten cada equipo de radio, dependiendo de sus fabricantes. Los más comunes para los equipos en cada banda son los siguientes: En el caso de la banda de frecuencia de 2.4 GHz, los equipos de radio soportan los estándares IEEE 802.11 b/g/n, cuyas portadoras poseen un ancho de banda de 20 MHz cada una. En el caso de la banda de frecuencia de 5.8 GHz, los equipos de radio soportan los

estándares IEEE 802.11 a/n, cuyas portadoras poseen un ancho de banda de 5, 10, 20 o 40 MHz cada una.

Simulaciones en RadioMobile

A continuación, se realizará simulaciones en el software RadioMobile entre el edificio Esquilache (Sede A) y el edificio Conquistadores (Sede B) para las bandas de 2.4 GHz y 5.8 GHz con equipos de la mayor potencia y ganancia disponibles en el mercado. Este simulador utiliza modelos estadísticos para sus cálculos.

Tabla 10: Características de un equipo Wireless

Potencia de transmisión	30 dBm
Ganancia de antenas	29 dBi
Pérdida en cable	0.5 dB
Sensibilidad	-97 dBm @ 6 Mbps

Fuente: Elaboración propia

Simulación para la banda de 2.4 GHz

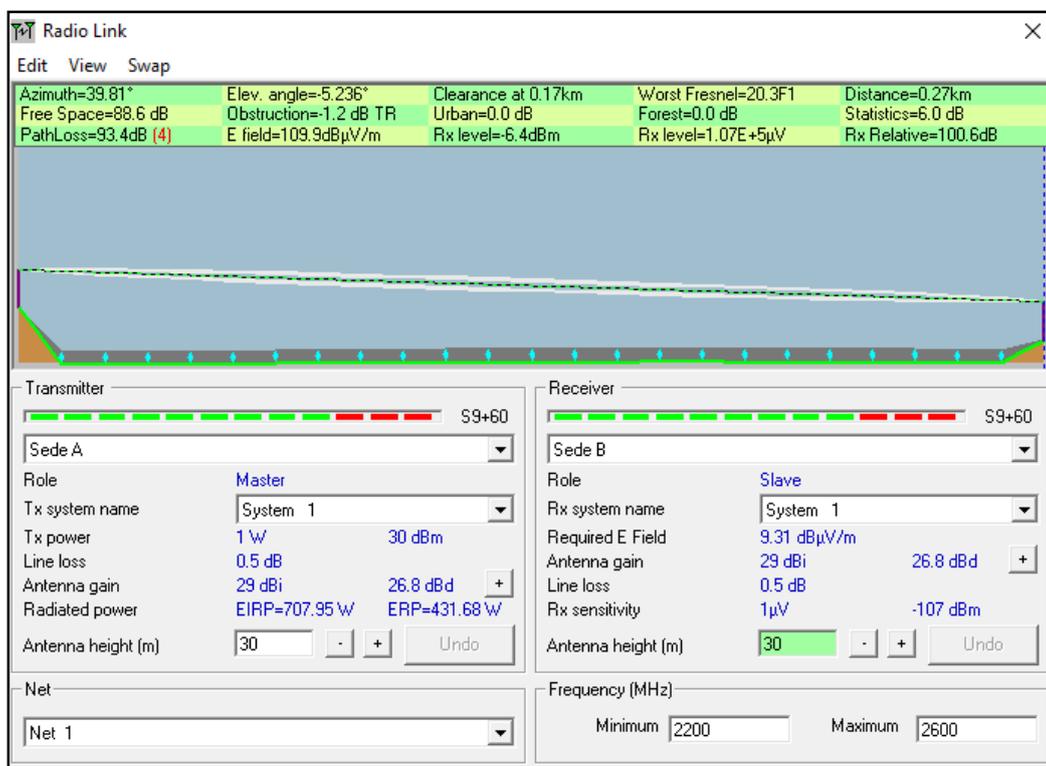


Figura 20: Simulación del enlace para la banda de 2.4 GHz en Radio Mobile

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene una potencia de recepción de -6.4 dBm, lo cual nos da un margen de 90.6 dBm.

Simulación para la banda de 5.8 GHz

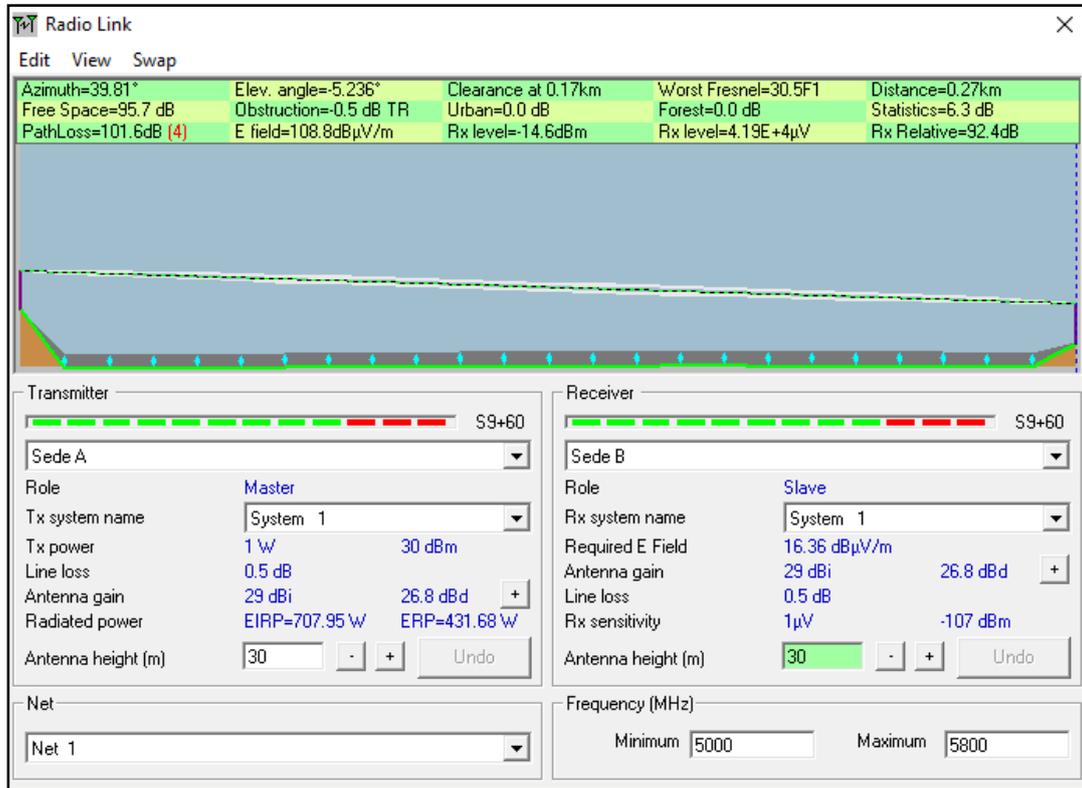


Figura 21: Simulación del enlace para la banda de 5.8 GHz en RadioMobile

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene una potencia de recepción de -14.6 dBm, lo cual nos daría un margen operativo del sistema de 82.4dB, superior al margen calculado para la banda de 2.4 GHz.

