

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA FSO EN UNA CADENA DE SUPERMERCADOS EN LA CIUDAD DE QUITO Y SU POSIBLE DISEÑO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN**

**GLADYS VERÓNICA AGUILAR SÁNCHEZ**  
vas\_5057@yahoo.com

**DIRECTOR: INGENIERO RAMIRO MOREJON**  
rmorej@epn.edu.ec

**Quito, Enero 2010**

## DECLARACIÓN

Yo Gladys Verónica Aguilar Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Gladys Verónica Aguilar Sánchez

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Gladys Verónica Aguilar Sánchez, bajo mi supervisión.

Ing. Ramiro Morejón  
DIRECTOR DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

A Dios y a todas las personas que de una u otra forma me enseñaron, de las que aprendí, las que fueron y son mi apoyo.

# ÍNDICE

CAPÍTULO1 .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 FSO: LA TECNOLOGÍA.....	2
1.1.1ELEMENTOS DE FSO.....	4
1.1.1.1 Transmisores.....	4
Fuentes de luz.....	4
1.1.1.1.1 Diodos de Emisión de luz (LED).....	4
Tipos principales de LEDs.....	6
SLED (Led de emisión por superficie).....	6
IREL (Diodo de emisión en infrarrojo).....	6
ELED (Diodo de emisión de borde).....	6
SLD (Diodo súper luminiscente).....	6
1.1.1.1.2 Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación LASER.....	6
Tipos principales de Láser.....	8
VCSEL (Láser de emisión de superficie de cavidad vertical.....	8
EEL (Láser de emisión de borde).....	9
DBR (Reflector de Bragg distribuido).....	9
DFB (Realimentación distribuida).....	9
1.1.1.1.3 Parámetro de una fuente de luz.....	9
1.1.1.2 Modulación.....	10
1.1.1.2.1 Modulación Directa.....	10
Modulación OOK (On/Off Keying).....	10
1.1.1.2.2 Modulación Externa.....	10
1.1.1.3 Amplificación.....	11
1.1.1.3.1 EDFA (Amplificador de fibra dopado de erbio).....	12
1.1.1.3.2RAMAN.....	13
1.1.1.4 Multiplexación.....	13
1.1.1.4.1 TDM (Multiplexación por división de tiempo).....	13
1.1.1.4.2 FDM (Multiplexación por división de frecuencia).....	13
1.1.1.4.3 CDM (Multiplexación por división de código).....	13
1.1.1.4.4 WDM (Multiplexación por división de longitud e onda).....	14

1.1.1.5 Receptores Ópticos.....	14
1.1.1.5.1 Detectores PIN (P- región intrínseca-N).....	15
1.1.1.5.2 Detectores APD (foto diodo de efecto avalancha).....	16
1.1.1.6 Componentes de FSO.....	17
1.1.1.6.1 Sistemas de control de apuntamiento.....	17
Tracking.....	17
Subsistemas de Tracking.....	18
Servo Motores.....	18
Espejos Direccionados.....	18
Detectores Quad.....	18
1.1.1.6.2 Sistemas de transmisión de haz amplio .....	18
1.1.1.6.3 Gimbal.....	19
1.1.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL ENLACE.....	19
1.1.2.1 Rango.....	19
1.1.2.2 Margen de enlace.....	19
1.1.2.3 Potencia transmitida o de emisión.....	20
1.1.2.4 Sensibilidad del receptor.....	20
1.1.2.5 Atenuación Geométrica.....	21
1.1.2.5.1 Divergencia del láser.....	21
1.1.2.6 Atenuación Atmosférica.....	22
1.1.2.6.1 Dispersión de Rayleigh.....	24
1.1.2.6.2 Dispersión de Mie.....	24
1.1.2.6.3 Coeficiente de Absorción.....	24
1.1.2.7 Tiempo de Propagación.....	25
1.1.2.8 Disponibilidad del enlace.....	26
1.1.3 SEGURIDAD.....	26
1.1.3.1 Confidencialidad de la Información.....	26
1.1.3.1.1 Criptografía.....	28
1.1.3.2 Seguridad Ocular.....	29
1.1.3.2.1 Categorías de láser.....	30
1.1.3.2.2 Métodos para Mantener la Seguridad Ocular.....	31
1.1.4 REGULACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS POR ESPACIO LIBRE.....	32

