

RED DE ACCESO CON SISTEMAS OPTICOS DE ESPACIOLIBRE EN CIEGO DE AVILA

ACCESS NETWORK WITH OPTICAL SPACE SYSTEMS IN CIEGO DE AVILA

Autores: Ing. Raly Martínez Porra
Msc. Reynaldo Castillo Prades
Msc. Rolando Sosa Ybarra

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez

Correo electrónico: raly@unica.cu

RESUMEN

Ante la creciente demanda de ancho de banda y la exigencia más fuerte de las aplicaciones orientadas al Web, es necesario desarrollar tecnologías que permitan entregarle a distintos clientes, conexiones dedicadas de alta velocidad y a precios razonables. Existen tecnologías de acceso para cubrir estas necesidades: las cableadas y las inalámbricas. Ambas proporcionan velocidades muchas veces superiores a las de los módems convencionales o a las líneas Integrated Services Digital Network. En este trabajo se analiza la demanda de telecomunicaciones de un sector de la sociedad cubana, lo que no implica que la solución final no se pueda aplicar a cualquier sector, se hace referencia a las distintas tecnologías de acceso de banda ancha actuales y se escogió la tecnología de acceso free-space optical, por sus ventajas con respecto a otras. Se presenta una estructura de red para dar respuesta a las demandas de velocidad del sector, además del equipamiento para el correcto funcionamiento. El diseño especifica con tablas, esquemas y mapas, la ubicación de los principales componentes de la red, así como las rutas de haces para la futura implementación del proyecto, cálculos teóricos de los enlaces y una simulación mediante el software OptiSystem 7.0 donde se demostró la factibilidad técnica del proyecto.

Palabras clave: Tecnologías, Conexión, Telecomunicaciones.

ABSTRACT

Before the growing demand of wide of band and the strongest demand in the applications guided the Web, is necessary to develop technologies that allow different clients to give, dedicated high-speed connections and at reasonable prices. Access technologies exist to cover these necessities: those wired and the wireless ones. Both provide speeds many times superior to those of the conventional modems or the lines Integrated Digital Services Network. In this work the demand of telecommunications of a sector of the Cuban society is analyzed, what doesn't imply that the final solutions you cannot apply to any sector, the different technologies of access of wide band were studied and the access technology FSO was chosen, for their advantages with regard to other. Shows up a net structure to give answer to the demands of speed of the sector, besides the necessary equipment for the correct operation. The design specifies, with charts, outlines and maps, the location of the main components of the net as well as the routes of faces for the future implementation of the project, were also carried out traffic studies, theoretical calculations of the links and a mediating simulation the software OptiSystem 7.0 where the technical feasibility of the project was demonstrated.

Keywords: Technologies, Connection, Telecommunications.

INTRODUCCIÓN

La competitividad de una empresa de telecomunicaciones depende fundamentalmente de la productividad con que gerencia sus recursos tecnológicos, materiales y financieros, como también de la eficiencia de sus procesos (es decir su nivel de calidad, su velocidad de producción y su flexibilidad o adaptabilidad a los cambios del entorno). Por esta razón se determina que el uso eficiente de la tecnología la convierte en una ventaja competitiva de la empresa, siempre y cuando el talento humano la sepa asimilar y utilizar. Por tal motivo se buscan estrategias que les permitan integrar sus diferentes tecnologías de red en una sola infraestructura. En otras palabras, exploran la posibilidad de la convergencia: incluir en una sola infraestructura sus redes de datos, voz y video. El avance de la tecnología, hace posible que toda clase de información tratase de datos, voz, audio o video sea digitalizada y

enviada por diversos canales o bien recibida a través de cualquier dispositivo en cualquier sitio, a cualquier hora y en cualquier lugar. (Carson, 2007).

En los últimos años las redes inalámbricas se han convertido en una de las herramientas más versátiles de la tecnología actual, teniendo campo de aplicación en diversos sectores del mercado por su adaptabilidad y eficiencia. Esta herramienta tecnológica tiene aplicación tanto en hospitales, hoteles, fabricas, como áreas académicas, e institucionales, en situaciones de desastres, permitiéndole a sus usuarios acceder de manera rápida y oportuna a la información sin necesidad de estar físicamente en un sólo sitio, ofreciendo gran flexibilidad e incrementando la productividad y eficacia en los procesos. (Breve ingeniería, 2007).

Dentro de este contexto, la empresa de telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) debe prepararse constantemente para afrontar los retos predominantes en el entorno social, económico y tecnológico, siendo este último vital para el desarrollo en la gestión de los procesos, lo que les permite anticiparse para abordar nuevos escenarios en el marco de sus responsabilidades y obligaciones con el país. En los casos de las instalaciones hoteleras, hospitalarias, administrativas, de gobierno y de cualquier otro tipo, el desarrollo tecnológico se traduce en una ventaja competitiva importante y decisiva para su gestión ya que en las últimas décadas va en aumento el nivel de exigencia y de prestación de servicios. (Activo vs Pasivo, 2007).

