

Estudio y planeación de una red óptica inalámbrica para el enlace entre el Centro de Información Telecom y el Colegio Nacional Universitario en Vélez Santander

Jorge Ernesto Téllez Ariza
Universidad Autónoma de Bucaramanga

Fecha de Recepción: 03/05/16 – Fecha de Aceptación: 18/09/16

Resumen

El presente trabajo consiste en la planeación de una red de un sistema de comunicación en el espacio libre, basado en la comunicación óptica inalámbrica mediante emisor multi haz. El problema de investigación consiste en analizar y calcular un sistema que pueda enlazar el centro de información de Telecom y uno de los planteles educativos públicos de Vélez en el departamento de Santander. El hecho de no poder realizar obras civiles modificatorias o de restauración y al ser declarada la locación monumento nacional, surge de la inquietud de cómo mejorar las condiciones de calidad de formación de los estudiantes, también como darle más insumos a los docentes para mejorar su efectividad, en la orientación y construcción de procesos de búsqueda de la información y conocimiento. En vista de lo anterior, se propuso el diseño de una red óptica soportada en tecnología FSO para alcanzar el objetivo propuesto.

Palabras clave: enlace óptico, FSO, rendimiento, ancho de banda.

Abstract

The present work consists in the planning of a network of a system of communication in the free space, based on the wireless optical communication by multi beam emitter. The research problem consists of analyzing and calculating a system that can link the information center of Telecom and one of the public educational establishments of Vélez in the department of Santander. The fact of not being able to carry out civil works modifying or restoration and to be declared the national monument location, arises from the concern of how to improve the conditions of quality of training of students, as well as giving more inputs to teachers to improve their effectiveness. In the orientation and construction of processes of search of the information and knowledge. In view of the above, it was proposed the design of an optical network supported in FSO technology to reach the proposed objective.

Keywords: optical link, FSO, performance, bandwidth.

I. INTRODUCCIÓN

Las fibras ópticas son guías de luz que poseen la capacidad de transmitir información a grandes distancias por su característica de mínima pérdida de potencia durante la transmisión de una señal. Desde hace varios años se ha venido trabajando a nivel global con alto impacto en las telecomunicaciones. Una razón para que en nuestro país existan actualizaciones, estándares y ofertas de equipos que cumplan con los parámetros de la tecnología y los productos que la complementan, no obstante es importante resaltar que existe hoy en día una marcada preferencia por la implementación de redes más comunes y con mayor aceptación tales como redes Wi-fi y Ethernet.

Gracias a fenómenos ópticos la luz puede transportar gran cantidad de información empleando señales luminosas; adicional existen grandes ventajas de la utilización de la fibra óptica frente al uso de otras tecnologías como transmisión satelital y redes de alambre de cobre en el momento de implementar un enlace de larga distancia, se resalta la conexión interoceánica que existe en el momento con los cables submarinos interconectando el mundo y generando una súper red por debajo de agua.

Partiendo del hecho de que en el ámbito nacional se reconoce la necesidad de difundir las bondades, ventajas y características de una tecnología en red con la cual se percibirían incontables beneficios, se plantea el desarrollo de una propuesta de estudio y planeación de una red óptica inalámbrica, transmisión en el espacio libre FSO (Free Space Optic). En primera instancia según [1] se estudiarán y valorarán aspectos científicos, tecnológicos y técnicos de comunicación en el espacio libre, en las que la fibra óptica jugará un papel importante en el sistema de redes inteligentes.

Actualmente, aún existe una gran infraestructura de redes de cobre lo que hace difícil una rápida migración de la totalidad de los servicios a las conexiones de fibra óptica en empresas y en hogares. Es de gran importancia indicar que es latente el alto riesgo y la poca rentabilidad inicial hacen poco atractiva la inversión si se llegasen a desarrollar proyectos a gran escala de ésta naturaleza en la región.

La pretensión del desarrollo de ésta propuesta es realizar la planeación de una red óptica inalámbrica, proyecto del cual se beneficiaría económica y funcionalmente una institución de educación media del municipio de Vélez Santander.

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación actualmente son de gran importancia en desarrollo personal, profesional y educativo de la mayoría de personas habitantes de nuestro planeta, los estudiantes del Colegio Nacional Universitario de Vélez Santander no son la excepción y para lograr dicho desarrollo deben contar con las herramientas necesarias, actualmente el plantel educativo no cuenta con una conexión adecuada ya que se les provee internet por medio del programa computadores para educar y poseen una conexión satelital, se puede decir que dicho medio para la obtención del servicio a pesar de ser una gran ayuda y casi que la única forma de llevar internet a los planteles educativos de carácter público no es la más efectiva y el ancho de banda es limitado.

La propuesta del estudio y planeación de una red óptica inalámbrica para el enlace entre el centro de información Telecom y el colegio nacional universitario en Vélez Santander se realiza para mejorar las condiciones en las cuales los estudiantes reciben su formación, abriéndoles una nueva ventana a las TIC's con un servicio eficiente, constante y con un mayor ancho de banda, de ésta forma se potencializarán sus aptitudes.

El planteamiento se realiza con tecnología FSO (free space optic) ya que el CUV fue declarado monumento nacional amparado y protegido por el consejo de monumentos nacionales, los inmuebles que a juicio del consejo de monumentos nacionales se consideren como de valor histórico o artístico no podrán ser reparados, reconstruidos o modificados según la ley 163 del 30 de diciembre de 1959, usando tecnología FSO no habrá que pensar en obras civiles por la protección al monumento y a su vez se ve un beneficio al no acarrear en costos por éste concepto.

Se quiere plantear una solución la cual sea capaz de resistir los embates e inclemencias climáticas y de precipitación del sitio en el cual está ubicado el municipio, por ésta razón se diseña con las condiciones más hostiles y de ésta forma cuando se presente alguna situación y que con toda seguridad así va a ser el enlace tenga la capacidad para continuar entregándole conectividad al colegio y por ende a los estudiantes quienes son los que se benefician; son aproximadamente 1500 personas a las cuales se les estaría mejorando la calidad de la educación.

II. FUNCIONAMIENTO DE LOS ENLACES FSO

Los enlaces de comunicaciones ópticos por el espacio libre está basado en la instalación de un transmisor óptico enfrentado exactamente con receptores ópticos, entre dichos elementos se transmite un haz de luz modulando la potencia

para diferenciar la información, la velocidad de los sistemas puede ser de hasta algunos Gbps El ancho de banda de estos enlaces es de hasta 2.5 Gbps [10].

