

# PROPUESTA DE FSO COMO TECNOLOGÍA COMPLEMENTARIA EN LA RED DE ETECSA

**Por:** Ing. Claudia Carballo González, Especialista B en Telemática, Departamento Estructura de la red, Dirección de Planeamiento Estratégico, DCDT, ETECSA.  
*claudia.carballo@etecsa.cu*

## RESUMEN

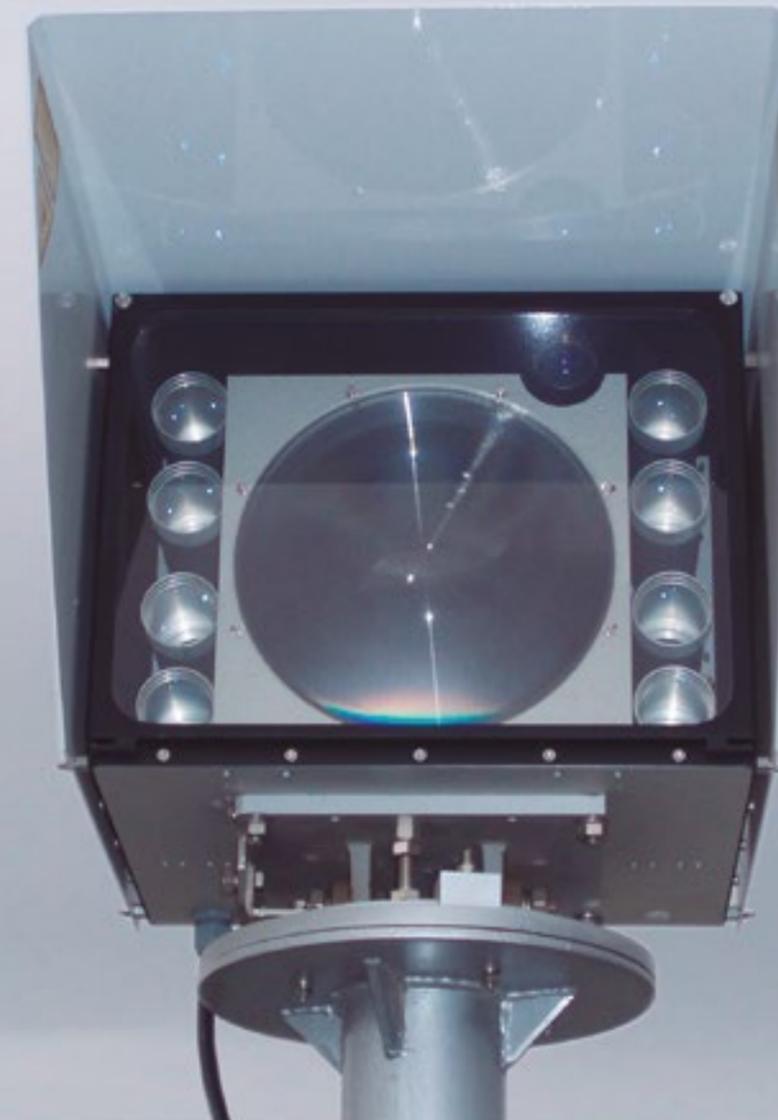
En el presente trabajo se realiza una caracterización de la tecnología óptica en el espacio libre (FSO); se destacan sus ventajas y las numerosas aplicaciones que la hacen atractiva para ser considerada por ETECSA como una tecnología complementaria que dé soporte a los servicios de banda ancha y en situaciones temporales o de recuperación de desastres.

**Palabras clave:** FSO, comunicación inalámbrica, visibilidad directa.

## ABSTRACT

This presentation characterizes the Free Space Optics (FSO), highlighting its advantages and its many applications that leads ETECSA to find it appealing as a complementary technology to provide support to broadband services and in temporary situations or in catastrophes recovering conditions.

**Keywords:** FSO, Wireless Communications, Line of Sight.



## Introducción

La adopción de la banda ancha a nivel global ha revolucionado las comunicaciones, no solo desde el punto de vista del operador para quien representa un negocio lucrativo, sino, sobre todo, para el del usuario, quien puede disfrutar de aplicaciones innovadoras relacionadas con la salud, la educación, el intercambio de información y el entretenimiento. Por tales motivos, la banda ancha se ha situado en el centro de las prioridades de desarrollo y muchos países en el mundo invierten cada año en infraestructuras de comunicaciones de altas capacidades de transmisión, con el propósito de brindar servicios cada vez con más calidad y, de esta forma, obtener una mayor productividad, mejorar la competitividad y alcanzar un mejor nivel de vida.

