

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA INALÁMBRICA PARA EL ENVÍO DE VOZ Y DATOS EN AREAS NO URBANAS

Tesis para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Presentado por:

Carlos Alonso Gallegos Cortijo

Asesor: **Miguel Ángel Cataño**

Lima – PERU

2009

RESUMEN

El presente trabajo de tesis trata sobre el Diseño de una Red Óptica Inalámbrica para el envío de voz y datos para áreas no urbanas. Consiste en conectar dos puntos; los cuales son un cañón de disparo y una base aérea, los cuales se deben encontrar en alguna de las zonas fronterizas del país.

La tecnología usada actualmente para conectar estos dos puntos es la radiofrecuencia, la cual consiste del envío de datos por medio de voz a través de radio. Esta tecnología es ineficiente debido a que es sensible a interferencias y toma demasiado tiempo para completarse; por lo que se propone cambiarla, este nuevo medio de transmisión debe ser inalámbrico y completamente inmune a la interferencia electromagnética, además debe tratarse de un medio seguro.

En el trabajo de tesis se realizó un estudio sobre las tecnologías existentes, llegando a la conclusión que la que mejor se adapta es la Red Óptica Inalámbrica. Por lo que una vez elegida la tecnología se procede a analizar las condiciones donde se instalará esta, por lo que se llega a la conclusión que la mejor zona de instalación es la ciudad de Tacna, ya que debido a su clima y su geografía asegura un buen desempeño de esta tecnología.

Una vez elegido el lugar, se analizan diferentes modelos de cañones de luz, y se procede a elegir el modelo SONAbeam 155-m, se analizará a fondo este modelo, llegando a la conclusión que su uso es altamente eficiente para el enlace que se requiere implementar.

Al final del trabajo se pudo comprobar que la tecnología escogida, red óptica inalámbrica, es eficiente para reemplazar al uso de radio frecuencia en las aplicaciones requeridas, tales como tener una comunicación segura a alta velocidad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE COMUNICACION SEGURA PARA EL ENVIO DE DATOS CRITICOS	
Introducción.....	4
1.1 Condiciones actuales del sistema de comunicación entre un cañón de disparo de misiles y la base de comando ubicada en zonas fronterizas	
1.1.1 Descripción del proceso.....	5
1.1.2 Eficiencia del sistema de comunicación.....	6
1.2 Objetivos del desarrollo de la tesis	8
1.3. Factores externos que influyen en el desarrollo y uso de la tecnología de las redes ópticas inalámbricas	
1.3.1 Principales motivos para el desarrollo y elección de una red óptica inalámbrica.	9
1.3.2 Demanda de los usuarios, hacia el desarrollo de nuevas tecnologías para satisfacer sus diversas necesidades en el envío de información.	9
1.3.3 Motivos que originan el uso de una red óptica inalámbrica. Necesidades que este tipo de tecnología exigen para el usuario.....	11
1.4 Enfoque del problema	12
CAPÍTULO 2: TECNOLOGIAS USADAS PARA LA TRANSMISION DE DATOS	
Introducción	14

2.1	Tecnología de red óptica inalámbrica	
2.1.1	Introducción a los sistemas de comunicación de redes ópticas inalámbricas.....	15
2.1.2	Evolución de las Redes Ópticas Inalámbricas.....	16
2.1.3.	Conclusiones sobre las principales características expuestas sobre las Redes Ópticas Inalámbricas.....	18
2.2	Características de los sistemas de comunicación.....	19
2.3	Propiedades y origen de la Luz Láser.....	22
2.4	Medios de transmisión de información	
2.4.1	Medios Guiados.....	24
2.4.2	Medios No Guiados.....	27
2.5	Multiplexación por División de Longitudes de Ondas Densas.....	29
2.6	Características de una Red óptica Inalámbrica (WON).....	31
2.7	Red Óptica Inalámbrica para conectar la base militar con un cañón de disparo.....	33
 CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UNA RED OPTICA INALAMBRICA		
	Introducción.....	36
3.1	Partes del sistema y sus necesidades.....	37
3.2	Características del Medio Ambiente.....	39
3.2.1	Fenómenos producidos por el medio de transmisión.....	39
3.2.2.	Lugar de posicionamiento del cañón de disparo y la base militar.....	43

3.2.3 Clima de la zona.....	47
3.3 Especificaciones eléctricas del cañón de luz	51
3.3.1 Alimentación externa del cañón.....	52
3.3.2 Características Eléctricas del cañón de luz láser.....	54
3.4 Características del Cañón de luz.....	54
3.4.1 Características Físicas del Cañón de luz láser.....	54
3.4.1.1 Composición del cañón de luz.....	56
3.4.2 Características Operacionales del Cañón láser.....	57
3.6 Conclusiones finales.....	59
CAPÍTULO 4: ELECCIÓN DE EQUIPOS ADECUADOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	
INTRODUCCIÓN.....	60
4.1 Principales características del Cañón de Luz SONAbeam 155-M.....	61
4.1.1 Características Técnicas: Físicas.....	62
4.1.2 Características Técnicas: Operacionales.....	63
4.1.3 Características Técnicas: Interfase.....	64
4.2 Pruebas Teóricas de funcionamiento del Enlace.....	65
4.3 Comparación de costos de tendido de fibra óptica contra la instalación de una red óptica Inalámbrica.....	67
4.4 Recomendaciones de instalación y mantenimiento.....	69
4.5 Consideraciones Finales.....	71

CONCLUSIONES.....74

RECOMENDACIONES.....75

BIBLIOGRFÍA.....76

ANEXOS



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación pretende aportar el diseño una red óptica inalámbrica para el envío de voz y datos en áreas no urbanizadas, De manera específica, se diseñará esta red para comunicar una base militar, con un cañón de disparo ubicado en un promedio de 3 kilómetros de radio, la cual se encontrará en zona de frontera. La tesis no considera el diseño de la fuente de alimentación, pero brinda soluciones para una posible implementación.

La elaboración de este trabajo surgió debido a la necesidad de contar con un sistema que envíe información a alta velocidad (voz e imágenes), 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.

De esta forma la probabilidad de acierto del cañón se verá beneficiada considerablemente, ya que el tiempo de envío de datos disminuirá notablemente, los datos enviados serán más confiables y no existe probabilidad de interferencia por acción de campos electromagnéticos externos, por lo que el cañón no quedará aislado en caso de interferencia de este tipo.

En la segunda parte del documento, se procederá a realizar un 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 se describirán las características generales de la comunicación por radio frecuencia.

Por otro lado se introducirán conceptos básicos sobre la tecnología de óptica en espacio libre, como por ejemplo: características de la luz láser y la multiplexación DWDM, todo 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 este análisis se observará dos necesidades del sistema las cuales son: capacidad inalámbrica y total indiferencia a la interferencia electromagnética; estas necesidades solo se podrán cumplir con el uso la tecnología de red óptica inalámbrica.

En la tercera parte se empezará a analizar con mayor profundidad la tecnología de red óptica inalámbrica, entre estas, sus principales características como por ejemplo la dispersión y la atenuación de la señal. En esta parte también se resaltaré la importancia del medio físico sobre el buen funcionamiento del cañón de luz, ya que dependiendo de las condiciones atmosféricas existentes, tales como neblina o lluvia intensa, el envío de datos puede verse afectado.

En este tercer capítulo también se elegirá la ubicación del cañón de disparo, la cual se ubicará a las afueras de la ciudad de Tacna, a 3 kilómetros de la base aérea Carlos Ciriani Santa Rosa. Para la elección de este lugar se realizó un análisis sobre las condiciones climáticas, además de observar su geografía, ya que al requerir línea de vista para su funcionamiento, se debe tener en cuenta los desniveles del suelo y la presencia de obstáculos.

Por otro lado, en este punto se realizará un análisis sobre las características generales de los diferentes cañones de luz existentes en el mercado actual, entre estas características se verán: diseño, material de fabricación, velocidad de transmisión, ancho de banda. Se realizan sugerencias para una fuente de alimentación la cual puede hacerse mediante la red eléctrica de corriente alterna o una alimentación DC por baterías, pero como se menciono anteriormente la tesis no abarca el diseño de la fuente de alimentación.

El cuarto capítulo de este documento de tesis, se dedicará exclusivamente a un análisis del modelo elegido, por lo que primero se realizará un estudio más profundo sobre las características técnicas del cañón de luz. Posteriormente se realizará un análisis comparativo de costos de instalación con respecto a la red de fibra óptica, la cual es una la tecnología similar en cuanto a funcionamiento y velocidad de transmisión.



CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE COMUNICACIÓN SEGURA PARA EL ENVÍO DE DATOS CRÍTICOS

Introducción:

El presente capítulo empieza por exponer la situación actual del problema a tratar, es decir explica paso a paso cómo es el proceso de comunicación entre un cañón de disparo y su base de mando.

Una vez explicado el proceso actual, se procede a analizarlo. En este análisis se presentan los problemas que surgen del proceso y sus causas; lo cual da una visión más amplia de por qué el sistema actual necesita ser reemplazado.

Además de los problemas que origina la comunicación por radio frecuencia, se analiza la naturaleza de este tipo de comunicación y la razón principal por la que debe ser cambiada.

Una vez conocido el problema se procederá a explicar cuales son los factores principales que llevan al desarrollo y uso de la tecnología de red óptica inalámbrica. Se procederá a explicar empezando a mencionar algunos factores generales, para pasar a explicar luego cómo los usuarios crean la necesidad de contar con nuevas tecnologías.

Por otro lado se procederá a explicar las razones del porqué la Fuerza Aérea del Perú se ve en la necesidad de buscar nuevas tecnologías, y todas las consideraciones que debe tomar en cuenta antes de decidir utilizar una.

Finalmente, cerrando esta parte, se tiene un resumen de las ideas principales expuestas durante todo este capítulo, donde se expone además una posible solución del problema mencionado inicialmente.

1.1 Condiciones del sistema de comunicación entre un cañón de disparo y la base de comando ubicada en zonas fronterizas.

1.1.1 Descripción del proceso

Para que un cañón de disparo pueda realizar sus acciones, actualmente necesita por lo menos la presencia de cuatro operarios, los cuales mediante manivelas controlan el movimiento del cañón; el cañón se mueve en la dirección del objetivo, la ubicación del objetivo es dada usualmente por la base más cercana al cañón.

La comunicación entonces empieza con la detección de un blanco enemigo, el cual es divisado (como ya se mencionó) por la base más cercana al cañón, una vez que la base ha conseguido las coordenadas exactas del objetivo, así como la dirección en la que se dirige, procede a enviar estos datos. En este caso, se hace mediante una radio, la cual funciona en modo *half duplex*, envía o recibe información en un solo sentido.

Para transmitir los datos, en primer lugar se debe buscar la frecuencia que los operarios del cañón están utilizando. Usualmente esta frecuencia es conocida, ya que se encuentran en registros utilizados por los operarios de la radio. Una vez encontrada y confirmada la frecuencia, se procede a enviar la información de ubicación y dirección del objetivo, recibida esta información, se confirman los datos recibidos.

Cuando los datos son confirmados como correctos, entonces el cañón procede a moverse a la ubicación indicada y realiza el disparo. La base confirma si el objetivo ha sido alcanzado o si el disparo falló, y se envía esta información al cañón. Si el objetivo fue alcanzado, se manda una orden de descanso, pero si el disparo fue evadido, se envía la nueva ubicación del objetivo para proceder a un nuevo intento. Esta última acción se repite hasta que el disparo se haya realizado con éxito.

1.1.2 Eficiencia del sistema de Comunicación

Se puede observar que este sistema es poco eficiente, debido a que incrementa la probabilidad de fallo del cañón por diversos factores,

En primer lugar se observa que la toma de datos, ubicación y dirección, se realizan de forma manual, es decir una vez ubicado el objetivo. En este caso mediante observación, se calculan las coordenadas de su latitud y dirección.

Debido a la naturaleza del proceso, la velocidad en el intercambio de datos es crucial, por lo que los periodos de espera deben ser mínimos. En este caso, se pueden observar varios periodos de espera. Por otro lado, dado que la transmisión solo se puede realizar en una sola dirección, *half duplex*, esta característica aumenta el tiempo que toma transmitir datos de la base al cañón y viceversa, dado que se tiene que esperar a que el canal esté disponible para poder enviar o recibir datos, en otras palabras no se puede hacer al mismo tiempo.

El primer periodo de espera que se tiene, es al momento de iniciar la transmisión, debido a que las frecuencias utilizadas deben cambiar cada cierto tiempo para evitar interferencia; se debe buscar la frecuencia que los operadores del cañón utilizan, esto dura poco tiempo, pero debido a que se requiere acciones rápidas, influyen en el resultado final.

Otro periodo de espera que se tiene al analizar el envío de datos, es al finalizar el disparo. Esto debido a que la confirmación de éxito o fallo de la acción la realiza la base y el cañón se queda sin hacer ningún movimiento hasta que recibe esta confirmación. Este periodo puede ser muy largo, lo que influye de forma significativa en la probabilidad de acierto del cañón.

Por otro lado, si analizamos la forma de transmitir los datos, se puede encontrar lo siguiente. Los datos son enviados mediante radio en forma hablada; debido a su propia naturaleza, lo que quiere decir que no se pueden enviar datos digitales. Por lo que la transmisión se realiza a la velocidad que el operario habla, y el receptor escucha.

Esto quiere decir que la velocidad de transmisión es muy baja, a esto se le puede añadir la etapa de confirmación de los datos recibidos, se tiene que comprobar que los datos recibidos sean los correctos.

Como ya se mencionó, el sistema de radio utiliza la voz de los operarios para enviar los datos, pero este sistema es considerado altamente impreciso, ya que a pesar que se realiza una confirmación, los datos transmitidos siguen siendo poco confiables.

Entonces debido a esta dinámica, de transmisión de datos por voz, el tiempo entre la emisión de la orden y la toma de la acción se vuelve relativamente largo. Se necesita que este sea lo más corto posible para así poder obtener una buena probabilidad de acierto.

Otra falla que posee este sistema, es que tiene una gran sensibilidad a la interferencia electromagnética, esta interferencia puede ser causada por elementos que se encuentren alrededor de las radio, o a propósito por personas enemigas. Esta interferencia corta toda forma de comunicación entre la base y el cañón dejándolos aislados el uno con el otro.

Esta gran sensibilidad a la interferencia electromagnética es causada por la naturaleza propia de la radio frecuencia, ya que esta utiliza cierta parte del espectro electromagnético para enviar y recibir los datos, solo es necesario crear una potencia con la misma frecuencia para que los datos enviados se pierdan o

distorsionen. Esto es una gran falla en el sistema ya que los datos enviados son de suma importancia, por lo que un bloqueo de la transmisión tan drástico pone en peligro las vidas de los operarios.

1.2 Objetivos del desarrollo de la tesis

Como ya se menciona el objetivo principal que se tiene es el de diseñar una red óptica inalámbrica la cual comunicara una base militar con un cañón de disparo en zonas de límite fronterizo, para evitar la interferencia electromagnética propio de los sistemas de radio.

Por otra parte también se buscara cumplir las siguientes metas:

1. Investigar sobre instalaciones de redes inalámbricas ópticas en zonas no urbanas.
2. Decidir el lugar de instalación de la red WON.
3. Decidir cuales serán los equipos necesarios para la instalación y hacer los presupuestos necesarios.
4. Preparar el lugar donde se instalará el cañón de disparo y calcular la distancia máxima desde la base.

1.3. Factores externos que influyen en el desarrollo y uso de la tecnología de las redes ópticas inalámbricas

1.3.1 Principales motivos para el desarrollo y elección de una red óptica inalámbrica.

Existe una tendencia global para el desarrollo y la mejora de esta tecnología, en cuanto a la velocidad de transmisión y la distancia máxima que puede transmitir. Estas mejoras han hecho que la sociedad, en especial las grandes empresas, reconozcan sus virtudes, haciendo que su uso se extienda a lo largo del mundo.