Como punto final de la emisión la información arriba al laser que va a realizar la transmisión por el espacio libre, allí se cambia a un entorno óptico (se convierte en luz) se realiza una modulación a la señal en potencia, se varia la potencia para que a la hora de transmitir la información se diferencie un uno lógico con mayor amplitud que un cero lógico. En términos generales el funcionamiento es exactamente igual que una conexión convencional con un medio de trasmisión guiado (fibra óptica) la diferencia principal es que en éste caso se usa un medio de transmisión distinto [14].

A fin de satisfacer Las redes y sistemas de telecomunicación actuales se enfrentan a la necesidad de proporcionar regímenes binarios cada vez más elevados a un mayor número de usuarios. Esta creciente necesidad se fundamenta, principalmente, en el aumento de tráfico de Internet y en particular en la introducción de la alta definición en servicios como el vídeo bajo demanda y los videojuegos en línea. A fin de satisfacer esta demanda, es necesario desarrollar nuevas técnicas para aumentar la capacidad de las redes ópticas de acceso conocidas como última milla (last mile) [4], como ejemplo la figura 2 muestra un esquema de última milla de una red de fibra óptica inalámbrica.

Los sistemas FSO no son condicionados por protocolos por lo cual pueden ser usados para diferentes fines como son la conexión de redes LAN, transmisión de video sobre IP y VoIP, otra manera de uso es para conexiones temporales independiente de cual sea el objetivo. Se considera que tiene una alta tasa de transmisión, son sistemas con una seguridad mayor y algo muy importante es que no se necesitan licencias para su operación.

Teniendo en cuenta la conexión mediante FSO frente a un enlace de fibra óptica guiado, se puede decir que la primera genera menor costo al ser instalada, la implementación es más sencilla y más aún cuando los objetivos tienen línea de vista y en algún momento determinado se puede pensar en condiciones más favorables para el traslado físico. Algo que no juega a favor de los sistemas FSO es que son blanco fácil de efectos atmosféricos, cambios climáticos y precipitaciones pluviométricas.

Normalmente se usan diversas tecnologías en soluciones de radiofrecuencia de última milla para la transmisión de datos punto a punto o multipunto, con una frecuencia baja, con un agravante, la seguridad se pone en juego puesto que las ondas viajan por el espacio libre.

Las comunicaciones ópticas inalámbricas han sido utilizadas desde mucho tiempo atrás, el descubrimiento del láser semiconductor y la baja atenuación de la fibra óptica

permitió desarrollar la comunicación a través de la fibra óptica y luego surgió el interés por la comunicación mediante haces de luz por el espacio libre.

El principio en que se basa la transmisión de luz por una fibra óptica es la total reflexión interna, la luz viaja por el núcleo de la fibra e incide sobre la superficie externa de la misma con un ángulo mayor que el ángulo crítico, en ese orden de ideas existe reflexión de la luz con pérdidas imperceptibles intrínsecas debido a fenómenos de absorción y dispersión, propias de la fabricación del material.

La capacidad de transmisión de un sistema FSO supera los 2.5 Gbits/s valor importante en comparación de un enlace de radiofrecuencia, con una red FSO se alcanzan distancias de cobertura de algunos kilómetros dependiendo de los equipos de transmisión, la banda de transmisión de las comunicaciones ópticas de espacio libre corresponde a la denominada óptica aproximadamente desde la ultravioleta hasta el infrarrojo.

A. Elementos Emisores de Luz

La comunicación FSO se puede ejecutar con diodos LED y por dispositivos laser, existen dos diferencias marcadas que hacen que se escoja el láser para el diseño de la propuesta, una de ellas es que la luz emitida por el diodo LED se dispersa en un ángulo mayor, también la velocidad de transmisión se debe tener en cuenta al ser mayor en los dispositivos laser, en la tabla 1 se denota la comparación de características de los dos componentes.

Tabla 1. Características transmisores LED y Laser

ITEM	LED	LASER
Velocidad de transmisión	Baja	alta
Ancho de banda	Bajo	alto
Longitud de onda	0.66 - 1.65 mm	0.66 - 1.65 mm
Tipo de transmisión	multimodo	monomodo y multimodo
Tiempo de vida	muy alto	alto
Costo	Bajo	alto

El láser semiconductor como fuente emisora consiste en una capa activa de tipo p que rodea regiones de revestimiento de tipo n, proporcionando una geometría de unión pn [5]. La emisión se realiza en la capa activa, la cual tiene una brecha de energía que corresponde a la emisión deseada llamada longitud de onda λ dada por:

$$\lambda(\mu m) = \frac{1.240}{E_g(eV)}$$

Los diodos usados para la emisión manejan una potencia de hasta 160 mW. En la tabla 2 se presentan las características básicas de diodos laser

Tabla 2. Características básicas de diodos laser.

Compuestos Laser	Compuestos
Longitud de onda, emisión	800 – 1500 nm
Potencia de salida	1 – 160 mW
Grosor de línea	0.1 – 5 nm
Ancho de banda de modulación	Arriba de varios Ghz

El objetivo de las Free Space Optics (FSO) es transmitir información por el espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que viajan a través de las fibras ópticas.

B. Actualidad Tecnología FSO

El uso de nuevas tecnologías y protocolos de comunicación orientados a las redes FSO se encuentran en etapa de desarrollo y es allí precisamente donde surge el interés del presente proyecto, no solo en profundizar sobre este tema de investigación el cual es objeto de estudio actualmente, sino que además está en coherencia con las estrategias del Estado Colombiano en relación con la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, en donde han definido al sector energético y al sector de las TIC, como sectores estratégicos en materia de desarrollo e investigación a largo plazo (CONPES 3535, 2009).

El objetivo de las Free Space Optics (FSO) es transmitir información por el espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que viajan a través de las fibras ópticas. Las FSO permiten conectar edificios cercanos entre sí de una forma económica y sencilla, al no tener que hacer prácticamente ninguna obra. Además, los anchos de banda que proporcionan son muy grandes, gracias a que la información viaja en señales luminosas [12], actualmente existen varias empresas que proporcionan soluciones FSO. Las principales son CANON, FSONA, MRV, LIGHTPOINTS, LASERBIT, BRIDGEWAVE y BEAMWAVE. La gama de productos que ofrecen se diferencian básicamente en la velocidad de transmisión y en el alcance máximo del enlace. Así que, dependiendo del tipo de servicio que queramos ofrecer se tendrá que elegir la tecnología apropiada [6].