Cuba está dando los primeros pasos para la implementación de la banda ancha, la cual se ve materializada en la propuesta de una estrategia hasta el año 2020 elaborada por el MINCOM con la participación de otros organismos, donde se refleja la voluntad para desplegar servicios de banda ancha que estimulen el desarrollo económico, político y social del país.

Para alcanzar este propósito hay mucho por hacer, pues actualmente el acceso a Internet y a la red interna cubana está limitado, tanto en velocidad como en accesibilidad, debido a los altos niveles de obsolescencia que tiene la infraestructura tecnológica, en específico la limitada infraestructura IP en las capas de acceso y agregación. Por esta razón, ETECSA, dentro de su plan de desarrollo para el

periodo comprendido entre 2017 y 2022, debe potenciar el despliegue de tecnologías de banda ancha que garantice la introducción de diversos servicios atractivos para la población y para el sector empresarial.

Sin dudas, la tecnología de acceso más atractiva, a partir de las ventajas que presenta, es la fibra óptica, pues mejora la calidad del servicio debido a la inmunidad frente a ruidos electromagnéticos y ofrece mayor ancho de banda con respecto a las tecnologías de banda ancha fija que utilizan par de cobre o cable coaxial. Además, permite la convergencia total de todos los servicios de telecomunicaciones sobre una única infraestructura de acceso basada en IP, con lo que se reducen notablemente los costos de los operadores, que no tienen que instalar y mantener redes de acceso para cada aplicación, lo que puede ser traducido, a mediano plazo, en tarifas más baratas para los usuarios y en servicios más potentes. De igual manera, las tecnologías como GPON presentan un consumo reducido al no tener elementos activos y logran una distancia máxima de 20 km, que es considerablemente mayor que la que permite la tecnología xDSL.

Sin embargo, actualmente en nuestro país no existe una alta disponibilidad de fibra óptica para brindar los servicios de banda ancha. Además, los costos de instalación de la misma son elevados y la obra civil requiere tiempo, debido a la obtención de la mejor ruta y al excavado. Debido a esto, el despliegue de fibra óptica debe realizarse en los lugares donde realmente se justifique la inversión,

los cuales serían en un primer momento los escenarios de alta densidad de tráfico y para el resto de los escenarios se hacen necesarias tecnologías de acceso que, en menor tiempo y con un menor costo de instalación, permitan la oferta de servicios de banda ancha. Asimismo, en los escenarios de alta densidad de tráfico pueden emplearse otras tecnologías de acceso de manera complementaria o con carácter temporal, que garanticen la infraestructura hasta tanto se cuente con la fibra óptica.

Una de las tecnologías a considerar debe ser FSO —*Free Space Optic*—, que provee transmisión de datos a través del espacio libre. En este trabajo de investigación se exponen las características de esta tecnología, sus ventajas y desventajas y se analiza en qué casos es factible utilizarla.

### Características y principio de funcionamiento de FSO

La tecnología FSO tiene el mismo principio de funcionamiento de los sistemas de comunicaciones ópticas por medio de una fibra (Figura 1), excepto que el haz de luz es transmitido a través del espacio libre (Figura 2).

Durante los últimos años esta tecnología ha experimentado un aumento sustancial en cuanto al número de aplicaciones y a la adopción entre los proveedores de servicios en el mundo, debido fundamentalmente a la creciente demanda de conectividad de alta velocidad a un bajo costo y a las dificultades asociadas con el despliegue de redes de fibra óptica.

FSO transmite haces invisibles entre los equipos transmisores y receptores utilizando LEDs de alta potencia o diodos láser en el espectro de los THz, con longitudes de onda que varían de los 750 nm hasta los 1550 nm, y el rango de frecuencias en el que opera es no licenciado. Para una comunicación dúplex se emplean dos haces de luz paralelos (Tx y Rx).

Una característica importante de los sistemas FSO es la transparencia de protocolo, es decir, que puede enviar cualquier tipo de trama independientemente del protocolo que manejen. Esta facilidad logra que la tecnología FSO se acople

a los equipos de red existentes sin necesidad de realizar cambios en los equipos instalados o en los protocolos usados para la información.