Tabla 11: Comparación entre las frecuencias 2.4 GHz y 5.8 GHz

	2.4 GHz	5.8 GHz
Longitud de Onda	12.5 cm	5.1724 cm
1ra Zona de Fresnel	21 m	14 m
60% de Fresnel	17 m	11 m
Interferencia	Mayor	Menor
Path Loss	93.4 dB	101.6 dB
Atenuación atmosférica	0.32428 dB	0.37435 dB
Máxima Potencia Radio	20 dBm	30 dBm
Máxima Potencia Antena	24 dBi	34 dBi
Pérdida por cable y conectores PIRE	-2 dB	-2 dB
PIRE	42 dBm	62 dBm
Potencia Recibida	-69.72428 dBm	-37.47435 dBm
Máxima Sensibilidad	-97 dBm @1-24Mbps	-94 dBm @6-24 Mbps
Margen	30.27572 dB	56.52565 dB
Máxima tasa de Transferencia	84.50 Mbps	175.51 Mbps

Fuente: Elaboración Propia

Luego de analizar las características sobre las frecuencias de 2.4 GHz y 5.8 GHz, para este proyecto verificamos que la diferencia entre pérdidas y atenuaciones de las bandas es muy pequeña comparada a la potencia ganada por los equipos en esta banda.

Por ello, se determina que se usara la frecuencia de 5.8 GHz, por tener menos posibilidades de tener interferencia y tener un mayor ancho de banda que el de 2.4 GHz.

Equipos requeridos para el enlace Óptico y el Wireless Punto a punto de 5.8 GHz

Una vez fijado cuales son las características que deben obtener los equipos para este enlace de comunicaciones. Los equipos se dividen en:

- Equipos de Red
- Equipos FSO
- Equipo Wireless Punto a Punto de 5.8 GHz

Modelos de equipos de red

En las sedes A y B, estan instalados los siguientes equipos de red:

- Switch capa 2, utilizado para conectar las estaciones de diferentes secciones. El equipo utilizado es un Switch Cisco Catalyst 2960, en el cual cuenta con 2 puertos SFP, que serán los que interconectará con nuestro equipo FSO.

- Switch capa 3, utilizado para configurar las diversas VLAN's e interconectar los diversos servidores, permitiendo que estos se encuentren en un diferente dominio de Broadcast. El equipo utilizado es un Switch Cisco Catalyst 3560.

- Router, enrutará los paquetes entre las sedes A y B, permitiendo tambien el acceso a Internet. El equipo Cisco 2800 existe en la actual red.

Modelos de equipos FSO

Hay distintos modelos de varios fabricantes basados en los requerimientos que necesita la red para los equipos, asimismo se escogio el equipo Sonabeam 1250-E, ya que satisface dichas necesidades para dicho enlace de comunicaciones.

Modelo de equipo Wireless Backhaul Punto a punto de 5.8 GHz

Asimismo, para el modelo del equipo wireless, se escogió un equipo de la marca Mikrotik, el modelo BaseBox5 – RouterBoard 912 UAG y una antena de la marca HyperLink, el modelo MIMO HG4958DP-34D.

A continuación se muestra en la siguiente tabla los equipos seleccionados para este enlace de comunicaciones.

Tabla 12: Equipos seleccionados para el enlace de comunicaciones

EQUIPO	MARCA	MODELO	OBSERVACIONES
Switch Capa 2	Cisco	Catalyst 2960	Equipo existente en la red que se acopla a los requerimientos técnicos del enlace
Switch Capa 3	Cisco	Catalyst 3560	Equipo existente en la red que se acopla a los requerimientos técnicos del enlace
Router	Cisco	2800	Equipo existente en la red, tiene un gran performance y mejores garantías, ya que estos son los nodos extremos de la red en los enlaces propietarios como a la frontera hacia redes externas.
Equipo FSO	Fsona	Sonabeam 1250-E	Equipo de alta calidad, rendimiento y garantía, cumple con las características del dimensionamiento del diseño
Wireless Backhaul PTP	Mikrotik	BaseBox5 - RouterBoard 912 UAG	Equipo de alta calidad, cumple con las características del dimensionamiento del diseño

Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento y apoyo al sistema

Los equipos están diseñados para ser manejados en diversas condiciones climáticas y temperaturas variables.

En la figura 19 se muestra un diagrama de flujo que puede ayudar a la solución de problemas en caso de que el sistema no funcione.

La solución de problemas se logra supervisando los leds detectores de los equipos. Para facilitar la tarea, los equipos cuentan con un “Protocolo de administración de red simple” (SNMP), gracias a este protocolo se puede monitorear el sistema desde un software administrativo de monitoreo. Este software tiene alarmas para alertar sobre los fracasos en el enlace.

