



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO

PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

Tema:

“Análisis de factibilidad para la implementación de la tecnología FSO

para la comunicación entre las dependencias

del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha”

Diego Vinicio Mencías Ibadango

Quito – 2015

## AUTORÍA

Yo, Diego Vinicio Mencías Ibadango, portador de la cédula de ciudadanía No. 171304574-6, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.



---

Diego Vinicio Mencías Ibadango

**Contenido**

Índice de Figuras .....	6
Índice de Tablas .....	6
1. Introducción .....	7
2. Justificación .....	8
3. Antecedentes .....	9
4. Objetivos .....	10
4.1. Objetivo General.....	10
4.2. Objetivos Específicos .....	10
5. Desarrollo del Caso de Estudio.....	11
5.1. Funcionamiento de los Enlaces FSO.....	11
5.1.1. Introducción.....	11
5.1.2. Comunicación Óptica por el Espacio Libre.....	11
5.1.3. Componentes del FSO .....	12
5.1.3.1. Emisor o Transmisor .....	12
5.1.3.2. Fuentes de Luz .....	14
5.1.3.2.1. Fuentes LED.....	14
5.1.3.2.2. Fuentes Láser .....	15
5.1.3.3. Receptor .....	15
5.1.3.3.1. Diodo P I N .....	16
5.1.3.3.2. Fotodiodo APD Avalancha.....	17
5.1.3.4. Sistema Óptico.....	18
5.1.3.4.1. Diseño de Enlaces Ópticos FSO.....	18
5.1.3.5. Sistema de rastreo y adquisición .....	18
5.1.4. Estudio del Margen del Enlace.....	19
5.1.4.1. Pérdida Óptica .....	20
5.1.4.2. Pérdida Geométrica .....	20
5.1.4.3. Pérdida Atmosférica.....	20
5.2. Diferentes Factores que intervienen en los enlaces FSO.....	21
5.2.1. Factor Atenuación Atmosférica .....	21
5.2.1.1. Absorción Atmosférica .....	22
5.2.1.2. Dispersión Atmosférica .....	22
5.2.1.2.1. Dispersión de Rayleigh.....	22
5.2.1.2.2. Dispersión de Mie .....	23
5.2.2. Factor Línea de Vista .....	24
5.2.2.1. Determinación de la Línea de Vista .....	24
5.2.3. Factor Clima.....	24

5.2.3.1.	Lluvia.....	24
5.2.3.2.	Nieve.....	25
5.2.3.3.	Niebla.....	25
5.2.4.	Factor turbulencia.....	26
5.2.4.1.	Desviación del Haz .....	26
5.2.4.2.	Centelleo.....	27
5.3.	Condiciones iniciales de la Red de Datos.....	27
5.3.1.	Estado Actual de la Red del CCPP .....	27
5.3.2.	Redes LAN del CCPP .....	28
5.3.2.1.	Zona Edificio 1 .....	28
5.3.2.2.	Zona Edificio 2 .....	28
5.3.2.3.	Equipos instalados Actualmente .....	29
5.3.2.4.	Servicios de Red del CCPP .....	31
5.3.2.5.	Direccionamiento IP .....	31
5.3.2.6.	Acceso a Internet .....	32
5.3.2.7.	Análisis de requerimientos de Red.....	33
5.3.2.8.	Análisis del tráfico .....	33
5.3.2.8.1.	Índices de Simultaneidad.....	34
5.3.2.8.2.	Cálculo del tráfico de Red.....	35
5.3.2.8.3.	Cálculo de tráfico Correo Interno .....	36
5.3.2.8.4.	Cálculo de tráfico a Base de Datos SIAN .....	37
5.3.2.8.5.	Cálculo estimado del crecimiento de la red .....	37
5.4.	Diseño del Enlace FSO .....	39
5.4.1.	Estudio de Factibilidad FSO.....	39
5.4.1.1.	Análisis de distancias y alturas entre Edificios 1 y 2 .....	39
5.4.1.2.	Análisis de línea de vista.....	40
5.4.1.3.	Cálculo de la distancia del haz óptico .....	40
5.4.1.4.	Cálculo del margen del enlace .....	41
5.4.1.4.1.	Potencia de emisión de la señal .....	41
5.4.1.4.2.	Sensibilidad del receptor.....	41
5.4.1.4.3.	Cálculo de Atenuación Geométrica .....	42
5.4.1.4.4.	Calculo de Atenuación Atmosférica .....	43
5.4.1.4.5.	Pérdidas del Sistema .....	45
5.4.2.	Diagrama Lógico de Red con en el enlace FSO .....	47
5.4.3.	Equipos Requeridos para el enlace FSO .....	47
5.4.3.1.	Modelos de equipos de Red .....	48
5.4.3.2.	Modelos de equipos FSO.....	48

5.5. Análisis de costos de la implementación del enlace FSO.....	49
5.5.1. Equipos de Red.....	49
5.5.1.1. Edificio 1 .....	50
5.5.1.2. Edificio 2 .....	50
5.5.1.3. Equipos FSO.....	51
5.5.2. Instalación de los Equipos.....	51
5.5.2.1. Instalación de los Soportes .....	51
5.5.2.2. Tendido de Fibra Óptica.....	52
5.5.3. Licenciamiento .....	53
5.5.4. Resumen total de valores.....	53
5.6. Artículo científico .....	54
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	54
6.1. Conclusiones.....	54
6.2. Recomendaciones.....	55
Referencias Bibliográficas .....	56

## Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de un enlace FSO.....	12
Figura 2: Diodo P I N.....	17
Figura 3: Fotodiodo Avalancha.....	18
Figura 4: Comunicación Óptica entre puntos A y B.....	19
Figura 5: Divergencia del haz de luz .....	20
Figura 6: Potencia del haz de luz .....	21
Figura 7: Dispersiones Atmosféricas.....	23
Figura 8: Rangos de Visibilidad.....	26
Figura 9: Estructura de Red del CCPP .....	28
Figura 10: Incremento de usuarios del CCPP .....	38
Figura 11: Distancia entre los Edificios 1 y 2.....	39
Figura 12: Alturas entre los Edificios 1 y 2 .....	40
Figura 13: Precipitaciones en Quito.....	44
Figura 14: Diagrama Lógico Enlace FSO.....	47
Figura 15: Conexión Router – Equipo FSO.....	52
Figura 16: Fibra multimodo para cableado externo .....	52

## Índice de Tablas

Tabla 1: Comparativo entre fuentes LED y Láser.....	14
Tabla 2: Departamentos del CCPP.....	27
Tabla 3: Switch Capa 2 .....	29
Tabla 4: Switch Capa 3.....	29
Tabla 5: Router Capa 3.....	30
Tabla 6: Access Point.....	30
Tabla 7: Servidores HP .....	31
Tabla 8: Direccionamiento IP del CCPP .....	32
Tabla 9: Detalle Enlaces ISP PuntoNet.....	32
Tabla 10: Tráfico de red CCPP.....	34
Tabla 11: incremento de usuarios red CCPP .....	38
Tabla 12: Tráfico Estimado en el CCPP.....	38
Tabla 13: Datos Geográficos Edificios CCPP .....	39
Tabla 14: Atenuación Geométrica Obtenida.....	42
Tabla 15: Código de Visibilidad Internacional .....	44
Tabla 16: Atenuación Atmosférica Obtenida .....	45
Tabla 17: Pérdidas del Sistema Obtenidas.....	46
Tabla 18: Margen del Enlace Obtenido .....	46
Tabla 19: Comparación de Equipos FSO .....	48
Tabla 20: Equipos seleccionados para enlace FSO .....	49
Tabla 21: Costos Equipos Edificio 1 .....	50
Tabla 22: Costos Equipos Edificio 2 .....	50
Tabla 23: Costos Equipos FSO .....	51
Tabla 24: Costos Soporte para equipos FSO.....	51
Tabla 25: Costos instalación Fibra Óptica e Impermeabilización .....	53
Tabla 26: Detalle de valor total del rediseño de red con el uso de enlaces FSO...	53

## **1. Introducción**

En los últimos años los dispositivos digitales han ganado un gran posicionamiento en el mercado, dentro de estas nuevas tecnologías, se encuentran los equipos de comunicación de datos con medio no guiado, de corto y largo alcance. Los enlaces ópticos de luz infrarroja han demostrado ser una alternativa competitiva a los enlaces de radio frecuencia y a los medios guiados.

La posibilidad de que una empresa pueda transmitir información con alta velocidad, desde un sitio fijo a otro distante y sin estar limitado por un enlace guiado es estupendo. Sin embargo, esta transmisión algunas veces se ve afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia o niebla, reconocidas como las principales causas que alteran la propagación de la luz en el espacio libre, atenuando la señal y en el peor de los casos interrumpiendo la transmisión.

En busca de una solución a esta problemática, se propone el estudio de estos fenómenos climáticos, apoyándose en datos estadísticos de lluvia y niebla registrados en los últimos años en la ciudad de Quito, los cuales permitirán conocer el efecto de éstos en las comunicaciones ópticas.

En este sentido, se tiene que el enlace propuesto debe cumplir las capacidades y requerimientos, de tal forma que garantice su óptima utilización. Para ello, se analizarán los principales factores que intervienen en el diseño de enlaces con tecnología FSO, siendo los más importantes las condiciones atmosféricas y sus efectos, la velocidad de transmisión y la distancia entre los nodos.

La variedad de las condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito, exige configurar los equipos del enlace para operar bajo condiciones extremas. Esto da como resultado, que se tenga que disminuir la distancia entre los nodos para la configuración de los parámetros de transmisión óptica.

Además, los sistemas y equipamientos FSO contendrán las condiciones y características mínimas necesarias, como para ser tomados en cuenta como una solución alternativa para los medios guiados actuales, los cuales tienen altos costos de instalación y mantenimiento.

## 2. Justificación

La implementación y desarrollo de las tecnologías de información y comunicación, la relación existente entre el incremento y difusión de nuevas tecnologías y las posibilidades que las organizaciones tengan acceso a ellas, conocerlas y utilizarlas.

Apropiación de las innovaciones tecnológicas por parte de las empresas, es decir, que los procesos de renovación deben ser entendidos como un proceso de renovación social, que incrementa las fortalezas de la organización, otorgándole procesos más dinámicos, continuos y acumulativos, que la vuelvan altamente competitiva.

Dentro de los sistemas FSO no existe una “aplicación típica”, por lo que están siendo utilizados por una amplia variedad de organizaciones. El único factor en común, es que todas poseen varias sucursales y desean interconectar servicios.

La tecnología FSO ofrece confiabilidad y un costo recuperable rápidamente frente a las instalaciones cableadas, además de ser una excelente alternativa de efectuar instalaciones temporales.

Hoy en día se difunde cada vez más, el uso de tecnologías inalámbricas de transmisión de datos, lo que permitirá la evolución de redes de nueva generación en el Ecuador y además otorgará desarrollo tecnológico a organizaciones sin fines de lucro.

Por las razones anteriormente mencionadas se vislumbra la necesidad e importancia de realizar la investigación planteada, ya que la incursión de tecnologías ópticas de comunicación por el espacio libre se incrementará paulatinamente en nuestro país y habrán más organizaciones interesadas en adoptar esta tecnología como parte de su infraestructura, por lo que requerirán asesoría en el campo de las telecomunicaciones, contribuyendo así a la generación y oportunidades de empleo para los profesionales involucrados en este ámbito tecnológico. Se considera que el caso de estudio es factible, ya que se cuenta con los conocimientos, recursos técnicos, materiales, además por la promoción y difusión con la que cuentan las comunicaciones inalámbricas que trabajan sobre frecuencias de banda libre.

### **3. Antecedentes**

Actualmente las comunicaciones inalámbricas, se presentan como soluciones con gran adaptación en entornos donde el cableado no puede llegar, donde se requiere gran movilidad en cuanto a usuarios de la red, o simplemente donde los costos de su aplicación son menores en comparación a otro tipo de tecnología. Estos tres parámetros son los que motivan la investigación en ésta área, la misma que genera resultados muy importantes para el sector de las comunicaciones.

Uno de esos resultados corresponde a la comunicación óptica por espacio libre FSO, la cual fue retomada hace poco más de cuarenta años atrás a partir de la invención del láser y la fibra óptica, ya que su historia data del año 1880, cuando Graham Bell empleó luz solar reflejada en un espejo vibrante junto con una fotocelda de Selenio para transmitir señales telefónicas.

Los equipos FSO son de fácil instalación y montaje sobre terrazas, torres, y hasta detrás de ventanas; enlazar sitios de un máximo de 4 Kilómetros de distancia, siempre que se tenga línea de vista entre ellos. Su puesta en funcionamiento tarda menos de un día y en caso que se necesite mover ese enlace hacia otra dirección que mantenga la línea de vista se lo puede realizar de forma inmediata, enfocando el equipo en su nuevo sentido.

Esta es una ventaja absoluta ante los medios guiados tradicionales como son la fibra óptica y el cobre, sin contar con los gastos de instalación que estos acarrearán.