Los sistemas comerciales disponibles hoy ofrecen altas capacidades desde 100 Mbps hasta 2,5 Gbps. Las señales de información en formato eléctrico llegan al transmisor donde se deben trasladar al dominio óptico. La modulación que se utiliza se denomina modulación en potencia, con la cual se varía la potencia de la señal óptica de forma que al transmitir un uno lógico la intensidad de la señal es mayor que si se transmite un cero lógico. Con buen tiempo, la potencia usada para transmitir se reduce considerablemente permitiendo mejorar la vida útil del láser. En cambio, en clima adverso, la potencia del láser se aumenta para mantener el enlace óptico.

Es una forma de conexión diseñada para dos puntos que se encuentran en una línea de visión directa —*Line of sight*, (LOS)—. Por tanto, el sistema puede alcanzar las velocidades anteriormente mencionadas en distancias cortas (1 a 2 km) y en dependencia de las condiciones climáticas.

Existen diferentes variantes de arquitectura de FSO:

- Punto a punto: Conexión especializada con mayor ancho de banda, pero es la solución más cara de todas.
- Punto a multipunto: En esta arquitectura un nodo actúa como origen y desde él se crean múltiples enlaces. El método más efectivo consiste en conectar cada enlace FSO a un dispositivo capa 2 o 3 localizado en el edificio. Más barata que la arquitectura punto a punto, pero con menor ancho de banda. Está restringida por límites de potencia impuestos por las autoridades regulatorias. (Figura 3).
- Malla: Compuesta de una serie de nodos interconectados directamente o por una serie de saltos. El beneficio principal es la restauración del servicio por medio de múltiples nodos en la red; sin embargo, la distancia cubierta disminuye. (Figura 4).
- Anillo: Para agregar nodos a la red más fácilmente. Se provee niveles de redundancia al usuario final, basándose en su requerimiento de disponibilidad de servicio. (Figura 5).
- Múltiple punto a punto: Se utiliza en los casos donde se necesite crear un enlace que excede el límite del rango del equipamiento para un enlace óptico. (Figura 6).

### Aplicaciones de FSO

Los sistemas FSO son independientes de protocolos y presenta las siguientes aplicaciones:

- Extensión de un anillo metropolitano ya existente o conexión de nuevas redes (Backhaul 3G/4G y agregación WiFi/WiMax).

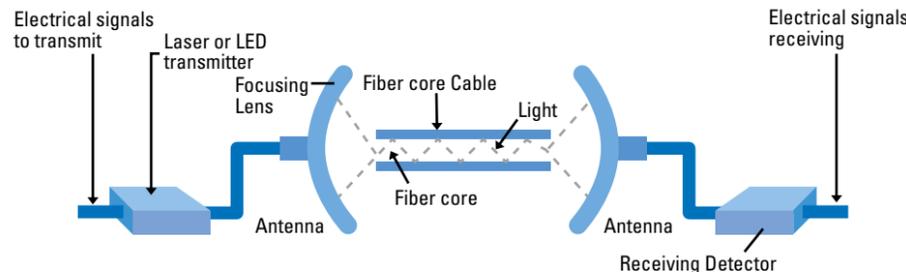


Figura 1. Sistema de comunicación óptica por medio de fibra. Fuente: [2].

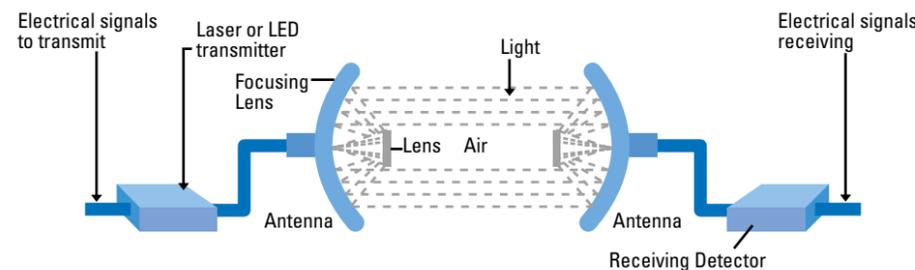


Figura 2. Sistema de comunicación óptica por medio del espacio libre. Fuente: [2].