Entre los diferentes factores que influyen en el desarrollo de esta tecnología se puede destacar el económico, debido a que la única inversión que se debe realizar es la compra de los equipos, su respectiva instalación y acondicionamiento. A pesar que el costo del equipo es mayor al de un equipo de radiofrecuencia, estos obtienen mejores resultados, debido a su gran velocidad y que son inmunes a la interferencias de otros equipos que se encuentren a su alrededor. Estas características hacen que tengan un mejor costo-beneficio que los sistemas que utilizan radio.

1.3.2 Demanda de los usuarios hacia el desarrollo de nuevas tecnologías, para satisfacer sus diversas necesidades en el envío de información.

En el mercado de las comunicaciones, siempre existen una gran demanda de contar con nuevas formas o medios de comunicación, esta demanda se debe a la necesidad de enviar información con ciertas características especiales, tales como: alta seguridad, encriptación, multiplexación, indiferencia a la interferencia electromagnética, entre otros. Es esta última característica, la indiferencia a la interferencia electromagnética, es la principal propiedad de una red óptica.

Además de estas características específicas, las cuales son demandas al momento de elegir un medio o sistema de comunicación, también influyen de una manera importante las características o especificaciones generales que posee cualquier sistema de comunicación, tales como: Velocidad de transmisión, potencia consumida, calidad de la transmisión, confiabilidad del mensaje transmitido y ancho de banda disponible.

En el Perú, la tecnología óptica inalámbrica es nueva, pero debido a sus características ya mencionadas, en especial la propiedad de ser inmune a la interferencia electromagnética ha llamado la atención de las Fuerza Aérea del Perú, debido a que ellos tienen la necesidad de enviar datos a grandes velocidades sin que estos sufran interferencia en el camino. El ente regulador de las fuerzas armadas, es el ministerio de Defensa, el cual otorga el presupuesto para las fuerzas aérea, por lo que depende de este presupuesto, si se procede a la instalación de esta clase de tecnología.

1.3.3 Motivos que originan el uso de una red óptica inalámbrica. Necesidades que este tipo de tecnología exigen para el usuario.

Como ya se mencionó, la FAP (Fuerza Aérea del Perú) tiene un gran interés en el desarrollo de nuevas tecnologías. En este caso específico se debe a su necesidad de contar con un medio de transmisión de información rápido e inmune a la interferencia producida por otros elementos que puedan existir en el medio, es por esto que una red que utiliza radio frecuencia es poco útil, debido a la gran sensibilidad que esta presenta a la presencia de campos electromagnéticos externos.

La FAP cuenta con un presupuesto limitado, el cual es destinado al desarrollo de nuevas tecnologías, por lo que antes de realizar cualquier inversión, se requiere un estudio, de las características de una red óptica inalámbrica y si esta puede aplicarse o amoldarse para satisfacer las demandas ya mencionadas.

Como ya se mencionó, este tipo de tecnología es completamente nueva, y se piensa como un reemplazo a la comunicación por radio. Es debido a esto que en las bases donde piense instalarse estos equipos deben adecuarse apropiadamente, como por ejemplo la instalación de un adecuado sistema de alimentación, posicionamiento adecuado para otorgar línea de vista, crear un ambiente adecuado para su conservación. Todo esto es necesario para que los equipos funcionen de manera eficiente y tenga un buen periodo de vida o funcionamiento.

Además de equipar el lugar donde estos equipos funcionarán, se tiene que adiestrar al personal que lo usará, esto es debido a que como ya se mencionó, la tecnología óptica inalámbrica es nueva en el país.

A las personas que utilicen el equipo se les debe instruir en su capacidad o velocidad de transmisión, ancho de banda, potencia que consume, principio de funcionamiento, entre los temas principales.

Por otro lado también se deberá aprender a darle un mantenimiento adecuado, debido a que la presencia de polvo puede afectar la transmisión de datos, es decir este equipo debe contar con un mantenimiento preventivo, dependiendo de la zona donde se instalará se considerará el periodo de estos mantenimientos.

1.4 Enfoque del problema.

Considerando que las situaciones extremas que surgen al momento de detectar un blanco; el tiempo entre la detección y la acción a realizar es crucial. Por lo que la técnica de enviar esta información vía radio hace que el tiempo entre estas se extienda demasiado, volviendo la comunicación un sistema impreciso; además de aumentar considerablemente la probabilidad de fallo al momento de ejecutar el disparo.

Además si se toma en cuenta que el uso de radio frecuencia puede ser muy susceptible a interferencias de tipo electromagnética, esto disminuye aún más la probabilidad de acierto en el momento del disparo, debido a que el cañón queda totalmente aislado de la base en caso de interferencia.

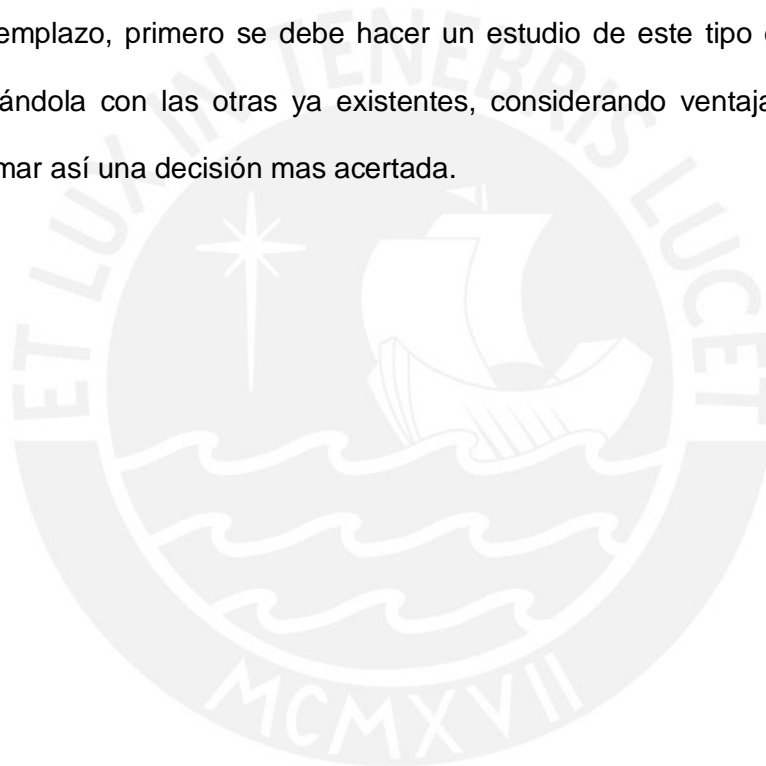
Dado que los datos de la detección son enviados por voz, estos pueden entenderse de forma errada; por otro lado siempre existe la posibilidad de confusiones entre las personas.

Finalmente cabe mencionar que este sistema requiere que de cuatro a cinco personas u operarios se encuentren en la ubicación del cañón para realizar el

disparo, lo que es muy arriesgado en épocas de conflicto, poniendo de esta manera en peligro la vida de estos.

Es por estos motivos, en especial por la presencia de interferencia electromagnética, que se decide cambiar la forma de envío de datos o información.

Además que debido a actualizaciones realizadas al cañón, es necesario enviar también imágenes por el medio elegido. La elección que se ha hecho es la de reemplazarlo con una red óptica inalámbrica, pero para saber si es conveniente este reemplazo, primero se debe hacer un estudio de este tipo de comunicación, comparándola con las otras ya existentes, considerando ventajas y desventajas, para tomar así una decisión mas acertada.



CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS USADAS PARA LA TRANSMISION DE DATOS

Introducción

El presente capítulo trata de explicar en forma breve y directa, los principios básicos de los sistemas de comunicación.

El capítulo empieza con un pequeño resumen sobre la situación actual de la tecnología de redes ópticas y cómo esta ha ido evolucionando desde sus inicios. Una vez concluido ese pequeño resumen, se pasa a explicar la tecnología de los sistemas de comunicación, tales como los elementos que lo conforman y las características principales de cualquier sistema.

Una vez concluida esa explicación, se pasa a explicar las características de la luz láser, la cual es la tecnología que utiliza las redes ópticas, en esta parte se explica los orígenes del láser y sus principales propiedades.

A continuación se procede a mencionar los diversos medios de transmisión que existen actualmente, entre medios guiados y no guiados, sus principales ventajas y desventajas.

Para continuar con los conceptos necesarios de una red óptica inalámbrica, se procede a explicar el tipo de multiplexación que esta utiliza la cual se denomina multiplexación por división de longitud de ondas densas o DWDM, y finalmente se da a explicar las características principales de una red óptica inalámbrica convencional.

Para concluir este capítulo se procede a analizar el lugar de instalación de la red óptica, para nuestro caso entre la base de mando y el cañón, y sus razones para la elección de este tipo de tecnología.

2.1 Tecnología de red óptica inalámbrica

2.1.1 Introducción a los sistemas de comunicación de redes ópticas inalámbricas

Las redes ópticas inalámbricas, o *Wireless Optical Networks* (WON), utilizan los sistemas de comunicación óptica (*Free Space Optics* -FSO 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.

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 países; por otro lado, también evita la instalación de medio alámbricos como fibra o cable el cual toma tiempo y puede ser costoso.

En el presente estudio se muestra la tecnología que se utiliza actualmente para el envío y recepción de datos, los cuales son usados por civiles (empresas como *AirFiber* o *Terabeam*) y militares los cuales iniciaron su investigación.

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.

2.1.2 Evolución de las Redes Ópticas Inalámbricas

La investigación se inicio en los laboratorios Bell donde se investigaba y desarrollaba el uso de un aparato que combinaba el uso de micro-espejos y óptica en el espacio libre para enrutar y conmutar señales en forma de onda de luz pero en un principio estas señales se enviaban a través de fibra [1]. Al continuar la investigación la fibra pudo ser descartada y estos datos eran enviados por un cañón láser a través del aire libre

Otro tipo de estudio que se realizaron fue la unión de la transmisión por radio frecuencia y luz, la cual consistía en enviar los datos por una antena de radio de forma analógica los cuales eran recibidos por una antena convencional; estos eran convertidos por un convertidor analógico-digital a su nuevo formato y posteriormente eran enviados por el láser al receptor donde se recibía la información final, es decir la óptica en espacio libre se trataba como una medio de última milla [3].

La marina de Estados Unidos tomo interés en el proyecto debido a que se podía enviar datos a gran velocidad (100-500 Mbps) y sin la interferencia que puede producirse en los medios de radio frecuencia, debido a que utiliza la luz como medio, además de la baja potencia requerida.

Las pruebas se realizaron en las costas de estados unidos por el *Space Systems Development Department (SSDD)* y *Optical Sciences Division* en conjunto; desde la bahía *Chesapeake* hacia la isla *Tilghman*, las cuales se encuentran a una distancia aproximada de 16.09 kilómetros; donde el cañón enviaba datos desde la bahía hacia la isla, se eligió este lugar dado a que presentaba el peor escenario

donde se podría desarrollar este tipo de comunicación, tal como muestra la figura 2.1.



Fig. 2.1 Comunicación óptica en espacio libre a través de la bahía Chesapeake
FUENTE: U.S. Naval Research Laboratory de <http://www.nrl.navy.mil/> [2]

Las pruebas demostraron que la comunicación a través del sistema *lasercomm*, dentro de condiciones atmosféricas límites entre grandes distancias, son en sí posibles pero siempre es posible mejorar la confiabilidad y la calidad de la comunicación añadiendo espejos u otros material reflectivo que funcionen como repetidores para alargar las distancias. [5].

Otro problema es que el láser no se proyecta en línea recta todo el tiempo si no que va abriéndose lo que causa que la distancia disponible para el envío de datos puede disminuir dependiendo del ángulo en que el láser se dirija.

Actualmente existe un uso civil para este tipo de comunicación, el cual es usado por empresas privadas y publicas, ya que estas requieren que grandes cantidades de información se envíen y reciban a grandes velocidades, haciendo del uso de FSO la mejor solución para esta necesidad. El sistema consiste en un cañón láser el cual es montado en la parte superior del edificio para de esta forma aumentar la línea de vista. Esta comunicación todavía tiene la desventaja de la niebla y el ángulo en que se coloque el cañón. Son tres empresas que brindan este tipo de comunicación *Airfiber*, *Terabeam* y *Fsona*, las cuales alcanzan un velocidad promedio de 1.5

Mbps-2.5Gbps por canal lo que le da una capacidad máxima de 10 Gbps a distancias que varían desde los 500 metros a 6.4 kilómetros de distancia. El tipo de servicio es siempre en línea de visto con un láser de 1500nm el cual es invisible para el ojo humano y no lo daña. El sistema consume aproximadamente 60 voltios DC, y los cañones no superan el medio metro de largo. La potencia perdida es aproximadamente de 60 db; además de soportar temperaturas de -50° a 75° C. [6] [7].

2.1.3. Conclusiones sobre las principales características expuestas sobre las Redes Ópticas Inalámbricas

De acuerdo a lo investigado y lo disponible tecnológicamente con respecto a la red inalámbrica óptica se puede obtener lo siguiente:

- Debido a las ventajas que ofrece las Redes Ópticas Inalámbricas su uso se está extendiendo del militar al uso civil, por lo que se espera que se extienda a nivel global en diferentes ciudades del mundo.
- Las desventajas causadas por el clima son causadas por la naturaleza propia de la luz por lo que para evitar esta situación se optó por aumentar la potencia del láser y crear repetidoras de espejos para regenerar la señal.
- Tanto el receptor y el emisor deben estar en línea de vista por lo que la instalación de los cañones de luz debe realizarse con cuidado y calcular el ángulo del cañón exacto para así aprovechar al máximo la distancia que se puede obtener.

2.2 Características de los sistemas de comunicación

Para la comunicación de datos, ya sea de voz o información, se necesitan de cinco componentes básicos: emisor, receptor, mensaje, medio y protocolo, [9] tal como se muestra en la figura 2.2. A continuación procederemos a explicar cada uno de estos componentes.

- El emisor es aquel que envía el mensaje, es decir el que produce la información a enviar [9].
- El receptor es el que recibe el mensaje; el destinatario del mensaje enviado [9].
- El mensaje es el contenido o información a enviar, puede tratarse de datos, voz, imágenes, etc. Su característica depende del emisor [9].
- El medio es la forma como se envía el mensaje, este puede tratarse de medios guiados, tales como fibra óptica o cable coaxial; se denominan guiados ya que necesitan de un medio que conecte directamente al emisor con el receptor. Por otro lado el medio puede tratarse de un medio no guiado, el cual no necesita de un medio físico que conecte ambos puntos, entre los medios no guiados encontramos la radio frecuencia por ejemplo [9].

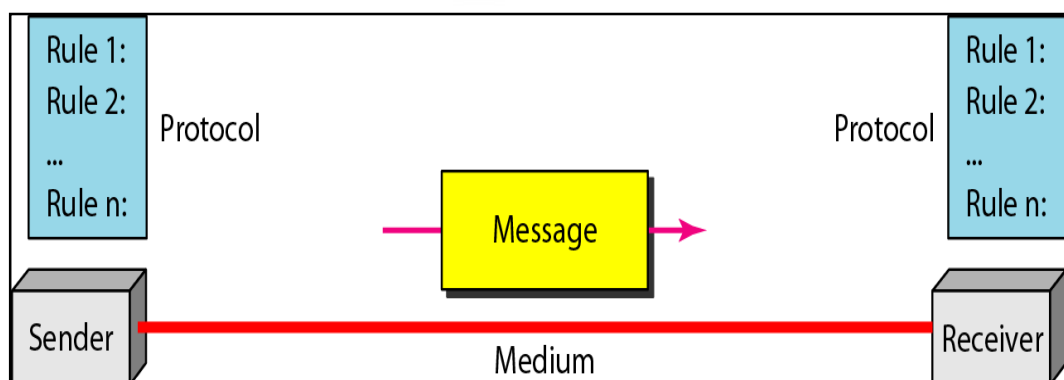


Fig. 2.2 Elementos básicos de un sistema de comunicación
FUENTE: Data communications and networking [9]

El protocolo es un conjunto de normas que permiten que el mensaje enviado por el emisor, sea entendido por el receptor, se le puede comparar con el idioma que utilizamos con las demás personas para poder entendernos; si el emisor y el receptor no poseen un mismo protocolo, el mensaje enviado será completamente ininteligible [9].