Otra ventaja sustancial es el ancho de banda que permiten estos equipos. Se tiene un máximo para esta tecnología de 2.5 Gbps, lo que indica que si el requerimiento del enlace sube, no será necesario reemplazar los equipos.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

Analizar la factibilidad y estudio de la implementación de la tecnología FSO (Free Space Optics - Comunicación Óptica por el espacio libre), para la comunicación entre las dependencias del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha en la ciudad de Quito.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- 4.2.1. Describir las características técnicas y funcionamiento de la tecnología FSO.
- 4.2.2. Recopilar información de los diferentes factores que intervienen en los enlaces FSO.
- 4.2.3. Analizar la infraestructura de red actual de la zona de estudio.
- 4.2.4. Diseñar el enlace FSO.
- 4.2.5. Efectuar el análisis de costos de la implementación de la tecnología FSO.
- 4.2.6. Redactar un artículo científico en el cual se describen los resultados del caso de estudio.

## **5. Desarrollo del Caso de Estudio**

### **5.1. Funcionamiento de los Enlaces FSO**

#### **5.1.1. Introducción**

El objetivo principal de las comunicaciones ópticas FSO, es enviar información a través del espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que transmitidas por las fibras ópticas. “Las FSO permiten conectar edificios cercanos entre sí de una forma 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” [19].

#### **5.1.2. Comunicación Óptica por el Espacio Libre**

El funcionamiento de los enlaces FSO está basado en lo siguiente: se instalan los transmisores y receptores en los lugares solicitados y se transmiten un haz de luz que lleva todo tipo información. El ancho de banda de estos enlaces es de hasta 2.5 Gbps [1]. En experimentos de laboratorio ha logrado transmitir hasta 160 Gbps., velocidades similares a las de fibra óptica.

La información llega al transmisor, en donde se traslada al entorno óptico. “La modulación que se utiliza se denomina modulación en potencia; ya que no es exactamente una modulación en amplitud (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)” [18]. Es decir, un enlace que utiliza las FSO es exactamente igual que un enlace convencional de fibra, pero que utiliza un medio de transmisión diferente.

Un sistema FSO consta de un transmisor y un receptor de luz infrarroja. La idea es exactamente la misma que los enlaces de fibra óptica, pero con la diferencia del medio de transmisión (guiado y no guiado). Es decir, transmisor y receptor estarán perfectamente enlazados para que se pueda enviar datos entre ellos.

Ya que estos dispositivos se instalan en terrazas de edificios al aire libre, deben tener ciertas especificaciones que ayuden a proteger el equipo del viento y de la humedad.

La ventaja principal de las comunicaciones ópticas por el espacio libre es lo sencillo de su instalación. No requiere abrir veredas de las ciudades ni realizar costosos tendidos de fibra para la implementación del enlace. Simplemente se colocan los transmisores y receptores de tal manera que haya visión directa entre ellos (línea de vista). Ya que los enlaces trabajan en el espectro óptico, los haces de luz infrarroja no pueden atravesar objetos sólidos, pero sí atraviesan vidrios. Esto hace posible colocar los emisores y receptores dentro de los edificios evitando dañar el entorno de las fachadas de los edificios.

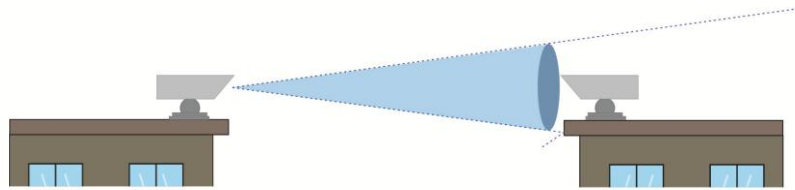


Figura 1: Esquema de un enlace FSO.  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.1.3. Componentes del FSO

Los sistemas de comunicación por el espacio libre está compuesto por:

- Dos dispositivos emisor y receptor
- Sistema óptico y
- Sistema de rastreo y adquisición

#### 5.1.3.1. Emisor o Transmisor

En la actualidad, los sistemas de comunicación por el espacio libre, utilizan una variedad de fuentes emisoras de luz para la transmisión de datos, de las cuales, las más usadas son las fuentes de transmisión con semiconductores. Se diferencian por los parámetros de longitud de onda, frecuencia y potencia.

Las fuentes transmisoras ópticas, generan una onda portadora óptica que será modulada por las señales eléctricas de un equipo digital, sus características son:

- Tamaño pequeño
- Gran potencia de señal
- Reducido consumo eléctrico
- Gran rendimiento bajo climas adversos.

El objetivo principal de la tecnología FSO es usar al láser generado por semiconductores. Estos láseres, son de pequeñas dimensiones y se fabrican en altos volúmenes y con costos relativamente bajos. Muchos de éstos, son utilizados en fibra óptica GPON [8].

Debido a que la dispersión de la luz y la distribución espectral que presentan los diodos LED, estos se usan únicamente cuando se necesita transmitir a cortas distancias, de baja potencia y de velocidades de transmisión de aproximadamente 155 Mbps; por otra parte, el láser posee un espectro de emisión reducido, con lo cual la luz no llega a dispersarse tanto como sucede con los diodos LED, resultando mucho más eficiente en transmisiones con distancias largas.

Seleccionar una fuente de láser para aplicaciones FSO puede llegar a depender de ciertos factores. La longitud de onda para la transmisión debe estar relacionada con la ventana atmosférica. La ventana atmosférica ideal comprende entre 850 nm y 1550 nm, en el rango más corto de longitud de onda del infrarrojo. En el rango más grande del infrarrojo, las longitudes de onda están presentes entre 3-5 micrómetros y 8-14 micrómetros [9]. De todas maneras lo más conveniente en fuentes de luz es usar rangos de longitud de onda grandes lo cual es bastante limitado en la actualidad.

Más factores a tomar en cuenta para el uso de fuentes de luz en aplicaciones FSO son:

- Análisis de Costo - Beneficio.
- Dimensiones y adaptabilidad de los equipos.
- Potencia de transmisión.
- Seguridad hacia el ojo humano.
- Compatibilidad y fiabilidad con otros estándares.

- Tiempo de vida, repuestos y garantía.

### 5.1.3.2. Fuentes de Luz

Las fuentes deben emitir luz a una longitud de onda que concuerde con una de las ventanas de transmisión de bajas pérdidas en la fibra. Los principales requisitos que deben cumplir las fuentes de luz son:

- Estabilidad contra los cambios bruscos de temperatura. LED es más estable que el Láser.
- Longitud de onda adecuada, ya que afecta tanto a la atenuación como a la dispersión de los pulsos transmitidos.
- Óptima potencia de salida, que no ocasione distorsión en fibra o en el receptor, pero la necesaria para alcanzar largas distancias.

La intensidad de la luz no es uniforme en todos los ángulos a los cuales es emitida la luz, va decayendo con la distancia desde el centro. La luz emitida por Láser se dispersa en ángulos entre 10° y 20°, por su parte la luz emitida por LED se dispersa en ángulos mayores. Los LED son más económicos y tienen una vida útil más larga.

CARACTERÍSTICA	LED	LÁSER
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

Tabla 1: Comparativo entre fuentes LED y Láser  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.1.3.2.1. Fuentes LED

LED es un diodo de unión P-N, el cual emite luz en el momento que se aplica un voltaje de polarización directa.

Cuando se polariza la unión, los electrones de la capa N se trasladan hacia P y se recombinan con los espacios que existen en ella y viceversa.

Durante este proceso de recombinación se libera energía, la cual es liberada como un fotón de luz.

La emisión en la unión P-N es aleatoria, es decir, las ondas de luz no están en fase entre sí. Por tal motivo, la potencia de salida de un LED es mucho menor que la de un Láser.

Los diodos simples emiten luz en todas direcciones, ya que han sido empaquetados de tal forma que emisión procede de sus superficies, y la luz es emitida en un amplio cono.

#### **5.1.3.2.2. Fuentes Láser**

Se caracterizan por su emisión, la cual es siempre estimulada y coherente; como consecuencia se dan potencias de salida mayores y luz más direccional.

Se emite luz cuando un electrón en un semiconductor cae desde un nivel de energía superior, hacia uno de menor energía, liberando una cantidad de energía igual a la diferencia de energía entre los 2.

Las condiciones que una fuente Láser debe cumplir:

- Capacidad de modulación hasta frecuencias por sobre los GHZ.
- Coherencia espacial alta, para ser enfocado por lentes.
- Potencias ópticas de emisión por encima de los mW.

Al contrario de lo que sucede en los diodos, en los Láseres la emisión es estimulada. Con el fin de conseguir el efecto Láser, se requiere que haya más electrones en el nivel de mayor energía. En estas condiciones, al recombinarse un electrón con un orificio se libera un fotón, el cual estimula otras recombinaciones es decir, hace que otros electrones lleguen a un estado de menor energía, emitiendo un nuevo fotón sucesivamente.

La vida media de un Láser es menor, al tener que trabajar en condiciones más extremas que un LED.

Aunque los diodos Láser tienen un ancho espectral estrecho (1 – 5 nm), éstos emiten múltiples longitudes de onda, por lo que este ancho espectral puede causar problemas de dispersión cuando se transmite a muy altas velocidades.

Para superar este inconveniente, existen Láseres cuya emisión se limita a una sola longitud de onda (monomodo).

#### **5.1.3.3. Receptor**

Los receptores son tan importantes como los transmisores, ya que su función es detectar la luz generada por el emisor. De la misma manera que las fuentes de láser, muchos detectores de los sistemas FSO están basados en

semiconductores. Son capaces de operar en varios rangos de longitud de onda dependiendo del material usado.

Los receptores ópticos demodulan la portadora óptica transmitida, generando la señal de información, y sometiéndola a procesos de filtros y amplificación en el receptor [2]. Las principales características de los receptores se detallan:

- Alta eficiencia y sensibilidad en la recepción de señales
- Tamaño reducido y bajo consumo.
- Excelente rendimiento en la conversión de la señal óptica a eléctrica.

El receptor convierte la señal óptica en eléctrica; luego, la señal se regenera y se conduce a un equipo terminal para incorporarse a la siguiente etapa de un repetidor óptico.

Para los sistemas FSO se utilizan básicamente los fotodiodos, debido a que éstos semiconductores son pequeños, sensibles y proveen diferentes bandas de longitudes de onda que son fundamentales en FSO.

Los fotodiodos son semiconductores que funcionan polarizados inversamente. Durante la absorción de la luz, cuando un fotodiodo es iluminado, las partículas de energía luminosa, también llamadas fotones, son absorbidas generando pares electrón-hueco, que en presencia de un campo eléctrico producen una corriente eléctrica [10]. Estos dispositivos son muy veloces con alta sensibilidad y tamaño reducido.

Los fotodiodos utilizados actualmente son:

- PIN: Positivo – Intrínseco – Negativo
- APD: Fotodiodo Avalancha

#### **5.1.3.3.1. Diodo P I N**

Está formado por una capa intrínseca, de material semiconductor casi pura, introducida entre la unión de 2 capas de materiales semiconductores P y N, a la cual se le induce una tensión de polarización contraria.

La luz entra al diodo por una ventana muy pequeña y es absorbida por el material intrínseco, el cual agrega la energía suficiente para lograr que los electrones se muevan de la banda de valencia a la banda de conducción y se generen portadores de carga eléctrica que permiten que una corriente fluya a través del diodo.

Los diodos PIN requieren voltajes pequeños para funcionar, pero deben utilizar excelentes amplificadores. Tienen tiempos de vida relativamente altos; que podrían reducirse debido a factores externos y son los más indicados para el uso en segunda ventana (1300nm) y tercera ventana (1550 nm).

El diodo PIN es ideal para los tiempos de respuestas lentos en las estructuras del semiconductor. Estos semiconductores son los más utilizados en los detectores de sistemas FSO.



Figura 2: Diodo P I N

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solids/imgsol>

#### 5.1.3.3.2. Fotodiodo APD Avalancha

El fotodiodo de avalancha está formado de una estructura de componentes semiconductores, en el siguiente orden (P I P N)

Una vez que la luz ingresa al diodo es absorbida por la capa N, haciendo que ciertos electrones pasen de la banda de valencia a la de conducción.

El fotodiodo Avalancha es varias veces más sensible que el PIN y no requieren amplificación extra. Sus desventajas son: los tiempos de transición son muy largos y su vida útil es muy corta [5].