En el municipio Ciego de Ávila, de la provincia de igual nombre, existen instituciones hoteleras, hospitalarias, administrativas y de gobierno que requieren de servicios de banda ancha, la gran mayoría no posee estos servicios, o en el mejor de los casos, las tecnologías en uso no tienen el ancho de banda requerido, haciendo difícil lograr el máximo desempeño de los servicios de telecomunicaciones para todas las instalaciones.

Estas instituciones deben conectarse con soportes de gran ancho de banda, como las tecnologías ópticas, pero normalmente en las zonas densamente pobladas el cable de fibra óptica como una de estas tecnologías no llega por la ubicación geográfica de la edificación o por carecer de infraestructura de telecomunicaciones.

El objetivo general de la investigación es proponer un sistema óptico de espacio libre como red de acceso a instalaciones en zonas densamente pobladas de la ciudad de Ciego de Ávila, que contribuya a mejorar la calidad del servicio de telecomunicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Distancias entre las Edificaciones de la Ciudad Ciego de Ávila

Para la realización del diseño general de la red inalámbrica óptica laser se requiere conocer en primera instancia las distancias en metros existentes entre las diferentes edificaciones al Centro Telefónico (CT), las cuales permiten determinar el tipo de equipo láser que cubra las necesidades del diseño a realizar según Tabla 1

Organismo	Distancia al Centro Telefónico
Hotel Ciego de Ávila	1017,83 mts
Hotel Santiago Habana	80,41 mts
Hospital Provincial	875,97 mts
Escuela de Medicina	2574,31 mts
Almacenes Universales	3376,26 mts
Centro de Televisión	3074,12 mts

Tabla 1.: Distancias desde el CT.

Diseño de la Red Inalámbrica Óptica

En la figura 1 se detallan las distancias en línea recta o línea de vista a cada edificación desde el CT, lugar donde cada equipo debe montarse en una posición que permita línea de vista con el otro extremo, para lograr esto se debe subir al lugar en la azotea del edificio donde se colocará el terminal FSO y con binoculares lograr ver el otro lugar en el edificio distante donde se colocara el otro terminal y que además no existan posibles construcciones o desarrollo de la vegetación en el futuro que puedan obstruir el enlace. Las condiciones climáticas de la ciudad permiten el despliegue de esta tecnología, los niveles de lluvia no son elevados y la cantidad de niebla es leve, por lo que la atenuación por estos factores está en el rango de los 2,9 a 1,03 dB/km y la visibilidad alcanza los 10 km. El enlace Centro de Comunicaciones-Escuela de Medicina se modifica por

dos razones de peso: la primera por estar en la dirección este-oeste, esto implica perturbaciones en el enlace por saturación de los receptores por efectos del sol, y la segunda es que el enlace es el más largo y se necesita más potencia para alcanzar el receptor.

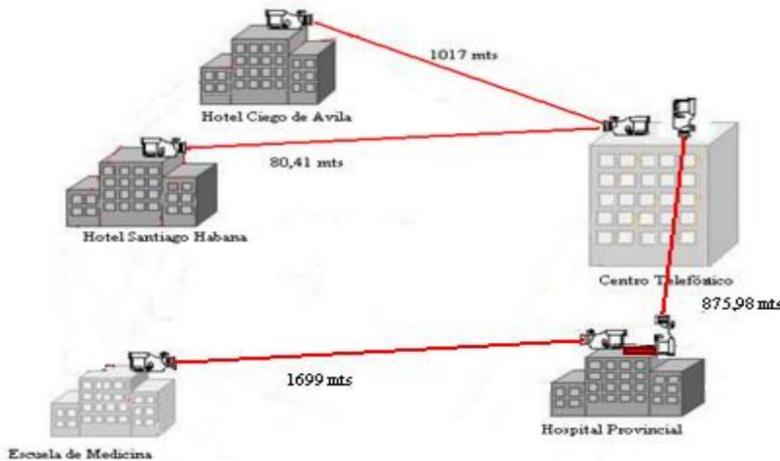


Figura 1: Distancias desde el CT a los edificios.