Luego de conocer los elementos de cualquier sistema de comunicación, nos centraremos en conocer las características de los sistemas de comunicación digital. Es decir aquellos que envían y reciben datos en formas de ceros y unos; las características principales de este tipo de comunicación son las siguientes: velocidad de transmisión, ancho de banda, relación señal a ruido, potencia de transmisión, y por último tipo de multiplexación [11,12, 13].

La velocidad de transmisión es la cantidad de bits transmitidos durante un segundo, usualmente se expresa en baudios por segundo. Cuando se está enviando un flujo de datos o información, en los sistemas de comunicación es importante que el emisor y el receptor tengan la misma velocidad de transmisión, debido a que si esta es diferente puede producirse errores en la transmisión como por ejemplo la pérdida de bits de datos, los cuales pueden afectar considerablemente el mensaje final [13], es por ello que se envía un trama digital con diferentes elementos, tal como se muestra en le figura 2.3.

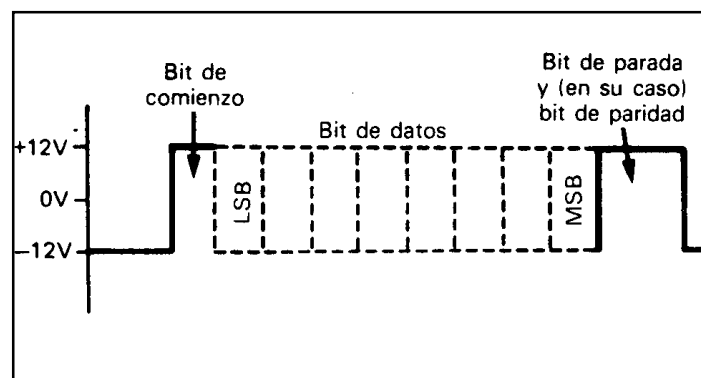


Fig. 2.3 Trama digital enviada por el canal de comunicación,
FUENTE: *Data Communications and networking* [9]

El ancho de banda digital es considerada como la máxima cantidad de bits que se pueden enviar por un canal durante un segundo, es decir es la máxima velocidad que soporta el canal teóricamente, usualmente se exprese en bits por segundo. Este ancho de banda generalmente se ve afectado por el ancho de banda analógico el cual expresa la frecuencia que puede utilizar o es enviada la señal, el ruido, y la potencia de la señal; es debido a esto que en casi todos los casos el ancho de banda real suele ser menor al ideal [13].

La relación señal a ruido es la relación en decibelios, entre el nivel de la señal útil o mensaje y el nivel de la señal de ruido. Esta relación de señal/ ruido, depende sobre todo del circuito físico que se utiliza, ya que este puede ser la fuente principal de ruido, entre mayor sea esta relación mejor será la calidad del equipo que se esté utilizando, debido a que este soportará más ruido sin distorsionar el mensaje [11].

Potencia de la señal, es considerada usualmente como la potencia consumida por las antenas, para realizar la transmisión o recepción de los datos.

La Multiplexación se define a la capacidad de combinar varios canales de información para que sean enviados por un solo medio. Es decir sirve para enviar diferentes mensajes a través de una sola señal [9]. Para realizar esto existen varias técnicas, tales como:

- Multiplexación en frecuencia: divide la frecuencia total de la señal en otras más pequeñas, de tal manera que se pueda enviar varios mensajes al mismo tiempo.
- Multiplexación en el tiempo: divide el tiempo o periodo total de la señal, para poder enviar varios canales en un solo medio.
- Multiplexación por división de código: utiliza códigos especiales para codificar las señales y para que de esta forma puedan ser enviadas

- Multiplexación por división de longitud de onda: utilizada por medio ópticos, se explicara con más detalle mas adelante, debido a que es el sistema que utiliza la red óptica inalámbrica.

2.3 Propiedades y origen de la Luz Láser

El láser se origina por la amplificación de luz por emisión de radiación estimulada, es de aquí donde se origina su nombre, el cual es un acrónimo de su denominación en ingles (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) [14].

Para que un haz de luz sea considerado como luz láser debe cumplir tres características principales:

- Ser monocromática, ya que esto asegura que toda la luz tenga la misma longitud de onda y la misma frecuencia. [14]
- Todas las ondas electromagnéticas tienen que ser paralelas, a esto se le llama ser colimada. La luz es considerada también un tipo de onda electromagnética [14].
- Tiene que ser una luz coherente, es decir todas las ondas del rayo deben estar en una sola frecuencia [14].

Todas estas características permiten que el rayo de luz láser mantenga un rayo coordinado e intenso a través de largas distancias [14].

Por otro lado la luz del rayo láser puede verse afectada por las condiciones atmosféricas; tales como la lluvia o la neblina, esto debido a que las moléculas de agua, refleja las ondas del rayo causando que pierdan su característica de que todas las ondas viajen en una misma dirección. Por otro lado a pesar de que la luz puede viajar a lo largo de kilómetros, la potencia con que esta se origina no es ideal, por lo que a grandes distancia el rayo tiende a abrirse en forma de cono, esto

es despreciable en un inicio, pero se acentúa a medida que el rayo viaja a través del aire [14].

A continuación explicaremos los pasos para la generación de un rayo láser de color rojo [15] el cual es uno de los más usados mostrado en la figura 2.4:

- 1) Una fuente de alto voltaje hace que el tubo en espiral emita los “flashes” de luz.
- 2) Cada vez que se produce un flash de luz, el cristal de rubí absorbe energía en forma de fotones.
- 3) Cuando los átomos del cristal de rubí absorben un fotón de energía, uno de sus electrones salta a un nivel de energía superior. Esto sitúa al átomo en un estado excitado que es inestable: el electrón sólo permanece en el nivel de energía superior durante unos milisegundos y vuelve a caer a su nivel original.
- 4) Los fotones liberados por los átomos del rubí viajan a la velocidad de la luz de un lado a otro del cristal.
- 5) Frecuentemente, alguno de estos fotones choca con un átomo que ya se encuentra en estado excitado. Cuando esto pasa, el átomo libera dos fotones en vez de uno, de forma que la luz se amplifica
- 6) Un espejo reflectante al 100% situado al extremo del cristal hace rebotar los fotones para que no se escapen.
- 7) Un espejo parcial (reflectante al 95%) al otro extremo del tubo hace rebotar la mayor parte de los fotones, pero permite que escapen algunos.

8) Los fotones que escapan forman el rayo láser

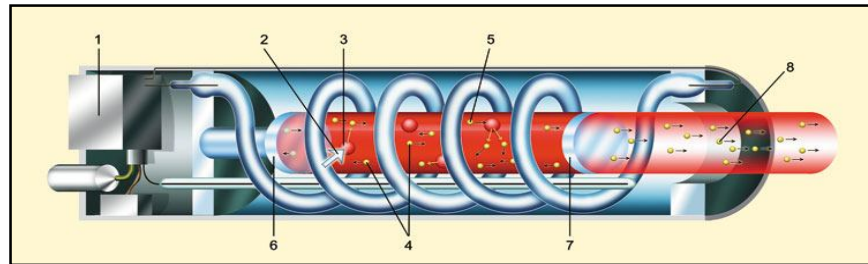


Fig. 2.4 Generación de un rayo de luz láser

FUENTE: <http://www.portaleureka.com/content/view/352/55/lang/es/> [15]

2.4 Medios de transmisión de información

Como ya se dijo anteriormente el medio de transmisión se refiere a la forma como se conecta el transmisor y el receptor, para enviar y recibir la información.

Estos medios pueden dividirse por su naturaleza en dos tipos: medios guiados y medios no guiados.

2.4.1 Medios Guiados

Los medios guiados se caracterizan por que existe un medio físico entre los puntos del emisor y el receptor, es decir están conectados por un cable. Los principales medios guiados son: par trenzado de cobre, cable coaxial y fibra óptica, cada uno con sus propias características. [9]

El par trenzado de cobre consiste de dos hilos de cobre, protegidos por una cubierta plástica y trenzados entre si. Este tipo de medio tiene un bajo costo de instalación, pero es también el que posee la menor velocidad de transmisión, ya que solo puede llegar a un máximo de 100 Mbps. Por otro lado, este es un medio muy susceptible a interferencia y al ruido; además si la señal viaja por distancias muy largas esta tiende a atenuarse.

El problema de ruido se evita dando más vueltas al momento de trenzar el cable, mientras que el problema de atenuación se soluciona instalando repetidoras cada cierta distancia [9].

Existen diferentes tipos de cable de par trenzado, como mostrado en la figura 2.5, entre los cuales encontramos: UTP o cable de par trenzado sin apantallar y STP o cable de par trenzado apantallado. El término apantallado se refiere a una cubierta extra para así disminuir más el ruido externo [9].

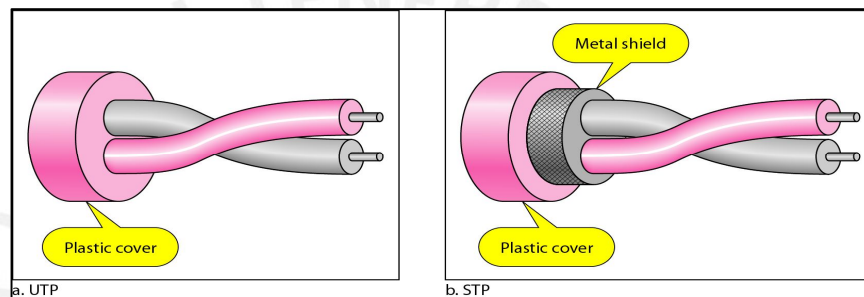


Fig. 2.5 Tipos de cable de par trenzado
FUENTE: *Data Communications and networking* [9]

Otro tipo de medio guiado es el cable coaxial, el cual consiste de un cable conductor interno de forma cilíndrica separado por otro cable conductor externo, por anillos aislantes o por un aislante macizo, como se puede observar en la figura 2.6. Todo esto se encuentra recubierto por una capa aislante la cual actúa como la funda del cable [9].

Este cable a diferencia del par trenzado, es un poco más caro, pero puede utilizarse en distancias más largas, puede soportar una velocidad de transmisión mayor y es menos susceptible a las interferencias debido a sus diferentes cubiertas. Pero entre sus principales desventajas, encontramos que este tipo de cable es susceptible a la atenuación, al ruido térmico (causado por el calor que se despiden al momento de transmitir la información), y al ruido de intermodulación [9].

Este tipo de cable puede transmitir señales analógicas o digitales. Para poder transmitir señales analógicas se necesita instalar amplificadores cada ciertos kilómetros. Mientras que para transmitir señales digitales se necesitan repetidoras cada kilómetro [9].

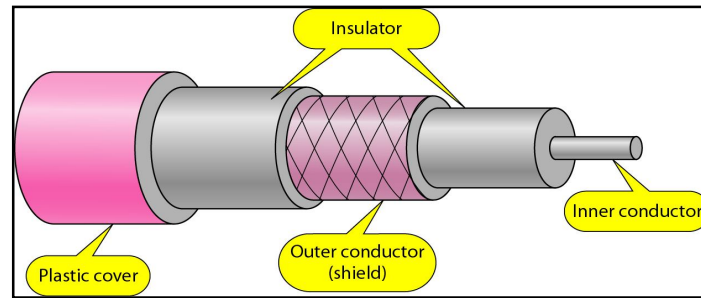


Fig. 2.6 Tipos de cable de par trenzado
FUENTE: *Data Communications and networking* [9]

Por último pero no menos importante, encontramos la fibra óptica, la cual a diferencia de los dos medios anteriores, no transmite la señal mediante el uso de señales eléctricas, por que utiliza la luz para transmitir su información.

La fibra óptica consiste en un núcleo formado por una o varias fibras o hebras muy finas de cristal o plástico; cubierto por otro revestimiento de cristal o plástico cuyas propiedades ópticas son totalmente diferentes a las del núcleo inicial. Por último cada una de las fibras esta rodeada de un revestimiento y una cubierta plástica para protegerla de humedad y otros peligros del entorno. [9]

La fibra óptica solo puede enviar señales digitales, y como ya se dijo estos son enviados como pulsos de luz. Por lo que se puede considerar una de las formas más seguras de enviar datos, debido a que estos no pueden ser captados durante su transmisión, ya que estos no se tratan de pulsos eléctricos los cuales pueden ser captados en el trayecto. Un esquema de la fibra óptica puede observarse en la figura 2.7 [9].

A pesar de que es el medio más caro entre los existentes, tiene como característica principal que puede enviar datos a grandes velocidades (2 Gbps) y posee una gran capacidad, esto debido a que la señal no se atenúa cuando recorre largas distancias

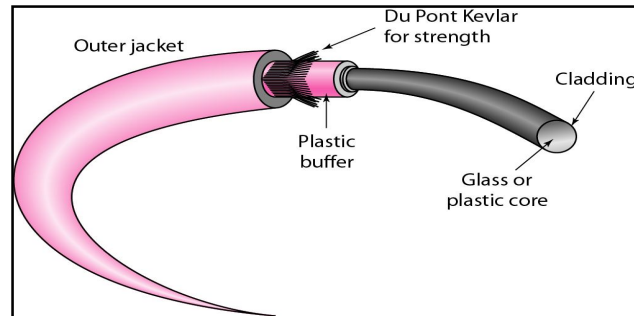


Fig. 2.7 Tipos de cable de par trenzado
FUENTE: *Data Communications and networking* [9]

2.4.2 Medios No Guiados

Los medios no guiados tienen como característica principal que no necesitan de una conexión física entre el emisor y el receptor, esto tiene como ventaja que para instalar estos equipos, no existe la necesidad de instalar cables, lo que ocasiona un gasto mayor y toma más tiempo [9].

En resumen, este tipo de transmisión utiliza el aire para enviar la información. Tenemos dos tipos de transmisión, señal de radio, que utiliza diferentes frecuencias del espectro electromagnético, el cual es mostrado en la figura 2.8, y actualmente se viene desarrollando la transmisión de señal por luz láser (la cual utiliza la luz para enviar y recibir datos, de la misma manera que la fibra óptica) [9]

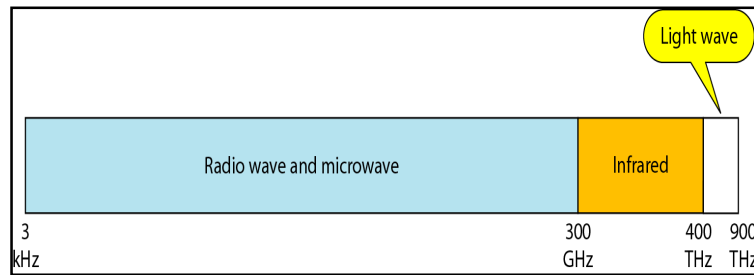


Fig. 2.8 Espectro electromagnético
FUENTE: Data Communications and networking [9]

Para transmitir los datos se utilizan diferentes estrategias las cuales discutiremos a continuación:

Propagación por tierra u onda de superficie: Utilizada por la radio frecuencia, el cual utiliza el principio de que la onda terrestre mantiene contacto directo con la superficie de la tierra desde la antena transmisora hasta el receptor. Este tipo de transmisión depende de tres factores principales: las propiedades eléctricas del suelo, la polarización de la onda y la frecuencia [9]

Propagación por onda ionosférica: Utilizado exclusivamente por la radio frecuencia, la cual la onda de radio es emitida desde una antena transmisora, esta señal es refractada por la ionosfera y finalmente retorna a la tierra. Este tipo de transmisión esta condicionada por el clima debido a que las características de la ionosfera cambian según sea de día o de noche y las estaciones [9].