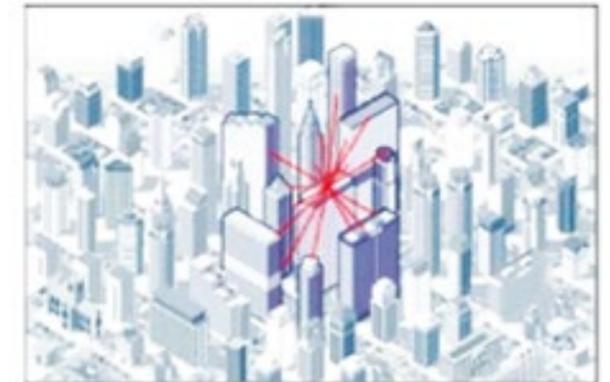


Figura 3. Topología FSO punto a multipunto. Fuente: [3].



Figura 4. Topología FSO malla. Fuente: [3].



Figura 5. Topología FSO anillo. Fuente: [3].



Figura 6. Topología FSO múltiple punto a punto. Fuente: [3].

- Conectividad entre LANs dentro de instituciones universitarias, empresas, centros deportivos, entre otros.
- Conexión de última milla, la cual se puede desplegar en arquitectura punto a punto, punto a multipunto, anillo o malla.
- Respaldo de fibra (enlaces redundantes, en lugar de utilizar un segundo enlace de fibra).
- Conexión temporal en ferias, presentaciones, en situaciones de emergencia, entre otros.

### Ventajas del sistema FSO

El sistema FSO presenta las siguientes ventajas:

- Menores costo y plazo de instalación.
- Movilidad de la instalación y fácil mantenimiento.
- Alta tasa de transmisión.
- Utiliza un espectro no licenciado e inmune a los campos electromagnéticos.
- Transparencia en el protocolo utilizado.

Además, es importante destacar la alta seguridad del sistema FSO, razón por la cual las organizaciones gubernamentales y militares fueron las primeras en utilizar dicha tecnología. Su fortaleza en cuestiones de seguridad deriva de un flujo óptico altamente direccional y limitado a un pequeño diámetro del haz. Un transmisor convenientemente diseñado puede tener una divergencia del haz de tan solo un miliradián sin lóbulos laterales, lo que brinda extrema seguridad y es 17,5 veces más estrecho que el de un sistema de RF. Los sistemas SONAbeamTM de señal fija tienen una anchura de haz de 2 miliradianes, la cual es considerablemente más estrecha que los sistemas de RF. El pequeño ángulo de apertura del haz es una de las razones de que

sea extremadamente difícil interceptar la comunicación, y la única manera de hacerlo es colocar un receptor dentro del camino del haz (figura 7), el cual sería detectado por la pérdida anómala de potencia en el receptor, lo que activaría una alarma en el centro de operaciones de red del proveedor. El software SONAbeamTM NMS tiene esta capacidad [4].

### Desventajas del sistema FSO

El sistema FSO presenta las siguientes desventajas:

- Vulnerable a los efectos atmosféricos tales como la lluvia y la neblina (pequeñas gotas de agua de diámetro similar a la longitud de onda de la señal enviada), lo cual puede reducir la disponibilidad de los sistemas FSO e introducir exceso de errores con la atenuación de la potencia de la señal.
- En el proceso de transmisión, las señales que portan la información se contaminan con ruido. Este es generado por los diferentes fenómenos naturales y provoca errores en la transmisión así como pérdida en la amplitud de la señal, es por ello que se hace necesario realizar un análisis para predecir sus efectos en enlaces FSO a fin de estudiar las posibles fallas en la transmisión.

En el caso de la neblina, los valores de atenuación molecular se incrementan de acuerdo a la distancia que recorren los enlaces inalámbricos ópticos; y están en relación del coeficiente de dispersión, el mismo que depende de las condiciones climáticas del sector en el que se quiera establecer el sistema FSO.

- El reducido ancho del haz del láser puede dificultar el apunte direccional inicial entre el transmisor y el receptor, así como el mantenimiento del mismo.

Se requiere visibilidad directa para la comunicación entre el Tx y el Rx (corto alcance de 1 km).