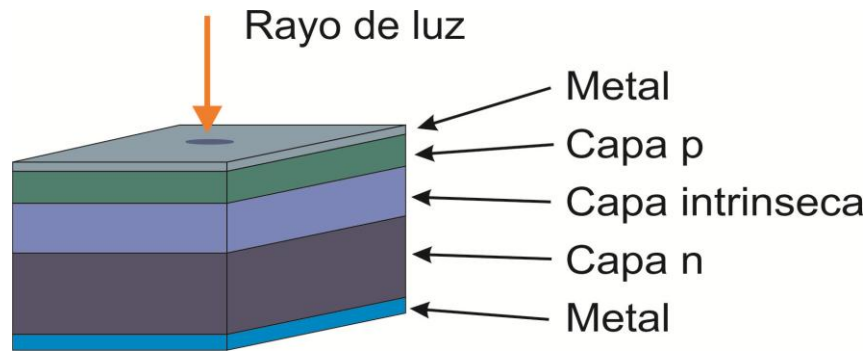


Figura 3: Fotodiodo Avalancha

Fuente: <http://fibrasopticas92.blogspot.es/cache/media/files/00/365/839/2014/07>

#### 5.1.3.4. Sistema Óptico

El sistema óptico cumple un papel muy importante en el diseño de los enlaces FSO. En la actualidad los sistemas FSO utilizan distintos diseños tanto de lentes como espejos. Considerando que los lentes están basados en la física de la refracción de la luz y los espejos están basados en las propiedades reflectivas de los materiales, dichos diseños dependen de los requerimientos de desempeño y aplicaciones específicas.

##### 5.1.3.4.1. Diseño de Enlaces Ópticos FSO

Se aplican distintos diseños de enlaces ópticos en aplicaciones FSO. La óptica es utilizada para transmitir señal por medio de transmisores de poca divergencia, para atrapar luz con los receptores y acoplar dicha hacia la fibra.

Con el fin de optimizar el desempeño del enlace se debe equilibrar el enlace óptico a la dimensión del receptor y la divergencia del haz de luz que se transmitirá.

##### 5.1.3.5. Sistema de rastreo y adquisición

La tarea principal de los sistemas de rastreo y adquisición es recuperar la alineación del haz de luz hacia el nodo del receptor, en caso de perder su alineación debido a vibraciones de la estructura donde el equipo FSO está montado.

Cuando los equipos se desalinean existe un incremento en los de errores de transmisión hasta la pérdida total de los datos del enlace. Existen métodos por

parte de los fabricantes de los equipos que permiten recuperar la alineación del haz de luz, estos son:

- Sistemas de Autorastreo
- Espejos direccionados
- Detectores Quad y Gimbals

No se profundizará en los ítems mencionados ya que no son parte de los objetivos de este caso de estudio.

#### 5.1.4. Estudio del Margen del Enlace

Es importante el análisis del margen de enlace en un sistema de comunicaciones, en particular los sistemas FSO están relacionados con factores de atenuación en el aire entre el emisor y el detector que pueden cambiar en el tiempo a causa del clima, y es importante hacer énfasis en las factores atmosféricos del entorno en el que se va a instalar en enlace FSO.

Por ejemplo, existe un enlace donde el emisor se encuentra en el punto A y el detector en el punto B y el haz de luz comienza a emitirse. La Figura 4 muestra un enlace FSO instalado en un edificio ubicado en la zona comercial de una ciudad. Para el óptimo intercambio de datos es necesario tomar en cuenta la potencia disponible en el detector en el momento que la señal ya partió del transmisor.

Se torna imprescindible comprender como el detector usa la potencia y más que tan fiable es el enlace FSO en una distancia determinada. El factor distancia es importante debido a que la potencia del haz de luz recibido puede variar en periodos de tiempo.



Figura 4: Comunicación Óptica entre puntos A y B  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.1.4.1. Pérdida Óptica

Esta pérdida se produce a raíz de la imperfección en los lentes ópticos. Por ejemplo, el lente es capaz de transmitir un 96% de luz y el restante 4% se refleja o absorbe. En la planeación del enlace FSO se tomará en cuenta un valor llamado "pérdida óptica".

#### 5.1.4.2. Pérdida Geométrica

Se refiere a las pérdidas ocurridas por la divergencia del haz de luz óptico. Los láseres no son completamente directos, estos van "expandiéndose" conforme avanzan por el medio (no guiado). La divergencia es el ángulo de apertura del láser. Dicho ángulo es directamente proporcional a la distancia en el extremo opuesto, e inversamente proporcional a la potencia recibida en el detector del equipo opuesto.

El resultado de la divergencia se debe a que el haz de luz no es percibido por el detector. Este ángulo tiene una forma de cono (Figura 5), por lo tanto el haz se va expandiendo conforme el haz de luz avanza hacia el equipo opuesto, debido a esto no toda la luz llega hacia el receptor, provocando un desperdicio de luz alrededor del este [4].



Figura 5: Divergencia del haz de luz  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.1.4.3. Pérdida Atmosférica

La atmósfera causa la atenuación de los enlaces FSO de varias formas: la absorción, dispersión (dispersión de Mie) y cintilación. Estos fenómenos varían en el tiempo y son dependientes de las condiciones climáticas del entorno donde se ubica el enlace.

El último ítem a ser calculado del enlace es descifrar la distancia a la cual se debe instalar el transmisor del detector. Si se determina una distancia es necesario conocer el margen de desvanecimiento del haz de luz en una distancia

dada, una vez conocido ese valor, se podrá estimar la fiabilidad del sistema FSO. La sensibilidad es una medida de cómo el equipo detector de la señal puede usar la potencia recibida. Los enlaces FSO usan una codificación binaria de código ON / OFF, es decir, que 1 representa presencia de luz y 0 ausencia de la misma, y el receptor detectará estos dos códigos.

## 5.2. Diferentes Factores que intervienen en los enlaces FSO

Ya sea un día claro y soleado como un día seco y ventoso, presentan un aire formado de moléculas de oxígeno y vapor de agua, además existen otros componentes invisibles, especialmente en lugares con aire contaminado. Todas estas partículas contribuyen a absorber o dispersar a los fotones que se propagan en la atmósfera [6]. A raíz de esta conclusión se debe seleccionar la ventana atmosférica adecuada con una longitud de onda óptima.

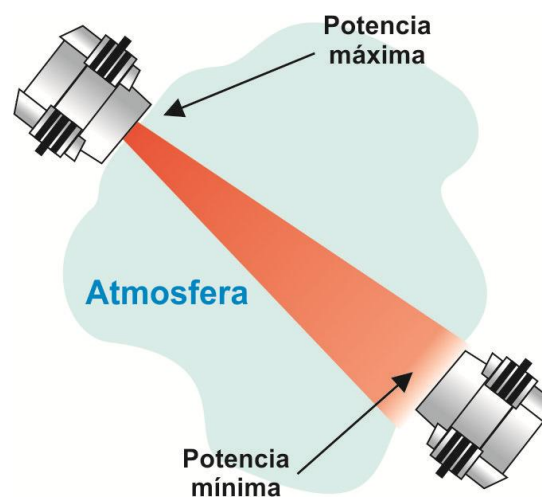


Figura 6: Potencia del haz de luz  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.2.1. Factor Atenuación Atmosférica

También llamada Ley de “Beer - Lambert”, detalla la atenuación del haz de luz a través de la atmósfera debido a dispersión y absorción.

La ley se basa en la siguiente fórmula:

$$\frac{P_R}{P_O} = \tau(R) = e^{-\gamma R}$$

En donde:

$P_R$	Potencia de la señal a una distancia R
$P_O$	Potencia inicial de la señal
$\tau(R)$	Transmitancia
$\gamma$	Coefficiente total de atenuación

#### 5.2.1.1. Absorción Atmosférica

Diversas sustancias (Gases), presentes en la atmósfera, absorben varias bandas específicas de frecuencias que pertenecen al espectro electromagnético.

Las moléculas que están en el aire absorben luz y por lo tanto provocan atenuación sobre el haz de luz, es decir, no llega toda la luz al receptor. La absorción depende de la longitud de onda de la señal ( $\lambda$ ). Las longitudes de onda determinadas para que exista menor absorción se llaman “ventanas de la atmósfera”; las dos ventanas principales están en los rangos: entre 3 y 4  $\mu\text{m}$ , y entre 8 y 12  $\mu\text{m}$ .

La absorción atmosférica no influye de manera determinante en los enlaces FSO.

#### 5.2.1.2. Dispersión Atmosférica

Es el fenómeno mediante el cual, pequeñas partículas suspendidas en la atmósfera hacen que una porción de la radiación incidente, se propague en cualquier dirección. La dispersión de este modo representa una redistribución espacial de la energía.

La dispersión atmosférica es una función de la longitud de onda de la radiación y del tamaño (diámetro) de las partículas presentes en la atmósfera.

Hay dos tipos principales de dispersión atmosférica: dispersión Rayleigh y dispersión de Mie.

##### 5.2.1.2.1. Dispersión de Rayleigh

Se refiere a la dispersión de luz generada por las moléculas del aire, ampliándose a la dispersión por partículas de aproximadamente 1/10 parte de la longitud de onda del haz de luz. Es la dispersión de Rayleigh de las moléculas del aire, la que nos da el cielo azul.

La dispersión de Rayleigh también es considerada como dispersión elástica, ya que las energías de los fotones dispersos no son cambiadas.

Cuando el tamaño de las partículas es mayor que la longitud de onda, la luz no se divide y las longitudes de onda no se dispersan. Para que la luz se disperse, el tamaño de las partículas debe ser similar o menor que la longitud de onda.

### 5.2.1.2.2. Dispersión de Mie

En las partículas de tamaño mayores que una longitud de onda, predomina la dispersión de Mie. Esta dispersión produce un patrón como un lóbulo de antena, con un lóbulo delantero más nítido y más intenso en las partículas más grandes.

La dispersión de Mie no es fuertemente dependiente de la longitud de onda, sin embargo, en rangos de longitudes de onda que se aproximan a la región de los infrarrojos la niebla y partículas por contaminación de aerosoles son principales contribuyentes de la dispersión de Mie. Este tipo de absorción se presenta en la mayor parte del espectro electromagnético.

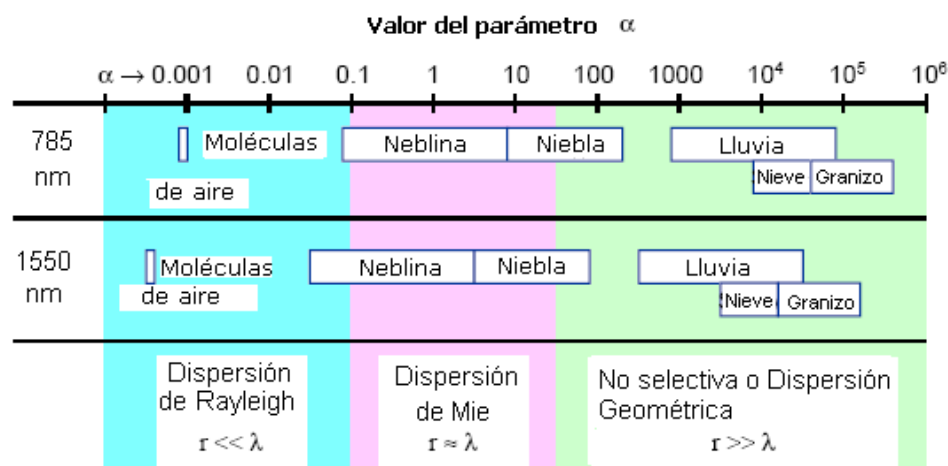


Figura 7: Dispersiones Atmosféricas  
Fuente: [bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4232](http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4232)

Comparando las longitudes de onda usadas en los enlaces FSO con el valor promedio del radio de las partículas de neblina y niebla son aproximadamente iguales, es decir, la niebla se constituye en el enemigo No.1 del haz de luz, las partículas de granizo y lluvia son partículas de dimensión mayor, las cuales obstaculizan en menor proporción al haz de luz.

El funcionamiento de los enlaces FSO en ambientes de niebla espesa requieren cortas distancias entre los equipos transmisor y receptor, con el fin de mantener

un alto porcentaje de disponibilidad. La mayoría de fabricantes de equipos FSO aseguran un 99.99% en el margen de potencia en distancias por debajo de los 200 metros.

### **5.2.2. Factor Línea de Vista**

El requisito fundamental para la comunicación óptica por el espacio libre es la línea de vista entre los nodos que componen el enlace. Los enlaces FSO requieren línea de vista, es decir, que el emisor y detector que están en ubicaciones distintas se puedan ver. A razón de que el haz de luz infrarrojo se difunden en modo lineal, el criterio de línea de vista no es tan estricto como sí lo son los enlaces de microonda, que requieren un camino despejado y deben considerar las zonas de Fresnel.

#### **5.2.2.1. Determinación de la Línea de Vista**

La forma óptima de verificar la existencia de la línea de vista entre dos sitios la inspección visual. Para distancias mayores a 1 kilómetro la determinación de línea de vista es más compleja, es necesario el uso de lentes y telescopios para alinear los equipos, todos los fabricantes incluyen un telescopio alineador en los equipos ópticos para resolver este inconveniente, otros fabricantes prefieren usan sistemas basados en el trazado de mapas. Dichos mapas contienen información precisa de los edificios con las coordenadas específicas de ubicación y así pueden determinar si existe línea de vista entre los nodos solicitados.