Onda de espacio: Utilizada por la radio frecuencia y la transmisión láser. Este tipo de transmisión necesita de visibilidad directa entre el nodo del receptor y el del transmisor. Esta señal no toca la tierra ni la ionosfera. Es decir se necesita de línea de vista entre el emisor y el receptor. A diferencia de la radio frecuencia, en este tipo de transmisión la luz láser no presenta atenuación en condiciones ideales.

Las tres tipos de transmisión por radio frecuencia se pueden observar en la figura 2.9

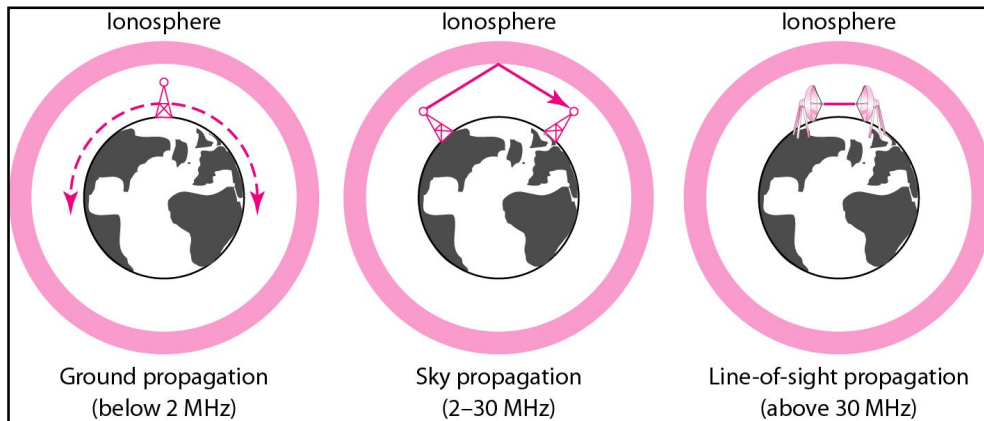


Fig. 2.9 Tipos de transmisión por medios no guiados
FUENTE: *Data Communications and networking* [9]

La transmisión por luz láser, tiene las mismas características básicas de la transmisión por fibra óptica. Alta velocidad, gran capacidad y seguridad en la transmisión. Por otro lado este medio es inmune a la interferencia electromagnética causada por equipos que se encuentre en el camino o alrededor de las antenas [9]

2.5 Multiplexación por División de Longitudes de Ondas Densas (DWDM)

Como ya se dijo, la multiplexación sirve para aumentar la capacidad de canales que pueden enviarse a través del medio de transmisión, es decir aumenta la capacidad de transmisión sin cambiar el medio usado

En el caso de las redes ópticas, al usar la luz como medio de transmisión, si se desea aumentar la capacidad del medio; no pueden utilizarse los medios convencionales. El principio básico que se utiliza es que la luz es una onda electromagnética, la cual tiene una longitud de onda determinada. En este caso la acción que se realiza, es utilizar diferentes longitudes de onda en un solo haz de luz para transmitir la información, donde cada longitud de onda representa un canal determinado [8].

Las razones principales por la que este tipo de modulación es posible son las siguientes: En primer lugar se encuentra la capacidad que tienen los diodos láseres de emitir luz con una longitud de onda estable y precisa, contando además con un ancho de espectro muy delgado.

En segundo lugar podemos apreciar la gran capacidad de ancho de banda que posee la transmisión por luz láser, la cual puede llegar a poseer una capacidad de terahertz. Y por último pero no menos importante la capacidad de los amplificadores ópticos para amplificar varios canales de forma uniforme al mismo tiempo.

Para nuestro caso la señal de transmisión tienen una capacidad máxima de 2.5 Gbps por canal, en caso de utilizarse solamente un canal. DWDM logra aumentar el número de canales a cuatro, por lo que se obtiene un total de 10 Gbps los cuales pueden ser transmitidos; como se puede observar esto aumenta el ancho de banda y la velocidad de transmisión.

Se pretende duplicar la capacidad de multiplexación para así poder obtener un total de ocho canales con lo que se consigue una velocidad de transmisión de 20 Gbps [6] [8]. En la figura mostrada a continuación se puede observar el esquema de funcionamiento de la DWDM

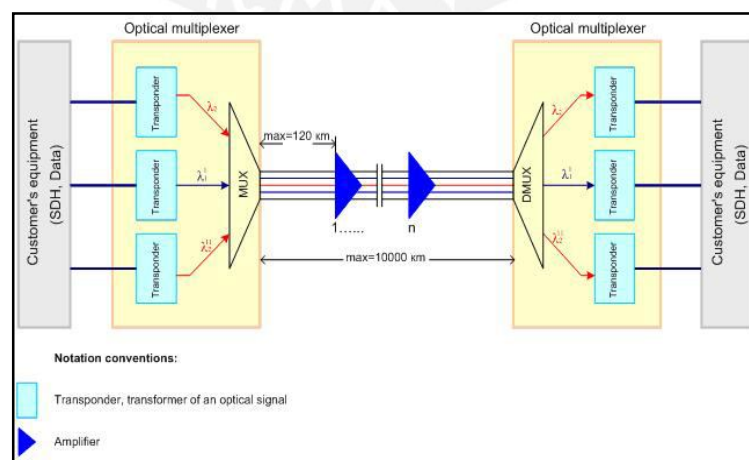


Fig. 2.10 Multiplexación por longitud de onda densa

Fuente: DWDM fundamentals, components, and applications Artech House [8]

2.6 Características de una Red óptica Inalámbrica (WON)

Una red óptica inalámbrica, como ya se mencionó, hace uso del aire o el espacio libre como medio de transmisión, utilizando un haz de luz para transmitir las señales digitales. La longitud de onda que utiliza se encuentra entre los 1310 nm y 1550 nm la cual es invisible para el ojo humano [6].

La velocidad de transmisión que actualmente posee es de 2.5 Gbps por canal, este tipo de tecnología utiliza la multiplexación tipo DWDM, el cual brinda 4 canales adicionales de transmisión, lo que otorga una velocidad total de 10 Gbps [6].

Tiene como máxima pérdida de potencial aproximadamente 61 dB, lo cual es importante ya que en condiciones adversas, tales como días con neblina, polvo o contaminación, el sistema puede seguir funcionando con un error muy pequeño el cual puede ser despreciable [6].

El sistema de redes ópticas inalámbricas funciona con una alimentación de sesenta voltios en corriente continua, por lo que se necesita una instalación de baterías, pero existen adaptadores para que puedan ser conectados a fuentes de corriente alterna [6]

Para que este sistema pueda utilizarse correctamente debe instalarse de tal forma que exista línea de vista entre el emisor y el receptor, una forma de instalación se muestra en la figura 2.11. De otra manera el equipo no funcionará y los datos no podrán ser enviados, es por este motivo que usualmente se instalan en las azoteas de los edificios para que no existan interferencias de parte de otros objetos. [6]

Esta clase de comunicación es conveniente instalar para los casos donde la instalación de cables sea muy difícil o poco conveniente debido a diversos motivos, ya que como se dijo anteriormente, tiene las mismas características o ventajas que

la fibra óptica, tales como su gran velocidad de transmisión. Pero debido a que esta tecnología es nueva la distancia máxima alcanzada por ahora es de un máximo de cinco kilómetros.

Por otro lado, se dijo que la fibra óptica es el medio más seguro, ya que no puede ser interceptado como se da en el caso de una transmisión por cable coaxial o par trenzado. Este tipo de tecnología no posee la misma seguridad, pero la probabilidad de que el rayo de luz pueda ser interceptado, y mas aún que la información que se envía pueda ser utilizada por otras personas ajenas al receptor es realmente baja por no decir nula. En el caso de radio frecuencia es muy fácil interceptar la señal, si se conoce la frecuencia a utilizar, por lo que los niveles de seguridad son muy bajos, si es que no se utiliza encriptadores para proteger la información.

Podemos concluir que este sistema no es superior al de la fibra óptica, pero si supera completamente a las otras formas de comunicación inalámbrica de alta velocidad que utilizan la radiofrecuencia, en otras palabras se puede decir que entre los sistemas inalámbricos, es uno de los mejores.

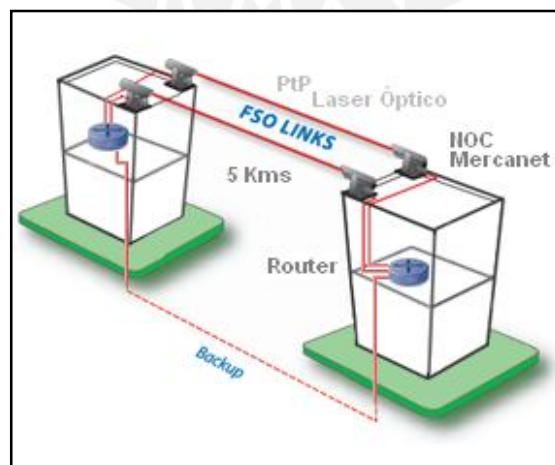


Fig. 2.11 Forma de instalar una red óptica inalámbrica
Fuente: DWDM fundamentals, components, and applications Artech House [8]

2.7 Red Óptica Inalámbrica para conectar la base militar con un cañón de disparo.

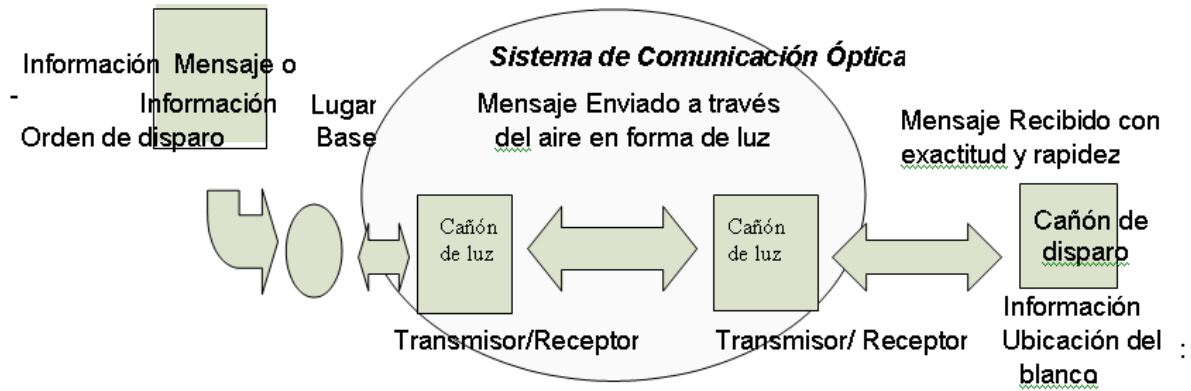
Lo primero que se debe tener en cuenta en la instalación de una red óptica inalámbrica es la razón por la cual se quiere instalar, y para llegar a esto se debe observar primero cual es la forma de comunicación vigente. Actualmente para comunicar la base de mando con el área del cañón se utiliza radio, por donde se transmite órdenes e información de posición de blancos. La comunicación es muy ineficiente tanto en velocidad de datos transmitidos como en exactitud.

Una vez conocida la situación actual se procede a elegir qué tipo de transmisión se utilizará, debido al lugar y las condiciones donde se requiere hacer una instalación inalámbrica, como por ejemplo en nuestro caso se trata de zonas fronterizas. Se opta por elegir un tipo de medio no guiado, es decir inalámbrico, ya que el lugar impide la instalación de cable o fibra entre ambos puntos.

Además, dado que los datos transmitidos son de mucha importancia, no debe existir interferencia, atenuación ni interceptación de la información, es por este motivo por la que se opta por una red óptica la cual cumple esas características. Y dado las condiciones anteriores, esta debe tratarse de una red óptica inalámbrica.

Sabiendo el tipo de red que se va a instalar se procede a realizar los ajustes necesarios, ya que este tipo de comunicación requiere línea de vista, por lo que el receptor y el transmisor deben encontrarse en una posición determinada, de tal manera que se pueda cumplir este requerimiento. Por otro lado, este tipo de tecnologías solo permite una distancia máxima de 5 kilómetros.

Finalmente se tiene que tomar en cuenta la instalación de un sistema de alimentación de -48 voltios DC, ya que el lugar donde se encuentra ubicado no cuenta con fuentes de alimentación alterna.



Los mensajes son enviados tanto del cañón como de la base militar

Fig. 1 Diagrama de bloques de un sistema de red óptica inalámbrica

Fig. 2.12 Diagrama de flujo de funcionamiento de la red óptica inalámbrica
FUENTE: Propia

En la figura 2.12 podemos observar el esquema básico para la comunicación entre la base de mando y el cañón.

Los datos son enviados tanto desde el cañón como de la base, para nuestro caso específico, el cañón posee una cámara de reconocimiento de imágenes la cual capta la ubicación del objetivo, mientras que en la base se manda la orden de disparo, estos dos datos son los que deben ser enviados a través de este sistema.

Una vez recibido el dato, el transmisor envía los datos, y son captados por el receptor, estos deben estar ubicados a una distancia máxima de cinco kilómetros.

Como ya se mencionó antes el medio que utilizan es el aire, por donde viaja el rayo

de luz, se recalca que ambos nodos, emisor y receptor, deben encontrarse en línea de vista para que la comunicación pueda darse con éxito.

Los datos son enviados a gran velocidad, y tiene una gran exactitud, esto es debido a las características de las transmisiones ópticas ya mencionada.



CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA RED OPTICA INALAMBRICA

Introducción

En este capítulo abordaremos los criterios para la implementación de una red óptica inalámbrica, donde, en primer lugar se discutirá las necesidades principales del sistema (medio, alimentación y cañón de luz) que deben ser satisfechas.

Una vez conocida estas necesidades se procederá a explicar cada una de ellas; empezando por el medio de comunicaciones, 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 de la luz por estos fenómenos. Luego se procederá a elegir la ubicación de la base aérea y el cañón de disparo, así como determinar la distancia en que estos se encontrarán y la clase de clima que enfrentará el sistema.

A continuación se explicará las características eléctricas necesarias para la implementación de la red, tales como su sistema de alimentación y consumo de potencia del sistema. Después se explicarán las propiedades físicas del sistema y el mejor lugar donde debe ser colocado.

Para terminar el capítulo, se menciona la forma de funcionamiento del sistema, como la velocidad de transmisión y la interfase que utiliza. Además de mencionar las características de un sistema óptico inalámbrico híbrido, el cual puede servir como un sistema de respaldo a la red principal inalámbrica.

3.1 Partes del sistema y sus necesidades

El sistema de red óptica inalámbrica está compuesta por tres partes bien diferenciadas, las cuales constan de: el medio ambiente, el cual juega un papel decisivo al momento del diseño, el sistema de antenas o cañones de luz y por último pero no menos importante el sistema de alimentación.

En primer lugar tenemos el medio ambiente, el cual cumple un papel decisivo, debido a que este es uno de los elementos más vulnerables del sistema dado que es el que brinda la mayor interferencia que puede sufrir la red. En medios demasiados agrestes, el sistema puede llegar a colapsar y la comunicación queda totalmente interrumpida. Por esta razón tenemos que definir las características de los medios tales como:

- Distancia máxima de transmisión
- Temperatura, humedad y cantidad de lluvia
- Medio ambiente (desierto, montaña, lluvia).
- Definir línea de vista

Por otro lado, se debe definir si se utiliza algún tipo de repetidora, si es que la distancia máxima permitida por el cañón de luz es menor a la distancia requerida.

En segundo lugar tenemos a los tipos de antena, pero debido a su forma y ya que no se trata de una antena propiamente dicha, le llamaremos cañón óptico, cañón de luz o cañón láser, debido a que se trata de un cañón de luz, el cual produce los rayos que sirven para la transmisión de datos. Este cañón óptico es fabricado por diferentes compañías que brindan el servicio a varias empresas, pero para nuestro caso se debe buscar satisfacer las siguientes características:

- Que la potencia consumida por el cañón sea aceptable con el sistema de alimentación
- Velocidad de transmisión
- Ancho de banda
- Soporte de envío de voz y datos
- Potencia perdida sea la mínima

Con todos estos datos se procederá a elegir el tipo de cañón óptico a utilizar.