Efectuado un acercamiento, en cuanto a la estructura de conexión punto a punto de los equipos ópticos, se podrá visualizar que cada equipo óptico se conecta a través de fibra óptica, en el extremo del cliente se conecta al punto de red existente por medio de la interface con que cuenta el cliente, puede ser con un convertidor (Transceiver) de Fibra Óptica a RJ45 y viceversa o solo con RJ45 al conmutador existente, según se muestra en la figura 2, en el caso del lado de la Central Telefónica se conecta a la red de transporte, en el punto intermedio, donde se le da continuidad al enlace se debe utilizar un convertidor con interfaces ópticas hacia los equipos ópticos e interface Ethernet hacia la red LAN del cliente.

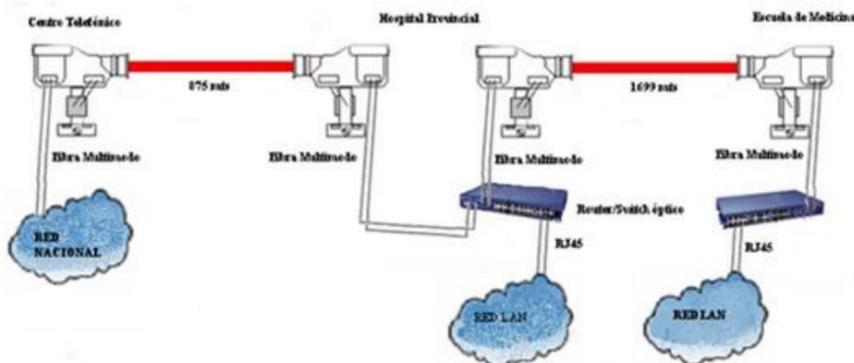


Figura 2: Esquema de conexión equipo ópticos.

Partes del sistema y sus características

El sistema de red óptica inalámbrica está compuesta por tres partes bien diferenciadas, las cuales constan de: el medio ambiente, el cual juega un papel decisivo al momento del diseño, el sistema de haces de luz y por último pero no menos importante el sistema de alimentación. En primer lugar tenemos el medio ambiente, el cual cumple un papel decisivo, debido a que este es uno de los elementos más vulnerables del sistema dado que es el que brinda la mayor interferencia que puede sufrir la red. En medios demasiados agrestes, el sistema puede llegar a colapsar y la comunicación queda totalmente interrumpida. Por esta razón tenemos que conocer las características fundamentales de la tecnología para luego poder hacer un cálculo efectivo del enlace.

Ecuación del enlace FSO

La ecuación del enlace para un sistema FSO es muy simple a un alto nivel, al dejar fuera de consideración la eficiencia óptica, detectores de ruido. La cantidad de potencia recibida es proporcional a la cantidad de potencia transmitida y del área de la apertura de recepción. Es inversamente proporcional al cuadrado de la divergencia del haz y al cuadrado de la distancia del enlace. También es inversamente proporcional al exponencial del producto del coeficiente de atenuación atmosférica por la distancia del enlace. (Caizaluiza, 2008)

$$Pr = Ptrans - \frac{Ar}{(Div.R)^2} \cdot e^{(-\alpha,R)} \quad \text{Fórmula1}$$

Donde: Ar = área de recepción, α = coeficiente de atenuación atmosférica (1/km)

Div = divergencia del haz, R= distancia

Observando esta ecuación, las variables que se pueden controlar son: la potencia transmitida, el tamaño de la apertura de recepción, divergencia del haz, y la distancia del enlace. El coeficiente de atenuación atmosférica es incontrolable en un ambiente de exterior y es independiente de la longitud de onda en condiciones de atenuación demasiado pesadas.

Margen de enlace

Básicamente, es la cantidad de luz recibida por un receptor por encima o por debajo del nivel requerido para mantener el enlace activo. Este márgenes medido usualmente en decibeles.

$dB = 10 \cdot \log (\text{Potencia}/\text{Potencia mínima})$

Algunos fabricantes ofrecen mejorar el margen del enlace mediante transmisores capaces de emitir una potencia considerablemente mayor que la usada comúnmente. Así como el uso de varios láseres para incrementar el nivel de potencia y a la vez proveer cierto nivel de redundancia. (Caizaluiza, 2008)

La potencia recibida por un terminal en un extremo de un enlace FSO puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$P_r = P_{transm} \cdot \frac{L \cdot d_r^2}{\theta^2 \cdot R^2 \cdot 10^6} \cdot 10^{(-\alpha \cdot R/10)} \quad \text{Fórmula 2}$$

Donde: P = potencia (mW), L = pérdidas ópticas en transmisión y recepción (%/100), d_r = diámetro de apertura del receptor (m), θ =divergencia del haz (radianes)' R = distancia (km), α = Atenuación atmosférica (dB/km)

La relación entre la potencia recibida y la mínima requerida por la sensibilidad del receptor expresada en dB es el margen del enlace.

$$\text{Margen de enlace} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_r}{S} \right) \quad \text{Fórmula 3}$$

Se puede observar en las ecuaciones que el margen del enlace es una función bastante compleja de la distancia del enlace y de la atenuación atmosférica. De cualquier forma, esta dependencia específica de las condiciones del enlace, se puede separar de los parámetros que corresponden propiamente a los equipos del sistema FSO.