CAPÍTULO 2.....	35
INTRODUCCIÓN.....	35
2.1 ESTUDIO AMBIENTAL Y TOPOGRÁFICO.....	36
2.1.1 LA ATMÓSFERA.....	36
2.1.1.1 Dispersión.....	37
2.1.1.2 Absorción en la ventana atmosférica.....	38
2.1.1.3 Aerosoles.....	38
2.1.1.4 Turbulencias.....	38
2.1.1.4.1 Centelleo.....	40
2.1.1.5 Lluvia.....	41
2.1.1.6 Nieve.....	42
2.1.1.7 Niebla.....	42
2.1.2 INTRODUCCIÓN AL CLIMA DEL ECUADOR.....	44
2.1.2.1 Precipitación en Quito.....	45
2.1.2.2 Visibilidad.....	49
2.1.3 LÍNEA DE VISTA.....	51
2.1.3.1 Situación topográfica-Ubicación de locales.....	51
2.1.3.2 Línea de vista entre locales.....	54
CAPÍTULO 3.....	56
INTRODUCCIÓN.....	56
3.1 FACTIBILIDAD DE LA RED FSO Y EQUIPOS.....	57
3.1.1 RED DE DATOS DE LOS LOCALES DE LA CADENA DE SUPERMERCADOS.....	57
3.1.1.1 Descripción de la red actual- Topología de la red.....	57
Capa de Core.....	58
Capa de Distribución.....	58
Capa de Acceso.....	58
3.1.1.2 Tráfico de la red de Supermercados.....	61
3.1.2 SOLUCIÓN #1: REPETIDORES PARA ESTABLECIMIENTO DE LÍNEA DE VISTA.....	64
Distancia de los Enlaces.....	64
3.1.2.1 Enlace entre Local 1 y Local 2.....	66
3.1.2.1.1 Consideraciones.....	66
3.1.2.2 Enlace entre Local 2 y Luminaria norte-estadio.....	67

3.1.2.2.1 Consideraciones.....	68
3.1.2.3 Enlace entre Luminaria norte-estadio y Luminaria sur- estadio.....	68
3.1.2.3.1 Consideraciones.....	68
3.1.2.4 Enlace entre Luminaria sur- estadio y Local 3.....	69
3.1.2.4.1 Consideraciones.....	69
3.1.2.5 Enlace entre Local 4 y Local 5.....	69
3.1.2.5.1 Consideraciones.....	70
Zona de Fresnel.....	71
3.1.2.6 Cálculo de Margen de Enlace.....	72
Potencia de emisión de la señal.....	72
Sensibilidad del receptor.....	73
Atenuación Geométrica.....	73
Atenuación atmosférica.....	74
Pérdidas del sistema.....	78
3.1.3 SOLUCIÓN #2:TORRES PARA ESTABLECER LA LÍNEA DE VISTA.....	81
Distancia de los Enlaces.....	82
3.1.3.1 Enlace entre Local 1 y Local 2 .....	83
3.1.3.1.1 Consideraciones.....	83
3.1.3.2 Enlace entre Local 2 y Local 3.....	84
3.1.3.2.1 Consideraciones.....	84
3.1.3.3 Enlace entre Local 4 y Local 5.....	85
3.1.3.3.1 Consideraciones.....	86
3.1.3.4 Cálculo de Margen de Enlace.....	86
Potencia de emisión de la señal.....	87
Sensibilidad del receptor.....	87
Atenuación Geométrica.....	87
Atenuación atmosférica.....	89
Pérdidas del sistema.....	91
Solución #1 vs. Solución #2.....	95
3.1.4 EQUIPAMIENTO FSO.....	96
3.1.4.1 Equipo considerado para el sistema.....	97
3.1.4.2 Recomendaciones de Instalación. ....	99
3.1.5 COSTOS REFERENCIALES DE LA RED FSO.....	100

3.1.5.1 Costo de torres para equipos FSO.....	100
3.1.5.2 Costo de Equipos de Comunicación Óptica (FSO).....	101
3.1.5.3 Costo de segmento de fibra de interconexión.....	102
3.1.5.4 Costo total por segmentos de fibra.....	102
3.1.5.5 Costo por arriendo de torre .....	103
3.1.5.6 Costo Total del los enlaces FSO diseñados para la cadena de Supermercados.....	103
3.1.6 Solución propuesta vs. Alquiler de enlace de última milla a nuevo proveedor.....	104