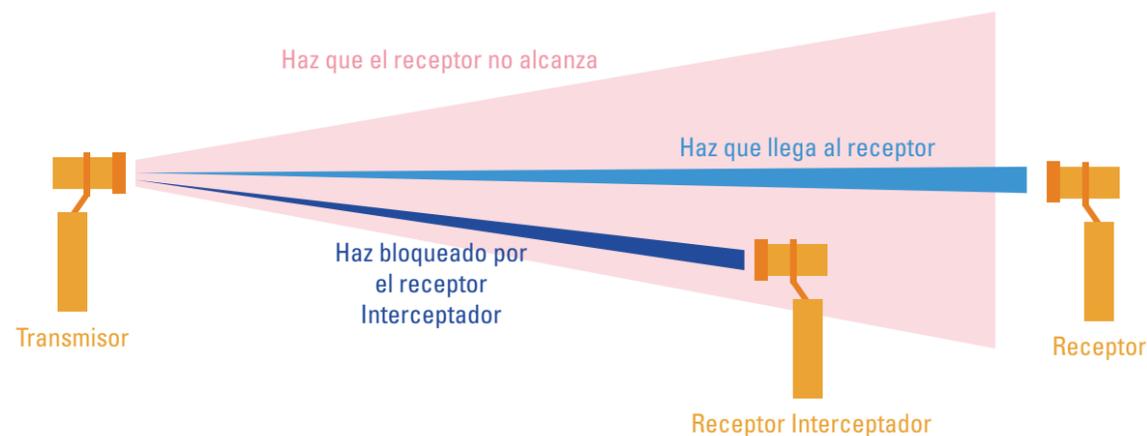


Figura 7. Haz bloqueado en un sistema FSO. Fuente: [5].

### Diseño de un sistema FSO

Considerando las características anteriormente planteadas, es necesario tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema FSO los siguientes aspectos:

Elegir un emplazamiento adecuado que garantice la visibilidad directa. Para ello es necesario caracterizar el trayecto, evitándose los obstáculos físicos entre el transmisor y el receptor. Se debe tener en cuenta el crecimiento de árboles, los vientos, la topografía y el tipo de superficie. Además, el lugar donde se instalen los equipos debe tener acceso restringido. Pensar en soluciones tanto *outdoors* como *indoors*, ya que estos equipos pueden trabajar a través de una ventana.

¿Realizar un correcto? del montaje, debido a que los sistemas FSO emplean anchos de haz estrechos y, en consecuencia, el alineamiento preciso entre transmisor y receptor se vuelve crítico. Cualquier desalineamiento puede conducir a una pérdida significativa de la señal, por lo que se recomienda realizar un montaje directo en un muro sólido o en la parte superior de una columna. De esta forma se minimiza el movimiento resultante de un aumento térmico diferencial o de las sacudidas provocadas por el viento.

Ciertos dispositivos FSO tienen sistemas activos de alineación y se emplean, especialmente, en implementaciones donde la armazón no es muy firme o si los alcances son muy largos.

Garantizar la limpieza del equipamiento, pues la parte óptica está sujeta a suciedad debida, principalmente, al rocío y al polvo.

Elegir la longitud de onda a emplear. Los sistemas FSO disponibles en el mercado operan en longitudes de onda cercanas a los 800 nm y a los 1550 nm. Los más adecuados son los que emplean los 1550 nm, debido a la seguridad para la visión humana, la radiación solar reducida y la compatibilidad con la infraestructura de tecnología existente (componentes pasivos, láser, moduladores, amplificadores ópticos, y receptores foto detectores).

El láser que opera en el rango de los 400 a los 1400 nm emite luz que pasa a través de la córnea y se enfoca en un punto de la retina, mientras que las longitudes de onda superiores a 1400 nm son absorbidos por la córnea y no se enfocan en la retina. Además, la potencia de transmisión de los dispositivos que trabajan a 1550 nm es cincuenta veces mayor que los de 850 nm, cumpliendo adicionalmente los estándares de seguridad [6].

Elegir el detector óptico, que puede ser de dos tipos: PIN (Positivo – Intrínseco – Negativo) y APD (Fotodiodo de avalancha). El primero es un detector de bajo costo que

no tiene ganancia interna; sin embargo, el segundo es más caro, pero más sensible porque tiene ganancia interna.

Analizar las condiciones meteorológicas, en específico del lugar donde se instalará el sistema, teniendo en cuenta las repercusiones de la lluvia, la niebla y el polvo, que propiciarán la absorción y dispersión de la señal transmitida.

Atenuación geométrica. Aún en condiciones de tiempo despejado, el haz diverge y, por consiguiente, el detector recibe menos potencia de la señal. La atenuación provocada por la dispersión del haz de transmisión cuando aumenta el alcance se denomina atenuación geométrica y se expresa mediante la ecuación: [7]

$$A_{geo} \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{S_d}{S_{captura}} \right) \quad (1)$$

donde:

$S_{captura}$ : superficie de captura del receptor ( $m^2$ )

$S_d$ : superficie del haz de transmisión a la distancia  $d$ , que se aproxima mediante:

$$S_d = \frac{\pi}{4} (d \cdot \theta)^2 \quad (2)$$

siendo  $\theta$  la divergencia del haz (mrad) y  $d$  la distancia entre transmisor y receptor (km).

