

ULACIT

UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Escuela de Ingeniería en Informática

Licenciatura en Informática con Énfasis en Redes y Sistemas Telemáticos

**Aplicación de la Tecnología Óptica de Espacio Libre (Free Space Optic)
en el entorno empresarial nacional con énfasis en los aspectos de
seguridad, consistencia e integridad del servicio.**

**Sustentante
Marco Vinicio Blen Castro**

**Proyecto de Graduación para Optar por el Grado Licenciatura en
Informática con énfasis en Redes y Sistemas Telemáticos**

**San José – Costa Rica
Abril 2005**

Índice

1.	Capitulo 1	2
1.1.	Introducción	3
1.2.	Justificación	4
1.3.	Planteamiento del problema.....	7
1.3.1.	Formulación del problema.....	7
2.	Capitulo 2.....	9
2.1.	Descripción y funcionalidad de FSO	9
2.2.	Arquitecturas y Aplicaciones Tecnológicas.....	18
3.	Capitulo 3.....	24
3.1.	Tipos de investigación	24
3.2.	Matriz de Operacionalización de Variable.....	25
3.3.	Selección de la Muestra	28
3.4.	Instrumentos.....	28
4	Análisis e interpretación de resultados	30
4.1	Estudio de Factibilidad	31
4.1.1	Factibilidad Técnica.....	31
4.1.2	Factibilidad Operacional	42
4.2	Oferta de mercado.....	42
4.3	Comparación de tecnologías.....	44
5	Conclusiones y Recomendaciones	49
5.1	“Guia de Referencia para la Adopción de <i>Free Space Optic</i> en las Empresas Nacionales”	50
5.1.1	Ventajas.....	53
5.1.2	Desventajas.....	55
5.1.3	Consideraciones esenciales.....	57

Capítulo I

Descripción del Tema



1.1. Introducción

La tecnología óptica de espacio Libre (Free Space Optic) es una línea de tecnología utilizada para transmitir datos, voz y video a través de la atmósfera a la velocidad de la luz, utilizando rayos láser como medio transmisor y receptor; esta línea requiere que exista línea vista entre los implicados para tener un desempeño óptimo y poder llevar a cabo una transmisión de alta calidad.

La línea de tecnologías tiene como objetivo proveer conexiones con ancho de banda óptico, capaz de transmitir hasta 2.5 Gbps en comunicaciones de datos, voz y video simultáneamente a través del aire, permitiendo conectividad óptica sin requerir de cables de fibra óptica o licencias de seguridad para el espectro electromagnético.

Free Space Optic viene a competir contra la tecnología de cable de fibra óptica en todas sus modalidades, ya que esta es la primera opción que toman las empresas al realizar proyectos de intercomunicación entre edificios, empresas o instituciones con distancias geográficas considerables.

Este proyecto tiene como meta desarrollar un análisis de esta tecnología y determinar la factibilidad de aplicación que pueda tener en el entorno nacional, con el fin de tener una opción adicional de comunicación informática que pueda satisfacer las necesidades de los usuarios en un mercado globalizado.

1.2. Justificación

Con el paso del tiempo se ha iniciado a nivel mundial una dependencia inevitable hacia la tecnología. Cualquier servicio que requiera infraestructura informática es dependiente de ella, por lo que las empresas invierten cantidades considerables de dinero para poder brindar y utilizar dichos servicios.

Costa Rica es un país que trata de surgir tecnológicamente; se espera que con la apertura del Tratado de Libre Comercio los servicios se diversifiquen para poder saciar las nuevas necesidades que requieren los clientes en un mercado global agresivo, que tiene como objetivo buscar una calidad de servicio de alto nivel para alcanzar el máximo aprovechamiento de los recursos tecnológicos.

Para que estos servicios puedan brindarse y utilizarse se requiere de comunicación ya sea por medios alámbricos, satelitales o inalámbricos. Actualmente el objetivo de las casas matrices creadoras de tecnología es llevar los servicios de banda ancha unificados con tecnologías inalámbricas; lo que permite mayores velocidades de transmisión de datos y además agrega la movilidad de los dispositivos de comunicaciones.

Una nueva corriente de tecnologías trata de explorar los enlaces de comunicaciones mediante el rayo láser; esta tecnología llamada "*Free Space Optic*" (**FSO**) o "Tecnología Óptica de Espacio Libre" se basa en la transmisión de señales ópticas en el espacio ("*wireless fiber*"), formando una alternativa a otras formas de conexión de capa física, transparente al protocolo y ancho de banda por utilizar. Los transmisores láser envían una señal modulada hacia los receptores de forma segura y confiable. Estos sistemas son unos de los más utilizados hoy en día para cubrir las necesidades de conexión hacia la última

milla, interconexión de puntos (*pop-pop*, *pop-minipop*), respaldo de enlaces y redes ópticas, entre otros.

El mercado nacional requiere de este servicio para tener una alternativa segura, íntegra y consistente que pueda satisfacer los requerimientos de nuevos servicios y permita la adaptabilidad con nuevas tecnologías; obviamente, el desempeño y funcionalidad de un enlace FSO va a depender de diferentes características del equipo utilizado.

El tema como tal es muy amplio, por lo que en esta investigación se tiene como objetivo analizar la tecnología y determinar la aplicabilidad real que puede tener dicha tecnología en el mercado nacional, cuáles servicios puede brindar y el crecimiento que pueda tener la misma con base en tres características básicas: seguridad, consistencia e integridad del servicio.

Como ya se mencionó, se debe estar muy claro en qué tipo de servicio va a utilizar esta tecnología, ya que es muy flexible y permite integración con servicios ya existentes; por ejemplo, si se tiene un enlace de fibra óptica entre varios edificios, FSO va a permitir tener enlaces redundantes entre los edificios, lo que le garantiza a los usuarios la tranquilidad, ya que si se presenta un corte en la infraestructura primaria, el FSO actúa como respaldo y brinda continuidad al servicio, sin impactar al cliente.

FSO posee características tecnológicas muy atractivas. La implementación de esta en el mercado se está desarrollando de forma rápida y creciente, pero presenta desventajas un tanto significativas para Costa Rica debido al clima tropical muy acelerado y cambiante que posee fuertes lluvias, tormentas eléctricas y neblina, lo cuál viene a afectar directamente el rayo láser que genera esta tecnología al transmitir datos. La investigación del comportamiento de esta tecnología en el mercado nacional es un tema que debe ser analizado para determinar que lo factible de su implementación y

cómo se puede obtener el máximo beneficio, sin ser afectada por los elementos antes mencionados.

Por otra parte, actualmente esta tecnología es utilizada en Europa y Estados Unidos con resultados exitosos, lo que asegura la funcionalidad adecuada bajo condiciones normales; ahora, que tan funcional sería su implementación en Costa Rica, es lo que se va a investigar.

Se definen tres elementos importantes en el enunciado del tema, ya que la seguridad informática de una tecnología es un factor determinante a la hora de brindar un servicio, debido a que este puede ser manipulado por terceros lo que afectaría directamente tanto al usuario como a las empresas. Además, si un servicio no es consistente, simplemente no vende; el usuario posee un nivel de exigencia muy alto y paga por un servicio de alta calidad, y si el servicio presenta fallas consistentes, el usuario dudará del mismo. Finalmente, es necesario que todo servicio sea íntegro y no se vea afectado por condiciones inesperadas, se debe de prever las contingencias del caso y nunca impactar al usuario.

1.3. Planteamiento del problema

Con el avance de la tecnología surgen una serie de necesidades en el ámbito mundial que obligan a que todos los países crezcan tanto en servicios como en desarrollo empresarial, lo cuál conlleva a que se investigue acerca de nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones para poder sobrevivir en el mercado mundial.

Costa Rica no es la excepción, por lo que debe crecer tanto tecnológicamente como estratégicamente. Debido al énfasis de Sistemas Telemáticos, que lleva el grado de Licenciatura, analizar la Tecnología Óptica de Espacio Libre en el entorno nacional es un tema interesante, dado a la importancia que esta representa para una nación tercermundista que tiene como meta surgir. Ahora bien, con la apertura del TLC, el impacto que se espera es optimista y esta tecnología será una de las que permitirán el crecimiento empresarial y la diversificación de servicios en el entorno nacional.

Por otra parte, todas las empresas requieren de tecnología para poder realizar su negocio; si esta sufre interrupciones, impacta de manera negativa el servicio que brinda y, por consiguiente, el cliente se ve afectado, lo que causa una mala imagen en un mercado tan agresivo como es el mercado tecnológico.

Esta tecnología lo que permitirá es brindar una nueva alternativa de conexión inalámbrica entre puntos distantes mediante láser, innovación tecnológica que puede abrir un sin fin de servicios en el ámbito empresarial.

1.3.1. Formulación del problema

¿Cómo puede ser aplicada la tecnología óptica de espacio libre (Free Space Optic) en el entorno empresarial nacional, dando especial énfasis a los aspectos de seguridad, consistencia e integridad del servicio?

Capítulo II

Marco Teórico



2.1. Descripción y funcionalidad de FSO

Tecnología Óptica de Espacio Libre

Toda tecnología requiere de un medio para poder transmitir; en el caso de las tecnologías inalámbricas, el aire (espacio terrestre) es el medio por el cual se transmiten los paquetes que llevan información. Estas transmisiones están regidas por el espectro electromagnético, que es estándar para todos los países del mundo. El gobierno de cada país es el que regula las concesiones de las frecuencias a utilizar a las diversas entidades que las utilizan. La tecnología libre de espacio óptico no es la excepción, ya que utiliza los rayos infrarrojos como medio de transmisión, siempre y cuando exista línea vista entre el emisor y el receptor.

Para iniciar con la descripción de la tecnología libre de espacio óptico es necesario conocer algunos elementos fundamentales.

Redes inalámbricas

Una de las tecnologías más prometedoras y discutidas en esta década es la de poder comunicar computadoras mediante tecnología inalámbrica. La conexión de computadoras mediante ondas de radio o luz infrarroja, actualmente está siendo ampliamente investigada. Las redes inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar, como en almacenes u oficinas que se encuentren en varios pisos. No se espera que las redes inalámbricas lleguen a remplazar a las redes cableadas. Estas últimas ofrecen velocidades de transmisión mayores que las logradas con la tecnología inalámbrica. Mientras que las redes inalámbricas actuales ofrecen velocidades de 100 Mbps, las redes cableadas ofrecen velocidades de 10 Gbps y se espera que alcancen velocidades más altas. Los sistemas de Cable de Fibra Óptica logran velocidades aún mayores y, pensando futuristamente, se espera que las redes inalámbricas alcancen velocidades de más de 2.5 Gbps.

Se puede considerar que el sistema cableado sea la parte principal y la inalámbrica le proporcione movilidad adicional al equipo y el operador se pueda desplazar con facilidad dentro de un almacén o una oficina, Sin embargo se pueden mezclar las redes cableadas y las inalámbricas, y de esta manera generar una "Red Híbrida" y poder resolver los últimos metros hacia la estación.