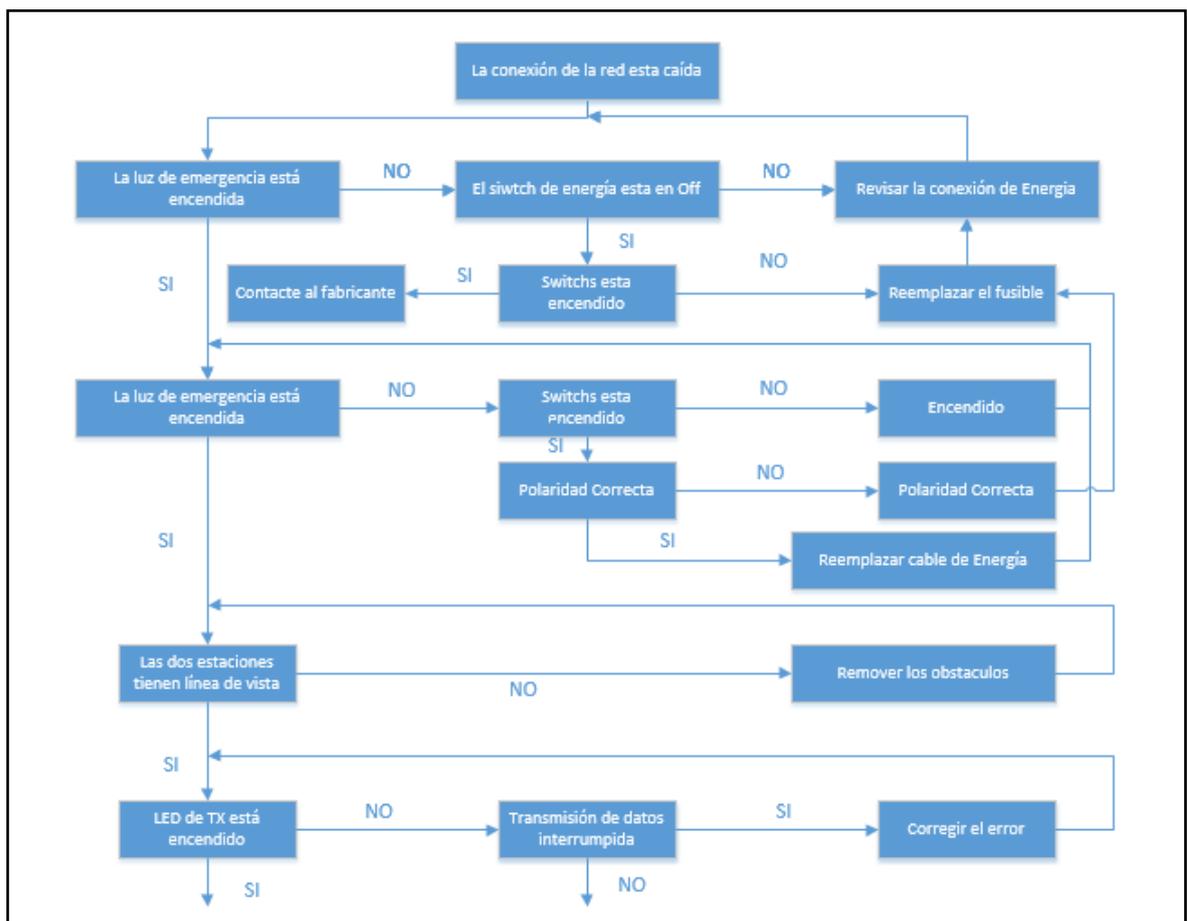


Figura 22: Diagrama de flujo para solucionar problemas en el enlace

Fuente: Elaboración propia

Costos

A continuación se detalla los costos tanto de los equipos de red necesarios para el enlace FSO, como el del Wireless Backhaul PTP. Luego del análisis de

selección de los equipos instalados, en la siguiente tabla se detalla la cantidad y el valor de cada uno de los equipos de red a utilizarse en cada extremo del enlace.

Tabla 13: Cuadro detallado de los precios

Cantidad	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Kit 1250-E SONABeam	\$18,900.00	\$18,900.00
2	Mount Wall	\$245.00	\$490.00
2	I/F Module - SFP 1000 Base LX	\$230.00	\$460.00
2	Cable FO Monomodo LS	\$296.00	\$592.00
2	Transceiver Modular Cisco 10G SFO Catalyst	\$268.00	\$536.00
2	Soporte para SONABeam 1250-E	\$120.00	\$240.00
2	Radio BaseBox5	\$120.00	\$240.00
2	Antena Dish HyperLink MIMO	\$390.00	\$780.00
1	Movilización	\$300.00	\$300.00
	Sub. Total		\$22,538.00
	IGV (18%)		\$4,056.84
	Total		\$26,594.84

Fuente: Elaboración propia

3.2. Pruebas y resultados

Para las pruebas con los equipos se realizó unas configuraciones en el switch para que solo un grupo trabajará independiente con el enlace FSO, y otro grupo con el enlace Wireless PTP de 5.8 GHz. Asimismo, en la empresa se cuenta con un software de monitoreo llamado Monitis, que es licenciado, a través del protocolo SNMP nos permite monitorear el ancho de banda.

Ancho de Banda

Monitis es un software que monitorea a través de una comunidad SNMP diversos parámetros de medición, como el ancho de banda. Gracias a este software

se puede monitorear las 24 horas este tipo de enlaces, asimismo configurar ciertas alertas en el caso de haber fallas en el enlace

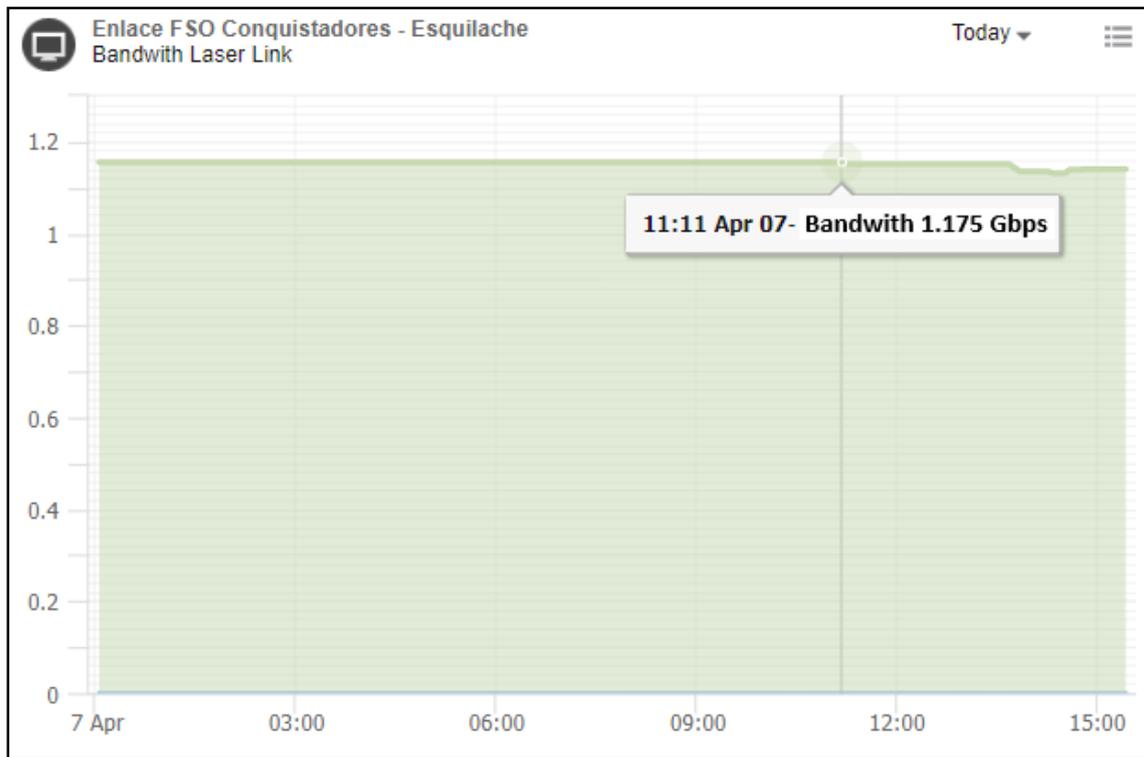


Figura 23: Grafica de ancho de banda del enlace láser

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23, se obtiene un ancho de banda superior al de 1 Gbps, en conclusión pudimos alcanzar nuestro objetivo respecto a obtener una tasa de transferencia superior o igual a 1 Gbps.