En los casos en los que la  $S_{captura}$  sea mayor que  $S_d$ , el valor de  $A_{geo}$  debe fijarse a cero.

Atenuación atmosférica específica  $\gamma_{atmo}$ , que se expresa:

$$\gamma_{atmo} \text{ (dB/km)} = \gamma_{tiempo\_despejado} + \gamma_{exceso} \quad (3)$$

donde:

$\gamma_{tiempo\_despejado}$  es la atenuación específica en condiciones de tiempo despejado (debida a la presencia de moléculas gaseosas  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ , entre otras).

Normalmente, las longitudes de onda del láser se seleccionan de modo que caigan dentro de las ventanas de transmisión atmosférica, a fin de que el valor de  $\gamma_{tiempo\_despejado}$  sea despreciable. Por lo general, las longitudes de onda que se emplean en los sistemas FSO están próximas a 690, 780, 850 y 1 550 nm. No obstante, en comparación con escenarios suburbanos con escasa contaminación, las aplicaciones en zonas urbanas con un mayor contenido de gases podrían tener más ventajas con una longitud de onda diferente.

$\gamma_{exceso}$  es la atenuación provocada por la presencia ocasional de niebla, llovizna, lluvia, nieve, granizo, entre otros.



Muestra del Desarrollo de los Transmisores FSO.

La atmósfera es un medio de transmisión que varía en el tiempo y, en consecuencia,  $\gamma_{atmo}$  es un proceso estocástico. No obstante, para el diseño del sistema FSO estos efectos se tratan, por lo general, estadísticamente.

Por tanto, el margen del enlace  $M_{enlace}$  representa la atenuación que puede tolerar el sistema a una determinada distancia, siendo la ecuación que lo caracteriza:

$$M_{enlace} \text{ (dBm)} = P_e - S_r - A_{sistema} - A_{geo} - \gamma_{atmo} \cdot d \quad (4)$$

siendo:

$P_e$  (dBm): potencia total del transmisor

$S_r$  (dBm): sensibilidad del receptor

$A_{sistema}$  (dB): representa otras pérdidas del sistema, entre las que se destacan las relacionadas al desalineamiento del enlace, las pérdidas ópticas del receptor, las pérdidas por fluctuación lenta del haz y la atenuación provocada por la luz ambiente (radiación solar).

Es importante destacar que a una menor distancia ( $d$ ) entre el transmisor y el receptor, el margen del enlace ( $M_{enlace}$ ) es mayor, lo que permite contrarrestar las condiciones meteorológicas adversas. Por tanto, es de vital importancia realizar un diseño apropiado de la red, teniendo en cuenta los factores anteriormente descritos.

### Casos de posible utilización en la red de telecomunicaciones de ETECSA

La red de cobre se encuentra deteriorada y en muchos casos es rígida, lo cual limita la escalabilidad de los servicios. El despliegue de fibra óptica es aún incipiente para soportar los servicios de banda ancha y su instalación es costosa y toma tiempo.

Ante esta situación se requiere de tecnologías complementarias que permitan, con carácter temporal o no, la oferta de servicios de banda ancha. Se considera que ETECSA debería introducir FSO en los siguientes escenarios:

- Instalación con carácter temporal para eventos, convenciones, conciertos, en lugares como el Palacio de Convenciones, la Plaza de la Revolución, entre otros. Esto permite un montaje rápido y sencillo del equipamiento, entregando altas velocidades de transmisión de datos y con alta seguridad en comparación con otros sistemas inalámbricos.
- Recuperación de desastres, garantizando un servicio en tiempo breve, mientras se restablece la red afectada. Debido a que nuestro país sufre de embates meteorológicos como son los ciclones y huracanes, la fibra óptica o las

antenas de RF (2G/3G/LTE) y WiFi pueden verse afectados, por lo que se requiere de la tecnología FSO para garantizar la continuidad del servicio.

- Respaldo de la fibra óptica como un enlace redundante. En caso de fallas, la ruta alternativa sería asumida por enlaces FSO garantizando alta disponibilidad del servicio.