### **5.2.3. Factor Clima**

La principal debilidad de los enlaces FSO es la vulnerabilidad a cambios climáticos como los son: la niebla, lluvia, neblina, etc. Ya que la tecnología FSO está basada en la comunicación de señales ópticas en el espacio libre, los haces de luz transmitidos pueden ir atenuándose conforme los fenómenos climáticos se presenten. Es así que estos eventos reducirán el porcentaje de disponibilidad del enlace.

#### **5.2.3.1. Lluvia**

El factor lluvia tiene un impacto relativamente más bajo que la niebla, debido a que la gotas de lluvia miden entre 200 – 2000  $\mu m$  en su radio, valores que son mayores que la longitud de onda de una fuente de luz de los enlaces FSO.

La atenuación causada por la lluvia depende de la naturaleza de la misma. Por ejemplo, en una precipitación de 2.5 mm/hora la atenuación de la señal es 6dB/km; por lo cual los enlaces FSO disponibles comercialmente operan con un margen de enlace de 25dB y así la lluvia puede caer sin obstaculizar la transmisión.

Un dato interesante a mencionar, son las tecnologías inalámbricas RF que trabajan en frecuencias por encima de los 10 GHz, los cuales son afectados por la lluvia pero tienen poco impacto con la niebla. Debido a la igualdad de la longitud de las ondas RF con las gotas de lluvia y ambos son más grandes que las gotas húmedas de niebla. Las frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz que son de uso libre, no resultan afectadas por niebla y lluvia [7].

#### **5.2.3.2. Nieve**

Los cristales de hielo que conforman la nieve tienen una variedad de dimensiones y formas. El tamaño de la nieve es mayor que la lluvia, pero en condiciones atmosféricas, donde la nieve llega a cubrir muchas superficies, obstaculizando la visibilidad, la atenuación tiende a incrementarse. Aunque la dispersión causada por la nieve no resulta ser un gran inconveniente en los enlaces FSO, ya que el tamaño de los copos de nieve son mucho mayores a la longitud de onda en las que trabajan. El rango del impacto de una lluvia y caída de nieve ligeras, con un poco de niebla, la atenuación estará entre de 3 dB/km a 30 dB/km aproximadamente.

#### **5.2.3.3. Niebla**

La niebla es el fenómeno climático que más afecta a los enlaces FSO, ya que está compuesto de gotas de agua pequeñas con un radio casi igual a la longitud de onda de una fuente de luz. En condiciones climáticas donde existe presencia de niebla los rangos de visibilidad están entre 0 y 2000 metros. Cuando la visibilidad es mayor a los 2000 metros la condición climática a menudo se denomina bruma.

En la Figura 8 se ilustra los efectos de la niebla en función de la visibilidad en un edificio en Quito, cuyo alto es aproximadamente 60 metros. En la fotografía de la izquierda se puede divisar claramente el edificio debido a que el día se encuentra

claro y despejado donde la pérdida es 6.5 dB/km con un rango de visibilidad de 2000 metros, en la fotografía del medio existe la presencia de niebla ligera donde la pérdida es de 150 dB/km con un rango de visibilidad de 113 metros, en cuyo caso el edificio todavía es visible a 300 metros de distancia y en la fotografía de la derecha la niebla es sumamente espesa por lo que el edificio ya no se lo puede visualizar en este caso la pérdida es de 225 dB/km con un rango de visibilidad de 75m.

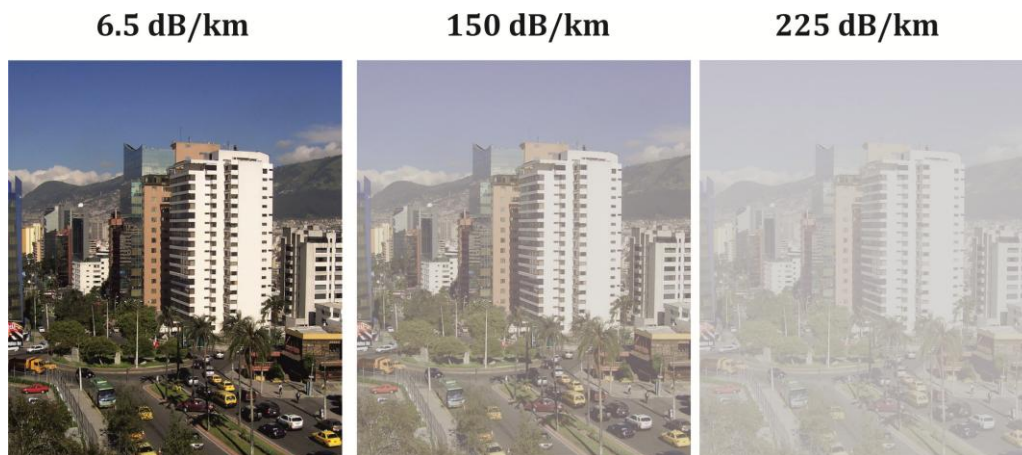


Figura 8: Rangos de Visibilidad  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.2.4. Factor turbulencia

El desierto podría parecer la situación perfecta para el funcionamiento de un sistema FSO. Sin embargo, el calor, el clima seco, la fuerza de la turbulencia causa problemas en la transmisión. Debido al calor del suelo causado por el sol intenso, las corrientes de aire, causan un cambio en el índice de refracción, lo que provoca que la luz que viaja cambie mientras está se propaga a través del aire.

Estas corrientes de aire no son estables en el tiempo, el cambio del índice de refracción aparece según el movimiento del aire el cual es impredecible.

El haz del láser experimenta dos efectos debido a la turbulencia, el primero es la desviación del haz y el otro efecto se genera por cambio de fase el cual varía produciendo intensas fluctuaciones o cintilación.

##### 5.2.4.1. Desviación del Haz

El haz de luz puede ser desviado en distintas direcciones debido a los cambios del índice de refracción. Este fenómeno se conoce como desviación del haz de

luz, debido a la refracción a través del aire, similar a lo que sucede cuando la luz pasa a través de otra clase de medio refractivo, como un lente de vidrio.

#### 5.2.4.2. Centelleo

Es la consecuencia de la turbulencia térmica que ocurre dentro del medio de propagación, la cual produce una distribución aleatoria de las células. Dichas células tienen tamaños (10 cm – 1 km), temperaturas e índices de refracción variables, que tienen como resultado la dispersión, cambio de los trayectos y la variación de los ángulos de llegada. Asimismo, el centelleo hace que se distorsione el frente de ondas, con lo cual el haz se desenfoca

### 5.3. Condiciones iniciales de la Red de Datos

#### 5.3.1. Estado Actual de la Red del CCPP

Para poder efectuar el diseño del enlace FSO, es importante tener una clara del estado actual de la red, para esto se plantean las siguientes tareas:

- Inspección física y lógica de la red
- Recopilación de información de topología de red y del direccionamiento IP de las dependencias del CCPP.

El resultado obtenido de estas actividades es fundamental para el desarrollo de este Caso de Estudio, ya que permitir generar un red óptima con un adecuado uso de los recursos de red.

La red del CCPP está orientada principalmente a la interconexión de los dos edificios. La red se encuentra dividida en dos zonas: Edificio 1 y Edificio 2, cada zona tiene su respectivo switch de core, actualmente actúan como enlaces independientes. Cada zona tiene sus respectivas dependencias.

ZONA EDIFICIO 1	ZONA EDIFICIO 2
Cooperativa CCPP	Capacitación
Auditorio	Aulas
Administrativo	Auditorio 2
TI - Data Center	
Presidencia	
Afiliación	
Recaudación	

Tabla 2: Departamentos del CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.3.2. Redes LAN del CCPP

#### 5.3.2.1. Zona Edificio 1

El Edificio 1 posee una topología estrella con varios puntos de red conectados y direccionados a diferentes pisos del Edificio como son: Cooperativa CCPP, Auditorio, Administrativo, TI – Data Center, Presidencia, Afiliación, Recaudación. La estructura de la red está mostrada por la Figura 9.

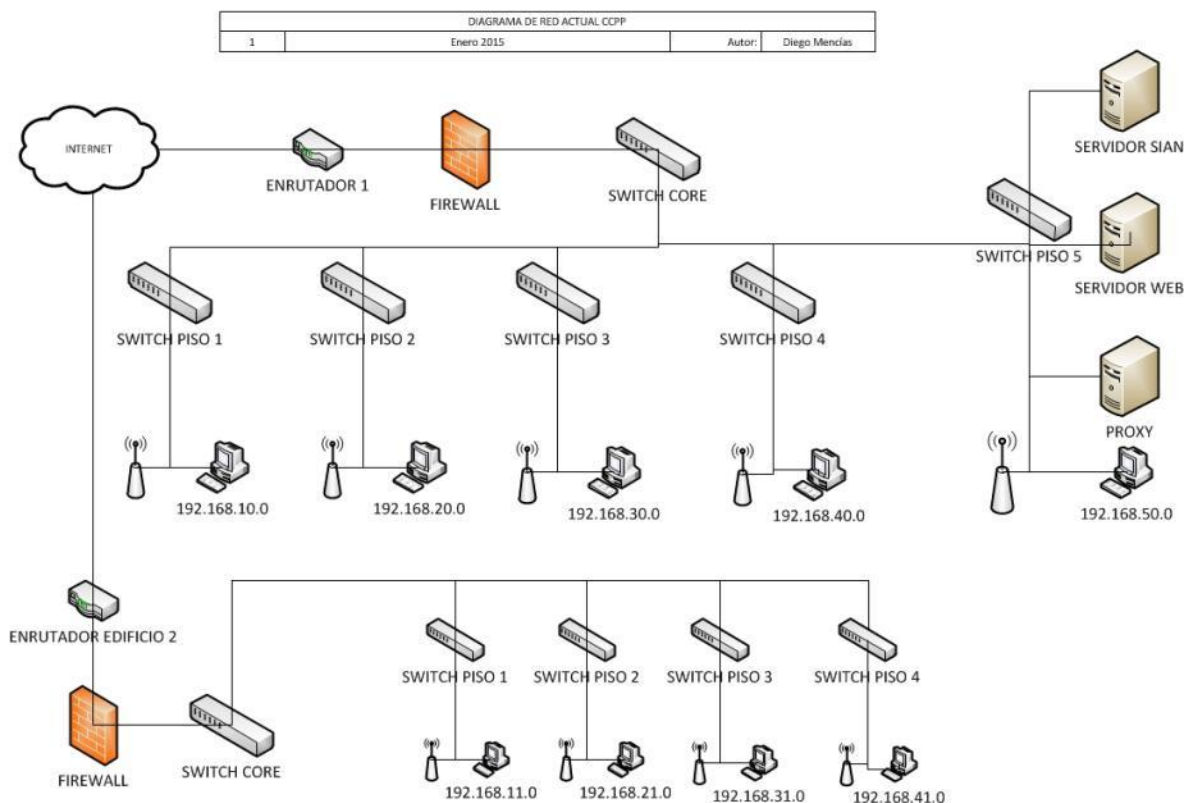


Figura 9: Estructura de Red del CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.3.2.2. Zona Edificio 2

Al igual que el Edificio, el Edificio 2 posee una topología estrella con varios puntos de red conectados y direccionados a diferentes pisos del Edificio como son: Capacitación, Auditorio 2, Aulas. La estructura de la red está mostrada por la Figura 9.