El espectro electromagnético

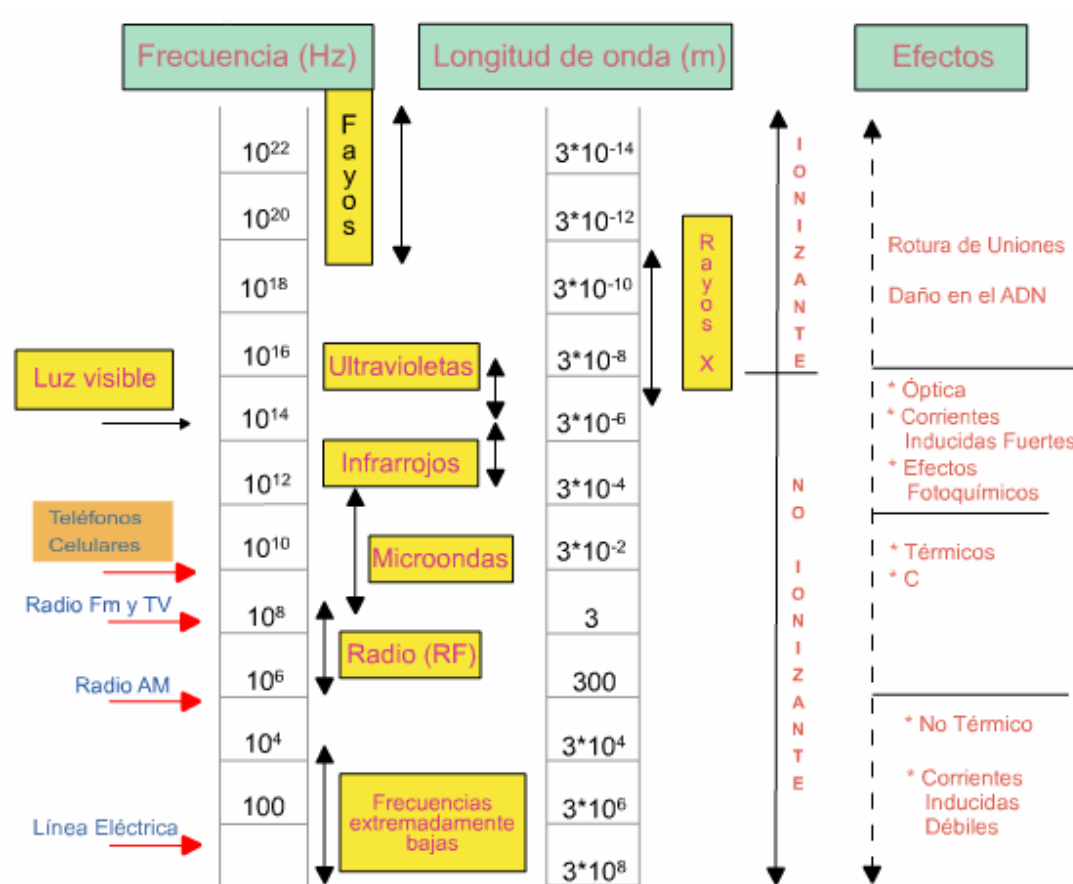
Las ondas electromagnéticas pueden propagarse por el espacio libre (incluido el vacío). El número de oscilaciones por segundo de una onda electromagnética se llama frecuencia (f), y se mide en Hertz (Hz.). La distancia entre dos máximas consecutivas (emisor y un receptor), es la longitud de onda (λ). Por lo que añadiendo una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser emitidas eficientemente y recibidas por un receptor a alguna distancia, siempre y cuando exista línea vista (Millar y Friedman, 2003). Todas las comunicaciones inalámbricas se basan en este principio.

En el vacío, todas las ondas electromagnéticas van a la misma velocidad, a la velocidad de la luz, (c), que es aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/seg. En cobre o fibra, la velocidad es $2/3$ de su valor y depende altamente de la frecuencia. La relación de f , λ y c en el vacío es:

$$\lambda \cdot f = c$$

En el espectro electromagnético se determinan las bandas de transmisión con base en frecuencias (Tanenbaum, 1997), las mismas poseen medidas en Hertz que se muestran en la siguiente figura:

Cuadro N° 1
Asignación de frecuencias del espectro electromagnético



Fuente: <http://www.itba.edu.ar/caercem/espelect.htm>

La radio, microondas, infrarrojos y porciones de luz visibles del espectro pueden usarse para transmitir información modulando en amplitud, frecuencia o fase. La luz ultravioleta, los rayos X y Gamma, podrían ser mejores debido a su alta frecuencia, pero son difíciles de producir y modular, no se propagan bien entre edificios y son peligrosos para los seres vivos. La banda listada en la figura son nombres oficiales del ITU y están basados en longitudes de onda:

baja (LF), media (MF), alta (HF), muy alta (VHF), ultra alta (UHF), super alta (SHF), extremadamente alta (EHF) y tremendamente alta (THF).

Para prevenir inconvenientes en las transmisiones, hay acuerdos nacionales e internacionales sobre quién puede usar cuáles frecuencias. El espectro es disputado por radio FM, AM, televisión, teléfonos celulares, compañías de teléfonos, policía, navegación, militares, gobiernos, etc.

En Estados Unidos, la FCC es quien se encarga de conceder y administrar el uso de frecuencias; a nivel mundial, la agencia de ITU-R (WARC) hace este trabajo y en Costa Rica, la Oficina de Control de Radios es el órgano encargado de esta tarea.

Transmisión por trayectoria óptica

Aunque muchos de los sistemas de comunicación de datos utilizan cable de cobre o fibras para realizar la transmisión, algunos simplemente emplean el aire como un medio para hacerlo. La transmisión de datos por infrarrojos, láser microondas o radio, no necesita de ningún medio físico, sino que utiliza un medio no guiado, cada una de estas técnicas son posibles debido al perfeccionamiento a ciertas aplicaciones y la innovación de tecnologías.

El poder transmitir por láser o infrarrojo es fácil de llevar a cabo y generalmente se utiliza entre edificios, ya que su funcionalidad es óptima para este tipo de transmisiones. Este tipo de diseño conduce a una jerarquía de redes; la red de láser o infrarrojo está localizada entre los edificios en donde las redes de área local de cada uno de los edificios están unidas a la línea principal por medio de una pasarela.

Este tipo de comunicación mediante láser o infrarrojo posee tres características que son muy importantes de recalcar:

- ✘ Por completo digital: esta modalidad de tecnología no presenta ningún tipo de sistema analógico, por lo que la transmisión es más eficaz y de alta calidad.
- ✘ Altamente directiva: Al ser un enlace de punto a punto la importancia recae sobre la línea vista, por lo que la ausencia de esta generaría la pérdida de la transmisión.
- ✘ Inmune a cualquier problema de derivación u obstrucción: Debido a que el haz es infrarrojo o láser, el ruido de otras frecuencias del espectro electromagnético no le afectan, por lo que es consistente y no sufre de interferencia, lo que asegura la integridad de los datos.

Por otra parte los fenómenos naturales como la lluvia, la neblina y condiciones climatológicas tropicales pueden ocasionar interferencia en la comunicación, dependiendo de la longitud de onda elegida.

La ventaja de FSO es que la construcción de dos torres resulta, por lo general, más económica que abrir una zanja de 100 Km. de longitud sobre la cual se pueda depositar el cable o la fibra, y posteriormente volver a cubrirla.

¿Qué es Tecnología Óptica de Espacio Libre?

La tecnología libre de espacio óptico (FSO) es una tecnología que ofrece rentabilidad y conectividad de alta velocidad, utilizando los rayos infrarrojos como eje principal de transmisión. Puede ser instalada globalmente ya que es fácil de implementar, posee libre licenciamiento, ofrece una alta tasa de transmisión y un alto rendimiento en su desempeño.

Esta línea de tecnologías tiene como objetivo proveer conexiones con ancho de banda óptico, capaz de transmitir hasta 2.5 Gbps en comunicaciones de datos, voz y video simultáneamente a través del aire, permitiendo conectividad óptica sin requerir de cables de fibra óptica o licencias de seguridad para el espectro electromagnético. Estas comunicaciones ópticas transmiten a la velocidad de la luz, por lo que los procesos de envío de paquetes son muy rápidos.

Además proporciona, a distintos proveedores, soluciones para la comunicación de alta velocidad que resultan mucho más rápidas y, en ocasiones, más económicas que las soluciones tradicionales de fibra óptica. FSO resuelve los problemas de conexión de las comunicaciones de banda ancha en las áreas metropolitanas y rurales, a través de sistemas altamente fiables de transmisión por vía aérea. La tecnología facilita una mayor disponibilidad de la red y es independiente del protocolo y adaptable a las necesidades del cliente. Igualmente, esta tecnología soporta condiciones climatológicas considerables y presenta una expectativa muy buena en el mercado.

La principal función que posee FSO es interconectar edificios que se encuentran separados en zonas geográficas con una distancia de 10 kilómetros como máximo, ya que al requerir línea vista, posee limitantes en cuanto a esta característica. Así mismo, esta tecnología es usada como enlaces inalámbricos redundantes, por lo que, en caso de que una red tenga alguna falla, no se pierde la comunicación sino que es transmitido por otro medio, ahorrando costos de operación elevados a las empresas.

Ventajas de la tecnología

- La diversidad de las amplitudes de banda disponibles (10 Mbps, 20 Mbps, 155 Mbps, 622 Mbps, 1,25 Gbps y 2,5 Gbps)
- Capacidad de instalación en casi cualquier superficie, ya que las unidades inalámbricas ópticas son pequeñas, por lo que se pueden instalar sin dificultad.
- Colocación fácil en las redes existentes o creación de nuevas redes
- Ahorro en la instalación en comparación con la colocación de fibra óptica
- No es necesaria licencia para la instalación (frecuencia libre en el espectro electromagnético)

- 🖥️ Ahorro de tiempo (no necesita permiso, los costos de la infraestructura de edificación no son altos)
- 🖥️ Requiere de un espacio pequeño de instalación
- 🖥️ Es inmune a la interferencia provocada por las radio frecuencias
- 🖥️ Es fácil de actualizar ya que posee sistema de interfaces abiertas, lo que permite compatibilidad con tecnologías de la mayoría de los proveedores.

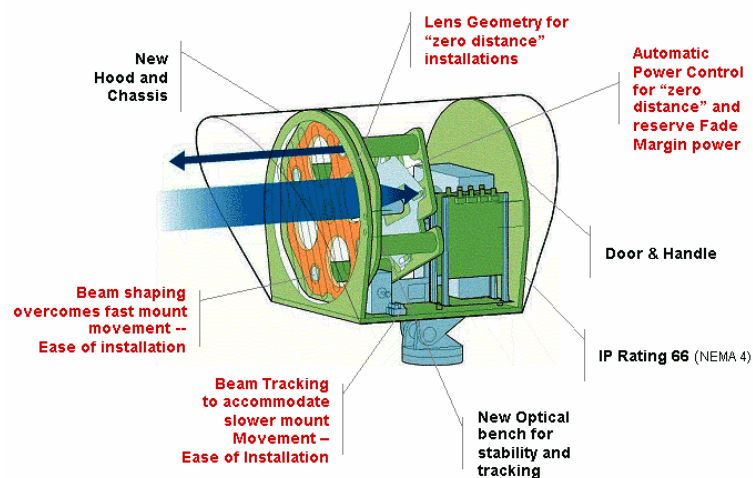
¿Cómo funciona FSO?