- Interconexión de LANs para la comunicación entre edificios, siempre que se cumpla la visibilidad directa. Con esto se logra un enlace seguro de alta capacidad para la transmisión de voz, datos y video.

### Conclusiones

La tecnología FSO debe ser considerada en ETECSA por sus numerosas aplicaciones, sobre todo para instalaciones temporales y de emergencia, debido a su rápido despliegue, movilidad y menor costo de instalación que la fibra óptica. Es un sistema que alcanza altas tasas de bits, utiliza un espectro no licenciado y presenta gran seguridad, debido al pequeño diámetro del haz. Debe ser diseñado teniendo en cuenta el escenario donde se desea instalar, las condiciones atmosféricas, entre otros factores que pueden limitar su disponibilidad y alcance, el cual debe ser aproximadamente de 1 km.

### Referencias bibliográficas

- [1] UIT. *Agenda Conectar 2020*, 2014. Available from: [www.uit.org](http://www.uit.org)
- [2] Guzmán, J.J., *Óptica de espacio libre*, 2002, Universidad Nacional del Comahue: Argentina
- Trivedi, B., *FSO (Free Space Optics)*, 2013
- [3] Serrano, J.C.S., *Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO): Fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación*, en sistema de posgrado maestría en telecomunicaciones, 2014, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- [4] SONA Optical Wireless. Available from: <http://provee/fSONA/Products.htm>
- [5] Free-Space Optics: A Viable, Secure Last-Mile Solution?, 2002, SANS Institute InfoSec Reading Room Quiroz, L.A., N. Moreno, and N.E. Vera. *Modelo para una Red Híbrida Óptica Inalámbrica*. 2012
- [6] Kaur, G., H. Singh, and A.S. Sappal, *Free Space Optical Using Different Modulation Techniques – A Review*. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2017
- [7] Caizaluisa, E.J.C., *Diseño de una red con tecnología laser Free Space Optics (FSO), para el campus de la Escuela Politécnica Nacional y su comparación con la red de fibra óptica.*, 2008, Escuela Politécnica Nacional: Quito, Ecuador.
- [8] LightPointe Communications, I. LIGHTPOINTE. Available from: [www.lightpointe.com](http://www.lightpointe.com)
- [9] MOSTCOM, C. *Free Space Optics Equipment*.
- [10] Trimble Free Space Optics Communications. Available from: <https://novotech.com/Products/point-to-point-communications/free-space-optics>

(Artículo recibido en febrero de 2017 y aprobado en abril de 2017)

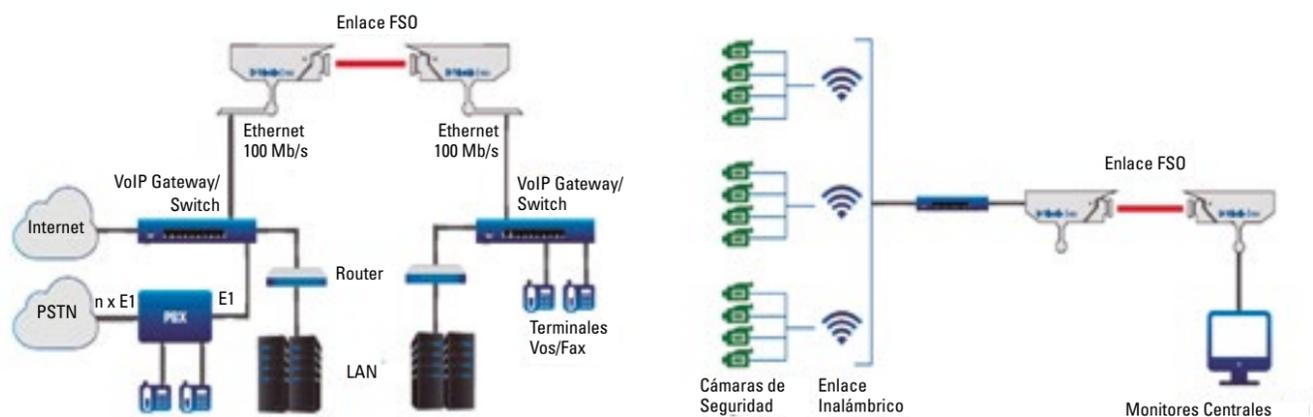


Figura 8. Arquitectura FSO para la transmisión de video, voz y datos. Fuente: Elaboración propia.