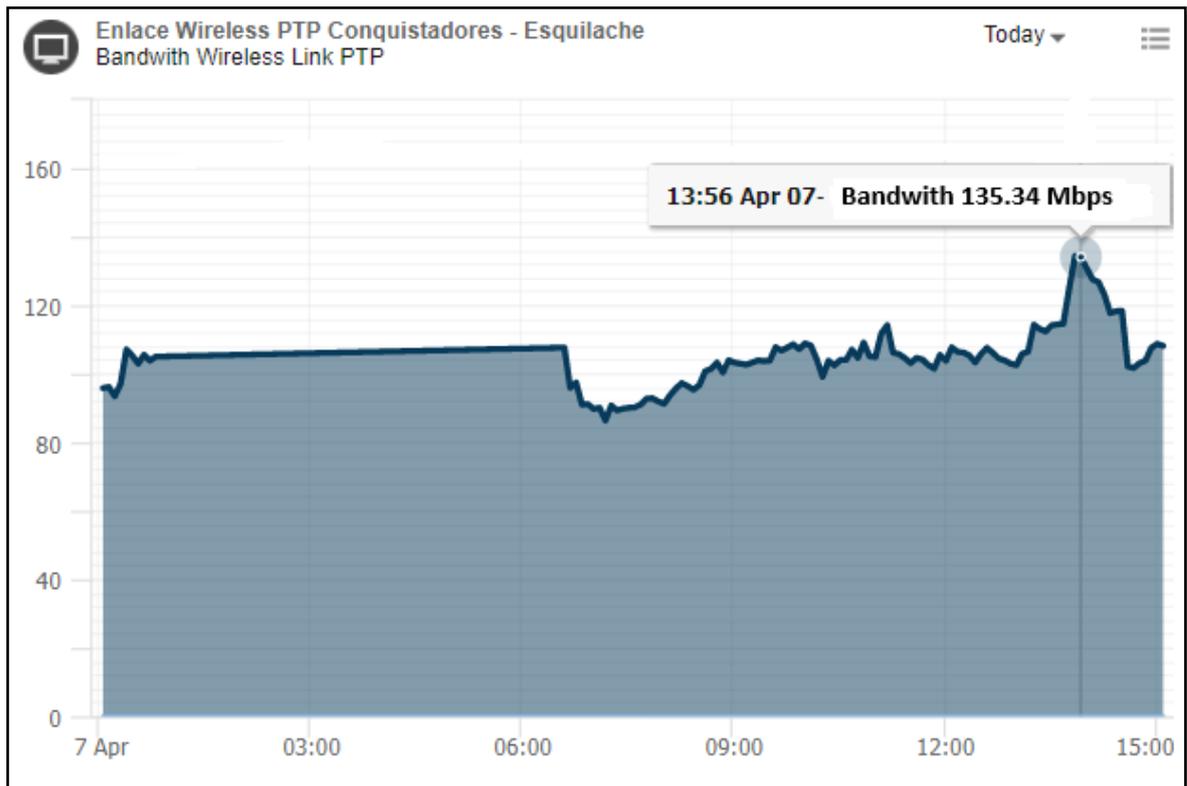


Figura 24: Gráfico de ancho de banda del enlace Wireless punto a punto

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, como se presenta en la figura 24 se realizaron pruebas con el enlace Wireless, obteniendo picos de 140 Mbps, dicho ancho de banda es aceptable y es viable para ser un enlace secundario de contingencia.

En la figura 25, la interfaz del propio equipo presenta que esta OK el sistema, brindando un color verde en cada parametro de conexión.

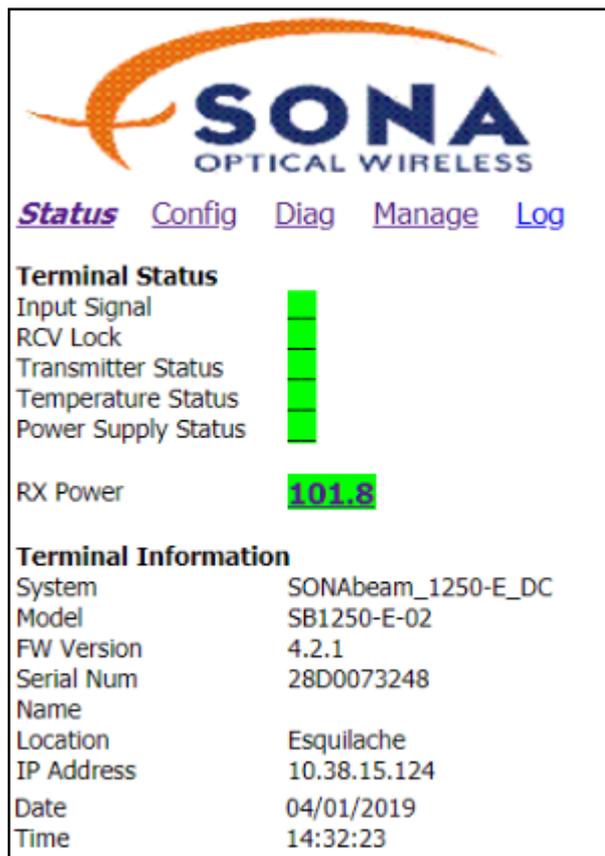


Figura 25: Interfaz del equipo SONABeam 1250-E

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, nos presenta la configuración del equipo, en el cual se configura como alarma cuando la potencia llegue a 20uW. Y la tasa de transferencia esta configurada en 1250 Mbps.

SONA
OPTICAL WIRELESS

[Status](#) [Config](#) [Diag](#) [Manage](#) [Log](#)

Power Level
Overall Index takes precedence when changes are made to both Overall and Individual settings

Overall Index: (0 to 14)

Individual Laser

Position 1: (0 to 7)

Position 5: (0 to 7)

Rx Power Averaging

Operation Alignment

Rx Power Alarm

Threshold <= uW (0 to 100, or -20 to mask alarm)

Data Rate

Standard Preset

▼

Custom Rate

Up to 2 decimal places: Mbps

Fiber Control

Off

On

Auto

Off Threshold < uW

On Threshold > uW

Loopback

Loop Link Loop Input

Change Date & Time

Date / / (mm/dd/yyyy)

Time : : (HH:mm:ss)

Figura 26: Configuración del equipo SONABeam 1250-E

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, nos presenta los parámetros y estados del dispositivo, como temperatura, alimentación y potencia. En la cual dichos valores son óptimos para trabajar.