FSO es una tecnología muy simple. Está basada sobre la conectividad entre unidades inalámbricas ópticas; cada unidad consta en un transceiver (convertidor) con un trasmisor/recibidor láser que posee capacidad de transmisión full-duplex (bi-direccional); estas unidades utilizan dispositivo óptico de alto poder y un lente o telescopio que transmite luz a través de la atmósfera hacia otro lente que recibirá la información que se está transmitiendo. Estos lentes receptores están conectados a un receptor de alta sensibilidad, vía fibra óptica.

Cuadro N° 2

Unidad Inalámbrica Óptica

Product Overview: FlightStrata



Fuente: Tomado de www.freespaceoptics.org, con fines ilustrativos.

Velocidad de fibra óptica y flexibilidad inalámbrica

Un punto muy importante de la FSO es que al poseer comunicación óptica inalámbrica y tecnología capaz de proveer velocidades de transmisión iguales a la fibra óptica obtiene la característica “*Speed of fiber — flexibility of wireless*” lo cuál significa que es una tecnología que puede llegar a sustituir tecnologías existentes y posesionarse en el mercado de manera agresiva. Se estima que esta tecnología en poco tiempo pueda llegar a tener tasas de transmisión hasta de 10 Gbps utilizando *Wave Division Multiplexing* – Multiplexación por División de Onda, pero para ello se requiere la aprobación por parte de la FCC, institución que rige a nivel mundial este tipo de concesiones, pero el proyecto se presentó y ha tenido gran éxito por lo que se espera la aprobación en los próximos meses.

Mercado

FSO tiene como perspectiva incrementar la demanda de este tipo tecnología en los clientes empresariales y proveedores de servicios que utilicen tecnología última milla “Last Mile” ya que ven una significativa oportunidad. La mayoría de las empresas a nivel mundial poseen la mentalidad de migrar a tecnologías inalámbricas, debido a que permiten movilidad y mayor facilidad de crecimiento.

FSO viene a competir contra la tecnología de cable de fibra óptica ya que el mismo, según estudios de MAGENTA Inc, es la primera opción que toman las empresas al realizar proyectos de intercomunicación entre edificios, empresas o instituciones con distancias geográficas considerables (hasta 10 kilómetros).

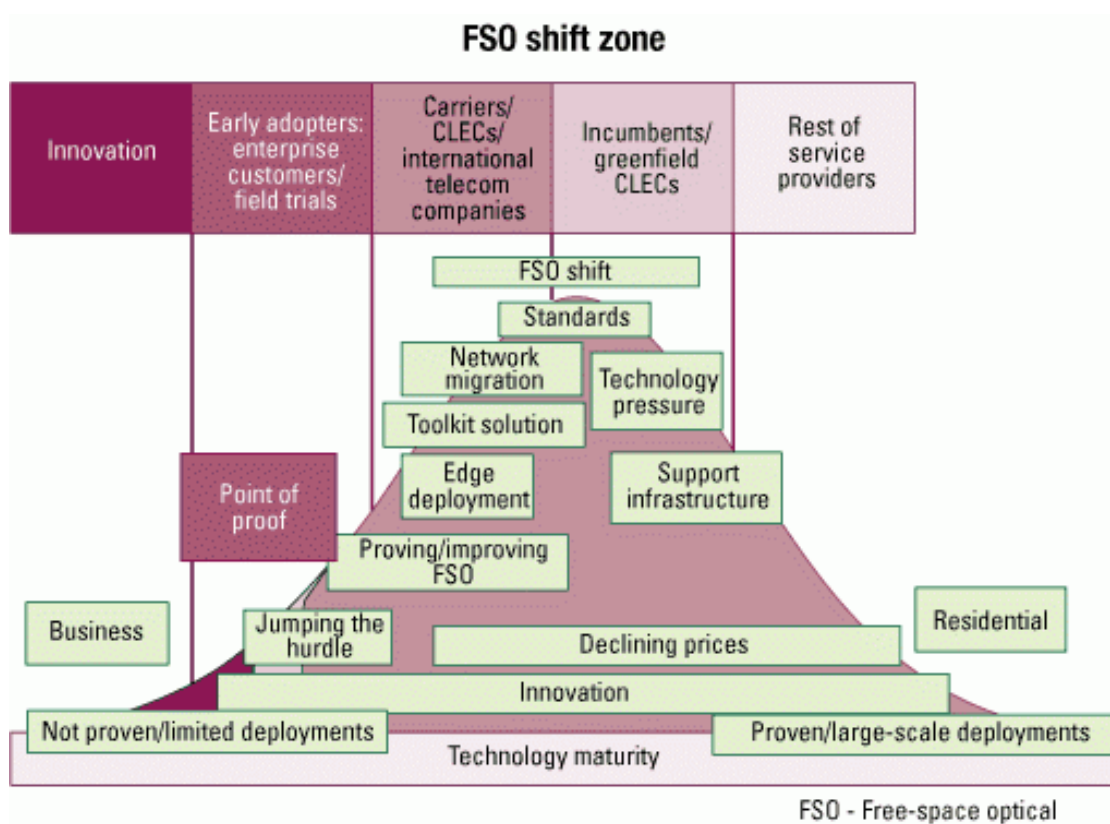
Madurez de Free Space Optic

FSO es una tecnología muy nueva en el campo de las redes inalámbricas, se han realizado ajustes y su evolución es acelerada debido a que constantemente se le hacen mejoras, con el fin de proveer un producto de

la más alta calidad. Actualmente los *Carriers* y los fabricantes de esta tecnología le están dando gran énfasis en cuanto a inversión tecnológica en investigación, generando la creación de estándares, migración de redes, herramientas de solución de fallas, infraestructura para el soporte técnico, precios accesibles y, sobre todo innovación, lo cuál genera que esta tecnología tenga un crecimiento aceptable en el mercado mundial.

Cuadro N° 3

Madurez en el Mercado de FSO



Fuente: Tomado de www.freespaceoptics.org, con fines ilustrativos

Esta figura muestra la evolución que tiene FSO en el mercado mundial y el enfoque que se le otorga para lograr un posicionamiento en el mercado deseado a fin de convertirla en una necesidad tecnológica para las empresas.

2.2. Arquitecturas y Aplicaciones Tecnológicas

Topología Flexible

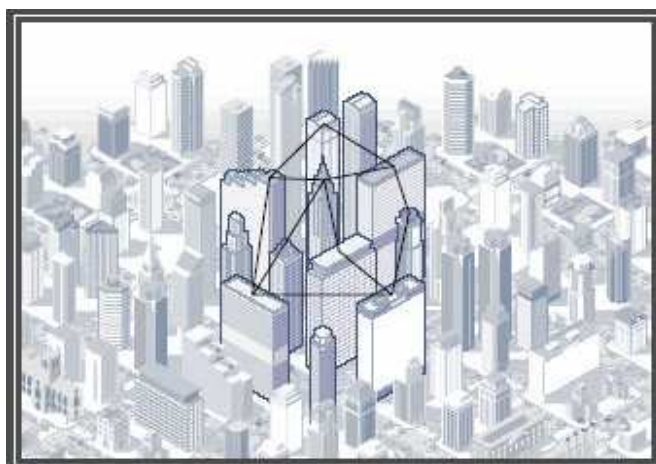
La tecnología FSO ha sido diseñada para trabajar en cualquier topología de red, incluyendo malla, punto-multipunto, anillo con estribaciones, y punto a punto. Esta flexibilidad permite a los proveedores de servicios metro, la libertad de crecer rápidamente y extender sus redes para distribuir velocidades de fibra óptica a los clientes de hoy.

Malla

Una red en configuración de malla es una serie de nodos dispersos que son conectados con algún grado de redundancia. En una red en malla completamente interconectada, cada nodo es conectado con todos los demás nodos. Normalmente, cuando una red está siendo configurada, el nivel de redundancia determina el grado de no conectividad en una malla. Muchas redes SDH son un subtipo de una malla, llamadas arquitecturas de anillo con estribaciones.

Cuadro N° 4

Arquitectura en Malla



Fuente: Tomado de www.freespaceoptic.org, con fines ilustrativos

Arquitectura de Anillo con Estribaciones

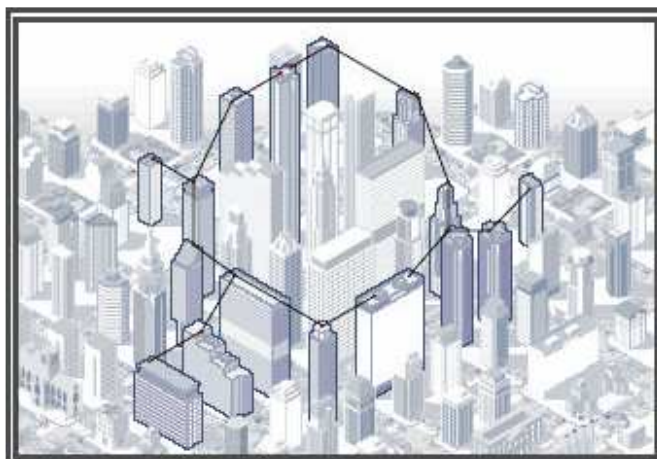
Una arquitectura comúnmente usada por los proveedores de servicios metro es la red de anillo con estribaciones. Anillos de alta velocidad son establecidos en representación del núcleo, ya sea basado en fibra o en Free Space Optics.

En una arquitectura de anillo, subanillos pueden ser conectados a través de un enrutador de capa 3. Los clientes que son parte de un anillo son protegidos desde un solo punto de falla en la red. Cuando un nuevo cliente debe ser adherido a la red, un nuevo enlace es establecido desde un nodo en el anillo de *backbone*, llamado estribación.

Si el cliente desea pagar por redundancia, la estribación puede ser conectada con otro nodo en la red formando un nuevo anillo. De esta manera, el proveedor de servicios brinda esencialmente un nivel de redundancia para el usuario terminal, de acuerdo con sus requerimientos de disponibilidad de servicio.