Los dispositivos ópticos, donde sólo se utilizan materiales inertes, como las fibras ópticas, constituyen una tecnología intrínsecamente segura para la detección de niveles de líquidos en la industria. Estas fibras ópticas presentan ventajas como la inmunidad frente a las interferencias electromagnéticas (EMI), bajo peso, además no se oxidan y representan un medio de transmisión con bajas pérdidas y gran ancho de banda, esto porque una red óptica tiene como misión proporcionar un soporte fotónico para dar servicio

de ancho de banda a las diferentes capas cliente que la utilizan [7].

III. TRABAJOS RELACIONADOS CON TECNOLOGÍA FSO

En el actual tiempo normalmente se presentan soluciones mediante comunicaciones inalámbricas con el fin de afrontar algunos inconvenientes en cuanto a la geografía nacional y reducción de costos ya que estos son sistemas muy flexibles y de gran adaptación en entornos donde una red guiada no pueda arribar, de igual manera en otros sitios donde una característica primordial es la movilidad. Los parámetros anteriormente mencionados son el punto de referencia para que se hubiese generado el interés en el tema de investigación y en el desarrollo de la propuesta en aras de plantear soluciones desde las telecomunicaciones a una comunidad que lo requiere.

Una de la opciones fruto de buscar soluciones que aborden los factores que mencionamos en el párrafo anterior son las comunicaciones ópticas por el espacio libre, tecnología que desde la década de los 80 se ha empezado a trabajar en Colombia cuando se inventa uno de los elementos fundamentales del sistema el LASER, de igual forma la invención de la fibra óptica dio paso al inicio de implementaciones del sistema, todo lo anterior basados en experimentos realizados en el siglo XIX cuando Graham Bell empleó luz solar reflejada en un espejo vibrante junto con una fotocelda de Selenio para transmitir señales telefónicas por medios de esas señales luminosas.

Una de las características principales de los sistemas de comunicación óptica por el espacio libre es su facilidad a la hora de la instalación, los sitios donde se puede realizar montaje es sobre terrazas, torres, fachadas de edificios e incluso en interiores de los mismos ya que la señal no puede atravesar objetos sólidos pero si cristales. En términos generales con condiciones favorables su puesta en marcha es uno o máximo dos días, dado el caso que haya necesidad de remover el sistema para ser trasladado a otro punto en donde continúe existiendo línea de vista el ejercicio es inmediato simplemente realineando los equipos.

Las características de la tecnología anteriormente expuestas dan cuenta de las grandes ventajas existentes frente a otros sistemas que utilizan medios guiados tradicionales como la fibra óptica y los cables que contienen cobre, otra ventaja importante es que pueden manejar hasta 2.5 Gbps y dado el caso de tener un mayor requerimiento por parte de los usuarios se puede hacer y sin necesidad de reemplazar equipos.

Cuenca Christian, Palacio Juan. (2008) Quito Ecuador. *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. Esta investigación expone la teoría concerniente a las comunicaciones ópticas, enfocándose sobre la óptica de espacio libre que es la tecnología empleada para el diseño de esos enlaces.

Acosta, B (2010). Sangalqui, Ecuador. *Estudio y diseño de un enlace mediante un sistema de comunicación óptica (FSO) en el espacio libre para enlazar el edificio principal de la ESPE con los laboratorios del departamento de eléctrica y electrónica*. La investigación se presenta como una alternativa de comunicación ante las necesidades de contar con un sistema que permita la transmisión de voz, video y datos, de manera más rápida, segura y robusta entre los diferentes departamentos académicos y administrativos.

Blen Castro, Maco Vinicio. (2005). San José, Costa Rica. *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*. Esta investigación 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.

Suarez Serrano, Juan Carlos. (2014). Guayaquil, Ecuador. *Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO): Fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación*. Esta investigación tiene como objetivo principal analizar los principios teóricos y técnicos de la transmisión óptica en el espacio libre, así como su funcionamiento y métodos de despliegue. Se exponen además las principales ventajas y limitaciones, así como el diseño, simulación y comprobación de una propuesta para un caso particular, que permita obtener los parámetros de desempeño fundamentales en diferentes condiciones medioambientales con ayuda del OptiSystem 7.0 y con las características dadas por el fabricante del equipo óptico.

Gandica C, Hanani. (2006). Zulia, Venezuela. *Influencia pluviométrica en los enlaces FSO laser con modulación en potencia*. El propósito fundamental de este proyecto de investigación, es determinar la influencia pluviométrica sobre los enlaces FSO Láser con modulación en Potencia, con la finalidad de conocer cuál será la influencia pluviométrica en los enlaces FSO láser con modulación en potencia. Las bases conceptuales de esta investigación fueron tomadas en gran parte de Molero (2005) y Ferrer (2004). La investigación es de tipo explicativa con diseño experimental. El instrumento y técnica utilizado es la observación y los dispositivos que se utilizaron fueron: Computadoras, Simulador de lluvia, Módulos: emisor y receptor. La metodología planteada estuvo conformada por cuatro fases: Fase I: Diseño e Implementación de un Prototipo, Fase II: Ejecución Experimental, Fase III: Análisis de los Datos y Fase IV: Estudio de la tasa de Error.

Salazar Soto, Yandell. (2004). Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. *Free Space Optics: Una solución alternativa*. Para este proyecto se analizaron las características técnicas, el funcionamiento y las aplicaciones de un sistema de transmisión de datos que utiliza la tecnología láser y como canal de transmisión el aire. Además, se brinda una solución de conectividad para las redes de transmisión celular del ICE. En este sentido, se recomienda para el sistema de transmisión, las capacidades y requerimientos, de forma tal que su utilización se efectúe de manera adecuada y que cumpla con las expectativas del usuario

Márquez R, Luis E. (2015). Cabudare, Venezuela. *Propuesta para la aplicación de la tecnología FSO (Free Space Optics), como solución para cubrir las necesidades de conexión de última milla*. El fin de este trabajo de investigación es mejorar la comunicación de las empresas de comunicación para los usuarios finales, brindando acceso a datos, voz y video, mediante la tecnología más eficiente, económica y de fácil instalación. Se evaluarán las ventajas con respecto a otras tecnologías, como fibra óptica y radio frecuencia, su factibilidad y los aspectos técnicos necesarios para su implementación.