### 5.3.2.3. Equipos instalados Actualmente

SWITCH CAPA 2 (9)	D-LINK DGS 3048
Velocidad de Backplane	8,8 Gbps
Método de Conmutación	Store and Forward
Manejo de VLAN	mínimo 257
Soporte de Protocolos	Spanning Tree Trunking
Número de Puertos Fast Ethernet	48
Número de Puertos Giga Ethernet	2
Tipo de Cable	UTP Categoría 5e
Puertos	100/1000BASE-TX Autosensing
Estándares	802.3 802.1x 802.1D

Tabla 3: Switch Capa 2  
Elaborado por: Diego Mencías

SWITCH CAPA 3 (2)	D LINK DES 3350SR
Velocidad de Backplane	8,8 Gbps
Método de Conmutación	Store and Forward
Manejo de VLAN	Disponible
Manejo ACL	Standard / Extendidas
Protocolos de Enrutamiento	Rutas Estáticas / RIP V2 / OSPF BGP
Soporte de Protocolos	NAT DHCP SNMP
Soporte de Protocolos	Spanning Tree / Trunking
Número de Puertos Fast Ethernet	24
Tipo de Cable	UTP Categoría 5 o 5e
Puertos	10/100/1000BASE-TX Autosensing
Estándares	802.3 802.1x 802.1D 802.1p

Tabla 4: Switch Capa 3  
Elaborado por: Diego Mencías

RUTEADORES (2)	ROUTER CISCO 2800
Velocidad de Backplane	8,8 Gbps
Método de Conmutación	Store and Forward
Manejo de VLAN	Disponible
Manejo ACL	Standard Extendidas
Protocolos de Enrutamiento	Rutas Estáticas RIP V2 OSPF BGP
Soporte de Protocolos	NAT DHCP SNMP
Soporte de Protocolos	Spanning Tree / Trunking
Número de Puertos Fastehernet	2
Número de Puertos Gigaehernet	Disponible con tarjeta adicional
Tipo de Cable	UTP Categoría 5 o 5e
Puertos Extras	Puerto de Consola / Puerto Auxiliar
Puertos	10/100/1000BASE-TX / Autosensing
Estándares	802.3 / 802.1x / 802.1D / 802.1p

Tabla 5: Router Capa 3  
Elaborado por: Diego Mencías

ACCESS POINT (9)	CISCO LINKSYS E2500
Soporte de Protocolos	NAT DHCP SNMP
Numero de Puertos Fast Ehernet	4
Distancia de cobertura	150 metros
Puertos	10/100/1000BASE-TX Autosensing
Estándares	802.3 - 802.11 g/b 802.11n - 802.3u
Accesos Simultáneos	50
Método de encriptación	WEP/WPA/WPA2

Tabla 6: Access Point  
Elaborado por: Diego Mencías

SERVIDORES (3)		HP	
Modelo	DL 160	ML 110 G7	ML 110 G7
Procesador	Intel Xeon 3,2 GHz	Intel Xeon 3,2 GHz	Intel Xeon 3,2 GHz
Memoria RAM	16 GB	10 GB	10 GB
Núcleos	8	4	4
Disco Duro	1 TB	500 GB	500 GB
Interfaces	USB RS 232 RJ 45 IEEE 1284	USB RS 232 RJ 45	USB RS 232 RJ 45
Sistemas Operativo	CENTOS 6.5	CENTOS 6.5	WINDOWS SERVER 2008 R2
Ranuras de expansión	2 X PROCESADOR 6 X MEMORIA	1 X MEMORIA	1 X MEMORIA

Tabla 7: Servidores HP  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.3.2.4. Servicios de Red del CCPP

La red del CCPP posee varios servicios, los cuales detallamos a continuación:

- Sitio Web, el CCPP dispone de un sitio web alojado en el servidor propio, con el cual mantiene informados a sus agremiados.
- Internet, el servidor Proxy permite el acceso a la red mundial de comunicaciones, interactuar con los servidores Web accediendo a información, servicios y aplicaciones web.
- Sistema Administrativo SIAN, los usuarios acceden a la información almacenada en la Base de datos, la red permite a usuarios de diferentes departamentos acceder a los datos para realizar su trabajo.
- Correo electrónico, este servicio permite el intercambio de mensajes dentro y fuera de la red, mediante Microsoft Outlook, utilizando el protocolo SMTP.

#### 5.3.2.5. Direccionamiento IP

Para el direccionamiento de los diferentes departamentos, la red del CCPP posee la dirección de red 192.160.0.0. La Tabla muestra los rangos de las direcciones IP para cada departamento:

EDIFICIO 1	RANGO DE DIRECCIONES	EDIFICIO 2	RANGO DE DIRECCIONES
TI - Data Center	192.168.50.1	Capacitación	192.168.11.1
	192.168.50.50		192.168.11.50
Administrativo	192.168.40.1	Auditorio 2	192.168.21.1
	192.168.40.50		192.168.21.50
Presidencia	192.168.40.51	Aulas	192.168.31.1
	192.168.40.80		192.168.31.50
Recaudación	192.168.40.81		
	192.168.40.100		
Auditorio	192.168.10.1		
	192.168.10.100		
Cooperativa CCPP	192.168.30.1		
	192.168.30.50		
Afiliación	192.168.20.1		
	192.168.20.50		

Tabla 8: Direccionamiento IP del CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.3.2.6. Acceso a Internet

El acceso es a través del ISP PuntoNet, que también provee el servicio de transmisión de datos entre los edificios.

El ISP accede a cada edificio con 2 enlaces independientes clear channel de fibra de 4 Mbps y 2 Mbps para los edificios 1 y 2 respectivamente. Adicional, entrega 5 IP públicas con cada enlace. Lo cual permite añadir más equipos y subredes en el futuro en el caso de ser necesario.

ENLACE	EQUIPO	IP	MÁSCARA / 29	GATEWAY	DNS 1	DNS 2
4 Mbps	CISCO 2800	190.57.191.25	255.255.255.248		200.105.225.2	200.105.225.4
	SERVIDOR PROXY / MAILS	190.57.191.26	255.255.255.248	190.57.191.25	200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.27	255.255.255.248	190.57.191.25	200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.28	255.255.255.248	190.57.191.25	200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.29	255.255.255.248	190.57.191.25	200.105.225.2	200.105.225.4
	SERVIDOR SIAN	190.57.191.30	255.255.255.248	190.57.191.25	200.105.225.2	200.105.225.4
2 Mbps	CISCO 2800	190.57.191.217	255.255.255.248		200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.218	255.255.255.248	190.57.191.217	200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.219	255.255.255.248	190.57.191.217	200.105.225.2	200.105.225.4
	SERVIDOR WEB	190.57.191.220	255.255.255.248	190.57.191.217	200.105.225.2	200.105.225.4
	LIBRE	190.57.191.221	255.255.255.248	190.57.191.217	200.105.225.2	200.105.225.4

Tabla 9: Detalle Enlaces ISP PuntoNet  
Elaborado por: Diego Mencías

### **5.3.2.7. Análisis de requerimientos de Red**

La red del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha presenta algunos requerimientos. Estos problemas y necesidades de la red son los siguientes:

- La sobre utilización de direcciones IP
- Falta de restricción de acceso a ciertos lugares de la red.
- Alto consumo de ancho de banda, lo que provoca lentitud en el servicio de Internet.
- Presencia de lentitud en la red interna.

A partir de estos problemas se presentan los siguientes requerimientos para la red interna:

- Generar cuadros con las direcciones IP que son asignadas a equipos, donde es crucial tener una dirección IP fija, como es el caso de Servidores, impresoras y equipos de red.
- Utilizar el servicio DHCP de los Access Point inalámbricos, el cual permite asignar automáticamente una dirección IP a los host inalámbricos de la red (notebooks y tablets), ya que estos son utilizados eventualmente en reuniones y cursos.
- Realizar mediciones del tráfico que cursa por la red, que permita tener un valor real de cuál es el tráfico de la red.
- Análisis del tráfico que cruza por la red, que permita observar cual es el tráfico por protocolos dentro de la red.
- Realizar el estudio de factibilidad de utilizar enlaces ópticos inalámbricos con tecnología Free Space Optical (FSO).

Este último requerimiento es uno de los objetivos del Caso de Estudio, ya que contar con enlaces propietarios ayudará a bajar costos de transporte de datos entre los Edificios 1 y 2.

### **5.3.2.8. Análisis del tráfico**

El análisis de tráfico de la red fue medido en la red del Edificio del CCPP y de los puntos de red. Los programas de captura de tráfico son basados en el protocolo SNMP. Colasoft Capsa 7 Free permite observar la cantidad de tráfico por

protocolo que cursa en toda la red o en cada estación, además se puede observar las aplicaciones que está usando una estación. Las mediciones arrojan los siguientes resultados:

TIPO DE TRÁFICO	TAMAÑO DE TRÁFICO (KBytes)
NETBIOS	74580.000
RCTP	987.000
OTROS	14324.000
DNS	721.233
BOOTP	1.610
<b>SUBTOTAL</b>	<b>90613.843</b>
NETBIOS	26.773
HTTP	7.457
OTROS	7.421
TELNET	0.398
MSRDP	0.290
HTTP PROXY	0.650
CIFS	33.938
ICMP	38.496
<b>SUBTOTAL</b>	<b>115.423</b>
<b>TOTAL</b>	<b>90729.266</b>

Tabla 10: Tráfico de red CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

En resumen, los datos obtenidos con el software Colasoft Capsa 7 Free existe un tráfico de 90,73 MBytes, en la red de los edificios del CCPP.

#### 5.3.2.8.1. Índices de Simultaneidad

Este índice permite estimar el número de usuarios concurrentes intentando usar el ancho de banda. Esta definición nace del hecho que no todos los usuarios utilizan el servicio al mismo tiempo (existe una probabilidad muy pequeña que todos los usuarios utilicen el servicio simultáneamente), sino una porción de ellos (existe una probabilidad muy alta que una determinada porción de los usuarios utilicen el servicio al mismo tiempo), por lo que se debe dimensionar la capacidad de los servicios en base a este factor.

La relación de compartición, según la norma de calidad para el SVA (Servicio de Valor Agregado) Internet, define el número de usuarios asignados a un determinado canal compartido, sin embargo, no se define cual debe ser la relación

de compartición máxima. Esta relación de compartición se suele representar como  $n:1$ , en donde  $n$  es el número de usuarios simultáneos. El factor de simultaneidad expresa que proporción de usuarios utilizarán el servicio al mismo tiempo, y se determina así:  $1/n$ , en donde  $n$  es el número de usuarios simultáneos. Se nota que la relación de compartición y el factor de simultaneidad se utilizan con el mismo objeto de determinar la proporción de usuarios que acceden al servicio simultáneamente, sin embargo se expresan de distintas formas.

Para el acceso a la Internet, una relación de compartición de 2:1 hasta 5:1 es muy normal para países en desarrollo [20], es decir, factores de simultaneidad iguales a 0,2; 0,25; 0,333 y 0,5. Este factor de simultaneidad es para un comportamiento de usuarios de hogar.

### 5.3.2.8.2. Cálculo del tráfico de Red

El análisis efectuado durante un lapso de tiempo de una hora, determina que cada usuario revisa alrededor de 7 páginas Web, con un promedio de descarga de información de 5 Mbytes. Comenzando del tamaño estándar de un sitio web actual es de 800 Kbytes, se selecciona un factor de utilización bajo: 0,2; es decir, que el 20% del total de usuarios accederán a navegar sitios web al mismo tiempo, por lo cual se determina el tráfico por usuario de la siguiente manera:

Para un usuario:

$$\text{tráfico internet} = \frac{7 * 800 \text{ KBytes}}{1 \text{ Hora}} * \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ KByte}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}} +$$

$$\frac{5 \text{ MBytes}}{1 \text{ Hora}} * \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1024 \text{ KBytes}}{1 \text{ MByte}} * \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ Kbyte}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{tráfico internet} = \frac{12743,11 \text{ bits}}{\text{seg}} + \frac{11650,84 \text{ bits}}{\text{seg}}$$

$$\text{tráfico internet} = \frac{24,39 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

El tráfico total de internet se encuentra multiplicando el tráfico determinado por usuario por el número de usuarios y por el índice de simultaneidad:

$$\text{tráfico total} = \text{tráfico internet} * \text{numero usuarios} * \text{indice simultaneidad}$$

$$\text{tráfico total internet} = \frac{24,39 \text{ Kbits}}{\text{seg}} * 35 \text{ usuarios} * 0,2$$

$$\text{tráfico total internet} = \frac{170,73 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

### 5.3.2.8.3. Cálculo de tráfico Correo Interno

El servicio de correo electrónico es utilizado por 15 de las 35 estaciones en la red de la oficina matriz. El estudio realizado determinó que alrededor de 6 correos son revisados por hora. Asumiendo que el tamaño estándar de un mensaje de correo es 400 Kbytes, se determina cuál es el tráfico por un usuario durante una hora.

Para un usuario:

$$\text{tráfico mail} = \frac{6 * 400 \text{ KByte}}{1 \text{ Hora}} * \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ KByte}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{tráfico mail} = \frac{5461,33 \text{ bits}}{\text{seg}}$$

$$\text{tráfico mail} = \frac{5,46 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

El tráfico total de correo se encuentra multiplicando el tráfico determinado por usuario por el número de usuarios y por el índice de simultaneidad, en este caso se considera un índice de 20%, ya que no todos los usuarios revisan el mail simultáneamente:

$$\text{tráfico total mail} = \text{tráfico mail} * \text{numero usuarios} * \text{indice simultaneidad}$$

$$\text{tráfico total mail} = \frac{5,46 \text{ Kbits}}{\text{seg}} * 15 \text{ usuarios} * 0,2$$

$$\text{tráfico total mail} = \frac{16,38 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

#### 5.3.2.8.4. Cálculo de tráfico a Base de Datos SIAN

Varios usuarios del CCPP, especialmente los departamentos Administrativo y Capacitación realizan consultas hacia las bases de datos del Sistema SIAN. El sondeo realizado indica que se ejecutan 10 consultas por usuario por hora. Tomando en cuenta el tamaño estándar de un paquete de 300 KBytes, se calcula el tráfico por usuario de la siguiente manera:

Para un usuario:

$$\text{tráfico bd} = \frac{10 * 300\text{KBytes}}{1 \text{ Hora}} * \frac{1 \text{ Hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1024 \text{ Bytes}}{1 \text{ KByte}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$\text{tráfico bd} = \frac{6826,67 \text{ bits}}{\text{seg}}$$

$$\text{tráfico bd} = \frac{6,83 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

El tráfico total de la Base de Datos se encuentra multiplicando el tráfico determinado por usuario por el número de usuarios y por el índice de simultaneidad, en este caso se considera un índice de 15%, ya que sólo 10 usuarios tienen acceso al Sistema simultáneamente:

$$\text{tráfico total bd} = \text{tráfico bd} * \text{numero usuarios} * \text{indice simultaneidad}$$

$$\text{tráfico total bd} = \frac{5,46 \text{ Kbits}}{\text{seg}} * 10 \text{ usuarios} * 0,15$$

$$\text{tráfico total bd} = \frac{8,19 \text{ Kbits}}{\text{seg}}$$

#### 5.3.2.8.5. Cálculo estimado del crecimiento de la red

El cálculo estimado del crecimiento de la red está basado en el número de usuarios, al año 2015 existen 35 usuarios, 2 más que en año 2014.