Distancia de transmisión

La tecnología FSO es aplicable en casos en los que la distancia a cubrir por el enlace es de algunas cuerdas o bien de hasta algunos pocos kilómetros (4 o 5). Esta limitante es debida a aspectos tales como la atenuación atmosférica, la sensibilidad del receptor, el ángulo de divergencia. A distancias mayores, la importancia de estos factores, provocaría verdaderas dificultades al sistema a pesar de que entre los dos puntos exista una clara línea de vista. (Ramírez, 2010) En el proceso de planeación de un sistema FSO, se recomienda que alguien revise la tabla de niebla de la ciudad y la distancia estimada de la conexión. Las especificaciones del producto hechas por el fabricante, deben ser usadas para asegurarse que el producto se desempeñara de una manera satisfactoria. Otro factor relacionado con la limitación de la distancia de las conexiones es la

atmósfera en sí. Se deben hacer cálculos para determinar la cantidad del margen del enlace dedicada a la atenuación por niebla y finalmente se determina la longitud máxima del enlace, según la ecuación:

$$Longitud(km) = \frac{Margen\ del\ enlace(db)}{Atenuación\ por\ niebla(db/(km))} \quad \text{Fórmula 4}$$

Factores a considerar en el enlace FSO

Al evaluar el desempeño de un sistema FSO, es importante tomar en cuenta varios parámetros del mismo. En general se les puede dividir en dos categorías: Parámetros internos y externos. Los parámetros internos se relacionan con el diseño del sistema e incluyen la potencia óptica, longitud de onda, ancho de banda, ángulo de divergencia, y pérdida óptica en la transmisión y sensibilidad del receptor, tasa de bits errados (BER), diámetro del lente receptor y campo de vista del receptor. Los parámetros externos se relacionan con el ambiente en el que el sistema debe operar e incluyen la visibilidad y la atenuación atmosférica, centelleo, distancia, pérdida de ventana y pérdida de dirección. Es importante entender que varios de estos parámetros no son independientes sino se encuentran ligados en el desempeño global del sistema. (Cuenca, 2009). En cualquier sistema FSO existen parámetros fundamentales que determinan la cantidad de luz que llega de un extremo al otro y por lo tanto el desempeño del sistema. A continuación se muestran algunos de estos factores:

1. Pérdidas ópticas

Es importante el diseño de un sistema óptico de transmisor-receptor muy eficiente. Las mayores fuentes de pérdidas ópticas son las pérdidas de inserción, los lentes, geométricas, atmosféricas y de propagación. Las pérdidas geométricas ocurren debido a la divergencia del haz. Estas pérdidas pueden ser calculadas usando la siguiente fórmula. (Mecherle, 2007)

$$\frac{A_R}{A_B} = \left(\frac{D_R}{D_T + 100 \cdot d \cdot \theta} \right)^2 \quad \text{Fórmula 5}$$

2. Longitud de onda

La longitud de onda a la que se opera también contribuye con el desempeño del receptor. Es generalmente cierto que fotodiodos de mayor calidad logran comparable eficiencia tanto en 800 nm como en 1550 nm. Las longitudes de

onda mayores tienen ventaja en el receptor debido a su menor energía fotónica. Un fotón de 1550 nm tiene la mitad de la energía de uno de 800nm. Debido a esto por la misma cantidad de energía, un haz de luz de 1550 nm tiene el doble de fotones que uno de 800 nm. Esto resulta en el doble de foto electrones creando corriente en el fotodiodo del receptor. Es de notar que los límites de seguridad para la vista varían de acuerdo con la longitud de onda. Los equipos ópticos inalámbricos que se encuentran actualmente en el mercado pueden ser clasificados en 2 grandes categorías. (Revista de las conexiones de red ópticas, 2003)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Simulación de la nueva red inalámbrica óptica

A partir del diseño de la Nueva Red Inalámbrica Óptica figura 2, se genera el siguiente modelo lógico en el simulador óptico:

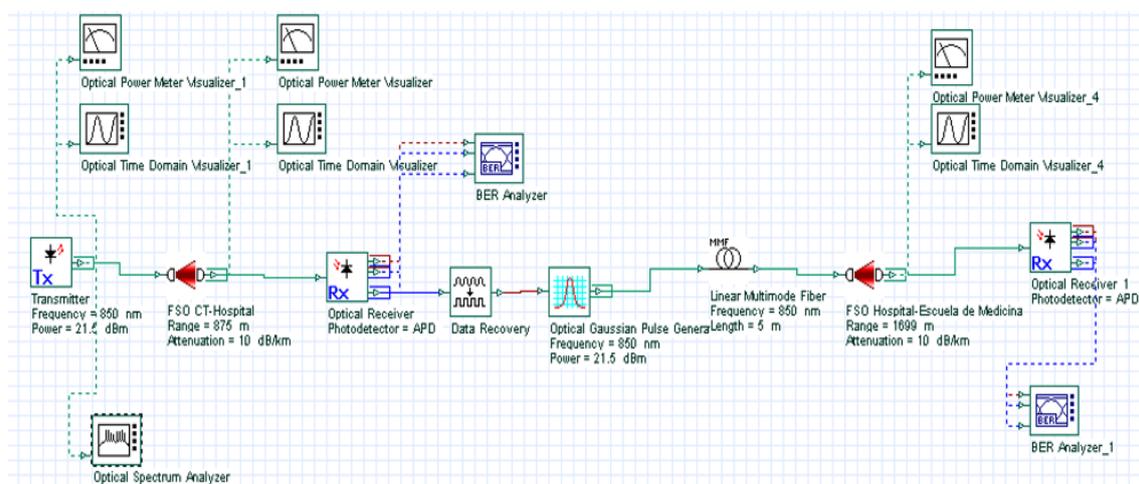


Figura 3: Parámetros para el cálculo de la potencia recibida. Fuente: Simulación Optiwave.

Este sistema trabaja en un régimen binario de 1,25 Gbits/s. Se puede apreciar que existen dos enlaces ópticos, en los cuales se emplea equipos ópticos transmisores y receptores, en el primer enlace (Centro Telefónico-Hospital) estos equipos se encuentran a 875 metros de distancia, mientras que en el segundo enlace (Hospital-Escuela de Medicina) se encuentra a 1699 metros. El transmisor óptico trabaja con una frecuencia de 850 nm y una potencia de emisión 141 mW o 21,5 dBm, esta transmisión se realiza a través del

componente FSO, en el cual se establece el rango de distancia entre el emisor y el receptor y la atenuación que varía de acuerdo al tipo de clima en el cual se va a implantar el enlace, para nuestro estudio se ha establecido el valor de 3dB/km, el mismo que refleja un clima de pocas lluvias, con niebla ligera. Como podemos apreciar la atenuación que se aplica es la más alta para niebla ligera, lo cual indica que pueda existir una considerable pérdida de potencia y pérdida de información. El receptor está basado en un foto detector APD, el mismo que genera una señal eléctrica. Todos los valores de los parámetros que se especifican tanto en el transmisor, receptor y equipo láser han sido extraídos de las características del dispositivo comercial del proveedor seleccionado. En el esquema se pueden ver elementos para visualización de señales eléctricas, ópticas, medidores de nivel de potencia, analizador de espectros.

Resultado de la simulación de la red inalámbrica óptica

Componentes de visualización

Medidor óptico de potencia

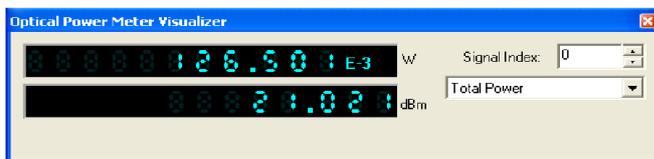


Figura 4: Resultado del medidor óptico en el transmisor. Fuente: Simulación Optiwave

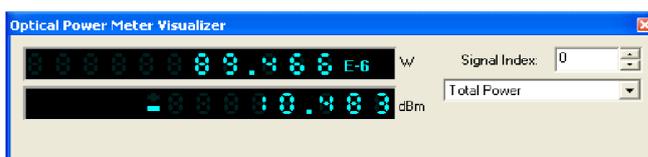


Figura 5: Resultado del medidor óptico en el receptor 1. Fuente: Simulación Optiwave



Figura 6: Resultado del medidor óptico en el receptor 2. Fuente: Simulación Optiwave.

Como se puede apreciar en la figura 4 la potencia final de salida que emite el transmisor óptico es de 126,5 mW, esta potencia tiende a disminuir por factores como ruido, atenuación, frecuencia utilizada.

En el receptor del primer enlace según figura 5 se recibe 89,46 mW, este nivel de señal está afectado por la atenuación del enlace y los demás parámetros que de forma natural se encuentran en el trayecto del láser.

En la figura 6 se observa el nivel recibido en el receptor del segundo enlace, 7,47 μ W suficientes para garantizar un enlace con una tasa de error de bit superior a $1 \cdot 10^{-12}$.

Analizador óptico de espectros

Muestra en una escala logarítmica la señal de poder, originada por el transmisor óptico en el dominio de frecuencia.