Cuadro N° 5

Arquitectura de anillo con estribaciones



Fuente: Tomado de www.freespaceoptic.org, con fines ilustrativos

Arquitectura de Estrella (*Hub and Spoke*)

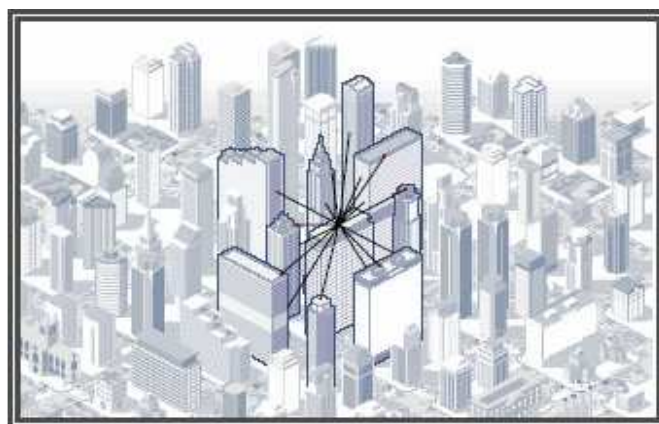
Un nombre alternativo para la red de eje y rayo es el de estrella o arquitectura punto a multipunto. Esto es, enlaces múltiples originados desde un solo nodo. Existen varios métodos que pueden ser usados para lograr este tipo de arquitectura usando FSO. Normalmente, el método más efectivo consiste en conectar cada enlace FSO con un dispositivo de capa dos o tres, ubicado en un edificio cercano. Los enlaces son acoplados por fibra al *switch* o al *router* y colocados en ubicaciones arbitrarias, ya sea en el techo del edificio o en el interior de un cuarto o una oficina.

La ventaja de esta técnica es que cada puerto en el switch o en el router puede ser individualmente aprovisionado con una velocidad de datos específica modelando un convenio de nivel de servicio con el usuario final. Este método representa la manera más flexible de distribuir datos desde un solo punto a múltiples puntos.

Existen tendencias a sectorizar un haz óptico para servir a más de un cliente a la vez desde un solo nodo, como se ha hecho con los sistemas de distribución local multipunto (LMDS). Esta tendencia es restringida por la limitación de potencia impuesta por las agencias de regulación del láser como la IEC y la CDRH, que es la sección ejecutiva de la FDA.

Figura N° 6

Arquitectura en estrella.



Fuente: Tomado de www.freespaceoptic.org, con fines ilustrativos

Arquitectura de Múltiple Punto a Punto

Se utiliza en los casos en que es deseable crear enlace extenso que podría exceder el rango límite del producto o las condiciones climáticas recomendadas para distancias de enlaces ópticos. En estos casos, enlaces de múltiple punto a punto pueden ser conectados sin ningún equipo intermedio para crear un enlace de fibra entre uno o más puntos.

Figura N° 7

Arquitectura de múltiple punto a punto.



Fuente: Tomado de www.freespaceoptic.org, con fines ilustrativos

Algunas aplicaciones tecnológicas

En general, se puede considerar a los sistemas Free-Space Optics como una tecnología de acceso de “última milla” en las redes del área Metropolitana.

Los sistemas FSO resultan ser ideales como medio de transporte, esto debido a las características de ancho de banda que presentan. Algunas de las aplicaciones más comunes son las siguientes:

1. Extensión de redes metro. Muchas veces se hace necesario extender la capacidad o el alcance de los anillos metro de transporte. Esta aplicación, normalmente no llega hasta el usuario final, por lo que se considera mas bien como una aplicación para el corazón de la red.

2. Empresariales. La flexibilidad de los sistemas FSO, permite que sean desarrollados en muchas aplicaciones empresariales, incluyendo la conectividad LAN a LAN, conexiones intra-campus y otras.
3. Complemento a fibra. Enlaces redundantes pueden ser desarrollados con el fin de proteger las conexiones por fibra. En algunas aplicaciones de negocios, muchos operadores optan por desplegar dos fibras para asegurar la disponibilidad del servicio, en caso de que uno de ellas sufra una salida de funcionamiento.
4. Acceso. Otra aplicación consiste en utilizar los sistemas FSO en aplicaciones de accesos, como el acceso a redes giga Ethernet.
5. Transporte. Estos sistemas también pueden ser usados como transporte en redes LMDS o celulares, entre otros.
6. Servicios DWDM. Con la integración de los sistemas WDM y FSO, desarrolladores independientes construyen sus propios anillos de red; aquí, los enlaces FSO son útiles para ayudarse a completar parte de los anillos.

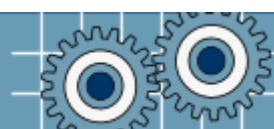
El fin que tiene esta tecnología es tan vital para las empresas que el factor costo/beneficio tiene un balance que justifica la inversión; además, la instalación y mantenimiento de la tecnología es de fácil administración y requiere de monitoreo sencillo, de tal forma que permite rentabilidad del producto.

Dado que es una tecnología abierta cualquier proveedor de servicio técnico puede ofrecer este servicio lo cuál permite que los costos de operación sean bajos debido a la ley de la oferta y la demanda este tipo de productos generalmente produce que los proveedores estén constantemente ofertando a los clientes mejores precios y más servicios

En resumen, los sistemas FSO presentan grandes aplicaciones que les permite ajustarse a las necesidades del cliente y ser utilizados en múltiples y variadas aplicaciones.

Capítulo III

Marco Metodológico



3.1. Tipos de investigación

Los tipos de investigación están claramente definidos, debido a que se determinan según el enfoque que lleve el planteamiento del problema, por lo que deben ser analizados basados en un conocimiento científico mediante los métodos de observación, explicación y/o descripción, de acuerdo con el contexto elegido por el tema para poder lograr obtener el alcance de la propuesta, esto implica señalar los tipos de información que se debe manejar, así como el nivel de análisis que se deberá realizar para el desarrollo de la propuesta antes mencionada.

El tipo de investigación a realizar en este proyecto de graduación se ajusta a la investigación exploratoria, debido a que la literatura actual no profundiza el tema de forma que presente perspectivas claras y bien definidas por lo que el objeto de la investigación tiene un panorama claro para indagar, lo que va a permitir estudiar fenómenos relativamente desconocidos basados en la investigación del comportamiento de la tecnología óptica de espacio libre.

Ahora bien, para poder aplicar el estudio al tema se realizara una investigación exploratoria, debido a que el enfoque que presenta el análisis de la tecnología óptica de espacio libre en el entorno nacional es un tema no investigado, que requiere de un análisis detallado de la tecnología para determinar su aplicabilidad en el entorno nacional; para ello se utilizarán fuentes de información relevantes tanto a nivel profesional como de expertos en el campo.

3.2. Matriz de Operacionalización de Variable

Objetivos Específicos				
Realizar un análisis de costos de la tecnología óptica de espacio libre				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Costo de la plataforma	Costo monetario que posee un objeto que desempeña una función	Inversión a realizar para obtener un bien que genere beneficios	Costos de operación Costos de los productos	Cotizaciones Análisis de costos
Requerimientos para la implementación de la tecnología	Necesidad determinada para alcanzar un fin	Instrumentos que se necesitan para operar algún proceso	Software Hardware	Requerimientos según recomendación del proveedor y White Papers de productos
Contrato Mantenimiento	Contrato que utilizan las empresas para solicitar soporte técnico en caso de que tengan problemas en algún elemento físico que afecte el rendimiento de la tecnología	Soporte técnico que brinda un proveedor a un cliente en caso de que alguno de sus productos falle y provoque impacto en los procesos normales de operación.	Contrato de Mantenimiento	Service Level Agreement
Objetivos Específicos				
Investigar acerca de las regulaciones de esta tecnología para aspecto de implementación y utilización de la misma ya que requiere uso del espectro electromagnético nacional.				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Espacios libres del espectro electromagnético	Frecuencias disponibles para una transmisión	Frecuencia definida exclusiva para transmitir en una tecnología específica	Transmisión de información sobre una frecuencia	Regulaciones legales de la oficina de control de radio
Objetivos Específicos				
Desarrollar un estudio de mercado con el fin de determinar los posibles usuarios de la tecnología y mencionar las ventajas y beneficios que conlleva la tecnología óptica de espacio libre, ajustándolos a las necesidades del mercado nacional.				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Demanda de servicio	Proceso por el cual es solicita un servicio para obtener fin	Cantidad de peticiones que se le solicitan a un servicio	% de usuarios que utilizaran el servicio	Estudio de mercado

Tipos de mercados meta	Sector de la sociedad que puede utilizar un servicio	Cliente que utiliza un servicio	Mercado Meta	Estudio de mercado
Necesidades del mercado para la utilización de FSO	Utilización requerida de un servicio basado en tecnología FSO	Detalle de utilización de un servicio FSO con un fin beneficioso	% Uso de la tecnología	Estudio de utilización de FSO
Objetivos Específicos				
Investigar la factibilidad técnica que puede tener la tecnología óptica de espacio libre siendo aplicada en el entorno nacional				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Disponibilidad del enlace	Acción para obtener acceso o utilizar una cosa	Concurrencia del servicio	Porcentaje de disponibilidad	Service Level Agreements Especificaciones técnicas
Sensibilidad a fallas de este tipo de enlaces	Nivel de afectación que puede tener un servicio	Sensibilidad del servicio "always – on"	Servicio 24x7	Service Level Agreements White papers de productos
Características de la transmisión de datos	Proceso de enviar paquetes de comunicación con un fin específico	Detalles técnicos del tipo de tecnología	Requerimientos técnico	Especificaciones técnicas aplicados en un estudio de campo
Aceptación de los equipos	Porcentaje de cumplimiento de una necesidad	Análisis de desempeño de los equipos	Porcentaje de aceptación	Requerimientos de operación y aplicación de pruebas
Objetivos Específicos				
Investigar el impacto ambiental que puede generar el uso de la tecnología FSO en el entorno nacional				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Impacto Ambiental	Daño o efecto negativo que puede tener la utilización de una tecnología en el medio ambiente	Efecto que puede provocar la utilización de FSO en el medio ambiente nacional	Ambiente	Análisis ambiental de la tecnología FSO

Objetivos Específicos				
Mencionar los factores de administración que conlleva la FSO				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Administración de la tecnología FSO	Manejo de la tecnología FSO a nivel técnico	Administración a nivel operacional de la tecnología FSO	Gráficas de utilización	Software de Administración
Contratos	Documento en donde se especifican regulaciones del proveedor hacia el cliente y viceversa	Regulaciones de compromiso entre un proveedor y un cliente	Service Level Agreements	Contrato (SLA)
Capacitaciones	Dominio sobre un tema en específico que posee un técnico	Formación intelectual con respecto a un tema	Intelecto o conocimiento	Capacitaciones certificaciones en redes inalámbricas y enlaces ópticos

Objetivos Específicos				
Identificar las características de FSO enfocado en el ámbito operacional de esta tecnología				
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento Recolección de Datos
Administración de la tecnología FSO	Manejo de la tecnología FSO a nivel técnico	Administración a nivel operacional de la tecnología FSO	Gráficas de utilización	Software de Administración
Contratos	Documento en donde se especifican regulaciones del proveedor hacia el cliente y viceversa	Regulaciones de compromiso entre un proveedor y un cliente	Service Level Agreements	Contrato (SLA)
Capacitaciones	Dominio sobre un tema en específico que posee un técnico	Formación intelectual con respecto a un tema	Intelecto o conocimiento	Capacitaciones certificaciones en redes inalámbricas y enlaces ópticos

3.3. Selección de la Muestra

Dado el caso que la tecnología óptica de espacio libre es una corriente muy nueva, la definición de la unidad de análisis se restringe hacia los profesionales en el área de las telecomunicaciones y los expertos en dicha tecnología, en este caso se delimita hacia los profesionales y/o especialistas que laboran para empresas tecnológicas con enfoque en servicios de comunicaciones a nivel LAN y WAN, debido a que ellos serían los posibles proveedores de este tipo de servicio a nivel nacional.