En lo que respecta a tipo de alimentación, tenemos en primer lugar que resaltar que ambos lugares poseen sistemas independientes, pero se busca que satisfaga las siguientes características:

- Potencia generada adecuada
- Tipo de alimentación proporcionada adecuada
- Alimentación constante
- Existencia de un sistema en caso de fallas de la red principal.

En el siguiente diagrama de bloques observamos las partes del sistema definido con sus necesidades.

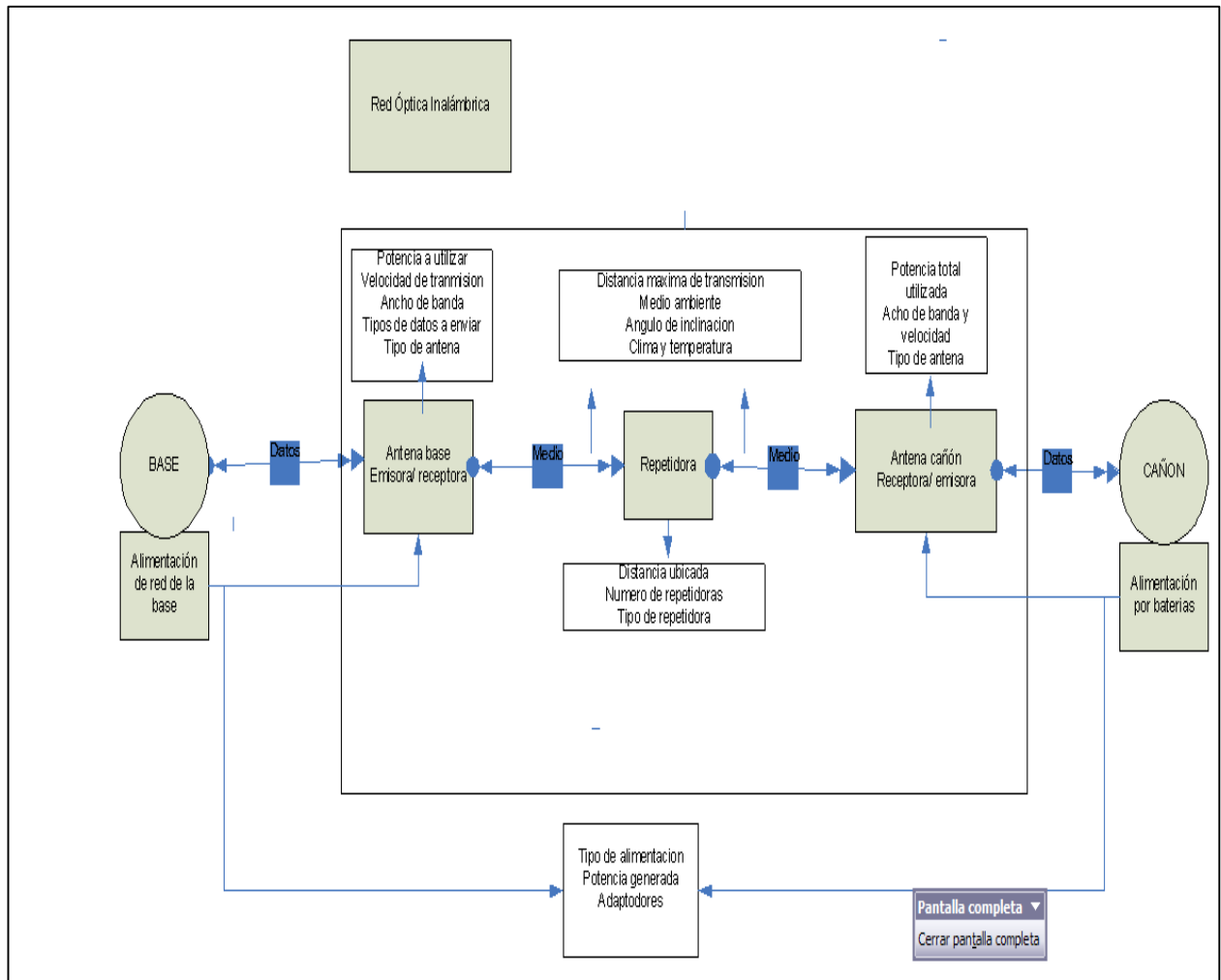


Fig. 3.1 Diagrama de Bloques de la Red Óptica
FUENTE: Propia

3.2 Características del Medio Ambiente

En este punto como ya se dijo anteriormente se discutirán las características del medio por el cual se enviará la información en forma de luz láser.

3.2.1 Fenómenos producidos por el medio de transmisión

El medio ambiente, en este caso el aire, produce tres fenómenos importantes en el rayo láser que viaja a través de él, los cuales son:

- Absorción
- Dispersión
- Cambios causados al rayo por presencia de turbulencias (cambios de presión en el aire, humedad o temperatura)

La absorción, es determinada básicamente por la absorción molecular, debido a que la frecuencia o longitud de onda de la luz es no uniforme. Esta poca uniformidad causa que la frecuencia de los rayos emitidos pueda ser igualada con las frecuencias de resonancia de los elementos de la atmósfera tales como: aire, agua, gases carbónicos entre otros [16].

Si la radiación de la luz láser, llega a encontrarse en el centro del espectro de radiación de una molécula de la atmósfera, la luz es absorbida completamente por esta molécula. Por lo que es necesario el uso de láseres cuya radiación o longitud de onda se encuentre a los costados del espectro que poseen las moléculas de la atmósfera, así este fenómeno se reduce al mínimo [16], tal como se muestra en la figura 3.2.

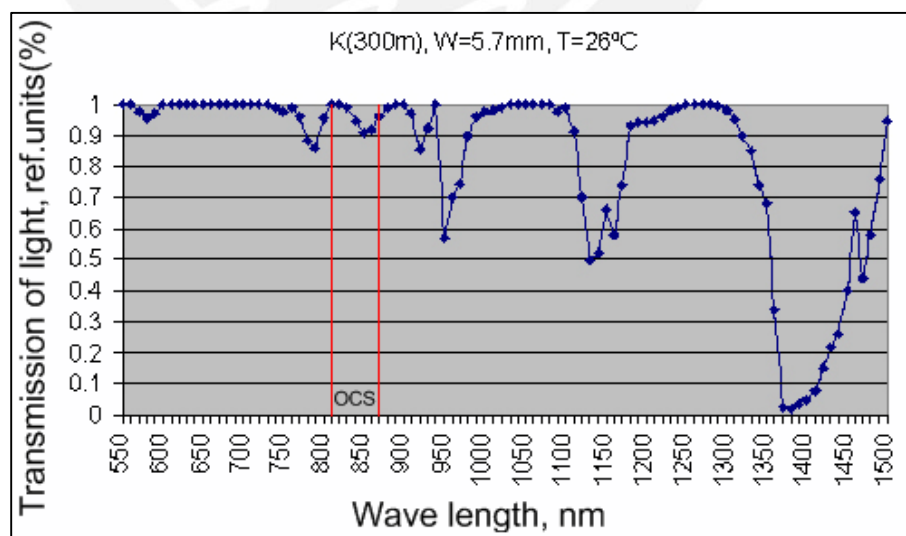


Fig. 3.2 Pérdida de porcentaje de cantidad de luz transmitida
Fuente: <http://laseritc.com> [16]

En la figura 3.2, proporcionada por el centro de información y tecnología de Novosibirsk, muestra el espectro o longitud de onda de la luz, y el porcentaje que logra ser transmitido a través del aire. Como se observa, en las longitudes de 800 a 850nm, 1000 a 1100 nm y 1250 a 1300 nm la absorción es casi mínima, ya que se logra captar el 100 % de la luz transmitida [16].

La dispersión, es un fenómeno causado por la atmósfera, debido a que esta presenta una mezcla de gases, vapores, gotas de líquido y partículas sólidas. Por otro lado el polvo, el humo, los cristales de hielo, se presentan es una cantidad muy variable. Es debido a todo esto que la estructura de la atmósfera cambia constantemente causando que la radiación de la luz sea dispersada originando de esta manera un fenómeno de atenuación [16].

En la figura 3.3 se muestra a continuación representa la atenuación causadas por las diferentes condiciones climáticas según va aumentando la distancia de conexión.

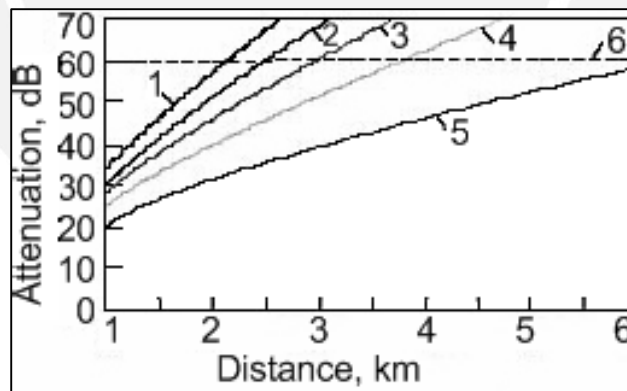


Fig. 3.3 Atenuación de la señal con la distancia
 (1) Nieve de mediana intensidad (2) lluvia fuerte (40mm) (3) nieve de poca intensidad (4) lluvia de mediana intensidad (20mm) (5) neblina (6) límite máximo
 Fuente: <http://laseritc.com> [16]

La tabla 3.1 muestra la atenuación en decibelios por kilómetros, presentada bajo diferentes condiciones climáticas

Tabla. 3.1 Tabla de atenuación según la condición climática [16]

Condición climática	Atenuación dB/Km.
Día Claro	0 – 3
Lluvia ligera	3 – 6
Lluvia fuerte	6 – 17
Nieve	6 – 26
Neblina ligera	20 – 30
Neblina Densa	50 – 100

Fuente: <http://laseritc.com> [16]

La formula para encontrar la dispersión o atenuación causada por la atmósfera es la siguiente:

$$M(L) = M(1) + 0.5 - AL - 20 \log_{10} (L) \text{dB} \quad [19]$$

DONDE:

L: distancia de conexión

M (L): Margen de atenuación a la distancia L

M (1): Atenuación a 1 Km. según la tabla de condiciones climáticas

A: Atenuación atmosférica, según clima

$20 \log_{10} (L)$: Factor de atenuación causado por la dispersión [19]

La turbulencia en la atmósfera, causada por cambios de presiones, temperaturas y densidades en el aire, posee una fuerte influencia en la distribución del rayo láser a lo largo de ella. La turbulencia de la atmósfera resulta en distorsiones de la onda de luz, causando fluctuaciones en el envío del rayo, ya que su energía se tiene que redistribuir para contrarrestar este fenómeno. Esto causa que la señal se pierda o que exista una conexión muy inestable [16].

El rayo de luz puede ser rechazado por su receptor debido a pequeños cambios causados en el cañón de luz, estas pueden ser:

- Expansión de la carcasa de metal por temperatura.
- Influencia del viento.
- Cambio en las condiciones del suelo. El ángulo de inclinación debido a estos cambios pueden llegar a ser de hasta 0.1 grado.

3.2.2 Lugar de posicionamiento del cañón de disparo y la base militar.

Debido a que el cañón de disparo cumple funciones de defensa, este tiene que ser ubicado en una zona cerca de la frontera del país. Este cañón es manejado por la fuerza aérea del Perú por lo que tiene que encontrarse cerca de alguna de las bases que esta posee en zonas fronterizas.

Nuestro país tiene diversos tipos de ambiente en las zonas en la frontera, tales como por ejemplo selva tropical, en las fronteras con Colombia y Brasil, zonas de cordillera como por ejemplo en la zona de Bolivia y parte de Ecuador, y por última zonas de desierto como es el caso de la frontera con Chile y Ecuador, mostrados en la figura 3.4.

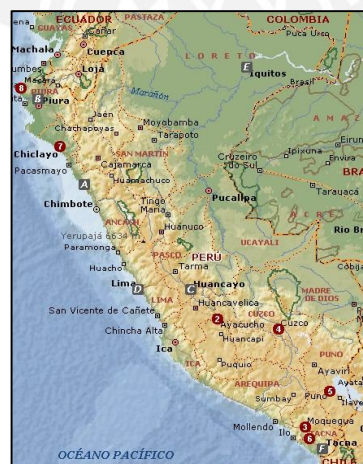


Fig. 3.4 Mapa del Perú con sus fronteras geográficas
Fuente: www.senamhi.gob.pe [18]

Debido a que este sistema requiere línea de vista, es decir que no hayan obstáculos en la ruta del rayo, descartamos en primer lugar la zona de selva, ya que la intensa vegetación, además de la gran presencia de aves en la zona, haría casi imposible obtener línea de vista para grandes distancias, por otro lado en la zona de selva existe demasiada humedad y gran cantidad de precipitación, lo que atenúa el rayo producido por el cañón, llegando incluso a interrumpir el envío de información.

Por otro lado también podemos descartar la zona de sierra, debido a su accidentada geografía, presencia de quebradas y cerros, hacen difícil obtener una línea de vista muy precisa, además la presencia de lluvias es muy alta en la sierra lo que ocasiona, como ya se explicó anteriormente que el rayo se atenúe.

Para nuestro sistema se eligió la zona fronteriza con Chile, esta es una zona desértica, con poca precipitación anual, y sin muchas fallas geográficas.

Para ser más exacto la zona elegida es la ciudad de Tacna, en la base de la FAP Carlos Ciriani Santa Rosa, esta base es también utilizada de forma civil como el aeropuerto de Tacna, la cual se encuentra ubicada a las afueras de la ciudad de Tacna. En este caso se toma un radio como máximo de tres kilómetros que en nuestro caso se considera la distancia máxima a la que puede estar ubicado el cañón.

En la figura 3.5 y 3.6 se puede apreciar la ubicación satelital, de los puntos escogidos tanto para la ubicación de la base aérea como del cañón del disparo.



Fig. 3.5 Ubicación del cañón en las afueras de la ciudad de Tacna
Fuente: Foto satelital tomada del programa Google Earth



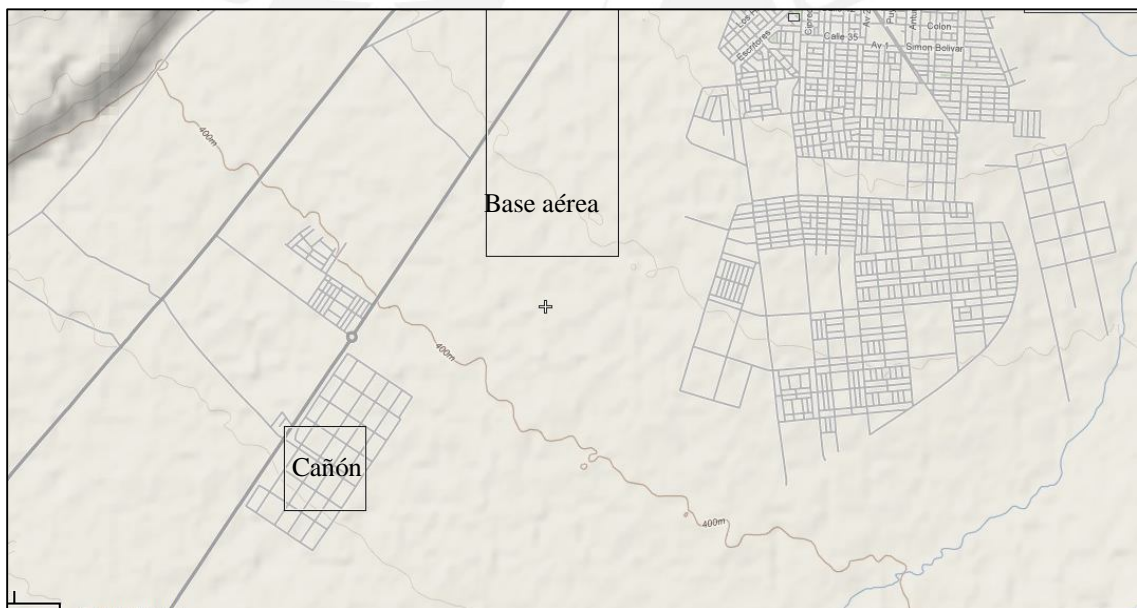
Fig. 3.6 Ubicación del cañón con relación a la base aérea FAP Carlos Ciriani
Fuente: Foto satelital tomada del programa Google Earth

La base aérea se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: 18°03' S y 70°16' O con una elevación aproximada de 452 msnm.