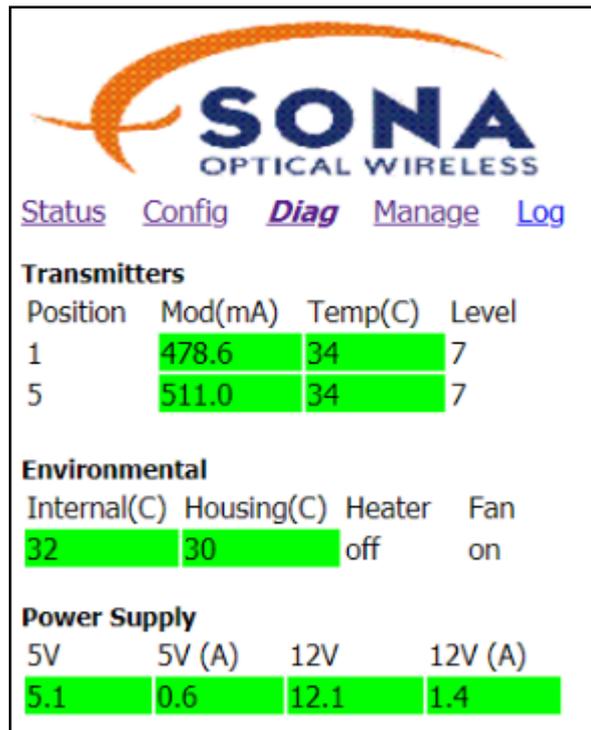


Figura 27: Estado del equipo SONABeam 1250-E

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28, en la interfaz del equipo Mikrotik se realizaron pruebas de ancho de banda, en la cual llega a 106.5 Mbps de bajada y 18.2 Mbps de subida, en el canal de 40 MHz a una frecuencia de 5.8 GHz. Asimismo, también en dicha interfaz nos muestra los valores de potencia, en la cual es un valor óptimo en el que trabaja el equipo.

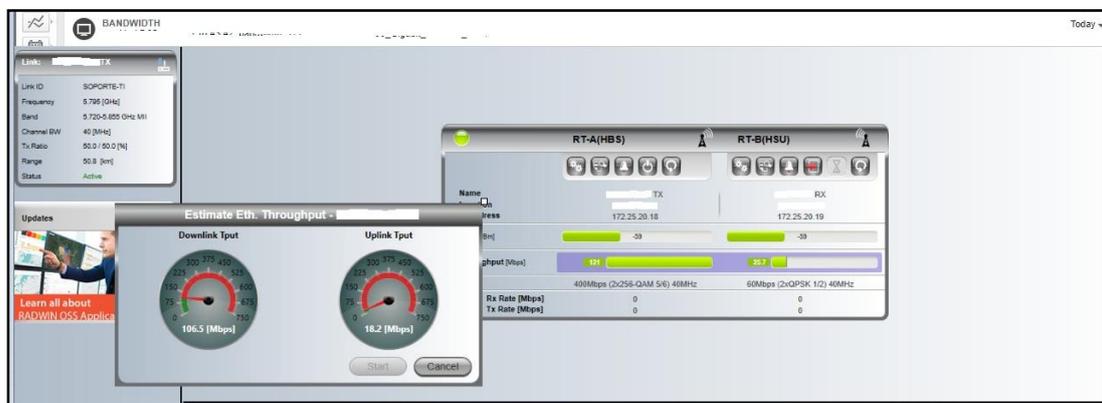


Figura 28: Interfaz del equipo Wireless PTP y pruebas de ancho de banda

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar y configurar el enlace basado en la tecnología FSO, que es adecuado para satisfacer las necesidades de ancho de banda, ya que supera la tasa de transferencia de 1Gbps.
- Se diseñó un enlace secundario, un enlace Wireless de 5.8 GHz punto a punto, logrando obtener una tasa de transferencia de 140 Mbps capaz de satisfacer temporalmente las necesidades de ancho de banda de la sede B (Edificio Conquistadores).
- Se logró implementar el enlace, sin que demandará tanta inversión, ya que de acuerdo al estudio de costos, se determinó que el costo de los equipos que componen el enlace FSO, es relativamente bajo.

RECOMENDACIONES

- Este tipo de tecnología inalámbrica óptica es viable en nuestra ciudad, debido a que muchas empresas alquilan otros edificios cercanos al de la sede central, y su fácil despliegue e instalación no implica una obra civil complicada, ni tramitar permisos para el uso de esta tecnología.
- Se debe fomentar y difundir el uso de este tipo de enlaces, ya que este tipo de tecnologías siguen en constante desarrollo, permitiendo un mejor funcionamiento de los enlaces aún bajo condiciones climáticas adversas.
- En futuras instalaciones en ciudades como Lima, en la cual hay grandes probabilidades de no contar con línea de vista, se puede considerar una red óptica híbrida, en la cual junta los beneficios de la radio frecuencia y la red óptica inalámbrica para así abarcar distancias más grandes de cobertura

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, R (2015). Diseño de radioenlace microondas Isla San Lorenzo – Campus PUCP para el proyecto Perú Magneto. Pontificia Universidad Católica del Perú
- Gallegos, C. (2009). Diseño de una red óptica inalámbrica para el envío de voz y datos en áreas no urbanas. Pontificia Universidad Católica del Perú
- Quispe, Jose (2017). Simulación de una red inalámbrica estándar IEEE 802.16e con LinkPlanner para dar servicio de internet en distrito de Ácora. Universidad Andina Nestor Caceres
- Ramasamy, K. (2007). Network routing: algorithms, protocols, and architectures. Morgan Kaufmann
- Stallings, W. (2000). Comunicaciones y Redes de Computadores. Granada: Prentice Hall.
- Suarez, J. (2014). Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO): fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- Toapanta, F. (2015). Estudio de la transmisión óptica en espacio libre (FSO) como una alternativa de red inalámbrica para enlaces punto a punto. Pontificia Universidad Católica del Ecuador