Es importante destacar que el uso de esta tecnología debe enfocarse hacia los posibles servicios que se brindarían en el país, basados en los estudios de factibilidad a realizar en diversas localidades geográficas, dadas las condiciones climáticas que posee el istmo centroamericano.

La muestra a determinar va a ser probabilística, ya que se va a entrevistar a personas profesionales en Informática, expertos en tecnologías inalámbricas que laboren para el sector de comunicaciones, pues se requiere de un amplio conocimiento de la tecnología para poder tener un enfoque real de la implicación que puede tener esta en el mercado nacional.

3.4. Instrumentos

Como se menciona con anterioridad, la población comprende un sector informático especializado en tecnologías afines a la investigación, por lo que se

utilizará un instrumento primordial para el análisis y recolección de información, el cual será la entrevista.

La entrevista será aplicada a los especialistas en el tema con el fin de poder recolectar información lo más veraz posible y tener un enfoque certero para el entorno nacional, determinando la factibilidad de utilizar esta tecnología y tomar los puntos más importantes para la implementación de la misma.

Capítulo IV

Análisis e Interpretación de Resultados



4.1 Estudio de Factibilidad

4.1.1 Factibilidad Técnica

Según especialistas de Magenta Inc y LightPoint Inc, esta tecnología tiene un auge muy amplio en los mercados mundiales; los componentes de hardware, software y conocimiento se encuentran con facilidad de acceso y la implementación de la tecnología va creciendo de manera rápida y eficaz.

Free Space Optic es una línea de tecnología que posee características muy propias dentro de la gama de las tecnologías inalámbricas, utilizada para transmitir datos, voz y video a través de la atmósfera a la velocidad de la luz utilizando rayos láser como medio transmisor y receptor, la misma requiere que exista línea vista entre ellos para tener un desempeño óptimo.

Esta línea de tecnologías tiene como objetivo proveer conexiones con ancho de banda óptico, capaz de transmitir hasta 2.5 Gbps en comunicaciones de datos, voz y video simultáneamente a través del aire, permitiendo conectividad óptica sin requerir de cables de fibra óptica o licencias de seguridad para el espectro electromagnético.

FSO viene a competir contra la tecnología de cable de fibra óptica, ya que es la primera opción que toman las empresas al realizar proyectos de intercomunicación entre edificios, empresas o instituciones con distancias geográficas considerables.

Otras tecnologías inalámbricas como *Spred Spectrum*, *WiMax* y *Blue Tooth* no tienen la ventaja de poder transmitir mediante rayo láser, estas utilizan frecuencias del espectro que son afectadas por el ruido térmico y poseen un medio saturado.

Para empezar un enfoque funcional y adecuado para el uso de esta tecnología, se parte del hecho de que toda red posee requerimientos, estos requerimientos lo que determinan es qué se necesita para echar a andar una propuesta.

Cuando un diseño se desarrolla se tienen que tomar aspectos que le van a permitir un óptimo desempeño con el fin de obtener el mayor beneficio utilizando el potencial máximo de los recursos.

Estos aspectos generan un diseño que permite flexibilidad, lo que implica intercambios significativos para tráfico pasivo en varios sentidos.

Los elementos ópticos adaptados a la distancias utilizan dos extremos por ello es que la comunicación es punto a punto, los sistemas deben permitir que la señal óptica viaje muchos kilómetros sin que requiera regeneración.

En el Area Metropolitana, sin embargo, se prefieren elementos ópticos para distancias cortas. Además, para bajar costos, cada camino donde el tráfico es pesado debe ser capaz de llevar el tráfico máximo.

Cuando se habla de disponibilidad de enlace y rendimiento, se menciona que la disponibilidad "Carrier Class", es definida como un 99.999% de disponibilidad con una tasa de error (BER) mayor que 10^{-10} en los enlaces ópticos inalámbricos, esta disponibilidad es afectada por factores ambientales que son únicos para cada zona meteorológica.

Es importante señalar que la disponibilidad obedece más a una función del diseño de la red que al enlace en sí mismo. Aun así, una red de fibra óptica que es diseñada sin redundancia, tampoco puede ofrecer el 99.999% de disponibilidad.

Cuando la propuesta se desarrolla, se deben utilizar equipos de comunicaciones que sean escalables lo que significa que se puedan hacer cambios de red con tecnología nueva, de manera fácil y rápida, con el fin de que los sistemas FSO puedan crecer. En la medida en que nuevos clientes se incorporan a la utilización de este tipo de servicios, la tecnología avanza con el fin de tener plataformas que soporten la demanda de estos servicios, por lo que la estabilidad del producto juega un factor muy importante.

Este sistema, basado en la demanda, reduce el gasto de capital requerido para hacer crecer la base de clientes y permite que los

proveedores de servicio comiencen inmediatamente a recobrar los costos asociados al desembolso de capital para el equipamiento de la red.

Usando este sistema, la red puede continuar creciendo de una forma prudente siempre y cuando el número máximo de usuarios sea igual al que soporte la estructura de *backbone* planeado, ya que si excede el número máximo de usuarios, el enlace se saturaría y podría llegar a colapsar.

Por otra parte, los equipos FSO operan en la capa física o capa 1 del modelo OSI. No se utilizan *switches*, ni *routers*, habilitándolos para trabajar con cualquier protocolo, por lo que son independientes de protocolo, ya sea, SONET, SDH, ATM, IP, etc.

Se necesita de gran cantidad de equipamiento para manejar las distintas velocidades de datos y distancias requeridas para este tipo de redes.

Algunos fabricantes ofrecen productos que se encuentran en el rango desde los 50m hasta los 4000m y soportan tasas de datos desde los 10 Mbps hasta los 2.5Gbps; ya se trabaja en el desarrollo de DWDM que podría manejar un *throughput* de 10 Gbps.

Muchos factores pueden afectar el rendimiento, entre ellos, el centelleo, la absorción, el esparcimiento, desvío y esparcimiento del haz y la vibración de los edificios. El centelleo es definido como las variaciones temporales y espaciales en la intensidad de la luz causadas por turbulencia en la atmósfera.

Índices aleatorios de refracción son creados por estas fuentes de turbulencia, que incluyen viento y gradientes de temperatura formados por bolsas de aire que se desarrollan a partir de las diferencias en la temperatura con densidades variadas. Una onda óptica frontal viajando a través de turbulencia atmosférica podría llegar deformada, debido a que las bolsas de aire actúan como prismas y lentes.

Una forma de combatir el centelleo, es transmitir información redundante sobre enlaces separados espacialmente y que no están correlacionados en la atmósfera terrestre.

La luz no correlacionada puede ser recombinada en el receptor de manera constructiva. Las bolsas de centelleo usualmente son muy pequeñas, particularmente si se encuentran lejos de la fuente de centelleo.

Otro fenómeno ocurre cuando las moléculas de agua suspendidas en la atmósfera terrestre extinguen a los fotones, esto se conoce con el nombre de absorción. Este fenómeno puede ser combatido mediante la combinación de los niveles de potencia apropiados para las condiciones atmosféricas, con diversidad espacial, esto para mantener el margen de enlace requerido - "carrier-class"- para la transmisión.

La absorción ocurre más fácilmente en algunas longitudes de onda que en otras. Por ejemplo, bajo ciertas condiciones atmosféricas y, para proveer el mismo margen de enlace, se requiere menos potencia a 850nm que a 1550nm de longitud de onda, debido a las propiedades de absorción del agua.

En general, las longitudes de onda de 1550nm son absorbidas más fácilmente dentro de las moléculas de agua que los frentes de onda ópticos generados a 850nm, lo cual significa que la potencia debe ser incrementada en transmisiones a 1550nm para mantener el mismo margen de enlace alcanzado usando 850nm a través del espacio libre.

El efecto de *Rayleigh* ocurre cuando el débil borde de la nube electrónica que circunda la nube gaseosa perturbada por el campo óptico entrante se ve ensanchado por la órbita normal, lo cual causa dispersión. Esta forma de dispersión es la responsable del color azul del cielo y de toda la gama de colores de los amaneceres y atardeceres.

Algunas empresas han conducido extensos estudios acerca de las características de "transmisión" de la atmósfera como función de la longitud de onda.

Algunos de estos estudios indican que ciertas áreas metropolitanas tienen diferente dispersión atmosférica y características de absorción que otras.

Esto se debe, ampliamente, a la naturaleza y cantidad de los contaminantes generados en un área determinada. Es por esto que el efecto de la dispersión de *Rayleigh* debe ser tomado en cuenta a la hora de realizar el diseño de la red.

Un proveedor puede verse beneficiado usando una fuente de láser ajustable que pueda ser configurada a una longitud de onda diferente que la absorción localizada o que la banda de dispersión. Este tipo de láser se encuentra en el comienzo de su inserción al mercado del láser de estado sólido.

Similar a la dispersión de *Rayleigh*, la dispersión de *Mie* ocurre cuando la longitud de onda óptica se encuentra en el mismo orden de tamaño relativo que las partículas de dispersión. Esta simple forma de dispersión, evita que los fotones sigan el camino directo desde el transmisor hasta la apertura del receptor. Un método similar al utilizado para remediar la dispersión de *Rayleigh* debe ser implementado en este caso.

Los láser ajustables pueden alterar la longitud de onda para operar a una posición ligeramente diferente dentro de la banda de transmisión para el receptor, ya sea que esto ocurra en el espaciado de grilla de la ITU o dentro del filtro pasabanda del receptor.

Algunas técnicas de manejo de potencia pueden ser empleadas para superar esta sencilla forma de dispersión.

La desviación de los rayos es causada por remolinos turbulentos que son más grandes que el haz. Cuando estos remolinos son más pequeños que el haz, el resultado es llamado esparcimiento de haz de corto término. Estas fluctuaciones son mucho más pequeñas que los rayos desviados y típicamente son rechazadas.

Otro efecto de la turbulencia refractiva es el esparcimiento de un haz óptico que se propaga a través de la atmósfera. Esto incluye los efectos de la lenta desviación del haz entero.

El efecto primario del esparcimiento de haz de corto término es el esparcimiento de la energía promedio sobre un área grande, mientras que el

esparcimiento de haz de largo término es definido como el esparcimiento de haz de turbulencia inducida, observada sobre un largo promedio de tiempo.

Cuando los enlaces FSO son montados en edificios o en torres, la vibración puede afectar la precisión del alineamiento del láser. Ambos, viento y actividad sísmica, pueden causar que los edificios se muevan a lo largo de sus ejes verticales.

Algunos fabricantes usan un haz divergente para minimizar el impacto del movimiento de los edificios y los cambios en las condiciones atmosféricas. Resulta relativamente simple diseñar un enlace óptico (láser) para operar sobre un rango específico cuando la divergencia de haz es escogida como el método para superar los problemas mencionados.

Cuando al haz le es permitido divergir, un gran cono óptico llega hasta el receptor minimizando la importancia del alineamiento de las puntas del enlace.