El cañón se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: 18°04' S y 70°16' O y posee una elevación aproximada de 395 msnm. Como se puede observar la

base queda a más altura que la ubicación del cañón, es por eso que se necesitara un ángulo de inclinación de aproximadamente 88 grados, para satisfacer este desnivel en el suelo, este ángulo se calcula tomando el desnivel y la distancia entre los puntos para formar un triángulo rectángulo, con estos datos se puede calcular el ángulo de inclinación.

Según estas especificaciones el cañón quedará ubicado aproximadamente a veinticinco kilómetros de la zona fronteriza o punto de la concordia. Esto en caso de conflicto, su ubicación vendría a funcionar también como una defensa antiaérea para la ciudad de Tacna.



*Fig. 3.7 Mapa del terreno donde se encuentra el cañón y la base
Fuente: Foto satelital tomada del programa Google Maps*

3.2.3 Clima de la zona

Como ya se mencionó anteriormente, el medio por el cual se va a transmitir la información, en este caso el aire es importante, por lo que saber las condiciones climáticas de lugar es importante.

En primer lugar la humedad y la lluvia afectan de gran manera la comunicación por medio de láser, ya que las moléculas de agua originan que la onda del rayo láser de disipe originando de esta manera atenuación en la señal.

Haciendo un estudio de las temperaturas tomadas por la base climatológica Jorge Basadre, ubicada en la ciudad de Tacna, se pueden observar los siguientes datos.

Cuadro de temperaturas máximas y mínimas registradas mensualmente

Tabla 3.2 Temperaturas mensuales año 2008

	Máximo (°c)	Desviación	Mínimo (°c)	Desviación
Enero	28	0.7	16.1	0.7
Febrero	28.7	0.8	16.9	1
Marzo	27.8	0.9	16.8	1.2
Abril	24.8	1.5	13.3	1.6
Mayo	20.8	1.2	10.7	1.4
Junio	19.2	1.1	10.7	1
Julio	18.5	1	9.7	1.4
Agosto	19.5	1.3	10.4	1.2
Septiembre	21.4	1.9	11.4	0.8
Octubre	22.5	1	12.4	0.9
Noviembre	24.6	1	13.4	1.2
Diciembre	26.3	0.7	14.7	1

Fuente: www.senamhi.gob.pe [18]

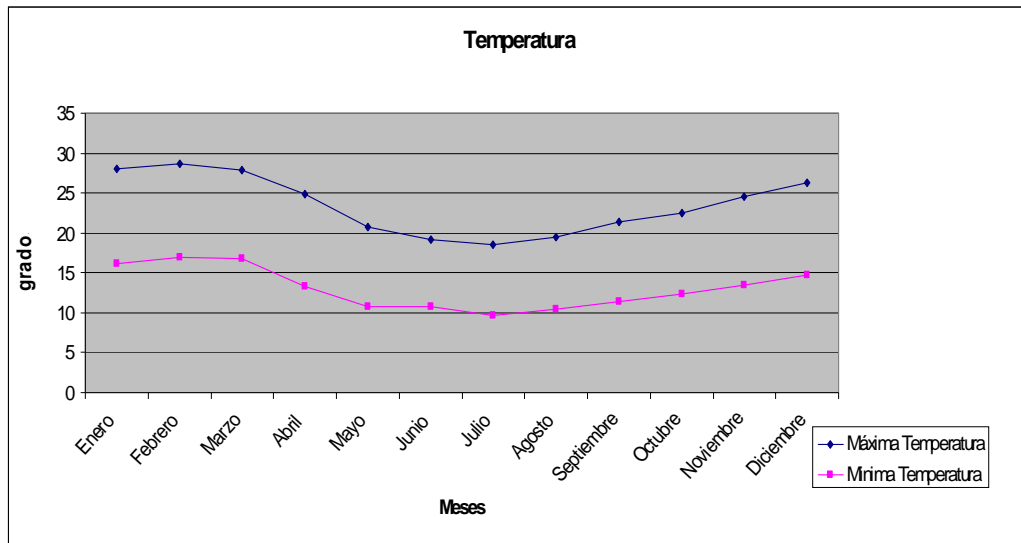


Fig. 3.8 Temperaturas mensuales

En la tabla 3.2 y la figura 3.8 se pueden observar que las temperaturas máximas registradas oscilan entre 19.2 y 28 grados Celsius con una desviación estándar aproximada de +1 grado, esta temperatura máxima usualmente es registrada durante el mediodía.

Por otro lado se observa también que las temperaturas mínimas registradas oscilan entre 9.7 y 16.9 grados con una desviación estándar de +- 1 grado también, esta temperatura mínima fue registrada durante la noche.

Cuadro de temperatura promedio anual

Tabla 3.3 Temperaturas máxima y mínima promedio año 2008

	Máximo (°c)	Mínimo (°c)
Promedio	23.5	13.0
Desviación	3.7	2.6

Fuente: www.senamhi.gob.pe [18]

En la tabla 3.3 se aprecia que la temperatura promedio anual varía entre 23.5 y 13 grados centígrados, con una desviación estándar de aproximadamente 3 grados.

En la tabla 3.4 se muestran las temperaturas mínimas y máximas registradas durante el año y la fecha en la que este ocurrió. Esta información es relevante debido a que los componentes electrónicos de cualquier sistema tienen un rango de funcionamiento basado en la temperatura por lo que el ambiente no debe rebasar estos.

Tabla 3.4 Temperaturas máximas y mínimas

Temperatura Máxima (°c)	30.8	19/02/2009
Temperatura Mínima (°c)	6.4	11/07/2008

Fuente: www.senamhi.gob.pe [18]

En la tabla 3.5 se puede apreciar la precipitación mensual en milímetros de precipitación, se puede apreciar que durante la mayor parte del año esta es mínima, lo cual es conveniente para el sistema pues la caída de lluvia puede causar distorsión en el haz de luz.

Tabla 3.5 milímetros de Precipitación

	Precipitación (Mm)
Enero	0.4
Febrero	0.6
Marzo	0.2
Abril	0.5
Mayo	1.9
Junio	2.2

Julio	6.7
Agosto	6.9
Septiembre	10.9
Octubre	3.7
Noviembre	0.8
Diciembre	0.7

Fuente: www.senamhi.gob.pe [18]

Para finalizar, la región de Tacna presenta un clima seco y en su mayor parte del tiempo el cielo es descubierto, lo que es una ventaja debido a que estas condiciones son las ideales para desarrollar el sistema, por la presencia de poca humedad en el ambiente y falta de neblina.

En general podemos concluir que el lugar que se ha elegido para la ubicación del cañón, tiene las condiciones ideales para el buen funcionamiento, debido a que el rango de funcionamiento de la mayoría de los cañones de luz se encuentra entre 40° a 50° centígrados, por lo que incluso en la época de mayor calor o mayor frío, el cañón funcionará con total normalidad. Por otro lado no existen mayores obstáculos físicos que puedan interferir en el envío de información entre un punto y otro, lo que hace la comunicación menos propensa a disiparse. Por último estos equipos soportan un humedad relativa por encima del 95%, por lo que el clima seco de Tacna ayuda aún más a su buen funcionamiento.

Calculamos ahora la máxima dispersión de potencia que puede soportar el equipo en condiciones climáticas de una atmosfera limpia

$$M(L) = M(1) + 0.5 - AL - 20 \log_{10} (L)dB$$

Consideramos una longitud de 3 Km., con un clima claro

$$M(1) = 3 \text{ db}$$

$$AL: 3 \times 3 = 9 \text{ db}$$

$$20 \log_{10} (3) = 9.5 \text{ db}$$

$$M(3) = 11 \text{ dB}$$

La pérdida para una conexión de 3 kilómetros es de -11dB, esto quiere decir que la potencia máxima que soporta perder el salto entre ambos puntos es de 12 veces la potencia original de salida.

Se utiliza la siguiente formula para realizar la suma de decibelios donde X_n es el numero expresado en dB.

$$10 \cdot \log_{10} \left(\text{antilog} \left(\frac{X_1}{10} \right) + \text{antilog} \left(\frac{X_2}{10} \right) + \dots \right) = dB_{\text{totales}}$$

3.3 Especificaciones eléctricas del cañón de luz

En esta sección abarcaremos los requerimientos eléctricos necesarios para el buen funcionamiento del cañón. Los puntos serán los siguientes:

- Alimentación externa del cañón.
- Potencia consumida por las partes del cañón

3.3.1. Alimentación externa del cañón

En primer lugar tenemos que considerar dos tipos de redes eléctricas que van a alimentar a ambos cañones, la primera que es la red proporcionada por la base aérea y la segunda que es la que se encuentra en la ubicación del cañón.

La alimentación eléctrica de Tacna es proporcionada por la empresa Red Eléctrica del Sur, la cual provee una alimentación de 220 voltios, con una frecuencia de 60 Hertz, este sigue entonces el estándar nacional.

Por otro lado el lugar donde se encuentra ubicado el cañón de disparo, tiene su propia red de alimentación, ya que este se encuentra en un lugar no poblado, por lo que habría que diseñar un sistema de alimentación adecuado para el funcionamiento del cañón de luz.

El cañón de luz, tiene diferentes fabricantes, pero el sistema de alimentación externa soporta un alimentación de 100 a 240 voltios con una frecuencia de 50 a 60 Hertz. Por lo que la alimentación eléctrica proporcionada por la base aérea para el cañón de luz ubicado en ella se encuentra dentro de los rangos permitidos. Debido a que este tipo de equipos de comunicaciones presentan gran sensibilidad a los picos de corriente, es recomendable instalar un UPS antes de hacer la instalación eléctrica de modo que limpie la red de los picos de corriente y de los armónicos que puedan existir en ella, por otro lado este equipo también brinda un sistema de respaldo por un corto tiempo.

Con respecto a la ubicación del cañón de disparo, aquí no existe un sistema de alimentación alterna, debido a que este se encuentra en una zona aislada. Es por eso que consideraremos un tipo de alimentación continua. Según las fichas técnicas de los fabricantes, el cañón de luz soporta un tipo de alimentación de -48 voltios DC en valor nominal.

Para generar la alimentación adecuada se recomienda utilizar un banco de baterías de 48 voltios en corriente continua y a la salida de este un inversor de voltaje, de tal manera que se pueda obtener la alimentación adecuada, este inversor de polaridad no debe superar la corriente máxima permitida por el cañón de luz. Como ya se menciono antes, la tesis no abarca el diseño a fondo de las fuentes de alimentación pero se brindan propuestas de solución como las mostradas en la figura 3.9.1 y 3.9.2.

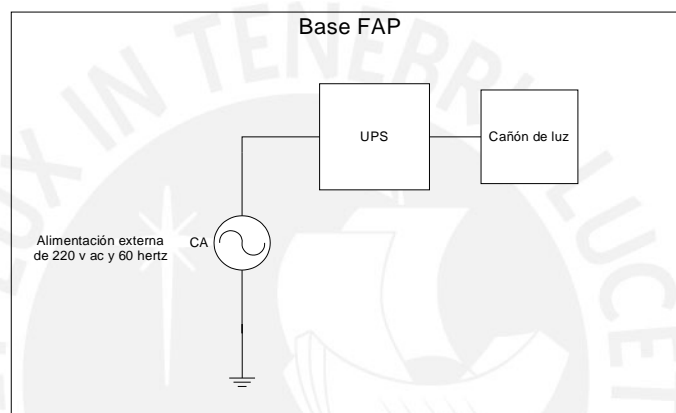


Figura 3.9.1 Diagrama de sistemas de alimentación, base FAP
Fuente: Propia

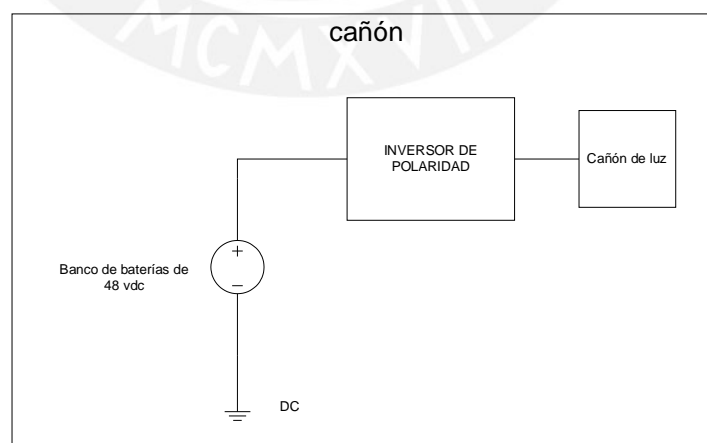


Figura 3.9.2 Diagrama de sistemas de alimentación, Cañón de Disparo
Fuente: Propia

3.3.2 Características Eléctricas del cañón de luz láser

El sistema del cañón óptico posee diferentes partes, las cuales consumen los siguientes niveles de potencias:

- Trans-receptor (interfase) : 55 watts
- Ventiladores de enfriamiento : 200 watts
- Potencia de salida del láser : 160 mili watts x diodo emisor láser
- Consumo del equipo:256 watts
- Salida del transmisor: 25 mili watts

3.4 Características del Cañón de luz

En esta parte se abarcara las características del cañón emisor de luz, entre las cuales tenemos características físicas y operacionales

3.4.1 Características Físicas del Cañón de luz láser

Existen diferentes tipos de fabricantes de cañones de luz láser, pero entre sus principales características encontramos 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 la neblina.
- El equipo es aprueba de agua con el estándar IP66 + NEMA4, el cual previene también toda acumulación de agua dentro del equipo o que exista alguna grieta.

- Según los fabricantes, el peso del equipo puede variar entre los 8 kilogramos y los 30 kilogramos según el fabricante, esto también afecta el volumen de los equipos los cuales pueden encontrarse de 40x40x16 centímetros, 79x42x57 centímetros, 24x16x48 centímetros, las medidas son de ancho, altura y largo. Estas variaciones son debido a los diferentes fabricantes y las distancias máximas que pueden alcanzar los equipos.
- La mayoría de equipos posee un sistema de rastreo del rayo de luz, para que en caso de temblor, o fuertes vientos o por algún motivo el chasis empiece a oscilar la comunicación no se pierda, este sistema regula la inclinación del cañón alrededor de ± 1.2 grados.
- En la figura 3.10 se muestran diferentes tipos de modelos de cañones de luz obtenidos en el mercado.



Figura 3.10 Modelos de cañón emisor de luz (sonabeam, canobeam, mrv)
Fuente: Fotos tomadas de Google Images

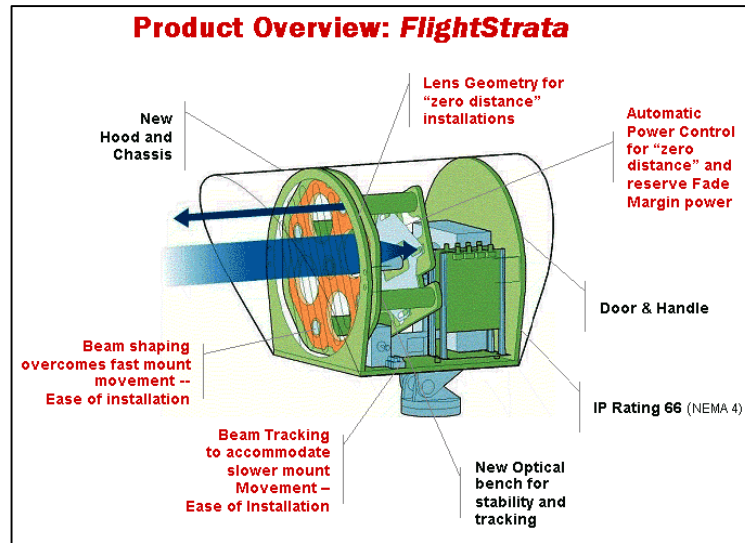


Figura 3.11 Estructura básica externa de un cañón láser
Fuente: <http://laseritc.com> [16]

Dada las características físicas, este equipo puede ser ubicado sin problemas en un ambiente exterior, ya que resiste a las diferentes condiciones climáticas tales como lluvia, o fuertes vientos. Debido a que estos equipos necesitan de línea de vista se recomienda posicionarlo en la parte más alta de la base, de esta manera se evita toparse con objetos extraños, de igual manera en el área del cañón de disparo se recomienda construir una torre de por lo menos 2 metros de altura, para que esta forma se pueda receptionar mejor la señal.