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- Cambium. (2017). Cambium Networks. Recuperado el 17 de Enero de 2019, de <http://www.cambiumnetworks.com/about/>
- D. M. Pozar, Microwave Engineering, Wiley, 2012. Recuperado el 8 de Marzo del 2019 de https://radfiz.org.ua/share/s8_DEK/SECONDARY/%E4%C5%D2%D6/%E4%C5%D2%D6/%CE%D7%DE%20%D4%C5%C8%CE%A6%CB%C1/%CC%A6%D4/Pozar.%20Microwave%20Engineering.pdf
- Free space optics system design. LightPoint-White Paper Series (2009) de <https://nebula.wsimg.com/b05755e708bbb1279ee39927db71ec3c?AccessKeyId=C1431E109BF92B03DF85&disposition=0&alloworigin=1>
- Fsona Datasheet SONABeam 1250-E. Recuperado el 8 de Marzo del 2019 de http://www.fsona.com/prod/SONABeam_E.pdf
- Ghalib, A.; Saeed, K. (2014). Free Space Optical Communications — Theory and Practices de <https://www.intechopen.com/chapter/pdf-download/47585>
- Mikrotik, «MikroTik Wireless Networks,» Recuperado el 8 de marzo del 2019 de http://wiki.mikrotik.com/wiki/Testwiki/MikroTik_Wireless_Networks
- Salazar, J (2017). Redes inalámbricas. [Fecha de consulta 30 de Enero del 2019]. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- Wndw. (2013). Redes inalámbricas en los países en desarrollo. Recuperado el 17 de enero de 2019, de <http://wndw.net/>

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES BASADO EN TRANSMISION OPTICA EN EL ESPACIO LIBRE – FSO Y REDUNDANCIA CON ENLACE WIRELESS PUNTO A PUNTO DE 5.8 GHZ PARA SEDES EMPRESARIALES EN LA CIUDAD DE LIMA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	VARIABLES
Problema General	Objetivo General	Antecedentes	TRANSMISIÓN ÓPTICA EN EL ESPACIO LIBRE
¿Cómo diseñar e implementar un enlace inalámbrico con mayor ancho de banda, de arquitectura modular y que sea redundante sin generar tanta pérdida económica a la empresa?	Diseño y configuración de un sistema de comunicaciones basado en transmisión óptica en el espacio libre - FSO y redundancia con enlace Wireless punto a punto de 5.8 GHz para sedes empresariales en la ciudad de Lima.	<p>Antecedentes Nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> Gallegos (2009), en su tesis “Diseño de una red óptica inalámbrica para el envío de voz y datos en áreas no urbanas” para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, concluye que “Se realizó un análisis sobre diferentes tecnologías existentes actualmente para el envío o transmisión de datos, llegando como conclusión que la red óptica inalámbrica es la que mejor se adapta a los requisitos pedidos: No interferencia electromagnética y capacidad inalámbrica.” Díaz (2015), en su tesis “Diseño de radioenlace microondas Isla San Lorenzo – Campus PUCP para el proyecto Perú Magneto” para obtener el título de Ingeniero de las telecomunicaciones en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, concluye que “La banda de 5.8 GHz posee menos usuarios en comparación con la banda de 2.4 GHz, por lo que tendremos menor interferencia con otras redes aledañas. Adicionalmente, el tener una menor zona de Fresnel y/o lóbulo de propagación ayudarán a obtener menor interferencia.” 	<p>Indicador 1: Velocidad de transmisión</p> <p>Indicador 2: Potencia de emisión</p> <p>Indicador 3: Distancia</p> <p>Indicador 4: Margen del enlace</p>
Problemas específicos	Objetivos Específicos		WIRELESS PUNTO A PUNTO DE 5.8 GHz

<p>¿Cómo diseñar un enlace inalámbrico en el que tenga mayor ancho de banda del radioenlace actual?</p>	<p>Diseñar un enlace inalámbrico que soporte la tasa de transferencia de 1 Gbps.</p>	<p>Antecedentes Internacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toapanta (2015), en su tesis “Estudio de la transmisión óptica en espacio libre (FSO) como una alternativa de red inalámbrica para enlaces punto a punto” para obtener el título de maestría en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador, concluye que “Estos sistemas no requieren el para el uso de licencia del espectro electromagnético, a entidades de control como la SUPERTEL; haciéndolo un sistema económico y muy útil; cabe resaltar que para ocupar tecnologías ópticas se requiere obtener un permiso especial de la ARCOTEL para el funcionamiento como una red privada.” 	<p>Indicador 1: Zona de Fresnel</p> <p>Indicador 2: Máxima potencia de antena</p> <p>Indicador 3: Potencia recibida</p> <p>Indicador 4: Velocidad de transmisión</p>
<p>¿Cómo garantizar la comunicación del enlace inalámbrico?</p>	<p>Diseñar un enlace secundario punto a punto Wireless que nos permita usarlo como contingencia en el caso de que tenga problemas el primario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suarez (2014), en su tesis “Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO): Fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación” para obtener el grado académico de Magíster en Telecomunicaciones en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil – Ecuador, concluye que “La capacidad de transmisión de un sistema FSO actualmente es de 2,5 Gbit/s, lo que lo convierte en un sistema de altas tasas de velocidades, de manera que puede desempeñarse como soporte secundario de una red o como conexión principal de una red (backbone). Con los conocimientos acerca de esta tecnología, se mostró la implementación de una red inalámbrica óptica utilizando FSO, que permitirá satisfacer las necesidades de conexión entre los edificios, cumpliendo eficientemente las mismas, tanto por las distancias a cubrir como por la velocidad de transferencia de bits requerida. Se calcularon parámetros que permitieron evaluar su desempeño, como fueron la potencia emitida por el transmisor óptico y el nivel de señal recibida en el receptor, el margen de enlace y la relación señal a ruido, por mencionar algunas de las magnitudes más importantes a tener en cuenta para garantizar la disponibilidad del sistema.” 	
<p>¿Qué enlace inalámbrico usar en el que no requiera tanta inversión y sea fácil instalar, debido a que el otro edificio es alquilado?</p>	<p>Diseñar un enlace, en el cual no demande tanto costo al implementarlo, y no requiera obras civiles complejas y costosas</p>		

ANEXO 2

“Datasheet del equipo Sonabeam 1250-E”

SONABEAM E



The SONABeam E series is extremely versatile. It's compact, yet rugged aluminum housing is equally at home outdoors in challenging weather as it is indoors operating through a window. The SONABeam E can be easily transported to installation sites making it ideal for situations that require rapid deployment. The E can be ordered as a Flyaway kit complete with carbon-fiber tripods and water-tight carrying cases, ideal for disaster recovery operations. Like all SONABeams, the E series offers full-rate, full-duplex bandwidth. The E Series supports native Ethernet and offers the added flexibility of protocol transparent operation to support custom datarates.

THE SONABEAM ADVANTAGE

By transmitting through the atmosphere, the SONABeam eliminates the substantial costs of digging up streets and sidewalks required to install fiber, and unlike other wireless solutions, the SONABeam is immune to electro-magnetic (EM) and radio-frequency (RF) interference which means no licensing is required. Plus, the SONABeam's narrow, highly directional transmission all but eliminates eavesdropping or interception. Key to SONABeam's breakthrough laser technology is its operational wavelength of 1550 nm, which provides a broad spectrum of safety and performance advantages. The SONABeam's high-powered laser transmitters are able to penetrate heavy rain, snow and fog far more effectively and consistently than any other available FSO technology. SONABeam's protocol transparent technology gives service provider, enterprise and government customers the ability to integrate free space optics (FSO) quickly and easily into any existing network.