En la Tabla 11 se detalla el incremento de usuarios de la red del CCPP en los últimos 3 años.

AÑO	TOTAL DE USUARIOS	NUEVOS USUARIOS	VARIACIÓN
2012	30	1	3%
2013	31	2	6%
2014	33	2	6%
2015	35	0	-

Tabla 11: incremento de usuarios red CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

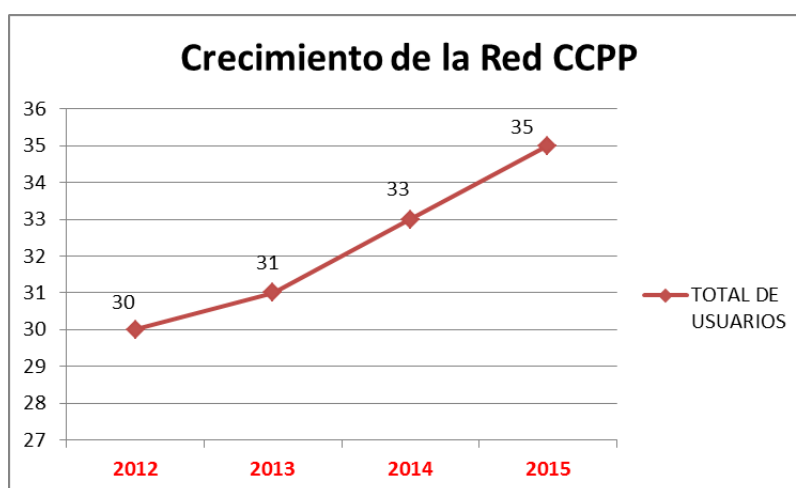


Figura 10: Incremento de usuarios del CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

Como se puede observar en la Tabla 11 y en la Figura 10, el incremento de usuarios en los últimos 3 años no supera el 6%, ante lo cual por cualquier imprevisto se toma como referencia el crecimiento de la red estimado en el 10% del tráfico total calculado anteriormente.

TIPO DE SERVICIO	TRAFICO POR SERVICIO (Kbits/seg)
Internet	170,73
Correo Electrónico	16,38
Base de Datos	8,19
SUBTOTAL	195,30
Crecimiento 10%	19,53
TOTAL	214,83

Tabla 12: Tráfico Estimado en el CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías

## 5.4. Diseño del Enlace FSO

### 5.4.1. Estudio de Factibilidad FSO

En la actualidad, los enlaces FSO permiten obtener varios rangos de velocidades de transmisión, llegando hasta 1250 Mbps, pero cumpliendo con ciertos parámetros como distancias máximas de alcance de los equipos y disponibilidad de línea de vista entre ellos [3]. En base a esto, es necesario efectuar un análisis de distancias y alturas de entre los puntos de que integran el enlace FSO, para así determinar la factibilidad del Caso de Estudio.

#### 5.4.1.1. Análisis de distancias y alturas entre Edificios 1 y 2

Los Edificios del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha – CCPP, están ubicado en la ciudad de Quito, en las calles Ñaquito y Villalengua, en la Tabla 11 se muestra la posición geográfica de cada edificio, su altura sobre el nivel del mar y la distancia entre ellos [16].

UBICACIÓN	POSICIÓN GEOGRÁFICA	ALTURA EDIFICIO (metros)	ALTURA NIVEL MAR (metros)	DISTANCIA (metros)
EDIFICIO 1	0°10'23.94" S 78°29'15.12" O	19	2792	95.74
EDIFICIO 2	0°10'24.56" S 78°29'11.87" O	18	2788	

Tabla 13: Datos Geográficos Edificios CCPP  
Elaborado por: Diego Mencías



Figura 11: Distancia entre los Edificios 1 y 2  
Fuente: <https://maps.google.com>

Analizando las posiciones geográficas de los datos obtenidos de la tabla, se determina que el enlace FSO es factible tanto por distancia y por altura.

#### 5.4.1.2. Análisis de línea de vista

Además de la distancia máximas permitidas entre los cabezales, los enlaces FSO deben cumplir con línea de vista requerida entre los equipos para que el enlace pueda funcionar sin ningún inconveniente.

Desde el Edificio 1 que tiene una altura de 2792 metros y tiene línea de vista directa hacia el Edificio 2 que tiene una altura de 2788 metros, por lo cual es posible utilizar un enlace con FSO. La disponibilidad de línea de vista de los edificios se realizó mediante una inspección visual.

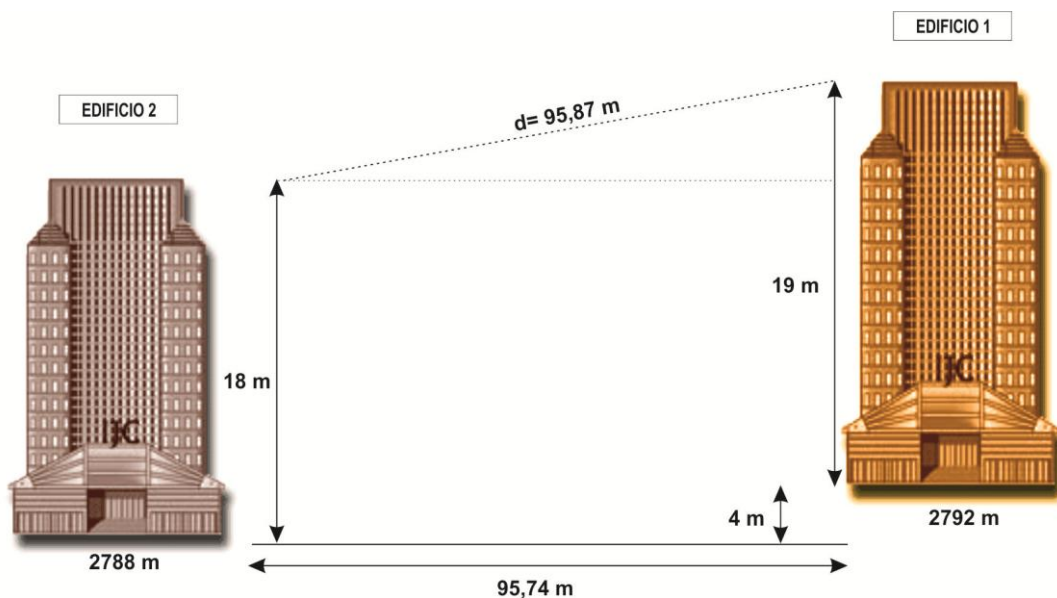


Figura 12: Alturas entre los Edificios 1 y 2  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.4.1.3. Cálculo de la distancia del haz óptico

$$a = 5 \text{ metros}$$

$$b = 95,74 \text{ metros}$$

$$\text{distancia} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{distancia} = \sqrt{(5)^2 + (95,74)^2}$$

$$\text{distancia} = \sqrt{25 + 9166,15}$$

$$\text{distancia} = \sqrt{9181,15}$$

$$\text{distancia} = 95,87 \text{ metros}$$

#### 5.4.1.4. Cálculo del margen del enlace

Como se mencionó anteriormente, el margen de enlace permite conocer la disponibilidad de los enlaces frente a los fenómenos atmosféricos.

Los parámetros necesarios para determinar el margen de enlace, se indican y calculan a continuación:

$$\text{Margen Enlace} = P_{tx} + S_{Rx} + At_{GEO} + At_{ATM} + Perd_{SIST}$$

En donde:

$P_{tx}$ : potencia del transmisor

$S_{Rx}$ : sensibilidad del receptor

$At_{GEO}$ : atenuación geométrica

$At_{ATM}$ : atenuación atmosférica

$Perd_{SIST}$ : Perdidas del sistema

##### 5.4.1.4.1. Potencia de emisión de la señal

El valor de potencia se obtuvo del data sheet del equipo Lightpointe AireBridge LX (Anexo 4) [17], el cual provee un ancho de banda de 250 Mbps, con la posibilidad de manejar cuatro haces de luz para reducir la dispersión, el valor de potencia de cada haz es 160mW

$$P_{Tx} = 4 * 160 * 10^{-3}W$$

$$P_{Tx} = 640mW$$

$$P_{Tx}(dBm) = 10 \log(P_{Tx})$$

$$P_{Tx}(dBm) = 10 \log(640mW)$$

$$P_{Tx}(dBm) = 28,06 \text{ dBm}$$

##### 5.4.1.4.2. Sensibilidad del receptor

El valor de sensibilidad del receptor se obtuvo del data sheet del equipo Lightpointe AireBridge LX (Anexo 5), siendo esta de -30 dBm [17].

#### 5.4.1.4.3. Cálculo de Atenuación Geométrica

Se define con la ecuación, la cual muestra los parámetros necesarios para determinar la atenuación geométrica, es necesario la distancia del haz óptico, es decir, se debe determinar esta distancia de cada enlace.

$$At_{GEO} = \frac{S_d}{S_{RECEPTOR}} = \frac{\frac{\pi}{4}(d \cdot \theta)^2}{S_{RECEPTOR}}$$

En donde:

$\theta$ : divergencia del haz

$S_{RECEPTOR}$ : área del receptor

$d$ : distancia del haz

Una vez calculada la distancia del haz de luz del enlace, se procede a hallar la atenuación geométrica con un valor de 3 miliradianes de divergencia tomando como valor máximo para establecer el enlace FSO en las peores condiciones y una área del receptor de 2.5 milímetros cuadrados

$$At_{GEO} = \frac{\frac{\pi}{4}(95,87 * 0,003)^2}{0,025}$$

$$At_{GEO} = \frac{\frac{\pi}{4} * 0,0827}{0,025}$$

$$At_{GEO} = 10 * \log(2,59)$$

$$At_{GEO} = 4.13 \text{ dB}$$

DISTANCIA (metros)	DIVERGENCIA (rad)	ÁREA DE CAPTURA (mm <sup>2</sup> )	ATENUACIÓN GEOMÉTRICA (dB)
95.87	0,003	0,025	4,13

Tabla 14: Atenuación Geométrica Obtenida  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.4.1.4.4. Calculo de Atenuación Atmosférica

La atenuación atmosférica se determina utilizando la ley de Beer como se indicó anteriormente, para esto es necesario encontrar el coeficiente de atenuación.

La ley se basa en la siguiente fórmula:

$$\frac{P_R}{P_O} = \tau(R) = e^{-\gamma R}$$

En donde:

$P_R$	Potencia de la señal a una distancia R
$P_O$	Potencia inicial de la señal
$\tau(R)$	Transmitancia
$\gamma$	Coefficiente total de atenuación

La dispersión de Mie es la que más afecta al enlace FSO. Utilizando la siguiente ecuación, se puede determinar el coeficiente de atenuación atmosférica.

$$\delta = \beta_n = \frac{3,91}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

En donde:

$\lambda_{nm}$	Longitud de onda en nm
$V$	Visibilidad en Km
$q$	Factor de dispersión en el medio ambiente

La ecuación anterior necesita de un factor de dispersión en el ambiente, éste es determinado utilizando la ley de Kruse, que describe la visibilidad de la ciudad donde será instalado el enlace.

La visibilidad de la ciudad de Quito está determinada en base a los datos tomados en el Anuario del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del año 2011 [12], se indica un promedio de 85 mm/h de precipitación como lo muestra la Figura 13.

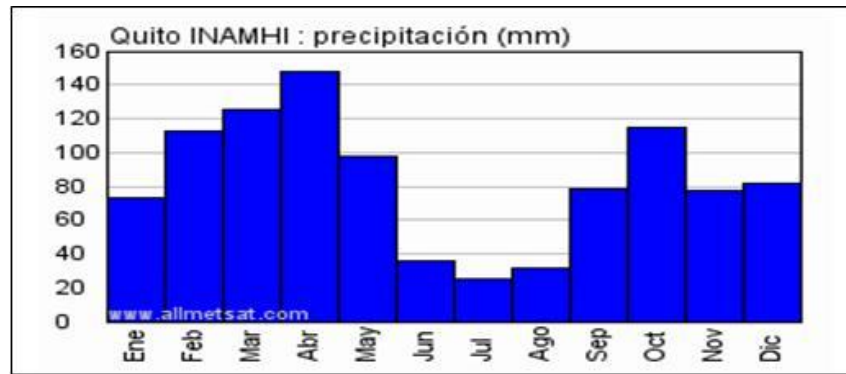


Figura 13: Precipitaciones en Quito  
 Fuente: [www.serviciometeorologico.gob.ec](http://www.serviciometeorologico.gob.ec) - INAMHI

Además el pronóstico diario tiene una visibilidad de 10 Km., estos datos permiten situar en la Tabla 15 del código de visibilidad internacional 2 en una visibilidad de 1.2 Km.