Salvo Pineda, Renzo. (2014). *Influencia del diámetro y ángulo de gota de lluvia sobre el BER en enlace FSO*. Se planteó como propósito fundamental de este trabajo de investigación la influencia del diámetro y ángulo de la gota de lluvia en un enlace óptico en el espacio libre (FSO) respecto a la tasa de error de bit (BER), para lograr obtener como resultados los índices en relación a la pérdida de datos producto de la exposición de este tipo de enlaces al fenómeno de lluvia con distintos diámetros de gota de lluvia y ángulos de precipitación.

Escalante Marroquín, Rubén Eduardo. (2008). Guatemala, México. *Aplicación de la tecnología FSO en la extensión de redes de área local, por medio de enlaces punto a punto entre edificios*. El objetivo de esta investigación es presentar una descripción completa de las características y ventajas que ofrecen los sistemas FSO al aplicarse a la extensión de redes de área local, así como los principales aspectos a considerar en el desarrollo de un proyecto, usando la tecnología de óptica en el espacio libre.

Granda Coyago, Juan Diego. (2014). Quito, Ecuador. *Diseño de un sistema de comunicaciones utilizando la tecnología FSO para las sedes de la universidad de las Américas*. El presente proyecto de titulación tiene como objetivo fundamental el estudio técnico de la implementación de la tecnología óptica en el espacio libre para enlazar las sedes de la universidad de las Américas. Para ello se presenta en primer lugar los conceptos relacionados con el funcionamiento de la tecnología FSO (Free Space Optics) además de características, factores que influyen en la tecnología así mismo, el ámbito legal aplicable en nuestro país para realizar los enlaces. Luego se

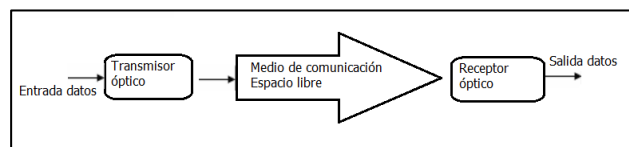
analiza la situación de la red que la universidad maneja actualmente para considerar las variables y los requerimientos que inciden en el desempeño y aplicación de los enlaces ópticos inalámbricos como son la presencia de línea de vista, condiciones climáticas y distancia entre cada una de las sedes.

IV. DISEÑO Y PLANEACIÓN

A. Esquema Red FSO

FSO transmite haces invisibles, entre los equipos transmisores y receptores utilizando láser infrarrojos de baja potencia en el espectro de los THz. Los haces de luz son transmitidos usando láser enfocado en un detector de fotones de alta sensibilidad. Estos receptores son lentes telescópicas que son capaces de reunir el flujo de fotones y transmitir datos digitales que contienen una mezcla de mensajes de internet, imágenes de video, señales de radio o archivos de datos.¹ En la figura 1 se presenta el esquema en bloques comunicación óptica inalámbrica.

Figura 1. Esquema en bloques comunicación óptica inalámbrica.



El diseño planteado busca optimizar la conectividad de las salas de informática del colegio nacional universitario de Vélez, ya que actualmente no es óptima para desarrollar los procesos de formación de los estudiantes de educación media, la distancia entre los dos edificios es de 171,08 m, de igual manera afortunadamente para la pretensión del proyecto entre los dos existe línea de vista, por ésta razón se selecciona el transmisor 1250-M de la marca SONAbeam® que cuenta con las bondades suficientes para cubrir la distancia y optimizar el enlace.

B. Distancia entre los puntos a interconectar

Se requiere identificar las características geográficas de los puntos a interconectar, por medio de Google Earth la cual es una aplicación que realiza una conexión automática a los servidores de Google y de ésta forma se obtiene acceso a grandes cantidades de información representada en datos geográficos, políticos y sociales, así es como se obtiene una fotografía satelital, vista superior de los puntos que van a ser objeto de conexión, como se aprecia en la figura 7 aparentemente no existen objetos o edificaciones que

¹ Modelo para una red híbrida óptica inalámbrica, Quiroz, Luis; Centro internacional de física

interfieran la visual entre las dos infraestructura, sin embargo se hace necesaria una identificación visual frontal. La conexión se plantea desde la torre del centro de datos de Telecom, es un edificio en concreto de aproximadamente 25 metros de altura, a partir de ahí se alza una torre metálica en donde están dispuestas las antenas de recepción y emisión del proveedor de servicios de internet.

La tecnología en estudio utiliza un láser como fuente de transmisión sin que sea obligatorio que el haz de luz sea guiado a través de cables, precisamente se ésta planteando para éste fin el espacio libre, luego para el tema de recepción se debe acoger la señal, los haces se encaminan hacia un lente y éste a su vez conectado a un receptor altamente sensible, después de ello se transporta por edia de fibra óptica hasta el sitio donde se va a distribuir la señal y a manejar la red de acuerdo a los requerimientos internos y disposiciones del centro educativo.

Tabla 3. Datos geográficos edificaciones.

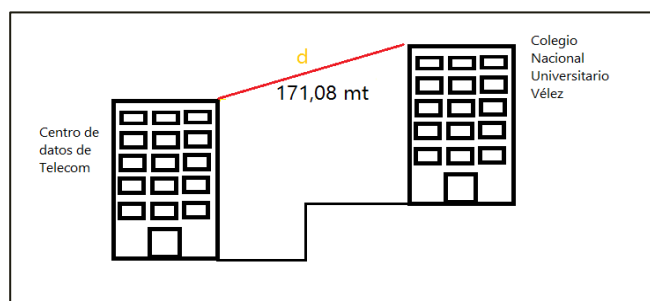
Dirección	Msnm	Altura edificación	Distancia
Cl 9 # 4 – 12	2160	25 m	171.08
Cl 10 # 4 - 50	2190	12 m	171.08

De acuerdo a los datos obtenidos en la medición de los espacios y complementadas con las que entregan los dispositivos tecnológicos de ubicación y medición se obtienen los resultados plasmados en la tabla 3.

C. Línea de vista calculo distancia

El sitio en donde se originará la señal que se va a transmitir es una edificación de 25 metros de altura (Telecom) mientras que donde se recepcionará cuenta con una altura de doce metros, existe una diferencia de 30 metros teniendo como referencia la altura sobre el nivel del mar de los dos puntos, los enlaces ópticos en el espacio libre deben tener una particularidad y es que debe existir línea de vista entre los puntos objeto de conexión, de ésta forma se garantizará el correcto funcionamiento del enlace. El diagrama de ubicación de los edificios se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Línea de vista entre los edificios objeto de diseño del enlace óptico inalámbrico.