Este método es muy económico y frecuentemente usado para resolver este tipo de problemas. La desventaja de este método es que no todas las energías ópticas pueden ser enfocadas sobre el receptor y así el margen de enlace es reducido por la pérdida geométrica del haz divergente.

También, usando un mecanismo de control de realimentación de lazo cerrado, se puede emplear un mecanismo activo de ajuste que opera a una frecuencia más rápida que la del rayo desviado, para resolver los problemas de rayos desviados y de esparcimiento de haz.

Si el ancho de banda del lazo de control es muy lento, el enlace puede perder seguridad y oscilar, mientras que datos importantes se pierden en el enlace óptico.

Existen muchos problemas potenciales de seguridad para cualquier red de comunicaciones relacionadas con las actividades de terceras partes; al respecto, surgen las siguientes interrogantes:

- ☞ Puede ser descubierta la existencia del enlace?
- ☞ Puede ser monitoreado el uso del tráfico?
- ☞ Pueden ser leídos y entendidos los contenidos del tráfico?

- ☞ Puede ser obstruido el enlace?
- ☞ Puede ser insertada información falsa de manera encubierta?

No existe un sistema de comunicaciones que pueda ofrecer una ilimitada seguridad de contenido, con excepción de aquel que use un sistema de encriptación con un código de Vernam. Sistemas diferentes ofrecen distintos niveles y tipos de seguridad.

La encriptación constituye una herramienta de seguridad sumamente poderosa. Los canales bien encriptados resultan ser muy seguros, en la medida que solo con tecnología de computación altamente sofisticada se tiene la posibilidad de irrumpir en ellos; y aun así, esto podría tardar muchos meses o años, inclusive.

Los canales de mayor ancho de banda son más difíciles de encriptar de una manera segura, teniendo en cuenta el tamaño y la potencia requerida para la encriptación y desencriptación por parte de los procesadores en los terminales.

Por eso, el uso de canales protegidos debe ser considerado como una manera de evitar la necesidad de una encriptación poderosa.

Un canal protegido es un método por el cual se impide que cualquier intruso potencial tenga un fácil acceso, impidiendo que información sensible sea interceptada antes de ser descubierto.

Algunos canales son muy difíciles de proteger. Un alambre pareado o un cable coaxial, típicamente utilizan rutas complicadas entre un terminal y otro, dejando abierta la posibilidad de que se tenga acceso en algún lugar oculto de la ruta. Una vez que se obtiene el acceso, la información puede ser monitoreada de una forma relativamente fácil.

El tráfico a través de fibra óptica es mucho más difícil de monitorear debido a su reducido tamaño, su relativa fragilidad y a la considerable sofisticación de los equipos necesarios para implementar la interceptación. Sin embargo, a menos que la región circundante a la fibra sea monitoreada de alguna manera con el fin de detectar la intrusión física, la posibilidad de interceptación permanece.

Los sistemas de radio son muy fáciles de monitorear, ya que las ondas de radio se esparcen, difractan y pasan por paredes, haciendo la intrusión relativamente fácil. Aun en los casos en que una encriptación poderosa es utilizada, el uso de ondas de radio le resta inteligencia y dificultad. Esto se debe a que la existencia del enlace es muy fácil de detectar y hay muchas posibilidades de monitorear los esquemas de uso del tráfico. El uso de técnicas de esparcimiento de espectro ayuda a mitigar esta debilidad.

Las fortalezas de seguridad de los enlaces ópticos inalámbricos derivan de la naturaleza inalámbrica del canal, los pequeños terminales y del confinamiento cerrado del haz transmitido.

Un transmisor adecuadamente diseñado, podría tener una divergencia de haz tan pequeña como un mili radian, sin lóbulos laterales y comenzar con un diámetro de haz de tan solo unos pocos centímetros. Es así como un haz podría expandirse tan solo un metro después de un kilómetro de camino.

El haz podría ser totalmente bloqueado por cualquier pared, de manera que la única manera de interceptar el enlace, es introduciendo un receptor dentro del camino óptico del haz. Dependiendo de la ubicación, esto podría ser muy difícil de realizar, y más aún, de realizarlo de manera encubierta.

En este proceso, existe un alto riesgo de afectar la transmisión de manera inversa mediante el bloqueo de la misma, llamando la atención del gestor del sistema debido a la operación de un intruso.

Comentarios similares aplican para el receptor *Field of View (FOV)*, en el que un generador de ruido o transmisor falso debe ser insertado dentro del FOV, y debe ser similar en tamaño con respecto al haz transmitido.

La interceptación de un sistema FSO operando con un haz limitado en el rango de las longitudes de onda del espectro infrarrojo, es sumamente difícil. De hecho, las organizaciones militares, que dependen mucho de las tecnologías de seguridad de transmisión, fueron las primeras en incursionar en los sistemas de comunicación FSO como una medida para evitar la interceptación de la señal. Recoger la señal desde un lugar que no se encuentra directamente ubicado dentro del camino de la luz, usando fotones

de luz dispersados de un aerosol, nieve o partículas de lluvia que se pueden presentar en la atmósfera, es virtualmente imposible, debido a los extremadamente bajos niveles de potencia infrarroja que son utilizados durante el proceso de transmisión FSO.

La principal razón para excluir esta posibilidad de intrusión, es el hecho de que la luz es dispersada isotrópicamente y estadísticamente en direcciones diferentes del camino de propagación original.

Este mecanismo de dispersión específico, mantiene el número total de fotones o la cantidad de radiación que potencialmente puede ser recolectada a través de un detector que no está directamente colocado dentro del camino del haz, mas allá del nivel de ruido del detector.

En resumen, las comunicaciones ópticas inalámbricas ofrecen un grado de seguridad de canal relativamente alto.

FSO puede trabajar en bandas de frecuencia "libres", por lo que no es necesario solicitar permisos o contratos legales para ofrecer ese tipo de servicios, simplemente se utiliza el aire como medio de transmisión y la luz infrarroja como medio guiado de manera virtual.

Esta tecnología, al no ser afectada por el ruido térmico o la saturación del espectro electromagnético, puede llegar a convertirse en una gran aliada de los negocios.

FSO esta comprendida dentro del área de telecomunicaciones del departamento de informática de las empresas, por lo que su utilización en la empresa no conlleva mayor cambio. Simplemente es una tarea más para los profesionales en tecnologías de Información de la empresa.

Lo que conlleva es el análisis de contrato con el proveedor y la definición de los *Service Level Agreement*.

En el caso del Impacto Ambiental en el estándar IEC 60825-1, enmienda 2 se explica cuáles clases de laser se deben utilizar para realizar las transmisiones de datos.

Clase 1: Láser emitiendo dentro del rango de los 302.5nm a los 4000nm que es seguro bajo condiciones razonablemente previsibles para todas las operaciones, incluyendo el uso de instrumentos ópticos (Magnificación) para la visión intra-haz.

Clase 1M: Láser emitiendo dentro del rango de los 302.5nm a los 4000nm que es seguro bajo condiciones razonablemente previsibles, pero que puede ser peligroso si el usuario emplea instrumentos ópticos.

Magnificación dentro del haz

Aplican dos condiciones:

Para un haz divergente, si el usuario coloca componentes ópticos a 100mm de la fuente para concentrar el haz; o para un haz colimado con el diámetro mayor que el diámetro especificado para mediciones de irradiancia y exposición radiante.

En el siguiente cuadro, se muestran las limitaciones de potencia de acuerdo con el nuevo estándar IEC 60825-1, enmienda 2; para los sistemas láser de Clase 1 y Clase 1M. Esto, con bandas de transmisión de los 850 y 1550nm.

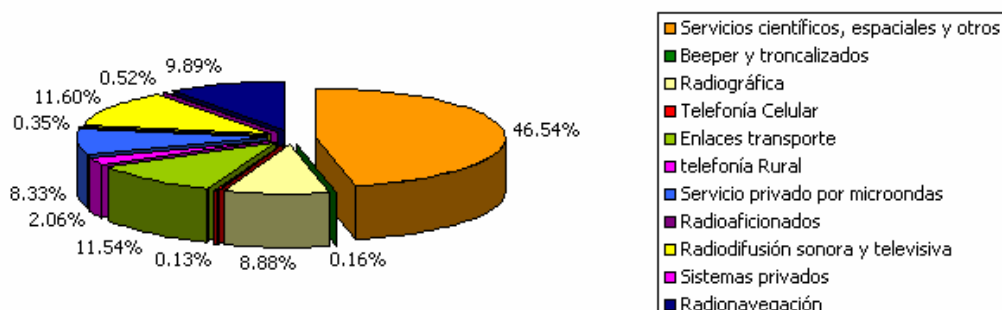
Cuadro N° 8
Magnificación dentro del haz.

	Clase de Láser	Potencia	Tamaño de	Distancia	Densidad de
		(mW)	apertura (mm)	(mm)	potencia (mW/cm ²)
850nm	CDRH Clase 1 (antigua)	0.76	7.0	200	0.20
			50.0		
	IEC Clase 1 (antigua)	0.44	50.0	100	0.02
	IEC Clase 3A (antigua)	2.20	50.0	100	0.11
		0.44	7.0	100	1.14
	IEC/CDRH Clase 1 (nueva)	0.78	7.0	14	2.03
		0.78	50.0	2000	0.04
	IEC/CDRH Clase 1M (nueva)	0.78	7.0	100	2.03
		500.00	7.0	14	1299.88
		500.00	50.0	2000	25.48
IEC/CDRH Clase 3R (nueva)	3.90	7.0	14	10.14	
1550nm	CDRH Clase 1 (antigua)	0.79	7.0	200	2.05
			50.0		
	IEC Clase 1 (antigua)	10.00	50.0	100	0.51
	IEC Clase 3A (antigua)	50.00	50.0	100	2.55
		9.60	3.5	100	99.83
	IEC/CDRH Clase 1 (nueva)	10.00	7.0	14	26.00
		10.00	25.0	2000	2.04
	IEC/CDRH Clase 1M (nueva)	10.00	3.5	100	103.99
		500.00	7.0	14	1299.88
		500.00	25.0	2000	101.91
	IEC/CDRH Clase 3R (nueva)	50.00	7.0	14	129.99
		50.00	25.0	2000	10.19

Fuente: Tomado de www.freespaceoptic.org, con fines ilustrativos

Cuadro N° 9

Porcentaje de asignación del espectro electromagnético costarricense



Fuente: ICE FRACAP 2002; Ing. Gustavo Miranda

Nota: El 8.33% de Servicio Privado para microondas corresponde a 2731.05 MHz del espectro electromagnético

4.1.2 Factibilidad Operacional

La implementación, administración y mantenimiento de la plataforma de la red debe estar a cargo de un técnico en informática para atender cualquier inconveniente que pueda suceder.

Esta tecnología está enfocada para ser utilizada en empresas que se encuentran entre distancias geográficas considerables y que no sobrepasen los 5 kilómetros, ya que el haz de luz infrarroja a esa distancia pierde señal y produce que la transmisión sea de baja calidad o no exista. Los productos utilizados para FSO son de fácil administración por lo que el soporte es muy sencillo y rentable. Se requiere que el operador tenga un conocimiento basto sobre redes de computadoras tanto alámbricas como inalámbricas, para que pueda tener una adecuada interacción con el producto.