CONDICIONES AMBIENTALES	PRECIPITACIÓN (mm/h)	VISIBILIDAD (Km.)
NIEBLA DENSA		0
		50
NIEBLA ESPESA		200
		500
		770
NIEBLA MODERADA	TORMENTA 100	1000
		1900
	LLUVIA FUERTE 25	2000
		2800
NEBLINA	LLUVIA MODERADA 12.5	4000
	LLUVIA LIGERA 2.5	5900
DESPEJADO	LLOVIZNA 0.25	10000
		18100
MUY DESPEJADO		20000
		23000
		50000

Tabla 15: Código de Visibilidad Internacional  
 Fuente: [bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4232](http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4232)

$$q = 0,16V + 0,34$$

$$q = 0,16 * 1,2 + 0,34$$

$$q = 0,53$$

Con el valor de q calculamos la atenuación atmosférica:

$$\delta = \beta_n = \frac{3,91}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

$$\delta = \beta_n = \frac{3,91}{1,2} \left( \frac{1550}{550} \right)^{-0,53}$$

$$\delta = \beta_n = 1,9$$

Cálculo de la transmitancia del enlace

$$\tau(d) = e^{-\sigma d}$$

$$\tau(d) = e^{-(1,9)(95,87)}$$

$$\tau(d) = 0,0078$$

Finalmente calculamos la Atenuación atmosférica:

$$At_{ATM} = \frac{1}{\tau(d)}$$

$$At_{ATM} = \frac{1}{0,0078}$$

$$At_{ATM} = 10\log(128,21)$$

$$At_{ATM} = 21,08 \text{ dB}$$

DISTANCIA (metros)	$\sigma=\beta$	TRANSMITANCIA	ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA (dB)
95.87	1,9	0,0078	21,08

Tabla 16: Atenuación Atmosférica Obtenida  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.4.1.4.5. Pérdidas del Sistema

Corresponde a la pérdida total de los distintos componentes físicos que constituyen el enlace, a continuación se detalla el valor de pérdida de cada uno.

- Pérdida de los equipos FSO, para el enlace se considera una pérdida de 1 dB según el data sheet del fabricante.
- Pérdida de conectores, cada fabricante recomienda utilizar conectores de fibra SC, por estándar el valor de pérdida es de 1dB por conector.
- Pérdida de fibra óptica, esta pérdida es cero (0), ya que la distancia entre los componentes del enlace y los equipos FSO mantienen una distancia menor a 1Km.
- Pérdida por desalineamiento, se producen por movimientos de los equipos inalámbricos, ya sea vientos, temblores, etc. Esto provoca un desalineamiento entre los equipos FSO, es decir se interrumpe el enlace, se considera pérdida de 1 dB/Km

DISTANCIA (metros)	PÉRDIDAS (dB)				
	EQUIPO	CONECTORES	FIBRA ÓPTICA	DESALINEAMIENTO	SISTEMA
95.87	1	2	0	2	5

Tabla 17: Pérdidas del Sistema Obtenidas  
Elaborado por: Diego Mencías

Reemplazamos los datos obtenidos de potencia, sensibilidad, atenuación geométrica, atmosférica y las pérdidas del sistema antes determinadas.

$$\text{Margen Enlace} = P_{tx} + S_{Rx} - At_{GEO} - At_{ATM} - Perd_{SIST}$$

$$\text{Margen Enlace} = 28,06 - 30 - 4,13 - 21,08 - 5$$

$$\text{Margen Enlace} = 32,15 \text{ dB}$$

DISTANCIA (metros)	POTENCIA TRANSMISOR (dBm)	SENSIBILIDAD RECEPTOR (dBm)	ATENUACIÓN GEOMÉTRICA (dB)	ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA (dB)	MARGEN DEL ENLACE (dB)
95.87	28,06	-30	4,13	21,08	32,15

Tabla 18: Margen del Enlace Obtenido  
Elaborado por: Diego Mencías

Como se muestra en la Tabla 18 tienen un margen de enlace positivo, es decir, el enlace FSO tiene una buena disponibilidad.

#### 5.4.2. Diagrama Lógico de Red con en el enlace FSO

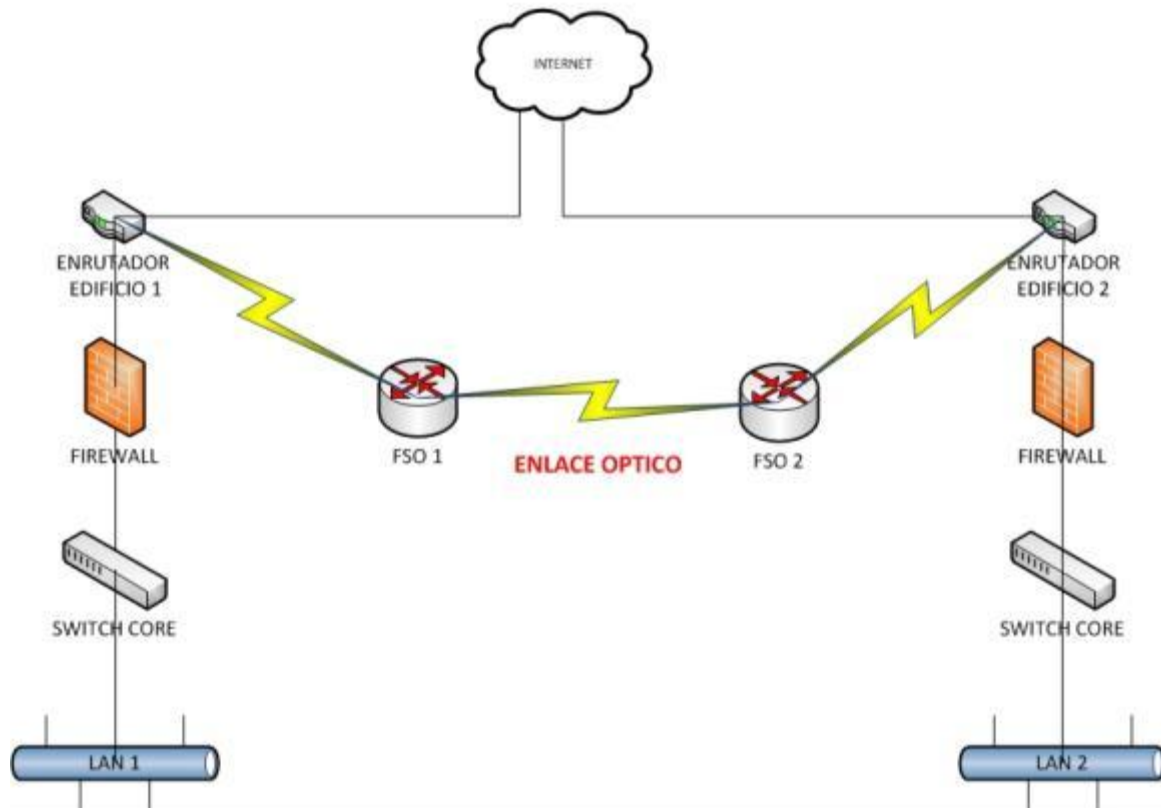


Figura 14: Diagrama Lógico Enlace FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

#### 5.4.3. Equipos Requeridos para el enlace FSO

Los equipos seleccionados para el enlace FSO del CCPP, deberán cumplir con las especificaciones y requerimientos técnicos necesarios. En ciertos casos los equipos con los que cuenta el CCPP ya cumplen con lo requerido, los equipos se subdividen en:

- Equipos de Red
- Equipos FSO

### 5.4.3.1. Modelos de equipos de Red

En los Edificios 1 y 2 se requieren los siguientes equipos de red:

- Switch de capa 2, utilizado para conectar las estaciones de diferentes secciones al router. El equipo DLink 3350 existe en la actual red, por lo cual no es necesario adquirir otro equipo (características en Anexo 1)
- Switch de capa 3, utilizado para interconectar todos los servidores permitiendo que estos se encuentren en un diferente dominio de broadcast. El equipo DLink 3048 existe en la actual red, por lo cual no es necesario adquirir otro equipo (características en Anexo 2) [14].
- Router, se enrutará los paquetes entre los Edificios 1 y 2. también permiten el acceso a Internet. El equipo Cisco 2800 existe en la actual red, por lo cual no es necesario adquirir otro equipo con excepción de una tarjeta de red con 2 puertos Fast Ethernet (características en Anexo 3) [13].

### 5.4.3.2. Modelos de equipos FSO

Se elige distintos modelos de varios fabricantes basados en los requerimientos que necesita la red para los equipos:

- Canonbeam, modelo DT-110 (Datasheet en el Anexo 4)
- Lightpointe, modelo AireBridge LX (Datasheet en el Anexo 5)

CARACTERÍSTICA	REQUERIMIENTO	LIGHTPOINTE AIREBRIDGE LX	CANOBEAM DT-110
Velocidad de Transmisión	2 Gbps	2 Gbps	512 - 1024 Mbps
Distancia Máxima	2500 m	2500 m	200 - 1500 m
Potencia de Transmisión	640 mW	640 mW	70 mW
Atenuación	10 dB/Km	10 dB/Km	40 dB/Km
Receptor Óptico	APD	APD	PIN-PD
Longitud de Onda	850 nm	850 nm	785 nm

Tabla 19: Comparación de Equipos FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

Como resultado de la comparación entre las marcas y características de equipos y considerando que existen equipos FSO que se acoplan a los requerimientos técnicos del enlace FSO, se seleccionan las opciones ideales a continuación:

EQUIPO	MARCA	MODELO	OBSERVACIONES
Switch Capa 2	D-Link	3048	Equipo existente en la red que se acopla a los requerimientos técnicos del rediseño en la oficina matriz.
Switch Capa 3	D-Link	3350	Equipo existente en la red que se acopla a los requerimientos técnicos del enlace.
Router	Cisco	2800	Equipo existente en la red, es de alta calidad que permite gran performance y mejores garantías, ya que estos son los nodos extremos de la red en los enlaces propietarios como a la frontera hacia redes externas.
Equipo FSO	LightPointe	AireBridge LX	Equipo de alta calidad, rendimiento y garantía, cumple con las características solicitadas, con lo cual el enlace trabaja con buen performance.

Tabla 20: Equipos seleccionados para enlace FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

## 5.5. Análisis de costos de la implementación del enlace FSO

Se resumen los costos referenciales tanto de los equipos de red necesarios para el diseño del enlace FSO. Esto implica una significativa inversión financiera inicial, debido a que el CCPP no posee varios equipos.

Finalmente se contará con un resumen ejecutivo sobre todas las acciones generadas para conseguir el objetivo del proyecto.

### 5.5.1. Equipos de Red

Luego de realizado el análisis de selección de los equipos a instalarse en el diseño del enlace FSO, aquí se detallará la cantidad y el valor de cada uno de los equipos de red a utilizarse en cada extremo del enlace.

### 5.5.1.1. Edificio 1

El Edificio 1 utilizará los siguientes equipos de red:

- Switch D-Link 3350 capa 2, equipo ya existe en la red.
- Switch D-Link 3048 capa 3, equipo ya existe en la red.
- Router Cisco 2800, equipo ya existe en la red, únicamente se instalará la tarjeta adicional de expansión con 2 Fast Ethernet.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	Router Cisco 2800	0.00	0.00
1	Tarjeta de expansión 2 puertos Fast Ethernet	420.00	420.00
1	Switch D-Link 3048 48 puertos	0.00	0.00
1	Switch D-Link 3350 24 puertos	0.00	0.00
SUBTOTAL			420.00
IVA 12%			50.40
TOTAL			470.40

Tabla 21: Costos Equipos Edificio 1  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.5.1.2. Edificio 2

El Edificio 1 utilizará los siguientes equipos de red:

- Switch D-Link 3350 capa 2, equipo ya existe en la red.
- Switch D-Link 3048 capa 3.
- Router Cisco 2800, equipo ya existe en la red, únicamente se instalará la tarjeta adicional de expansión con 2 Fast Ethernet.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	Router Cisco 2800	0.00	0.00
1	Tarjeta de expansión 2 puertos Fast Ethernet	420.00	420.00
1	Switch D-Link 3048 48 puertos	0.00	0.00
1	Switch D-Link 3350 24 puertos	280.00	280.00
SUBTOTAL			700.00
IVA 12%			84.00
TOTAL			784.00

Tabla 22: Costos Equipos Edificio 2  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.5.1.3. Equipos FSO

La inversión de los equipos FSO para el enlace se detalla a continuación:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	P.TOTAL
2	Lightpointe AireBrigde LX	4200.00	8400.00
SUBTOTAL			8400.00
IVA 12%			1008.00
TOTAL			9408.00

Tabla 23: Costos Equipos FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.5.1.4. Soporte para Láseres

Es necesario adquirir 2 soportes, uno para cada equipo FSO, el cual estará empotrado en cada terraza.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	P.TOTAL
2	Soporte para Lightpointe AireBrigde LX	120.00	240.00
2	Impermeabilización en caliente con membrana asfáltica de 4 milímetros de ancho	50.00	100.00
SUBTOTAL			340.00
IVA 12%			40.80
TOTAL			380.80

Tabla 24: Costos Soporte para equipos FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

## 5.5.2. Instalación de los Equipos

Con el fin de implementar el enlace FSO, es necesario realizar actividades para garantizar el correcto funcionamiento del enlace. Las actividades son: montaje de soportes, instalación de los equipos FSO y el tendido de segmentos de fibra óptica desde los equipos FSO hacia los equipos de red.