D. Características transmisor

El transmisor SONAbeam M (Ver figura 3), es fabricado en aluminio fundido apto para trabajar en exteriores lo que lo hace totalmente blindado a factores ambientales, cuenta con 4 transmisores laser de alta potencia con capacidad de traspasar lluvia y demás factores atmosféricos, es un elemento que tiene una potencia más que suficiente para lograr el enlace planteado teniendo en cuenta la distancia de separación de los puntos de conexión. El emisor soporta Ethernet, Fast o Gigabit según las especificaciones del fabricante documento anexo a ésta propuesta.

Figura 1. Transmisor para el enlace FSO, fuente Sonabeam.



E. Los modelos físicos matemáticos

El cálculo del enlace se hace teniendo en cuenta condiciones extremas para tener una efectividad alta a la hora de la transmisión, en el literal anterior se trajo a colación las características del transmisor, el cual cuenta con 4 canales laser cada uno con la posibilidad de transmitir una potencia de 160 mW.

Así mismo cuando se plantea el diseño de un enlace de cualquier naturaleza se debe tener en cuenta la sensibilidad del equipo receptor, ya que es un parámetro supremamente importante al ser el que determina fundamentalmente el alcance del sistema y en gran medida será directo responsable de la disponibilidad de la conexión. La sensibilidad, o nivel mínimo de señal que se necesita para un correcto funcionamiento, se expresa en términos de potencia (dBm), para el caso específico del transmisor seleccionado según hoja de especificaciones es de -20 dBm máximo, de ésta manera la potencia expresada en dBm será 28,06.

La atenuación geométrica se entiende como la posibilidad que la señal sufra divergencia lo que conlleva a que no la totalidad de la señal emitida llegue a su destino final, atenuación geométrica es igual al área del haz para

determinada distancia dividido por el área en metros cuadrados que recibe el receptor.

Área del haz = $\pi / 4 (d * \theta)^2$ donde θ es la divergencia del haz denotada en mili radianes el cual es 3 mili radianes para enlaces FSO en el peor de los casos.

$$Aff_{geométrica} = \frac{S_d}{S_{captura}}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4} (d * \theta)^2}{S_d}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4} (171.08 * 0.003)^2}{0.025} = 9.18 \text{ dB}$$

Según los datos aportados y teniendo en cuenta que el área de captura según el fabricante es 0.025 metros cuadrados se obtiene que la atenuación geométrica es de 9,18 dBm.

En resumen según los datos obtenidos y los extraídos de los fabricantes presentamos la Tabla 4 resumen en cuanto a la atenuación geométrica:

Tabla 4. Atenuación geométrica del enlace

Puntos a interconectar	Distancia [m]	Área de captura m2	Divergencia radianes	Área geom.	Atenuación geométrica dB
Telecom – CUV	171,08	0,025	0,003	8,28	9,18

Otra variable a tener en cuenta es la atenuación atmosférica, la cual es descrita por la ley de Beer, la misma que puede ser expresada en función de la transmitancia. Es una relación empírica que relaciona la absorción de luz con las propiedades del material atravesado; hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la misma, se expresa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\frac{p_d}{p_0} = e^{(-\alpha * d)}$$

Donde:

p_d Es la potencia de la señal a una distancia d

p_0 Es la potencia emitida

α Es el coeficiente de atenuación

d Es la distancia que separa los puntos

El coeficiente de atenuación puede ser estimado mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\Sigma\alpha = \alpha_m + \alpha_n + \beta_m + \beta_n$$

α_m = coeficiente absorción molecular

α_n = Absorción del aerosol

β_m = Dispersión de Rayleigh

β_n = Dispersión de Mie

El coeficiente de atenuación es la suma del coeficiente de absorción molecular, absorción del aerosol, dispersión de Raleigh y dispersión de mie pero para los sistemas de comunicación óptica por el espacio libre los tres primeros son muy cercanos a cero por lo que se pueden obviar.

En ese orden de ideas la ecuación quedará: $\alpha = \beta_n$

Para el caso propuesto el coeficiente de atenuación es igual al coeficiente de dispersión de Mie formula que se relaciona a continuación:

$$\alpha = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left(\frac{\lambda mn}{550} \right)^{-q}$$

Figura 3. Valores de visibilidad según precipitación y condiciones ambientales.

CONDICIONES AMBIENTALES	PRECIPITACIÓN mm/hr	VISIBILIDAD [m]
Niebla muy Espesa	---	0 m
		50 m
Niebla Espesa	---	500 m
		600 m
		770 m
		1 Km
Niebla Moderada	Nieve	1,9 Km
		2 Km
		2,8 Km
		4 Km
Neblina	Lluvia Ligera	5,9 Km
		10 Km
Despejado	Llovizna	18,1 Km
		20 Km
Muy Despejado	---	23 Km
		50 Km

Vélez se caracteriza por ser un municipio en donde las precipitaciones pluviométricas son muy frecuentes, de ésta manera la visibilidad en la región está regida por la lluvia y las condiciones ambientales que ésta trae consigo; Durante varios años los científicos han investigado las características del fenómeno del niño. En este estudio centraron gran parte de la investigación en la descripción de

² Comunicaciones ópticas en el espacio libre, Características de los sistemas FSO, J. R. Souza CETUC - PUC/Rio

este fenómeno y de cómo afectó a Colombia en los últimos años en los cuales se manifestaron altas precipitaciones.

En la figura 3, se ilustran los Valores de visibilidad según precipitación y condiciones ambientales, los cuales fueron tomados en cuenta para el diseño. Para el caso articular de Vélez, se consideró niebla espesa en cuanto a condiciones ambientales y tormenta si hablamos de precipitación, lo anterior con el propósito de pretender que el enlace esté siempre activo independientemente de condiciones adversas, según la tabla de valores de visibilidad y teniendo en cuenta el peor de los casos se identifica la visibilidad a 770 m. La distancia seleccionada se encuentra entre 0,5 Km y 1 Km lo cual nos indica que la dispersión de partícula en el medio “q” es igual a:

$$q = V - 0,5 \quad \text{donde } V \text{ es la visibilidad}$$

$$q = 0,77 - 0,5$$

$$q = 0,27$$

Finalmente y considerando que el equipo de transmisión FSO en el espacio libre opera típicamente en la zona ecuatorial con una longitud de onda de 1550 nm se puede calcular el valor del coeficiente de Mie que para el caso es el coeficiente de atenuación de la siguiente manera utilizando la ecuación 6:

$$\beta_n = \frac{3.912}{0,77} \left(\frac{1550mn}{550} \right)^{-0,27}$$

$$\beta_n = 5,0805 (2,8181)^{-0,27}$$

$$\beta_n = 3,84$$

La transmitancia la podemos obtener con la siguiente formula siendo equivalente a la ley de beer ya que las dos ecuaciones tienen que ver con la relación de la potencia de la señal a una distancia determinada del transmisor y la potencia emitida,

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(o)} = e^{-\alpha \cdot d}$$

$$\tau(d) = e^{-3.84 \cdot 0,17108}$$

$$\tau(d) = 0,5184$$

La atenuación atmosférica que produce principalmente la neblina ya se puede saber usando los valores obtenidos, los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 5. Resumen cálculo atenuación atmosférica.