TYPICAL APPLICATIONS

Mobile Wireless

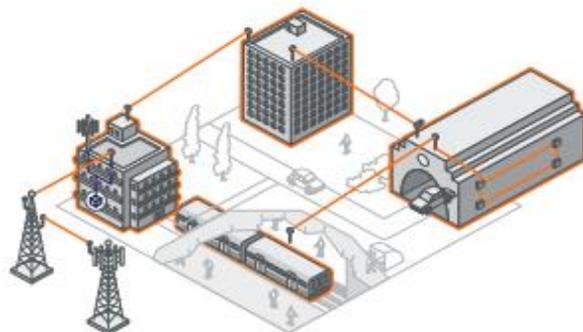
3G/4G/LTE Backhaul
Backhaul Redundancy
Remote Antenna Extension

Enterprise, Government, Military

High-bandwidth campus
Fiber-line replacement
Secure links

Service Provider

High-speed backbone
RF/Wi-Fi-WiMax aggregation
Private lines



RAPID DEPLOYMENT • HIGH CAPACITY • NON INTERFERING • UNLICENSED • 1550 NM TRANSMISSION
FULL-RATE, FULL-DUPLEX • SECURE & UNDETECTABLE • LOW LATENCY/PACKET LOSS



Free-Space Optical	155-E ¹	1250-E ²	2500-E ³
<i>Datarate/protocol:</i>	Fast E: 125 Mbps, full duplex OC-3/STM-1: 155 Mbps, full duplex	Gig E: 1.25 Gbps, full duplex OC-12/STM-4: 622 Mbps, full duplex CPRI 1/CPRI 2	Gig E: 1.25 Gbps, full duplex OC48/STM16, 2.5 Gbps, full duplex CPRI 2/CPRI 3
<i>Range: 3 dB/km (clear air):</i>	50 m to 3200 m (160 ft to 2.0 mi)	50 m to 2700 m (160 ft to 1.7 mi)	50 m to 1900 m (160 ft to 1.2 mi)
<i>10 dB/km (extreme rain):</i>	50 m to 1600 m (160 ft to 1.0 mi)	50 m to 1400 m (160 ft to 0.9 mi)	50 m to 1000 m (160 ft to 0.6 mi)
<i>Laser output power:</i>	320 mW peak (2 x 160 mW)	320 mW peak (2 x 160 mW)	320 mW peak (2 x 160 mW)
<i>Receive aperture:</i>	10 cm (4 in) diameter	10 cm (4 in) diameter	10 cm (4 in) diameter
<i>Free-space wavelength:</i>	1550 nm	1550 nm	1550 nm
Interface Options	1000-Base-SX (850 nm)	1000-Base-LX (1310 nm)	2.5 Gbps SFP (1310 nm)
<i>Data physical interface:</i>	Multimode fiber, LC	Singlemode fiber, LC	Singlemode fiber, LC
<i>Fiber xmtr/rcvr wavelength:</i>	850 nm nominal	1310 nm nominal	1310 nm nominal
<i>Fiber xmtr output power:</i>	-9 dBm (min), -3 dBm (max)	-11 dBm (min), -3 dBm (max)	-11 dBm (min), -3 dBm (max)
<i>Fiber rcvr input power:</i>	0 dBm (min), -17 dBm (max)	-20 dBm (min), -3 dBm (max)	-20 dBm (min), -3 dBm (max)
Mechanical / Electrical / Environmental			
<i>Operating temperature:</i>	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)	<i>Dimensions (W*H*D):</i>	25 x 33 x 46 cm; 10 x 13 x 18 in
<i>Pointing stability:</i>	120 kmh/75 mph operating, >160 kmh/100 mph survival	<i>Weight:</i>	10 kg (22 lbs)
<i>Environmental seal:</i>	Water-tight, IP66/NEMA-4 Cert.	<i>Input voltage:</i>	-48 VDC (-40 V to -57 V) or 100-240 VAC
		<i>Power consumption:</i>	40 watts max (w/ heater)
Carrier-Class Reliability and Durability			
<i>Window heating:</i>	Prevents optics fogging, snow/sleet accumulation	<i>Laser cooling:</i>	Active solid state cooling to 35°C (95°F)
<i>Redundant transmitters:</i>	2 independent lasers, drivers, coolers & cooler controllers	<i>Power supply:</i>	Telco grade, >550,000 hour
		<i>Structure:</i>	Aluminum housing/steel mount
Element Management and Control			
<i>Management interface:</i>	USB, Serial & 10/100-baseT	<i>GUI control program:</i>	SONAbeam Terminal Controller
<i>SNMP:</i>	Embedded v.1 agent	<i>Command line interface:</i>	Via USB, RS232 or IP address
<i>Key parameters monitored:</i>	Receive signal strength; Power supply currents & voltages; Laser currents, power levels & temperatures; Internal temperature; Clock recovery / sync status; Network interface signal status		
<i>Historical logging:</i>	Internal data and event logging		
Certifications & Classifications International		US/Canada	
<i>Laser safety</i>	IEC 60825-1, Class 1M EN 55022 - emissions	CDRH 21 CFR including Laser Notice 50, Class 1M; ANSI Z136.1 & Z136.6, Class 1	
<i>EMC</i>	EN 55024 - immunity	FCC - Pat 15 / ICES - 003	
<i>Electrical</i>	EN 60950 (CB scheme)	UL 60950 / CSA 60950	

Printed specifications subject to change. Please refer to www.fsona.com for current information

¹30 - 155 Mbps
²100 - 1500 Mbps
³622 - 2500 Mbps
95-0296-J

FSONA NETWORKS CORP. 100 - 13200 Delf Place Richmond BC V6V 2A2 Canada
Tel: 604 273 6333, Fax: 604 278 6340, Web: www.fsona.com, Email: sales@fsona.com

ANEXO 3

“Datasheet del equipo Wireless Basebox”

BaseBox

The BaseBox is an outdoor wireless device, based on our popular RB912 model, fitted with two SMA connectors for antennas, and a cable hood for protection against moisture. Also available are three additional places for antenna connectors, in case you wish to use the BaseBox miniPCIe slot for one more wireless interface to make a dual band device, or a 3G/4G modem.

The case can be opened with one hand, and is protected against the elements. USB, Ethernet and a Grounding wire exits are provided on the bottom, behind a protective door. Two models are available - BaseBox 2 and BaseBox 5 (2 or 5GHz wireless, respectively).