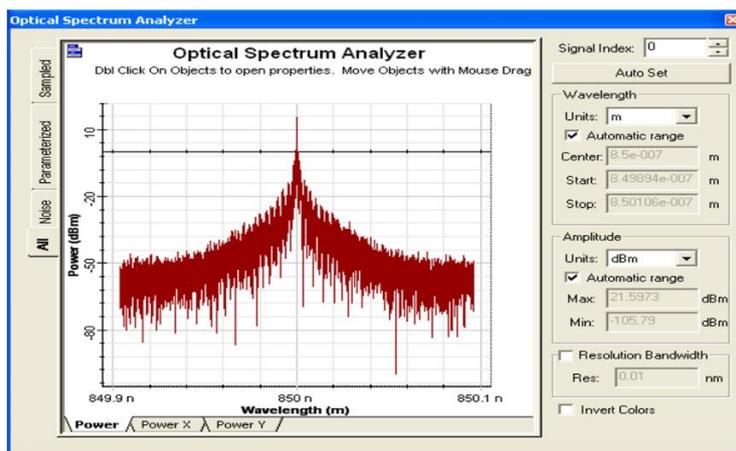


Figura 7: Resultado obtenidos por el analizador de espectros. Fuente: Simulación Optiwave

Se muestra los efectos de degradación de la transmisión al incrementar el valor de la atenuación, en las siguientes figuras:

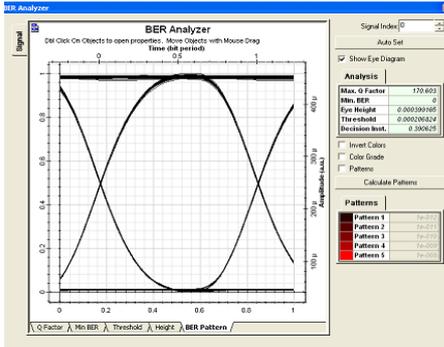


Figura 8: Resultados obtenidos por el BER (3 dB/km). Fuente: Simulación Optiwave.

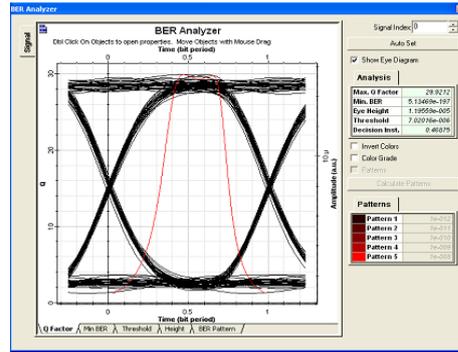


Figura 11: Resultados obtenidos por el BER (29 dB/km). Fuente: Simulación Optiwave.

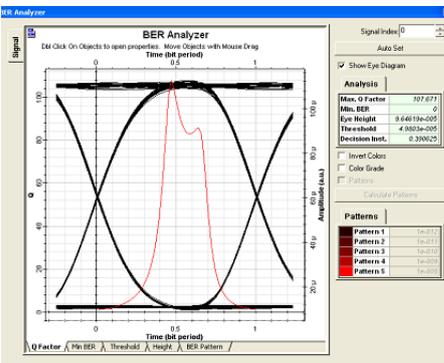


Figura 10: Resultados obtenidos por el BER (10 dB/km). Fuente: Simulación Optiwave.

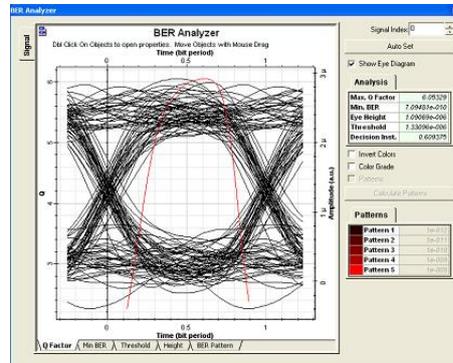


Figura 9: Resultados obtenidos por el BER (20 dB/km). Fuente: Simulación Optiwave.

Según los gráficos establecidos y la determinación de la relación S/N, se concluye que mientras existe un aumento en el valor de la relación, se reduce el BER, a mayor valor en decibeles en la relación S/N, mejor calidad de la señal y menor ruido.