4.2 Oferta de mercado

A pesar de que los sistemas FSO han existido por décadas desde que fueron utilizados para comunicaciones militares, no es si no hasta ahora que se encuentran disponibles de manera comercial y en forma viable. Algunos de los factores que han contribuido a que esto sea posible son:

- ▶ Soluciones de baja o nula costo efectividad.
- ▶ Mínima inversión de capital.
- ▶ Surgimiento de aplicaciones para alto ancho de banda.
- ▶ El movimiento global de la infraestructura óptica.
- ▶ Flexibilidad.
- ▶ Fácil instalación y re-usos de los equipos.
- ▶ La caída en los precios de los componentes.
- ▶ Es una tecnología óptica de muy alta velocidad.
- ▶ La no regulación del espectro electromagnético para aplicaciones que utilicen longitudes de onda pertenecientes a la zona infrarroja del espectro visible.

- ▶ Con base en estos factores, algunos fabricantes han realizado estimaciones del crecimiento, los cuales presentan un escenario bastante optimista en la mayoría de las áreas comerciales del planeta.

Proyecciones de Crecimiento para FSO en principales Zonas Industriales	
País	% de Crecimiento
Estados Unidos	35
Latinoamérica	13
Asia	25
Europa	27

Aun así, la verdadera introducción de estos sistemas se ha retrasado debido al principal reto que enfrenta este tipo de tecnología: superar el efecto de la atmósfera terrestre y todas sus características.

Por otro lado, se tiene a los proveedores de servicios que presionan la entrada comercial y segura, basados en los siguientes aspectos:

- ✘ Adquirir más consumidores.
- ✘ Generar ganancias rápidamente.
- ✘ Las autoridades de las ciudades se encuentran cada vez más reacias a las excavaciones en calles sumamente congestionadas.
- ✘ Requerimientos de disponibilidad menos exigentes.
- ✘ Áreas metro densamente pobladas con muchos edificios y poca distancia entre los nodos.
- ✘ La no-disponibilidad de ancho de banda.

El siguiente cuadro ilustra los costos de distintas tecnologías para una misma velocidad de datos.

Tabla Comparación de costos para distintas tecnologías

Tecnología	Costo por conexión de 155 Mbps	Observaciones
FSO	\$8000-\$12000	Para un rango de 2-4 Km
LMDS	\$25000-\$45000	Sin incluir licencia del espectro
FIBRA	\$70000-\$150000	

Fuente: www.fso-tech.net/costosfso.html

Entonces, los indicadores clave del crecimiento de los sistemas FSO son:




- ✘ El mercado.
- ✘ La economía.
- ✘ Los servicios.
- ✘ Los negocios y el entorno.

También hay que tomar en cuenta otros factores, como el incremento de los usuarios de Internet, el comercio electrónico, la alta capacidad de los terminales de escritorio, entre otros.

Todo lo anterior posibilita el surgimiento de un gran número de fabricantes que ofrecen todo tipo de soluciones FSO y utilizan gran variedad de tecnologías, realizando cada uno su aporte tecnológico y permitiendo el rápido desarrollo de la misma.

4.3 Comparación de tecnologías

A continuación se comparan algunos de los productos que ofrecen los fabricantes, basados en los principales parámetros de operación relacionados con los sistemas FSO.

-  Longitud de onda. Comúnmente entre 800 y 1550nm, factor que los hace compatibles con muchos de los sistemas ópticos disponibles en el mercado.
-  Rango operacional. Rangos variados que van desde los 50m hasta los 7000m en algunos fabricantes.
-  Velocidad de datos. Dependiendo del fabricante, se ofrecen velocidades desde 1.5Mbps hasta 1.25Gbps para las aplicaciones más comunes. Sin embargo, algunos sistemas podrían llegar a tener una velocidad de datos de 10Gbps, inclusive.

- Potencia láser. Según el rango operacional que se desea alcanzar, se pueden encontrar láser transmitiendo desde 100mW hasta 640mW.
- Interfaces. La mayoría poseen interfaz de fibra óptica con conectores duplex-SC para mono-modo o multi-modo. También se cuenta con interfaces Ethernet y RJ-45 para administración y con interfaces RS-232 y DB9 para el usuario terminal.
- Protocolos. Se maneja el concepto de independencia de protocolos así como una gran variedad, entre ellos, ATM, SONET, SDH, IP, Ethernet, Gigathernet, G.703.
- Redundancia. Existe gran variedad de sistemas y configuraciones en aras de proporcionar redundancia a los enlaces. Algunos fabricantes optan por desarrollar enlaces que cuenten con tres transmisores y un receptor o enlaces con cuatro transmisores y cuatro receptores. Otro diseño interesante es el uso de enlaces de radio frecuencia como respaldo. Estas técnicas, además de garantizar la disponibilidad del enlace, ayudan a corregir o mitigar el efecto de los fenómenos atmosféricos.

Por otra parte, en el campo administrativo FSO está comprendida dentro del área de telecomunicaciones del departamento de informática de las empresas, por lo que su utilización en la empresa no conlleva mayor cambio. Simplemente es una tarea más para los profesionales en tecnologías de información de la empresa. Lo que conlleva es el análisis de contrato con el proveedor y la definición de los Service Level Agreement.

Tecnología Wi-Fi

Wi-Fi (abreviatura de fidelidad inalámbrica), se conecta a la red interna de una empresa.

Ofrece conexiones Ethernet rápidas, sin los cables, transmitiendo la información digitalmente a través de una señal de radio bidireccional.

Los usuarios pueden estar en contacto con toda la oficina.

Las tarjetas PC Wi-Fi o los receptores integrados en las laptop recogen al instante una señal inalámbrica de las estaciones de base que se localizan en todo el edificio .

Wi-Fi opera a 2.5 GHz y ofrece velocidades de conexión de hasta 11Mbps. Una red Wi-Fi para una sola oficina cuesta de \$250 USD a \$350 USD por estación de base y \$100 USD por tarjeta PC. Una instalación a gran escala cuesta desde \$1200 USD mas \$180 USD por cada tarjeta PC.

Desventajas:

Comparte la misma frecuencia que Bluetooth y cuando estos entran en conflicto, la conexión Wi-Fi se vuelve casi 30% más lenta.

El sistema de codificación actual de Wi-Fi es vulnerable a los piratas cibernéticos.

Las conexiones también se vuelven más lentas cuando los usuarios se alejan de sus estaciones base; al igual que la cantidad de muros que una señal debe penetrar, afecta también el desempeño .

Los receptores de tarjeta PC Wi-Fi consumen la vida de la batería de una *notebook* de 20% a 30% más rápido.

Ventajas:

Conecta a los usuarios de una red desde cualquier parte, dentro de la oficina o en lugares públicos.

Requiere de medidas de seguridad, pero es muy apropiada para las empresas en general.

Tecnología Bluetooth

Bluetooth permite que los dispositivos se comuniquen sin cables a través de ondas de radio, transmite a 1 Mbps a una distancia de 30 pies.

En la actualidad se trabaja en un chip para tarjetas adaptadoras que permiten a Wi-Fi y Bluetooth trabajar juntas.

Desventajas:

Existen pocos productos y servicios Bluetooth en el mercado

Falta de seguridad, por ejemplo, un teléfono con Bluetooth, al terminar una conversación la línea sigue abierta y la otra persona tiene acceso al otro teléfono, lo que genera inseguridad ya que se puede acceder el medio.

Interferencias con Wi-Fi

Ventajas:

Fácil de sincronizar

Generalmente los dispositivos son pequeños

Tiene un alcance considerable para su uso

Puede llegar a suplantar cualquier cable a menos de 10 metros.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones



5 Conclusiones y Recomendaciones

Toda tecnología requiere de un medio para poder transmitir; en el caso de las tecnologías inalámbricas, el aire (espacio terrestre) es el medio por el cual se transmiten los paquetes que llevan información. Para FSO, como se ha definido ampliamente, se requiere de luz infrarroja para la transmisión de información regida por los estándares definidos por el espectro electromagnético y las cláusulas acordadas por el Gobierno de Costa Rica regidas por la Oficina de Control de Radio.

En Costa Rica la aplicación del mismo debe ser evaluada debido a las características climatológicas que se presentan, además de la infraestructura que se requiere para su óptima implementación, estos factores pueden ser limitantes en este estudio, debido a que son requerimientos primordiales para la aplicación de esta tecnología.

Dentro de las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de este estudio se detallan a continuación las siguientes en la “GUÍA DE REFERENCIA PARA LA ADOPCIÓN DE FREE SPACE OPTIC EN LAS EMPRESAS NACIONALES”

5.1 “Guía de Referencia para la Adopción de *Free Space Optic* en las Empresas Nacionales”

Parámetros involucrados en la tecnología

El desempeño y funcionalidad de un enlace FSO va a depender de diferentes características del equipo utilizado. A continuación se presentan los principales parámetros que se deben tomar en cuenta en un equipo FSO

Interfaz aérea (FSO)

Clasificación del Láser

Esta clasificación indica el nivel de seguridad del transmisor. Esta va a ser determinada principalmente por la longitud de onda y la potencia de transmisión de cada láser. Generalmente, los equipos FSO cumplen en alguna de las siguientes clasificaciones:

 Láser Clase 1M

Transmisores láser que son completamente seguros aun cuando son vistos directamente con el ojo, sin protección alguna

 Láser Clase 3b

Transmisores que normalmente son peligrosos si se tiene una exposición directa con el láser

Los equipos FSO no son visibles para el ojo humano ya que operan en una longitud de onda superior a los 780 nm, por esto FSO debe cumplir con los estándares de seguridad Clase 1M y, de esta forma, no causar daños a terceros.

Longitud de onda

Los equipos FSO pueden trabajar en las siguientes longitudes de onda:

- Cercano a los 800 nm

Esta longitud de onda se encuentra dentro del espectro conocido como "Región de Riesgo Retinal" ya que esta puede llegar a dañar la retina del ojo, en caso de incidencia con el rayo. En este caso, la única forma de poder tener un nivel de seguridad aceptable es transmitiendo a una potencia relativamente baja.

- 1550 nm

Generalmente los equipos que operan en esta longitud de onda cumplen con las normas de seguridad para el ojo humano "eye-safe" ya que esta se encuentra fuera de la "Región de Riesgo Retinal" .

Estos equipos pueden transmitir a niveles de potencia hasta de 50 veces mayores que los que operan en 850 nm y cumplen con las normas de seguridad "eye-safe".

Potencia de transmisión

Debido a que FSO se basa en la transmisión de señales ópticas en el espacio, esta señal va a ser atenuada por medio de forma proporcional a la longitud del enlace.

De igual manera existen factores climatológicos que pueden atenuar adicionalmente y en gran medida la señal óptica. El principal evento viene siendo la neblina; las tormentas de lluvia pueden afectar el enlace pero en menor escala.