Elaborado autor

Puntos a interconectar	Distancia [m]	Coef.de atenuac.	Transmitancia	Atenuación atmosférica
Telecom - CUV	171,08	3,84	0,5184	2,853085

La transmitancia expresada en dB está dada por la siguiente ecuación:

$$Aff_{atmosférica} = 10 \log (1/\tau (d))$$

$$Aff_{atmosférica} = 10 \log (1/ 0,5184)$$

$$Aff_{atmosférica} = 2,853085$$

Las pérdidas del Sistema es lo que falta para determinar la señal final, debemos tener en cuenta perdidas de la fibra óptica que lleva la señal una vez es recibida por el receptor FSO, de los conectores y de los equipos FSO de emisión y recepción, de ésta forma al ser una distancia relativamente pequeña las pérdidas son casi que insignificantes para éste proyecto en especial ya que típicamente se pierde normalmente 5 dB por kilómetro que avanza la señal.

De igual manera apenas son dos conectores los que ensamblarían el sistema de recepción por ésta razón se dice que 1 dB de pérdida van a presentar según el fabricante, por último se debe tener en cuenta una supuesta pérdida dado el caso que haya desalineación por cualquier circunstancia, todo lo anterior nos lleva a poder operar los valores con el fin de determinar cuáles son las pérdidas del sistema de la siguiente manera:

Pérdidas = perdidas fibra + perdida de conectores + perdida de equipos FSO

$$Pérdidas = 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} + 1 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$$

Ahora bien teniendo los datos correspondientes se puede determinar cuál es el margen del enlace para la distancia de 171.08 m de longitud planteado como solución en ésta propuesta:

$$M_{link} = P_e + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{atm} - P_{sist} \quad \text{Ecuación 10.}$$

P_e = Potencia de emisión en dBm

$|Sr|$ = sensibilidad del receptor en dBm

Aff_{Geo} = Atenuación geométrica del enlace en dB

Aff_{atm} = Atenuación atmosférica en dB

P_{sist} = Perdida del equipo y conectores en dB

$$M_{link} = 28,06 \text{ dBm} + |- 20 \text{ dBm}| - 9,18 \text{ dB} - 2,8530 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$M_{\text{link}} = 33,027 \text{ dB}$$

En resumen y teniendo en cuenta los datos calculados con anterioridad se plantea el valor del margen del enlace de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6. Cálculo margen del enlace

Puntos a conectar	Distancia [m]	Sensibilidad [dBm]	Atenuación Geométrica [dB]	Atenuación Atmosférica [dB]	Pérdidas del sistema [dB]	Margen del enlace [dB]
Telecom – CUV	171,08	-20	9,18	2,853	3	33,027

Según se aprecia en la tabla 9 de resumen del margen del enlace se tiene un margen positivo, lo que indica que el enlace tendrá buena disponibilidad, a pesar de tener pérdidas por varias situaciones el enlace estará activo así existan inconvenientes climatológicos extremos.

V. ANÁLISIS DE TRÁFICO DE RED

A. Tráfico de internet

En promedio en el transcurso de una hora un usuario verifica contenido de 8 páginas web, cada sitio en mención presenta un promedio de descarga de 5 Mbytes de información, así mismo es importante para el propósito del cálculo indicar que en promedio el tamaño para un sitio web actual está en 800 Kbytes, normalmente la totalidad de usuarios pertenecientes a la red no presentan una conexión simultánea, el rango de utilización está en un 0.2 de su capacidad total, lo que se traduce en que el 20% de la totalidad de los usuarios estarían accediendo simultáneamente a navegar en sitios web. [13]

Según los datos presentados en el párrafo anterior el cálculo de tráfico para un usuario se hace de la siguiente manera:

$$\text{Tráfico de navegación} = \frac{8 \times 800 \text{ Kbytes}}{1 \text{ Hora}} + \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} + \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ Kbyte}} + \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{Tráfico de navegación} = \frac{14563,55 \text{ bits}}{\text{Seg}}$$

$$\text{Tráfico descarga} = \frac{5 \text{ Mbytes}}{1 \text{ Hora}} + \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} + \frac{1024 \text{ K Bytes}}{1 \text{ Kbyte}} + \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ Kbyte}} + \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{Tráfico de descarga} = \frac{11650,84 \text{ bits}}{\text{Seg}}$$

$$\text{Tráfico de internet} = \text{Tráfico de navegación} + \text{Tráfico de descarga}$$

$$\text{Tráfico de internet} = 14563,55 \text{ bits/Seg} + 11650,84 \text{ bits/Seg}$$

$$\text{Tráfico de internet} = 26214,39 \text{ bits/Seg}$$

$$\text{Tráfico de internet} = 26,21 \text{ Kbits/Seg}$$

El tráfico total de internet es el resultado de multiplicar el valor obtenido como gasto de internet para un usuario por la cantidad usuarios que contiene la red, importante tener en

cuenta el valor de usabilidad simultanea para encontrar el resultado, la operación se plantea a continuación:

Tráfico total = Tráfico de internet por usuario * número de usuarios * rango de utilización

$$\text{Tráfico total} = 26,21 \text{ Kbits/Seg} * 1400 * 0,2$$

$$\text{Tráfico total} = 7,34 \text{ Mbits/Seg}$$

B. Tráfico de Correo Electrónico

Revisar correo electrónico es otra de las actividades que se realizan a diario, lo anterior trae como consecuencia en la mayoría de oportunidades la descarga de material que en los mensajes viene adjunta, para éste caso se realiza el cálculo determinando que en una hora alrededor de 6 correos se revisan, se asume que el tamaño para un correo es de 400 Kbytes y de ésta forma se puede determinar cuál es consumo por usuario en una hora.