Monitoreo de la señal óptica

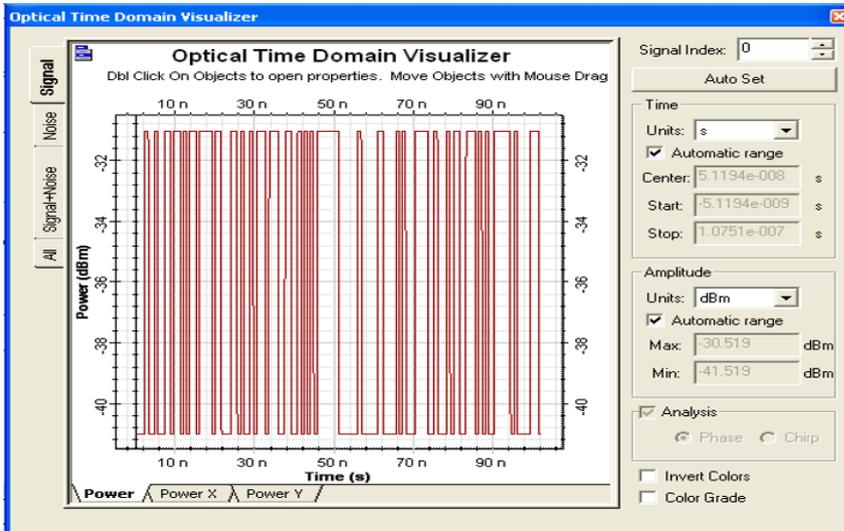


Figura 12: Resultado obtenido por el BER. Fuente: Simulación Optiwave.

Cálculo de resultados

La potencia recibida en ambos terminales puede ser calculada a partir de parámetros internos y externos, estos parámetros son según la ecuación de enlace, en primer lugar la potencia transmitida que para el terminal TeresCope5000G está en el rango de 18,5 a 21,5 dB ó 70 mW a 141 mW, se utiliza la mayor potencia para garantizar el enlace, la apertura del receptor que para un terminal de este tipo está en el orden de los 5 cm y como factores inversos la divergencia del haz que está en 2 mrad, la distancia entre terminales en el orden de los 876 metros y como factor no controlable la atenuación atmosférica, que para el caso de estudio está en 3 db/km. Sustituyendo estos valores en la ecuación de enlace para un terminal como el propuesto para la simulación, que posee más de un transmisor LASER

$$Pr = P_{transm} \cdot \frac{L \cdot d_r^2}{\theta^2 \cdot R^2 \cdot 1e6} \cdot 10^{(-\alpha \cdot R/10)}$$

El valor de potencia recibida en estas condiciones es de:

$$Pr = -5,38 \text{ db}$$

Los receptores tienen una sensibilidad de -33 db, este valor es utilizado para calcular el margen del enlace, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Margen de enlace} = 10 \cdot \log\left(\frac{Pr}{S}\right)$$

Como resultado se obtiene: $\text{Margen de enlace} = 27,63 \text{ db}$

Con este dato se puede calcular la longitud del enlace en la que puede estar operable según la fórmula siguiente:

$$\text{Longitud}(km) = \frac{\text{Margen del enlace}(db)}{\text{Atenuación por niebla}(db/(km))}$$

$$\text{Longitud}(km) = \frac{27,63 \text{ dB}}{3 \text{ dB/km}}$$

$$\text{Longitud}(km) = 9,2 \text{ km}$$

$$\text{Longitud}(km) = \frac{27,63 \text{ dB}}{10 \text{ dB/km}}$$

$$\text{Longitud}(km) = 2,763 \text{ km}$$

Con los datos antes expuestos el enlace podría estar operable a una distancia de 9,2 km con una atenuación de 3dB/km y a una distancia de 2,763 km con atenuación de 10 dB/km, distancia superior a la máxima necesaria para el enlace.

$$\frac{A_R}{A_B} = \left(\frac{D_R}{D_T + 100 \cdot d \cdot \theta} \right)^2$$

Relación Señal / Ruido

Tomando los resultados obtenidos en el simulador, específicamente tomado del Visualizador «Medidor Óptico», su pudo constatar que la potencia de la señal total recibida es de 7,47 μW , la misma que ha sido calculada por la siguiente fórmula:

$$P_{Total} = P_{Salida} - P_{Perdida} \quad \text{Fórmula 6}$$

Remplazando valores tenemos:

$$P_{total} = 141mW - 7,47\mu W$$

$$P_{total} = 140,9253 \text{ mW}$$

Ahora, también se requiere el calcular el ruido, producido en el transcurso de toda la transmisión, tanto desde que la señal sale del transmisor y llega hacia el receptor. Para esto se implementa la siguiente fórmula:

$$N_{Total} = \sum(N_{shot} + N_{Término} + N_{RIN}) \quad \text{Fórmula 7}$$

Tomando en cuenta los valores que toman estos ruidos y efectuando la sumatoria total del ruido producido en la transmisión, su valor aproximado es:

$$N_{Total} = 2dBm \rightarrow \text{equivalente a } N_{Total} = 1,58 \text{ mW}$$