Los equipos FSO que operan en longitudes de onda de 1550 nm pueden transmitir a niveles de potencia mucho más elevados que los que operan en 850 nm, ya que como estos primeros no operan en la "región de riesgo retinal" tienen un mayor margen para seguir cumpliendo con las normas de seguridad Clase 1M.

Es por esto que la potencia de transmisión es el punto medular en los sistemas FSO. Cuanto más alto sea este parámetro, se va a poder contar con una mayor penetración en la neblina más densa y, de igual forma, es posible

contar con enlaces de longitudes mayores. Esto se va a traducir en tener un enlace con un alto nivel de disponibilidad de hasta 99.999%.

Divergencia del láser

Los rayos láser no son totalmente puntuales, estos van "abriéndose" conforme van avanzando por el medio. Divergencia indica cuanto es el ángulo de apertura del láser. Este ángulo es directamente proporcional al área de cobertura en el extremo remoto, y es inversamente proporcional a la potencia recibida en el receptor del equipo remoto.

Si se desea instalar enlaces FSO que estén completamente en paralelo, este parámetro va a determinar la distancia mínima de separación que debe de existir entre cada equipo. Cuánto menor sea la divergencia, menor va a ser la distancia requerida.

Montaje y estabilidad del equipo

A diferencia de los equipos de radio, FSO tiene una mayor susceptibilidad al movimiento, por esto, es muy importante que, tanto la plataforma como la estructura de montaje del equipo, cuenten con un sistema de fijación rígido y estable. Al contar con esto, una vez que se encuentre instalado, el enlace va a funcionar de excelente manera, sin necesidad de realizar posteriormente reajustes en la alineación.

Por esto se recomienda la instalación de los equipos en:

- Mástiles en azoteas o paredes
- Mástiles detrás de ventanas
- Torres autosoportadas

Existe la opción en algunos modelos FSO en donde cuentan con un sistema activo de alineación (APS). Este sistema tiene su aplicación principalmente en instalaciones en donde la plataforma de montaje no es muy estable, y también cuando se desea contar con enlaces muy largos.

Interfaz física

Ya que FSO únicamente trabaja en la capa física del enlace, este es transparente al tipo de información transmitida en donde esta puede ser PDH, SDH, IP, ATM, etc.

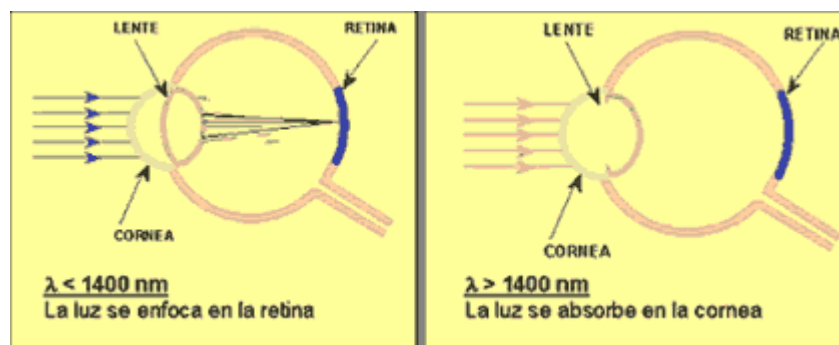
Los equipos FSO entregan una interfaz física la cual es una fibra óptica y esta es conectada al equipo terminal. Las características de la interfaz física pueden variar, dependiendo del modelo. Gracias a esto, generalmente pueden ser usados en FSO los mismos modelos de equipos terminales que se usan cuando comúnmente se instala una fibra óptica.

Inclusive, es posible extender un largo trayecto de fibra hasta de 2 Kms a partir del equipo FSO, sin necesidad de instalar repetidores.

5.1.1 Ventajas

Seguridad y potencia

En la línea de productos se utilizan longitudes de onda en el espacio mayores a los 1400 nm, las cuales no logran penetrar la retina del ojo humano, cumpliendo con las normas internacionales de seguridad "Eye-Safe Class 1M";



de esta forma, es posible transmitir con niveles de potencia hasta de 50 veces más alto ! que los sistemas que operan en las longitudes de onda menores a

los 1400 nm, permitiendo así contar con un mejor desempeño en el servicio. Por ejemplo, el equipo SONAbeam-M de mediano alcance cuenta con una potencia de salida de 640 mW a diferencia de un equipo FSO convencional que opera en los 800 nm transmite entre 10 y 20 mW.

Gracias a esto, es posible penetrar niveles de neblina más densos y, por lo tanto, lograr un alto nivel en la disponibilidad del enlace.

Arquitectura

Toda la línea de productos cuenta con redundancia en los láser. A diferencia de otros equipos en donde generalmente separan varios haces de luz a partir de un solo láser, los equipos de fSONA, dependiendo del modelo, pueden tener desde 2, 4 hasta 8 láser independientes. Cada uno de estos cuenta con su propio sistema de enfriamiento activo independiente y sus propios controladores, los cuales se van a encargar de mantener la temperatura idónea de cada láser independientemente de la temperatura en el medio ambiente. Se cuenta con las siguientes ventajas:

- Mayor potencia recibida en el extremo remoto
- El servicio no es afectado si llegara a existir una obstrucción de alguno de los láser
- MTBF del sistema mayor a 15 años
- En caso de que llegara a fallar un láser, el equipo seguirá funcionando adecuadamente

Alto desempeño

Según la implementación y sitio se pueden lograr altos niveles de desempeño y disponibilidad hasta de 99.999% aún en condiciones climáticas desfavorables (ver especificaciones del fabricante) y sin tener que sacrificar la distancia del enlace.

Estabilidad en el montaje

Los equipos cuentan con un brazo de montaje de alta resistencia y estabilidad en donde el equipo puede soportar huracanes Clase 1 (120 Km/hr) y mantener la precisión en la alineación, y puede sobrevivir a huracanes Clase 2 (160 Km/hr).

Crecimiento tecnológico

Los principales equipos de telecomunicaciones utilizados en aplicaciones con enlaces de fibra óptica utilizan principalmente la longitud de onda de 1550 nm contando con tecnología que utiliza altas velocidades como 40 Gbit/s hasta DWDM. La planta de equipos a nivel mundial y los nuevos desarrollos han crecido de forma muy rápida, gracias a las inversiones millonarias que se realizan cada año en el desarrollo y fabricación de los subsistemas aumentando su desempeño y disminuyendo el costo de estos.

Por esto, los equipos que operan en esta longitud de onda se benefician tecnológicamente de los nuevos desarrollos del mercado en las redes de fibra óptica convencionales.

5.1.2 Desventajas






Esta tecnología presenta algunas desventajas como:

1. Se debe tener en cuenta que si no se utilizan los estándares adecuados, puede afectar el ojo humano, en caso de que se presente exposición durante un lapso de tiempo considerable.
2. Debido a que se requiere línea vista para la utilización de esta tecnología, presenta sensibilidad en cuanto a movimiento que puede desalinearse el haz infrarrojo.
3. Se puede perder señal por la obstrucción en la línea vista por animales, neblina, lluvia y fenómenos naturales.

4. Es una tecnología delicada y requiere de especialización en el campo para su manejo adecuado.
5. La vibración de los edificios puede generar intermitencia en la señal, ya que provocaría movimiento en los lentes, lo que influye negativamente en la línea vista de los lentes.
6. La flora puede generar obstrucción en el haz de luz infrarroja lo que generaría pérdida de señal.
7. Los costos son elevados si se quiere utilizar tecnología de alta calidad, lo que repercute en el mercado ya que limita a las empresas en su presupuesto.
8. El servicio no está disponible en todas partes y solo algunos proveedores lo ofrecen.

5.1.3 Consideraciones esenciales

Cuando se colocan las unidades ópticas se deben considerar una serie de factores con el fin de evitar posibles obstáculos, ya que los mismos provocarían la pérdida de señal en la transmisión, debido a que la línea vista se pierde.

-  El follaje de los árboles y su posible crecimiento, con el fin de que no se afecte la línea vista del haz de luz.
-  Se debe evitar colocar la línea vista sobre fábricas que generen humo y gases contaminantes, pues estos elementos generan interferencia en la transmisión ya que la neblina y el humo son elementos que “abren” el haz de luz infrarrojo lo que provoca que el haz pierda potencia en la señal.
-  No se debe colocar una unidad óptica cerca de un condensador de aire acondicionado, ya que genera vapor que puede perjudicar el haz de luz y reflejarlo.
-  La línea vista no debe colocarse en dirección hacia los rayos solares ya que el lente recibe directamente los mismos y provocan problemas de transmisión de información, los paquetes salientes se ven afectados y sufren alteraciones dentro de su trama.
-  Las vibraciones en las estructuras, oscilaciones en los edificios o ráfagas de vientos pueden llegar a desalinearse el rayo de luz, llegando a ocasionar que se generen errores en el medio de transmisión o, en el peor de los casos, pérdida de la señal. Esto puede llegar a suceder principalmente cuando se tienen largos enlaces FSO, ya que pequeñas variaciones angulares en el transmisor, generan grandes desviaciones en el extremo remoto.

Bibliografía

Miller, J., y Friedman, E. (2004) Optical Communications Rules of Thumb, California: McGraw-Hill ©

Kintzig, C., Poulain, G. (2003) Communicating with Smart Objects: Developing Technology for Usable Pervasive Computing Systems, Houston:Prentice Hall

Grupo Editorial Océano. (1995) Diccionario Océano Uno Enciclopédico – Ilustrado, México:Océano Uno.

Schulz, G. (2003) Resilient Storage Networks: Designing Flexible Scalable Data Infrastructures, Houston:Prentice Hall

Pecar, J., Garbin, D. (2004) The New McGraw-Hill Telecom Factbook, California: McGraw-Hill ©

Free Space Optic Organization. (2005). Free Space Optic – Fundamentals Issues. <http://www.freespaceoptic.org> Fecha de acceso: 16 de enero del 2005

Free Space Optic Organization. (2005). Free Space Optic – Requeriments. <http://www.freespaceoptics.org> Fecha de acceso: 07 de enero del 2005

TechNet. (2004). Wireless Technologies. <http://www.technet.com/wireless/fso.shtml>. Fecha de acceso: 22 noviembre de 2004

FSO Tech, 2005, Comparación de costos tecnologías inalámbricas. www.fso-tech.net/costosfso.html, Fecha de acceso: 23 de enero de 2005

TIO –RC, 2004, Curso de Tecnologías Inalámbricas.

<http://www.ti0rc.org/cursoti/cap4.pdf>, Fecha de acceso: 05 de marzo de 2005

New Fusion, 2003, FSO Technicals Details, www.nwfusion.com/details/568.html

Fecha de acceso: 13 de enero de 2005

Colt, 2004, All about FSO,

http://www.colt.net/solutions/white_papers/download_white_paper_free_space_optical_communication_none.pdf, Fecha de acceso: 05 de marzo de 2005

Cable Free Solutions, 2002, Wireless Solutions. www.cablefreesolutions.com/

www.deas.harvard.edu/hbbcl/fsoc.html. Fecha de acceso: 16 de abril de 2005