$$\text{Tráfico de correo} = \frac{6 \times 400 \text{ Kbytes}}{1 \text{ Hora}} + \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} + \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ Kbyte}} + \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{Tráfico de correo} = \frac{5,461 \text{ Kbytes}}{\text{Seg}}$$

El tráfico total de correo electrónico es el resultado de multiplicar el valor obtenido como gasto de correo para un usuario por la cantidad usuarios que contiene la red, importante tener en cuenta el valor de usabilidad simultanea para encontrar el resultado, la operación se plantea a continuación:

Tráfico total = Tráfico de correo por usuario * número de usuarios * rango de utilización

$$\text{Tráfico total} = 5,461 \text{ Kbits/Seg} * 1400 * 0,2$$

$$\text{Tráfico total} = 1,53 \text{ Mbits/Seg}$$

VI. SIMULACIÓN DE LA RED FSO

Una vez se obtienen los resultados después de haber realizado los cálculos se procede a hacer una simulación con lo que se obtuvo, para tal fin se cuenta con el software OptiSystem versión 7 propietario de Optiwave, OptiSystem es una suite de software de diseño integral que le da herramientas a los usuarios para simular y planear enlaces ópticos.

En la figura 4 se plantea la implementación en la simulación del enlace diseñado, es de anotar que los valores se extraen de los cálculos realizados y también de las hojas de especificaciones de los equipos seleccionados.

Como se aprecia en la figura 29 el enlace cuenta con un transmisor el cual se programa con 28,06 dBm así como se

realizó el cálculo matemático, la longitud de onda usada en el ejercicio fue 1550 nm, cuenta con canal de comunicación óptico en el espacio libre y un receptor óptico.

Figura 4. Simulación del enlace FSO propuesto

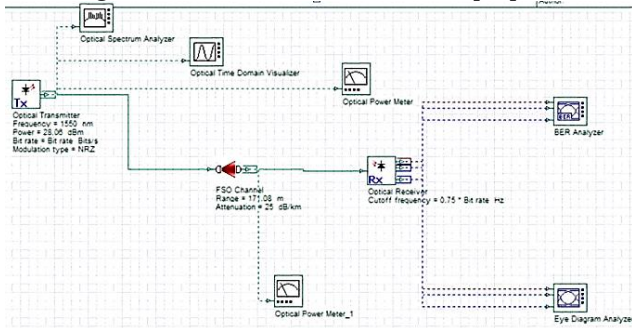


Figura 5. Propiedades del transmisor óptico

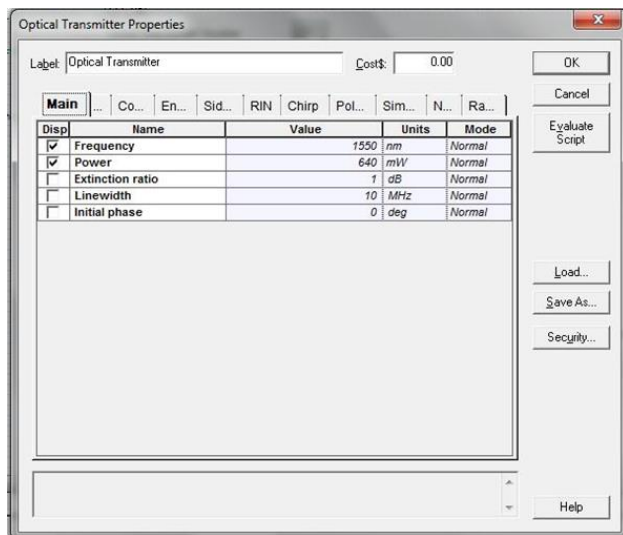
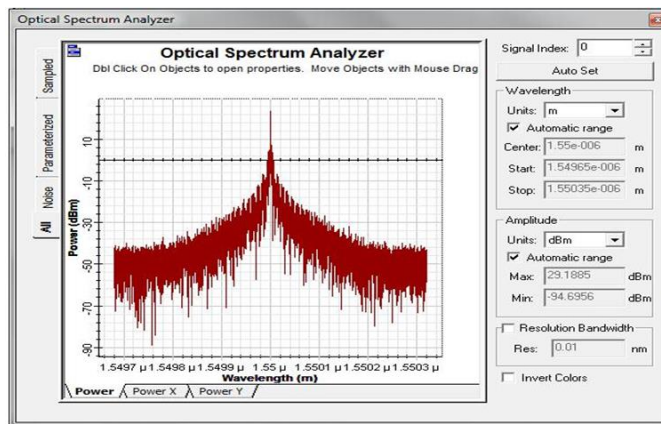


Figura 6. Señal en el analizado de espectro óptico.



En la figura 5 se aprecia la longitud de onda es de 1550 nm combinado con una potencia de salida de 640 MW programado en el transmisor óptico, utiliza un láser con modulación externa como tipo de transmisor.

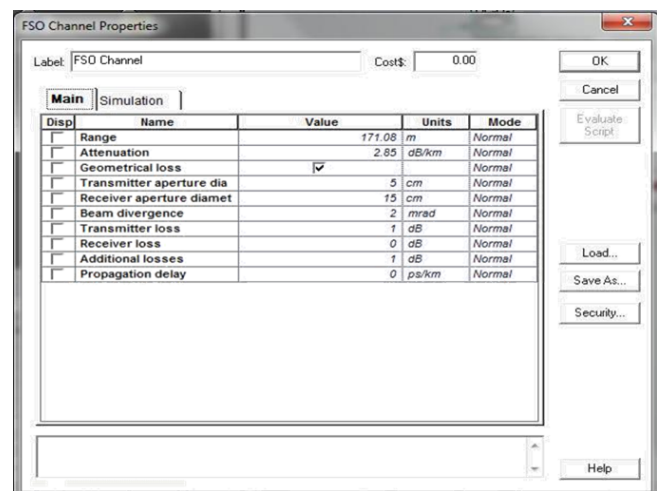
En la figura 6 se describe la simulación de la señal que genera el transmisor óptico en una escala logarítmica en el dominio de la frecuencia.

Figura 7. Potencia de salida del transmisor.