Comes with a mounting loop for tower/pole mounting, and a separate DIN rail mount is also provided. Package also includes a PoE injector and power supply unit.

Model	BaseBox 5	BaseBox 2
Order code	RB912UAG-5HPnD-OUT	RB912UAG-2HPnD-OUT
Features	1 Ethernet, 1 miniPCIe, USB, Additional memory, Gigabit, High power, Dual chain, Outdoor case	
CPU	Atheros AR9342 600MHz network processor	
Memory	64MB DDR onboard memory	
Ethernet	One Gigabit port with Auto-MDI/X	
Wireless	Built in 5GHz 802.11a/n, 2x RP-SMA connectors	Built in 2GHz 802.11b/g/n, 2x RP-SMA connectors
Wireless regulations	Specific frequency range may be limited by country regulations	
Connector type	RP-SMA Female (outside thread)	
Extras	beeper, signal and status LEDs, SIM slot (requires 3g miniPCIe card), voltage and temperature sensors	
Expansion	miniPCIe slot for 802.11 or 3G (using 3G disables the USB port), USB 2.0 port	
Power options	PoE: 8-30V DC on Ether1 (Non 802.3af). Consumption: 14W at 24V	
Dimensions	246x135x50mm; Weight: 390g	
Operating temp.	-40C to +70C	
OS	MikroTik RouterOS, Level4 license (supports wireless AP mode)	
Kit includes	RB912 outdoor unit, PSU, PoE injector, mounting loop, DIN rail mount, mounting ring	

	RB912UAG-5HPnD-OUT	RB912UAG-2HPnD-OUT
TX/RX at MCS0	30dBm / -96dBm	30dBm / -96dBm
TX/RX at MCS7	24dBm / -78dBm	24dBm / -78dBm
TX/RX at 6Mbit	30dBm / -96dBm	30dBm / -96dBm
TX/RX at 54Mbit	27dBm / -80dBm	27dBm / -80dBm
Frequency range	4900-5920MHz	2400MHz-2500MHz

Fuente: https://i.mt.lv/cdn/rb_files/basebox_out-190122145446.pdf

ANEXO 4

“Datasheet de la antena Hyperlink Wireless”



www.L-com.com

HyperLink Wireless 4.9 to 5.8 GHz 34 dBi Dual Polarity & X Polarized/Dual Feed Dish Antenna - Model: HG4958DP-34D

Applications

- 5.1/5.3/5.4/5.8 GHz ISM and UNII Band Applications
- 4.9 GHz Public Safety Band
- MIMO and 802.11 n Applications
- WiMAX Applications
- Long Distance Backhaul and Point to Point Data Links

Features

- Wide bandwidth
- Aluminum reflector dish with UV stable light gray polymer finish
- Adjustable Dual and X Polarity feed horn system with (2) N-Female connectors
- Perforated dish helps reduce wind loading
- Includes tilt and swivel mast mount kit



Description

The HyperGain model HG4958DP-34D is a high performance broadband dual polarized solid dish antenna. Because of its' superb electrical performance and mechanical stability, the parabolic dish antenna can be used in a wide variety of high performance 4.9GHz and 5GHz range (5.1/5.3/5.4/5.8GHz) wireless applications. The wide band design of this antenna eliminates the need to purchase different antennas for each frequency. This simplifies installations since the same antenna can be used for a wide array of wireless applications. This antenna features 31 - 34 dBi of gain with a 3.3° horizontal beam-width and 3.3° vertical beam-width.

Adjustable Dual Polarity Feed Horn System

The HG4958DP-34D features an adjustable dual polarity feed horn system which allows the antenna to be configured for Dual Polarization (horizontal and vertical) or for X-Polarization (+45° and -45°). It is fed via two N-Female connectors, one for each polarized signals. This feature makes it ideal for MIMO/802.11n and polarization diversity systems.



Rugged and Weatherproof

The reflector dish of the HG4958DP-34D is constructed from high quality aluminum which gives it superior strength. The dish is coated in a light gray UV-inhibited polymer for durability and aesthetics. Perforated holes in the dish helps minimize wind loading.

L-com, Inc. 50 High St., West Mill, 3rd Floor, Suite #30 North Andover, MA 01845
www.L-com.com E-mail: sales@L-com.com Phone: 1-800-343-1455 Fax: 1-978-689-9484
© L-com, Inc. All Rights Reserved. L-com Global Connectivity and the L-com logo are registered marks.

Fuente: https://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG4958DP-34D.PDF

The HG4958DP-34D is supplied with a tilt and swivel mast mount kit. This allows installation at various degrees of incline for easy alignment. It can be adjusted up or down from 0° to 30°.

Specifications

Mechanical Specifications

Connector Interface	(2) N Female
Diameter	35.43 in (900mm)
Weight	21.16 lbs (9.6kg)
Mounting Mast Size	1.6 - 3 in (40-75mm)

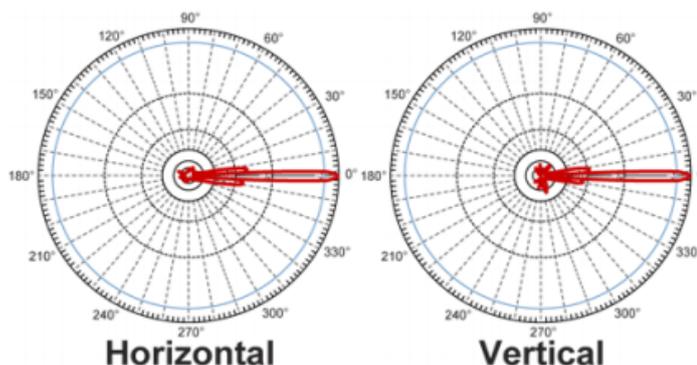
Electrical Specifications

Frequency	4750 - 5850MHz
Gain	31 dBi @ 4.9-5.3 GHz / 34 dBi @ 5.4 - 5.8 GHz
Polarization	Adjustable - Dual Polarized (Vertical and Horizontal) or X-Polarized (+45° and -45°)
Horizontal /Vertical Beam-width	3.3°/ 3.3°
F/B ratio	>40dB
Cross-pol Isolation	>30dB
Max Input Power	100 watts
Impedance	50 Ohm

Wind Loading Data

Wind Speed (MPH)	Loading
100	266 lbs
125	400 lbs

RF Antenna Patterns



L-com, Inc. 50 High St., West Mill, 3rd Floor, Suite #30 North Andover, MA 01845
 www.L-com.com E-mail: sales@L-com.com Phone: 1-800-343-1455 Fax: 1-978-689-9484
 © L-com, Inc. All Rights Reserved. L-com Global Connectivity and the L-com logo are registered marks.

Fuente: https://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG4958DP-34D.PDF