### 5.5.2.1. Instalación de los Soportes

En cada uno de los 2 puntos del enlace FSO, cada equipo estará instalado sobre un soporte de 80 cm. de altura de acero galvanizado empotrado con pernos de acero de 2 pulgadas al piso de la terraza de cada edificio como lo muestra la Figura 15. La instalación de este soporte anclaje debe ser impermeabilizado para evitar filtraciones que afecten a las terrazas de los edificios, a través de una membrana asfáltica en caliente de 4 mm de espesor.

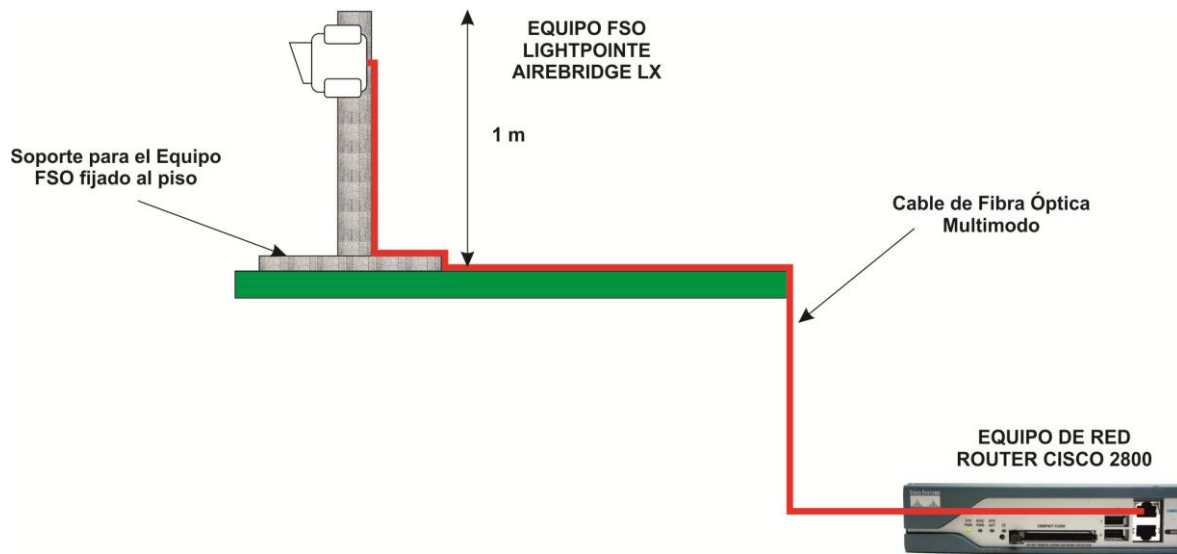


Figura 15: Conexión Router – Equipo FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.5.2.2. Tendido de Fibra Óptica

En todos los puntos de venta para conectar el equipo de red hacia el cabezal se utiliza cable de fibra óptica que disponga de conectores especializados. En este caso el fabricante del equipo FSO utiliza conectores de fibra SC.

En este tendido se utilizará fibra óptica multimodo de 62.5/125 de 6 fibras. Este cable cuenta con 2 guías de acero que le dan firmeza y estabilidad, además de un gel contra agua para proteger las fibras, es ideal para instalarla en exteriores por su alta durabilidad [16]. La Figura 16 muestra la constitución de esta fibra óptica.

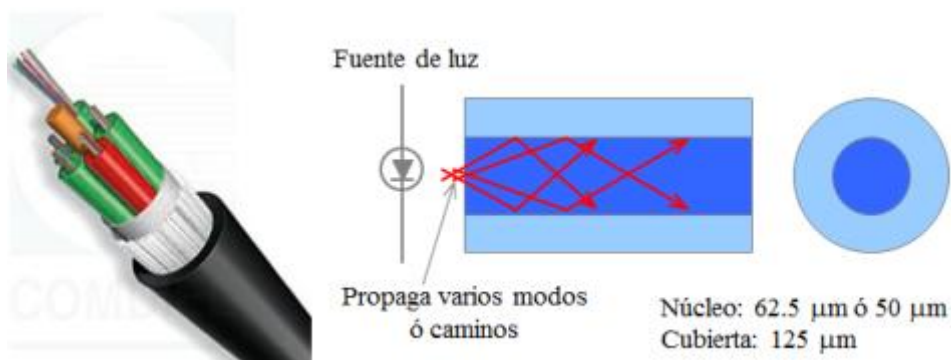


Figura 16: Fibra multimodo para cableado externo  
Fuente: [http://uhu.es/antonio.barragan/files/archivos\\_usuario/146](http://uhu.es/antonio.barragan/files/archivos_usuario/146)

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	P.TOTAL
120	Metro de Fibra Óptica Multimodo 6 hilos	5.50	660.00
4	Conector SC	11.00	44.00
1	Instalación	150.00	150.00
SUBTOTAL			854.00
IVA 12%			102.48
TOTAL			956.48

Tabla 25: Costos instalación Fibra Óptica e Impermeabilización  
Elaborado por: Diego Mencías

### 5.5.3. Licenciamiento

La tecnología Free Space Optics, trabaja en una banda no licenciada, es decir, no es necesario pagar ningún valor por el uso del Espectro Radioeléctrico. El uso de esta tecnología es libre para cualquier persona o empresa que decida instalar esta aplicación en sus instalaciones.

### 5.5.4. Resumen total de valores

El diseño del enlace FSO implica que varias actividades facilitarán cumplir con los objetivos planteados en este caso de estudio. Varios ítems pueden cambiar de valor debido a la inflación, vale aclarar que estos costos ya tienen incluido el 45% de salvaguardia aplicada por el Gobierno en el año 2015. A continuación se detallan los valores totales del diseño de red con el uso de enlace FSO.

Ord.	DESCRIPCIÓN	P.TOTAL
1	Equipos de Red Edificio 1	470.40
2	Equipos de Red Edificio 2	784.00
3	Equipos FSO	9408.00
4	Instalación soporte e impermeabilización	380.80
5	Fibra Óptica, tendido e instalación	956.48
<b>TOTAL</b>		<b>11043.20</b>

Tabla 26: Detalle de valor total del rediseño de red con el uso de enlaces FSO  
Elaborado por: Diego Mencías

## **5.6. Artículo científico**

El artículo científico se encuentra definido en el Anexo 6.

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

- Se considera factible al Caso de Estudio planteado, ya que el análisis realizado determinó que existen los 2 factores fundamentales para que se pueda implementar el enlace: a) existe línea de vista entre los puntos del enlace; y b) la distancia entre los nodos no supera los 2,5 Km.
- El análisis efectuado para el diseño del enlace, se concluye que las atenuaciones del haz de luz demostraron que: la atenuación geométrica depende de la fabricación del equipo FSO; y, la atenuación atmosférica está relacionada con las condiciones climáticas que se producen en el entorno del enlace, el fenómeno denominado Dispersión de Mie es el que afecta al trabajo de los enlaces FSO, especialmente con la niebla.
- Una vez realizado el análisis de tráfico de la red del CCPP, se concluye que el diseño del enlace propuesto no afectará los servicios que dispone la red del CCPP, ya que el ancho de banda con que cuenta el CCPP clear channel de 4 Mbps, es suficiente para el tráfico generado por las aplicaciones y servicios utilizados: internet, correo y base de datos, calculado en 214,83 Kbps.
- Los modelos de equipos FSO empleados en este Caso de Estudio, LightPointe AireBridge LX, usan una longitud de onda de 850 nm., lo cual significa que el sistema FSO trabaja en primera ventana de transmisión.
- Se concluye que la niebla está asociada a la visibilidad (distancia a la cual un objeto es divisado en el horizonte), esto se obtuvo analizando la información de las condiciones climáticas de la ciudad de Quito con datos del INAMHI, adicionalmente se utilizó el código internacional de visibilidad, con toda esta información se pudo determinar atenuación atmosférica.
- La selección de los equipos para el enlace FSO, se basó principalmente en dos parámetros: la infraestructura que posee actualmente el CCPP, y los requerimientos que el enlace necesita, es decir, varios de los equipos si

cumplen con los requerimientos mínimos, así que únicamente se cotizó los equipos que faltaban para completar el diseño del enlace.

- De acuerdo al estudio de costos de la implementación, se determinó que el costo de los equipos que componen el enlace FSO, es relativamente bajo, lo cual demuestra que es factible su implementación y no requiere de obras civiles complejas y costosas. En los últimos 3 años el precio de estos equipos ha ido disminuyendo y sus características han sido notablemente mejoradas.
- Actualmente la fibra óptica es sin duda, el medio guiado y fiable de las comunicaciones ópticas por el gran ancho de banda que ofrece. El factor limitante de la fibra, es el costo de la instalación por las obras civiles que deben realizarse. FSO reduce esos altos costos, aprovechando la altura de las edificaciones.
- En un mediano plazo, las organizaciones ecuatorianas que conozcan las ventajas de esta tecnología, comenzarán a adquirirla y la implementarán como parte de sus redes, con un corto tiempo de instalación, asegurando así la transmisión de datos entre sucursales sin tener que contratar el servicio de un ISP.

## **6.2. Recomendaciones**

- La tecnología inalámbrica óptica presentada en este Caso de Estudio es convergente con otros estándares de transmisión de datos, de tal manera que permite ampliar la cobertura de los servicios de comunicaciones del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha.
- La aplicación de la tecnología FSO, puede realizarse en nuestro país al igual que en el resto del mundo, sin ningún impedimento legal de regulación ya que se transmite en un segmento del espectro no licenciado.
- Es importante recordar que las tecnologías están en constante desarrollo, permitiendo un mejor funcionamiento de los enlaces FSO aún bajo condiciones climáticas adversas, esto con ayuda de mejores dispositivos transmisores – receptores de señal.

- Es fundamental la capacitación al personal IT del Colegio de Contadores Públicos de Pichincha, realizando una inducción durante la implementación por parte de los proveedores de los equipos, así se administrará de mejor manera los beneficios de la tecnología FSO.
- Se debe fomentar y difundir el uso de enlaces FSO, ya que su fácil despliegue e instalación no implica una obra civil complicada, ni tramitar permisos para el uso de esta tecnología, por lo cual los enlaces ópticos inalámbricos se convierten en la mejor opción que tienen las empresas con pequeñas sucursales, para contar con enlaces propietarios de gran velocidad, con un nivel alto de seguridad, sin que su costo sea excesivo.
- A los compañeros de la Facultad de Ingeniería de la PUCE y Maestría en Redes de Comunicaciones un mensaje de motivación para que desde el inicio de sus estudios la investiguen nuevas tecnologías de información y comunicación.

### **Referencias Bibliográficas**

- [1] TANENBAUM Andrew S, (1997), Redes de Computadoras, 3ra Edición, Prentice Hall Hispanoamérica S.A.
- [2] Cisco Networking Academy, (2009), CCNA Exploration, version 4.0, Cisco Systems
- [3] GALLEGOS Carlos, "Diseño de una red óptica inalámbrica para el envío de datos y voz en áreas no urbanas". PUCE Lima-Perú 2009.
- [4] CAIZALUISA Johanna, 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" EPN Julio 2008.
- [5] Ingeniera Ma. Soledad Jiménez MSc., "Material de Apoyo Sistemas de Telecomunicaciones", PUCE Septiembre 2009.
- [6] Ingeniera Ma. Soledad Jiménez MSc., "Material de Apoyo, módulo Fibra Óptica", PUCE Febrero 2010.

- [7] Doctor Iván Bernal PhD., “Material de Apoyo y apuntes de clase Redes Inalámbricas y Comunicaciones Móviles”, PUCE Marzo 2010.
- [8] <http://freespaceoptics.org>
- [9] <http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/metro/default.cfm>
- [10] <http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/topologies/default.cfm>
- [11] <http://www.mrvfso.com/point-to-point/fso-or-rf/>
- [12] <http://www.inamhi.gob.ec>
- [13] <http://www.cisco.com/en/US/products/index.html>
- [14] <http://www.dlinkla.com/home/products>
- [15] <http://www.fos.ec/productos-detalle.htm>
- [16] <https://www.google.com.ec/maps>
- [17] <http://www.lightpointe.com/freespaceoptics/>
- [18] <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/download/6408/7934>
- [19] <https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06.../gr15-FSO.pdf>
- [20] <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/11/Parametros-de-Calidad-del-Servicio-de-Valor-Agregado-de-Internet.pdf>