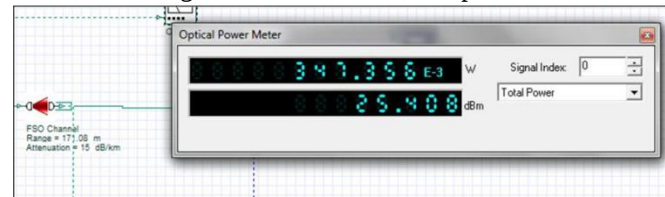
Una vez se active el sistema se realiza una medición a la salida del transmisor para identificar la potencia que está entregando el componente tal como se aprecia en la figura 7.

Figura 8. Potencia de salida del transmisor.



Como se muestra en la figura 8 se muestra la configuración del canal FSO para la simulación, se tienen en cuenta la atenuación, las pérdidas geométricas y las pérdidas del sistema.

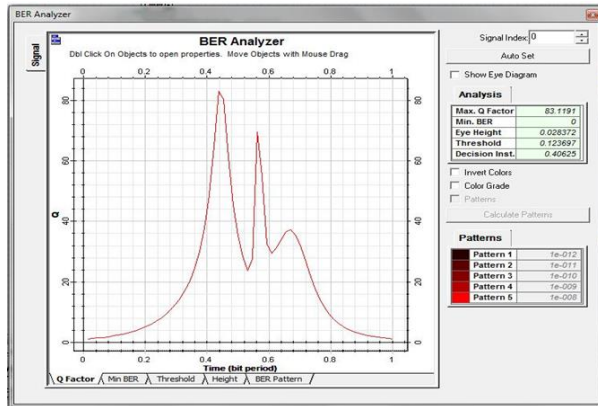
Figura 9. Potencia en el receptor.



En la figura 9 denominada potencia del receptor, se indica la potencia de salida que entrega el sistema, esta señal se ve disminuida ya que se ve enfrentada a condiciones hostiles para llegar a su destino final, sin embargo es un valor apropiado para funcionar, lo cual indica que cuando los factores ambientales y atmosféricos jueguen en contra del sistema no se van a presentar problemas en la transmisión de la señal.

Finalmente, en la figura 10 se ilustran los resultados correspondientes a los errores de transmisión que pueden llegar a presentarse para el enlace establecido.

Figura 10. Resultados del análisis de BER.



VII. CONCLUSIONES

Después de analizar las posibilidades se puede decir que una conexión óptica inalámbrica es la opción más apropiada para proveer de servicios de internet al Colegio nacional Universitario teniendo en cuenta las dificultades en poder realizar modificaciones al plantel. La red óptica inalámbrica FSO (Free Space Optic) seleccionada para realizar el proyecto es eficiente frente a la comunicación por transmisión de microondas, menos costosa que una red de fibra óptica guiada y posible frente a la restricción de construcción.

Pese a que el enlace realizado es con fines de investigación y ejecución de formación para la educación media es una red muy segura ya que la luz emitida no es perceptible por el ojo humano y es muy difícil de detectar por otro medio, la cual puede ofrecer una capacidad de transmisión de hasta 2 Gbps, aspecto que mejora significativamente las condiciones actuales de funcionamiento. Adicionalmente, el diseño de red propuesto ofrece una disponibilidad de emisión de 99.99% con tasa de error casi de cero lo que hace que los emisores sean ideales para solucionar el problema planteado, la luz es indetectable y en caso que lo puedan hacer la información es por haces de luz lo que la hace difícil de descifrar ventaja marcada frente a otras tecnologías de transmisión de información.

REFERENCIAS

- [1] HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación: 4 ed. Mexico: Mcgraw Hill, 2006. ISBN 978-970-10-5753-7
- [2] RUAY-SHIUNG C., Tai-hoon K., SHENG-LUNG P., "Security-Enriched Urban. 2012
- [3] Computing and Smart Grid". Second International Conference SUComS2011. 2011. ISBN 978-3-642-23947-2

[4] JIN C., KUNZ T., "Smart Home Networking: Lessons from Combining Wireless and Powerline Networking". Revista Smart Grid and Renewable Energy, vol 2 2011, pp. 136-151

[5] PÉREZ SOLER, Joaquin. Tesis doctoral "Coexistencia e Integración de Comunicaciones Inalámbricas en Sistemas de Transmisión". 2009, pp 55

[6] Janaka E.,Kithsiri L, "Design and analysis of advanced free space optical communication systems". PP 23 - 36. 2013

[7] Daniel Pascuel Domeño, Juan Cenicerros Medrano," FREE SPACE OPTICS". Pp 1 – 6. 2013

[8] CAPMANY Jose. ORTEGA, Beatriz. Redes Ópticas. 1 ed. Valencia, España: Limusa, 2009. ISBN 978-968-18-7063-8

[9] Eyssaytier, Maurice. Metodología de la investigación / Desarrollo de la inteligencia: 5 ed. Mexico DF: Thomson. 2006, ISBN 970-686-384-2

[10] STALLINGS, William. Redes e internet de alta velocidad: Rendimiento y calidad de servicio. 2 ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2004.ISBN 84-205-3921-x

[11] TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadoras. 5 ed. Naucalpan de Juárez, México: Pearson education, 2012. ISBN 978-607-3208178. 2012

[12] ROBERTO, Román – PABLO Hidalgo L Diseño de la ampliación de la red de comunicación de EMELNORTE utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador PP 2- 3. 2015

[13] TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición. Prentice – Hall. 2003

[14] DIEGO, Mencias, Análisis de factibilidad para la implementación de la tecnología FSO para la comunicación entre las dependencias del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador PP 12 -24. 2015

[15] LUIS, Quiroz – NESTOR Moreno – NELSON Vera, modelo para una red hibrida óptica inalámbrica, Universidad Distrital Bogota Colombia, PP 57 – 60. 2014

[16] JUAN, Suárez, "Técnicas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO) fundamentos teóricos, tecnologías y aplicación", Universidad católica de Santiago de Guayaquil, PP 78. 2012

[17] BRIZUELA, Armando Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis

multitemporal, Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER PP 2-8 (2014).

[18] PROAÑO, Gabriel. Tesis “Estudio técnico comparativo de redes LAN alámbricas e inalámbricas”. 2009, pp 61 - 112

[19] MAYNÉ, Jordi. Comunicaciones inalámbricas “Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia”. 2009, pp 5-6

[20] LINARES, Ricardo; QUIJANO Jimmy. “Implementación Del Protocolo Bluetooth Para La Conexión Inalámbrica De Dispositivos Electrónicos Programables. 2009, pp 1-6