3.4.1.1 Composición del cañón de luz

La construcción de todas las estaciones de cañón emisores láser es casi siempre la misma: modulador, láser, sistema óptico de transmisión, sistema óptico de recepción, demodulador y el módulo de interfase del receptor. Usualmente el transmisor presenta un diodo Led semiconductor, mientras que el receptor presenta un fotodiodo de alta velocidad.

Los datos transmitidos del equipo del usuario entra al módulo de interfase, el cual actúa en el radiador modulando la corriente del láser, a continuación la señal es transformada en una alta inyección de radiación infrarroja, la cual es acumulada mediante la óptica en un rayo delgado, el cual es transferido por la atmósfera hacia el receptor. En el punto opuesto es recibida esta radiación óptica, la cual es concentrada y detectada mediante la recepción en un foto detector de alta sensibilidad, usualmente formado por un gran grupo de foto diodos. Después que esta señal fue amplificada y procesada, la señal es enviada al módulo de interfase del receptor. Esta comunicación cuando se realiza de forma simultánea se considera un tipo de comunicación *duplex*. [16]

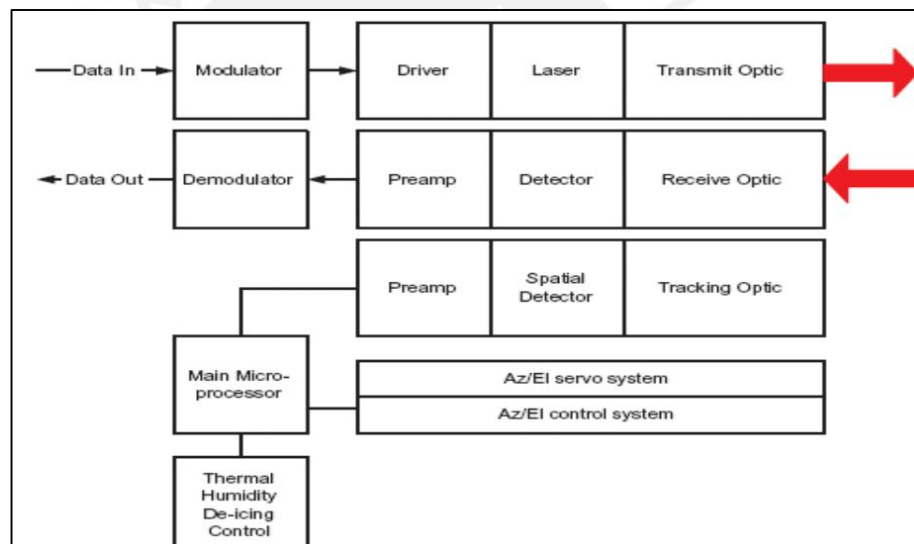


Figura 3.12 Estructura interna del cañón láser
Fuente: <http://laseritc.com> [16]

3.4.2 Características Operacionales del Cañón láser

Entre las principales características de los cañones láser tenemos:

- Utiliza una longitud de onda que varia en un rango aproximado de 785 +- 15 nm esta longitud de onda, permite evitar el fenómeno de la absorción, por otro lado se trata de una longitud de onda infrarroja la cual 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 100 a 1448 megabits por segundo (Mbps), se considera como un enlace de gigabyte Fast Ethernet, con un promedio de 1064 Mbps. Las velocidades de transmisión varían según el modelo, fabricante y distancia entre punto a punto.

- La conexión del cañón de luz hacia el interfaz del usuario, ya sea este un router o un multiplexor se realiza mediante un enlace de fibra óptica, esta fibra posee una longitud de onda aproximada de 1280 a 1335 nm. Esta conexión puede realizarse con una fibra multimodal o mono modal. Algunos equipos poseen una interfase mediante la cual se puede utilizar cable UTP. Una vez elegido el tipo de módulo de interfase, este se conecta el router o el switch de la red. En la figura 3.13 se puede apreciar las diferentes tipos de interfase mediante los cuales puede conectarse el cañón de luz .

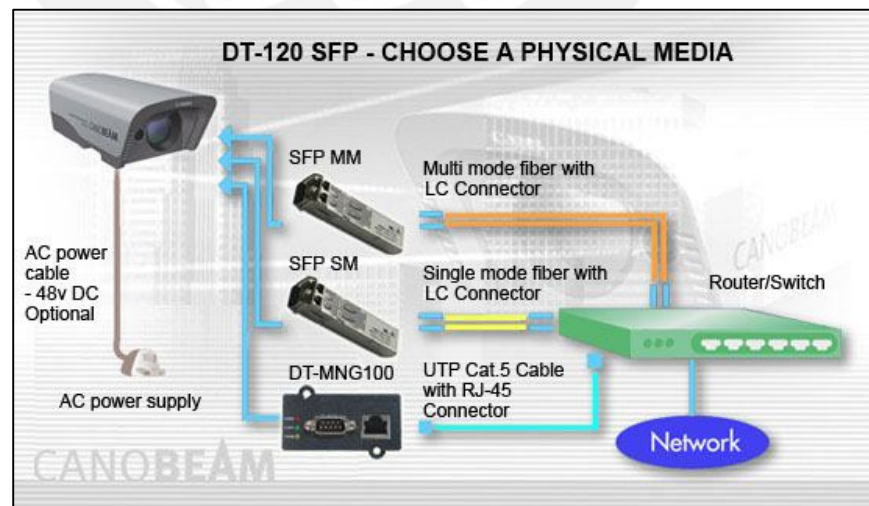


Figura 3.13 Sistema de conexión de la interfaz con el cañón láser
Fuente: <http://www ldc.usb.ve> [17].

3.5 Consideraciones Finales

En este capítulo abarcamos las características generales, que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar una red óptica inalámbrica, como por ejemplo el lugar de posicionamiento, y la distancia que se va a conectar, así como las características físicas del cañón.

Lo que no se ha tomado a cuenta aún, son los criterios de conexión, el margen de enlace, y la visibilidad, las cuales se considerarán al momento de elegir el cañón de luz apropiado, según las características ya mencionadas. Estos factores, servirán para dar un mayor sustento a la propuesta hecha sobre el tipo de conexión entre estos dos puntos.

Para culminar este capítulo elegimos el cañón de luz adecuado, según las consideraciones y requisitos establecidos, para esto según los diversos modelos en el mercado, el que mejor se ajusta es el cañón de luz de la marca sonabeam, la razón principal se debe a que el modelo 155-M, es el único que pueden abarcar la distancia requerida de 3 kilómetros en un solo salto, y dado a los requerimiento pedidos de distancia y las condiciones del lugar se opta por utilizar este modelo de cañón, las especificaciones de este modelo las daremos en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4: ELECCIÓN DE EQUIPOS ADECUADOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

Introducción

En primer lugar, empezaremos hablando sobre las características físicas del cañón de luz, las cuales son: peso, tamaño, material de fabricación, entre otros. Estas características nos permitirán conocer más sobre las condiciones de funcionamiento del cañón de luz, como por ejemplo rangos de temperatura o climas que soporta.

Luego nos enfocaremos en las características de funcionamiento del cañón de luz, en esta parte se conocerá datos importantes tales como la velocidad de transmisión o ancho de banda, tasa de bit de error, longitud de onda de haz de luz, etc. Por otro lado en esta parte también consideraremos las características eléctricas, entre la más importante el tipo de alimentación que requiere. Para terminar con las características del cañón de luz se describirá el tipo de interfase que tiene para poder conectarse con el resto de la red.

Asimismo, se analizará el costo de instalación de una red óptica inalámbrica, comparándola con el costo de instalación de una red de fibra óptica, la cual posee características de funcionamiento similares. Con esta se podrá llegar a una conclusión de costo-beneficio sobre la instalación de la red óptica inalámbrica.

Para finalizar el capítulo se darán algunas condiciones para su instalación y su buen funcionamiento, terminando con las conclusiones finales sobre si este sistema es realmente eficaz y beneficioso para conectar el cañón de disparo con la base militar.

4.1 Principales características del Cañón de Luz **SONAbeam** 155-M

El cañón de luz **SONAbeam** 155-M es óptimo para realizar enlaces de 300 a 5700 metros de distancia, dependiendo de las condiciones climáticas, y soporta la mayoría de los protocolos estándar, tales como OC-3, STM-1, Fast Ethernet y FDDI

Este cañón es bastante resistente, ya que tiene un diseño exterior hecho de aluminio, el cual permite soportar condiciones atmosféricas adversas, este diseño vuelve a este modelo uno de los más resistentes del mercado. Por otro lado posee una cuádruple redundancia en los láseres transmisores, y con una receptor de aproximadamente 20 centímetros, lo que asegura la transmisión.

Este modelo tiene una gran potencia de transmisión, lo que se traduce en un mayor rango de conexión en cualquier condición climática. Todos los modelos de la serie **SONAbeam** incluyen una aplicación de monitoreo SNMP para que el usuario pueda monitorear información importante en tiempo real. En la figura 4.1 se puede apreciar una foto del modelo elegido.



*Fig. 4.1 Foto del modelo SONAbeam 155-M
Fuente: Fsona Datasheet [21]*

Una vez conocido las características generales del cañón, describiremos a continuación las características técnicas las cuales las dividiremos en tres categorías: físicas, operacionales e interfaz.

4.1.1 Características Técnicas: Físicas

Entre sus principales características físicas tenemos:

- La apertura del receptor, como ya se mencionó, es de 20 centímetros
- Cuádruple redundancia de transmisión
- Rango de temperatura varía de -40° a 60° grados centígrados
- El chasis se encuentra sellado bajo el estándar NEMA 4, el cual permite que este sea a prueba de agua.
- Tiene las siguientes dimensiones: 41x41x46 ancho, alto y largo respectivamente
- Tenemos tres partes en este equipo: Cabezal Óptico 20 kilos, PCA 8 kilos, y el arnés que lo sujeta 8 kilos, en total el equipo pesa 36 kilos, en la figura 4.2 se puede observar las dos vistas del cañón donde se pueden observar sus partes.



A

B

Fig. 4.2 Fotos de Sonabeam 155-M dos vistas
Fuente: Fsona Datasheet [21]

- Estructura total hecha de aluminio, incluido el arnés y montura
- Tiempo de servicio de 15 años

- El interior se calienta a una temperatura de 30° centígrados, el cual sirve para evitar la acumulación del vaho o vapor, nieve en la lente óptica.
- Los láseres tienen un sistema de refrigeración de estado sólido que mantienen una temperatura de 35 ° C aun en condiciones de desierto.
- La potencia de los láseres se reajustan según las condiciones climáticas.
- Soporta velocidades de viento de hasta 120Km/h (huracanes clase 1) y el impacto de rayos

4.1.2 Características Técnicas: Operacionales

En las características operacionales consideraremos las características eléctricas y de funcionamiento, entre estas tenemos:

- El rango de transmisión va de 31 a 180 Mbps, el cual cumple los estándares de Fast Ethernet y OC-3
- La distancia de transmisión varia según las condiciones climáticas, con una atmósfera limpia tiene un rango de 300 a 5700 metros de distancia con una atenuación de 3 dB/Km., cuando se trata de condiciones de lluvia fuerte logra distancias de 300 a 2675 metros con una atenuación de 10dB/Km.
- La potencia de salida total del láser es de 640 mw. (cada transmisor es de 160 mw.)
- La longitud de onda de la luz láser es de 1550 nm, esta luz es inofensiva al ojo humano, y a la vez invisible, la luz no puede ser detectada por analizadores de espectro. Por otro lado, esta longitud de onda no es dañina para el ojo, ya que no es absorbida por la retina, en la figura 4.2 se pueden observar estos efectos.

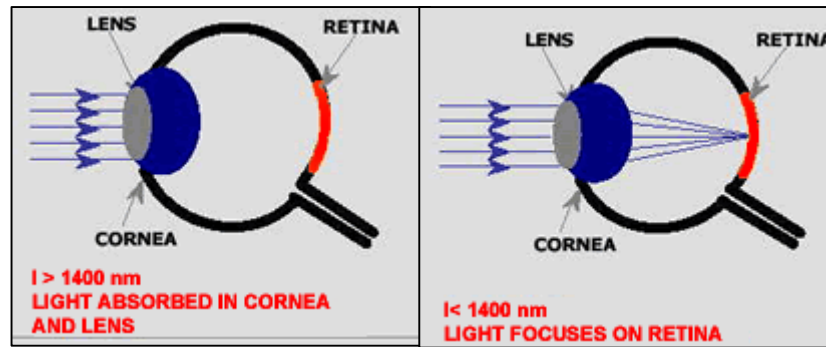


Fig. 4.2 Efecto de La longitud de onda en El ojo humano
FUENTE: Optical Wireless [20]

- Tiene dos tipos de alimentación, una tipo DC con un valor nominal de -48 V DC, con un rango de -40 a -57 voltios DC, consume una potencia de 255 watts, se recomienda instalar unas baterías de mínimo 300 watts y que otorguen una corriente de 6 amperios. Por otro lado también puede utilizarse una fuente alterna con un rango de 85 a 260 V AC (50/60 Hz).
- El equipo tiene una disponibilidad de enlace del 99.999%, disponibilidad de enlace quiere decir cuanto tiempo el enlace se va a mantener, ya que este se puede perder por diferentes razones. Por lo que esto implica que este equipo tiene una no disponibilidad o pérdida del enlace por solo de 5.2 minutos al año durante su funcionamiento.

4.1.3 Características Técnicas: Interfase

En sus características de interfase, nos referimos al tipo de conexión que se realiza del cañón de luz al enrutador (*router*), conmutador (*switch*) o concentrador (*hub*) que va a ir conectado, por eso tenemos lo siguiente:

- Tiene una interfase de fibra óptica la cual puede ser multi-modo o mono-modo
- La fibra de recepción y transmisión debe tener una longitud de onda nominal de 1310 nm, el rango aceptable se encuentra entre 1280 y 1335 nm
- La potencia de salida de la fibra transmisora es de -15dBm a -8dBm

- La potencia de entrada de la fibra receptora es de -31dBm a -8dBm
- Tiene también una interfase para el control y manejo de los datos el cual utiliza un protocolo SNMP, el cual es manejado mediante una línea RS232 o dirección IP, entre los parámetros controlados tenemos: Corriente y voltaje de alimentación, corriente, potencia y temperatura del láser; humedad y temperatura interna, estado de la red.

4.2 Pruebas Teóricas de funcionamiento del Enlace

Para comprobar que el enlace es correcto a la distancia de 3 Km., primero calculamos el coeficiente de atenuación, con respecto a la visibilidad del enlace.