Ahora para efectuar el cálculo de la Relación Señal / Ruido, y sabiendo que S/N se expresa habitualmente en «dB». Reemplazamos los valores en la siguiente fórmula:

$$\frac{S}{N} (db) = 10 \log \cdot \left(\frac{S(W)}{N(W)} \right) \quad \text{Fórmula 8}$$

$$\text{Tenemos: } \frac{S}{N} (db) = 10 \log \cdot \left(\frac{142,92e^{-3}W}{1,25e^{-3}W} \right)$$

Teniendo como resultado: 20.46 dB. Analizando este resultado se puede expresar que es una cantidad bastante aceptable, el cual garantiza una buena calidad en la señal. Tomando en cuenta, que también se tiene una atenuación de 10 dB/km. Por lo que se refleja que aunque teniendo una atenuación baja y un poder del ruido considerable, se tiene una excelente señal.

Disponibilidad

Ahora analizando la disponibilidad que tendría la Nueva Red Inalámbrica Óptica. Lo que se debe tomar en cuenta es varios factores como: la fiabilidad de los equipos tanto transmisores como receptores, considerando también la interferencia, ruido, atenuación que afectan el servicio. Para el cálculo de la disponibilidad se emplea la fórmula 3.6, la cual indica que:

$$\text{Disponibilidad}\% = 100 \cdot \frac{\text{Tiempo de uso efectivo}}{\text{Tiempo de uso total}}$$

Como toda red bien estructurada, se debe tener la expectativa que el funcionamiento tiene que ser un 100% de disponibilidad, por los factores mencionados anteriormente este porcentaje se reduce.

Conociendo todo el proceso de la Tecnología FSO, que se ha reflejado en el presente proyecto y obteniendo los resultados posibles aplicando la simulación, se determina que el «tiempo de uso efectivo» de la Nueva Red Inalámbrica Óptica, se refleja en 99.99%. Fomentando este porcentaje, se establece que cualquier red es propensa a factores que pueden afectar su disponibilidad, en este caso también se ha considerado esa probabilidad.

CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación se demuestra que como redes acceso óptico de gran ancho de banda además de las tecnologías PON, en sus diferentes

estándares y de gran utilización en la actualidad que utilizan como medio de conducción de las señales el cable de fibra óptica, también existen otros medios como la fibra inalámbrica o FSO, que a pesar de continuar su desarrollo como tecnología emergente tiene un grado de aceptación alto en el mundo de las telecomunicaciones. Esta tecnología es apropiada para varios tipos de escenarios, se propone una topología de red en estrella, escenario adecuado para la ciudad de Ciego de Ávila por la distribución geográfica de las empresas y entidades por las distancias al nodo principal de comunicaciones, por la concepción y diseño de la tecnología, esta garantiza estabilidad en el servicio por poseer una disponibilidad calculada de 99.99 %. La simulación de la red con el programa Optiwave 7.0, fue efectiva, pues los resultados obtenidos están dentro de los parámetros de otras simulaciones y enlaces en funcionamiento en otras partes del mundo, estudiados en la literatura. Este método de transmisión de datos es el más idóneo para nuestro caso, pues mantiene los índices de calidad, de ruido, razón de bit errados dentro de los parámetros conocidos para un enlace similar por cables de fibra. Se analizaron las características técnicas del equipo elegido para conocer su funcionamiento, además de comparar precios de instalación con una red de fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ACTIVO VS PASIVO: Disponible en <http://www.freespaceoptics.com>. Visitado el 10 de diciembre de 2007.
- CARSON, M.K.: *Giving voice to the world*, Sterling Biographies, Nueva York10016, Sterling Publishing, pp. 76-78, 2007.
- CUENCA PAUTA, C.A. Y PALACIO PACHECO, J.C.: *Diseño y factibilidad de una red inalámbrica óptica utilizando tecnología FSO para la comunicación entre los edificios de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico*, 2009.
- CAIZALUISA CAIZALUISA, E.J.: *Diseño de una red con tecnología láser free space optics (FSO), para el campus de la Escuela Politécnica Nacional y su comparación con la red de fibra óptica*, in Telemática, Quito, 2008.
- MECHERLE., D.A.R.: *Comunicaciones inalámbricas ópticas, in Acceso óptico de bajo costo y banda ancha*, 2007.

S.B.: «Entendiendo el desempeño de la óptica del espacio libre», *Revista de las conexiones de red ópticas*, Vol.6, pp. 178-199, 2003.

RAMÍREZ ESPINOSA, D.E.: *Diseño y comparación de una red utilizando tecnologías Laser Free Space y fibra óptica, para la comunicación entre el edificio de oficinas y el edificio de bodegas de QUIFATEX*. Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1987> . Visitado el 16 de abril de 2016.