Para esto utilizamos la siguiente formula:

$$s=ba=3.91/ V. (l/550)^{-q} \dots\dots (1)$$

Donde:

s =Coeficiente total de atenuación

ba =Coeficiente de dispersión de mie

V = Visibilidad en Km.

l = Longitud de Onda

q= 1,6 si $V>50\text{Km}$; 1,3 si $6\text{Km}<V<50\text{Km}$; $0.58V^{1/3}$

Resolviendo la ecuación 1 con los datos del cañón encontramos que el coeficiente total de atenuación s es de 0.5

Una vez obtenido el coeficiente de atenuación podemos utilizarla en la ley de Beer, la cual nos permite saber la atenuación atmosférica o la relación de potencia entre el punto de salida y de llegada.

$$z(R) = P(R)/P(O) = e^{-sR} \dots\dots\dots(2) [20]$$

Donde:

$z(R)$ = Transmitancia a la distancia R

$P(R)$ = Potencia del láser a la distancia R

$P(O)$ = Potencia del láser en la fuente emisora

Resolviendo la ecuación 2 encontramos que $z(3) = 0.22$

Por lo que la relación de potencias es de $P(R) = 0.22 P(O)$

Según la ley de Beer encontramos entonces que la atenuación atmosférica es de aproximadamente -6.57dB

En el capítulo anterior encontramos que la atenuación debido a las condiciones atmosféricas o margen del enlace era de aproximadamente -11 dB, esto quiere decir que la potencia del cañón y la longitud de onda, son suficientes para obtener una buena señal en el receptor. El fabricante asegura también un BER, o una tasa de error de bits de 0, lo que da una mayor seguridad a la transmisión de datos.

4.3 Costos de tendido de fibra óptica contra la instalación de una red óptica Inalámbrica

Como ya mencionamos antes, el costo de instalación de una red inalámbrica es bastante reducido y además se produce de manera rápida, esto debido a que no existe la necesidad de instalar cables, además de todo el trabajo y tiempo que este requiere, por ello haremos una comparación entre los costos de instalación de un equipo de red inalámbrica óptica contra el costo de un equipo de fibra óptica, la cual posee características similares.

Tabla. 4.1 Costo de Instalación de fibra Óptica

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario USD	Precio Total USD	Precio total + IGV
3200	metro	Cable FO Multimodo 50 um Armado 12 LaserWave G+ - Mini C2 1-Chaqueta	3.20	10,240.00	12,185.60
3200	metro	ducto de concreto 1 orificio x 60 CMS	10.00	32,000.00	38,080.00
3000	metro	costo de excavación de zanja para fibra óptica costo de trabajadores y equipos	10.00	30,000.00	35,700.00
3200	unidad	Tendido de Fibra óptica sin conectorizaciones	1.50	4,800.00	5,712.00
1	unidad	costo de diseño	7,704.00	7,704.00	9,167.76
		TOTAL			100,845.36

FUENTE: Telefónica del Perú

Como se puede apreciar en la tabla 4.1 el costo de tendido de fibra óptica se eleva a más de 100.000 dólares, estos son los costos proporcionados por la

empresa Telefónica del Perú. Solo se considera la instalación del recorrido, ya que el enrutador y otros sistemas que son necesarios para la red interna de cada lugar, no influyen en la comparación de los precios, y no es parte del sistema a diseñar.

Además del costo de instalación, cabe mencionar que el tendido de la red óptica toma tiempo, ya que el proceso de excavación e instalación de ductos es un proceso pesado que puede durar varias semanas.

A continuación describiremos el costo de instalación de una red óptica inalámbrica.

Tabla. 4.2 Costo de Instalación de una Red Óptica Inalámbrica

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario USD	Precio Total USD
2	unidad	SONAbeam 155-M	30,000.00	60,000.00
2	unidad	Precio de Instalación	3,000	6,000.00
		TOTAL		66,000.00

FUENTE: Costos Proporcionados por área de ventas de Fsona

El costo total de instalación de una red óptica inalámbrica esta alrededor de 66,000 dólares, ya que estos no consideran aun los gastos de envío e impuestos, pero debido a que se trata de la FAP. No poseen impuestos y los costos de transporte son mínimos, por lo que el precio dado puede considerarse el precio neto de instalación. Estos datos fueron proporcionados por la empresa Fsona, la

cual es la distribuidora oficial y fabricante del producto, cuya central queda en Canadá.

El proceso de instalación es bastante simple ya que solo se necesita los dos cañones de luz, la instalación y la puesta en funcionamiento es de forma inmediata.

Comparando precios podemos observar que el uso de red óptica inalámbrica, para nuestro caso es más barato y más eficiente. Debido al tiempo que toma el cableado de fibra óptica que es aproximadamente varias semanas comparada con el funcionamiento inmediato de la red óptica inalámbrica.

La comparación es realizada con la fibra óptica, dado que este utiliza la misma tecnología, y posee las mismas características que una red óptica inalámbrica.

4.4 Recomendaciones de instalación y mantenimiento

Como se mencionó en el capítulo 2, el haz de luz láser no viaja en forma recta durante todo el trayecto, tal como se muestra en la figura 4.3, ya que existe un ángulo de divergencia del haz de luz. Por lo que movimientos bruscos en el cañón de luz puede hacer que se pierda la línea de vista y de esta manera se interrumpe la conexión, pero si la divergencia del haz de luz es lo suficientemente grande, al igual que la apertura del receptor, este problema se soluciona.

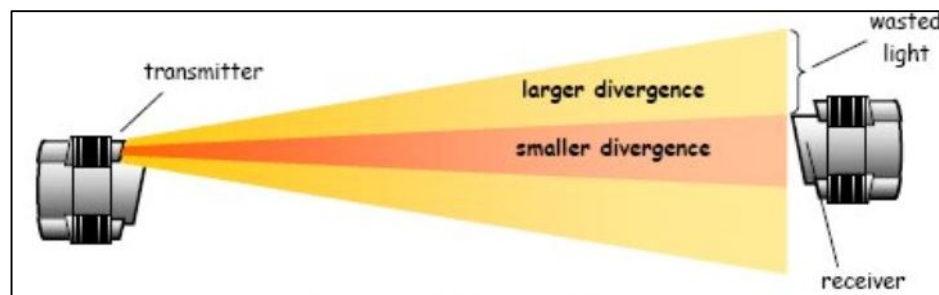


Figura. 4.3 Ángulo de divergencia del haz de luz
Fuente: Optical Wireless [20]

Por otro lado, los cañones deben situarse en partes altas, para de esta forma prevenir cualquier obstáculo que pueda interrumpir la línea vista.

El arnés que sostiene el láser está aislado del cañón en si, pero el cañón debe aislarse a tierra durante el proceso de instalación, por otro lado la estructura de los cañones de luz, son lo suficientemente robustas y tiene suficiente margen de error para que el sistema no requiera mantenimientos periódicos, pero se recomienda una limpieza semestral para mantener un funcionamiento adecuado.

El sistema no necesita realinearse a excepción que este haya sufrido un golpe brusco o manipulación, ahí se debe realinear los láseres para obtener línea de vista, ya que este posee un sistema de autorregulación del ángulo de línea de vista.

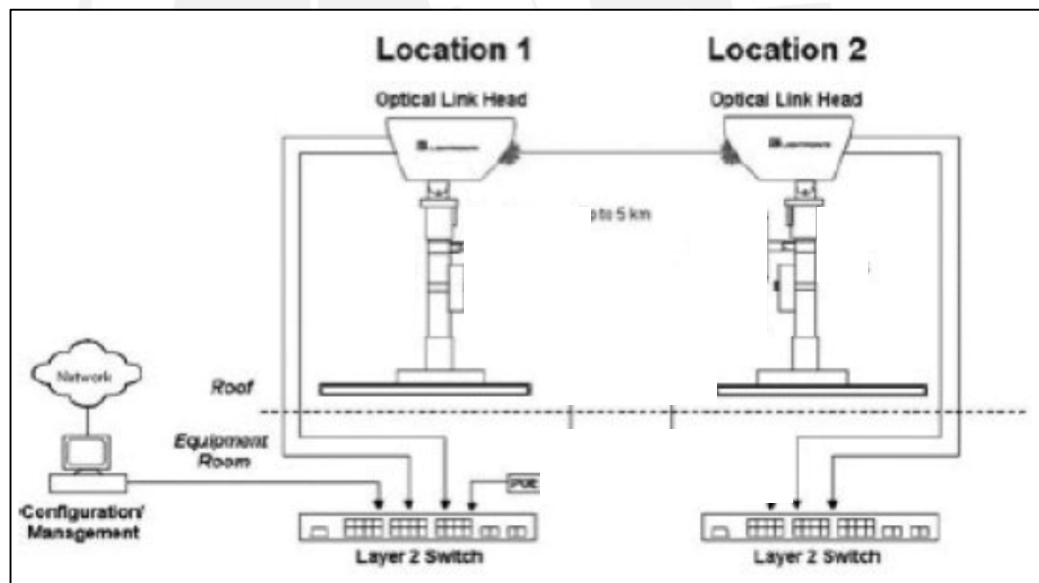


Figura. 4.4 Red Óptica Inalámbrica
Fuente: Optical Wireless [20]

En la figura 4.4 podemos observar como debe quedar finalmente la red óptica inalámbrica, observamos que el cañón de luz debe estar en perfecta línea de vista, en un lugar alto, luego este mediante cable de fibra óptica es conectado a

un conmutador o enrutador, la cual está conectado directamente a la red del sistema, en nuestro caso la red de la base militar y la red del cañón de disparo.



Figura. 4.5 **SONAbeam** 155-m
Fuente: Fsona Datasheet [21]

En la figura 4.5 podemos observar, como queda la instalación final del cañón láser, para el caso de la figura esta ha sido instalado en la parte superior de un edificio en el medio de la ciudad.

Como se dijo este cañón puede ser controlado remotamente para verificar el estado y buen funcionamiento, por lo que se recomienda instalar una computadora al enrutador para realizar este seguimiento.

4.5 Conclusiones

Para concluir este capítulo final podemos apreciar las bondades que tiene este equipo, las cuales son su gran resistencia a los medios agrestes, y la confiabilidad en la transmisión.

La gran resistencia a los medios agrestes, es una importante característica que nos ayuda a la implementación de esta red, ya que en el peor de los casos, como un bombardeo a los alrededores del cañón de disparo, el cual causa que polvo se

levante, fuertes corrientes de viento y pequeños temblores, este puede resistir a condiciones extremas, y continuar su normal funcionamiento sin interrupción de la comunicación.

Las condiciones ambientales de la ciudad de Tacna, no complican el buen funcionamiento del cañón, ya que estas se encuentran muy por debajo de los márgenes máximos tolerables.

Debido a la importancia de los datos a enviar, que en nuestro caso serían comandos, datos de coordenadas, etc., los cuales son de vital importancia. En caso de conflicto, la pérdida de estos datos podría causar graves daños; es importante que el cañón sea confiable en su envío de tramas. Por lo que en primer lugar la capacidad de control sobre el envío de tramas de datos es esencial, ya que de esta forma se puede conocer si existe algún error y solucionarlo de manera inmediata.

Además, la alta disponibilidad de envío (99,999%) y la cero tasa de error, hacen que este cañón sea ideal para el envío de datos importantes, ya que sumando a estas características, al realizarse el envío por luz láser esta es prácticamente indetectable y en el caso de que se pueda encontrar el haz de luz, para interrumpir la comunicación, la información es totalmente indescifrable lo que brinda una gran seguridad en el envío de datos y es una gran ventaja sobre cualquier otro medio de comunicación. Finalmente la velocidad de transmisión (31 a 180 Mbps) es más que suficiente para asegurar un envío rápido de la información, ya que no se requiere de un gran ancho de banda.

Como conclusión final, se puede afirmar, que este tipo de comunicación, es muy eficaz y sirve para nuestros propósitos, el cual era conectar un cañón de disparo con una base militar, ya que este equipo puede transmitir hasta 5 kilómetros en

condiciones normales, pero nuestro uso lo considera solo para tres el cual brinda un menor margen de error, finalmente podemos agregar que el precio de instalación es mucho menor a de la fibra óptica el cual es una tecnología con las mismas características de funcionamiento.



CONCLUSIONES

- 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.
- Se ha hecho un análisis sobre las condiciones ambientales y accidentes geográficos del lugar donde se ubicará el cañón de disparo, para que de esta forma el cañón de luz pueda funcionar correctamente.
- Se realizó el diseño de una Red Óptica Inalámbrica para la conexión de un cañón de disparo con una base militar, ubicado a las afueras de la ciudad de Tacna, en un medio desértico. Esta conexión es de 3 kilómetros.
- Se realizó un análisis sobre las características generales de diferentes modelos de cañones de luz disponibles en el mercado, seleccionando el modelo SONAbeam 155-M, que es el que mejor se ajusta a nuestras necesidades.
- Se analizaron las características técnicas del equipo elegido para conocer su funcionamiento, además de comparar precios de instalación con una red de fibra óptica, además se comprobó teóricamente que la distancia elegida es adecuada para un buen envío de datos.
- Se realizó el diseño de la red óptica con el modelo elegido, llegando como conclusión final que este método de transmisión de datos es el más idóneo para nuestro caso

RECOMENDACIONES

- Se podría realizar estudios sobre la instalación de estos equipos dentro de las ciudades, ya que es una tecnología novedosa, y saber si es beneficioso su uso. Un ejemplo puede ser la interconexión de diferentes equipos dentro de un campus con instalaciones grandes.
- Estos equipos son beneficiosos si se quiere gran ancho de banda y no usar el espectro electromagnético, pero para usos convencionales los equipos de radio frecuencia tienen un mejor costo-beneficio.
- La tecnología de red óptica inalámbrica es reciente, y su uso no es muy difundido, por lo que es muy probable que el costo de estos equipos baje con el tiempo y se tenga un mayor alcance y dado los beneficios que presenta, es altamente recomendable seguir su estudio y desarrollo.
- Otra forma de instalación puede considerar la red óptica híbrida, el cual junta los beneficios de la radio frecuencia y la red óptica inalámbrica para así abarcar distancias más grandes de cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Bell LABS SIGNALS

1998 Scientists use micro-mirrors & free-space optics to route & switch light wave.

Press Wire

[2] MOORE, C.I.; BURRIS H.R.; SUITE M.R.; SELL M.F.; VILCHECK M.J.;

M.A. DAVIS.

n.d. Free-Space High-Speed Laser Communication Link Across the Chesapeake Bay.

U.S. Naval Research Laboratory de <http://www.nrl.navy.mil/>

[3] BUSINESS EDITORS & TECHNOLOGY WRITERS

2001 ADC and Infrared Communications Systems Transport Digitized

RF over

Free-Space Optics

Business Wire.

[4] FIBER OPTICS FORECAST

2004 Free Space Optics.

Price War Brews

[5] SONA'S SONABEAM(TM)

2006 Helps Overcome Geographical Barriers to Provide High-Speed

Optical Wireless for U.S. Army Training Area.

[6] ROSENBERG, Paul

2000 Wireless Optical Networks A New Alternative to Fiber

Datacom Consultant

- [7] Empresa Fsona
n.d. <http://www.fsona.com/technology.php>
- [8] LAUDE, Jean-Pierre
2002 DWDM fundamentals, components, and applications
Artech House
- [9] FOROUZAN, Behrouz
2007 Data communications and networking
McGraw-Hill Higher Education.
- [10] Communications Specialities
2008 <http://tecco.net/articulos/EspecsFO.pdf>
- [11] STREMLER F.G.,
1993 Introducción a los Sistemas de Comunicación,
3ra Edición Addison-Wesley
- [12] LATHI, B.P.
1986 Sistemas de Comunicación,
McGraw-Hill
- [13] LEON W. COUCH II
1998 Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos,
5ta Edición Prentice Hall
- [14] El rayo láser
2008 <http://www.neoteo.com/el-rayo-laser.neo>
- [15] EL LÁSER, UNA LUZ QUE NO EXISTE EN LA NATURALEZA
2009 <http://www.portaleureka.com/content/view/352/55/lang,es/>

[16] LASER INFORMATION TELECOMMUNICATIONS

2009 <http://laseritc.com>

[17] ESPINOZA, Bárbara

Comunicación Óptica Inalámbrica

2009 <http://www ldc.usb.ve>

[18] Registro Climático base Jorge Basadre

2009 www.senamhi.gob.pe

[19] Fade Margin

2008 Plain tree Datasheet

[20] ROTONDO, Miguel

2006 Optical Wireless

[21] SONAbeam

2008 Fsona Datasheet