CAPÍTULO 4.....	105
4.1 CONCLUSIONES.....	105
4.2 RECOMENDACIONES.....	110

5 BIBLIOGRAFÍA

6 ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Espectro Electromagnético.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 1.2 Comunicación de equipos FSO.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 1.3 Elementos FSO.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.4 Cavidad Fabry Perot.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1.5 Diodo láser simple.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.6 Modulación On/Off Keying.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.7 Amplificador óptico.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.8 Esquema de funcionamiento de amplificador EDFA.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.9 Esquema de un fotodiodo pin.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.10 Esquema del funcionamiento de un APD.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 1.11 Fotodiodo de unión metal semiconductor.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.12 Atenuación geométrica.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1.13 Divergencia de láser.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.1 Desviación del haz luminoso por presencia de moléculas de aire más grandes que el diámetro del haz de luz.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.2 Desviación del haz luminoso por presencia de moléculas de aire más pequeños que el diámetro del haz de luz.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.3 Efecto de centelleo.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.4 Efecto de niebla y neblina para un enlace FSO.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.5 Quito – Clima soleado de mediodía con presencia de nubes.....</i>	<i>45</i>
<i>Figuras 2.6 Gráfica anual de precipitación del año 2007 de la estación Iñaquito. Fuente INAMHI.....</i>	<i>47</i>
<i>Figuras 2.7 Gráfica anual de precipitación del año 2008 de la estación Iñaquito. Fuente INAMHI.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.8 Gráfica de precipitación de los meses de marzo y abril del 2009 de la estación Iñaquito. Fuente INAMHI.....</i>	<i>48</i>

<i>Figura 2.9 Gráfica de precipitación de los meses de marzo y abril del 2009 de la estación La Tola-Tumbaco. Fuente INAMHI .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.10 Locales Quito.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.11 Locales Sangolquí.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.12 Situación de Línea de vista entre los locales en Quito.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.13 Situación de Línea de vista entre los locales en Sangolquí.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.1 Esquema red actual de la cadena de Supermercados.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.2 Estado de los puertos de switch principal Local 1.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.3 Estado de los puertos de switch principal Local 2.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.4 Estado de los puertos de switch principal Local 3.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.5 Estado de los puertos de switch principal Local 4.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.6 Estado de los puertos de switch principal Local 5.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.7 Simbología de estado de puertos en el switch.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.8 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 1.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.9 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.10 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.11 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 4.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.12 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 5.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.13 Establecimiento de línea de vista mediante repetidores.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.14 Altura de torres para Local 1 y Local 2. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.15 Distancia para enlace entre Local 2 y Luminaria norte. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.16 Distancia entre Luminaria norte y Luminaria sur. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.17 Distancia para enlace entre Luminaria sur y Local 3. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.18 Distancia para enlace entre Local 4 y Local 5. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>70</i>

<i>Figura 3.19 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #1 Locales Quito.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3.20 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #1 Locales Sangolqu.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.21 Establecimiento línea de vista entre locales de Quito mediante torres.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 3.22 Altura de torres para Local 1 y Local 2. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.23 Altura de torres para Local 2 y Local 3. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3.24 Altura de torres para Local 4 y Local 5. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 3.25 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #2 Locales Quito.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3.26 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #2 Locales Sangolquí</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3.27 Topología lógica de los enlaces FSO propuestos como solución.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 3.28 Equipo SONAbeam™ 155-S. Fuente <a href="http://www.fsona.com">www.fsona.com</a>.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3.29 Equipo FSO.....</i>	<i>99</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Valores de longitud de onda y potencia aplicada para diferentes materiales de led.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 1.2 Impacto ocular bajo diferentes longitudes de onda de operación.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 1.3 Categorías de láser.....</i>	<i>30 y 31</i>
<i>Tabla 2.1 Condiciones ambientales y sus pérdidas.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 2.2 Visibilidad media de Quito del año 2008. Fuente TuTiempo.Net.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 2.3 Ubicación de locales en Quito.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2.4 Ubicación de locales en Sangolquí.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 3.1 Características principales Cisco Catalyst 2960.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3.2 Distancia de los enlaces (Solución #1).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3.3 Atenuación geométrica de los enlaces (Solución #1).....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 3.4 Niebla moderada y su respectiva pérdida para el enlace FSO.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 3.5 Atenuación atmosférica de los enlaces (Solución #1).....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3.6 Margen de enlace (Solución #1).....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 3.7 Distancias de los enlaces (Solución #2).....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.8 Atenuación geométrica de los enlaces (Solución #2).....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 3.9 Atenuación atmosférica de los enlaces (Solución #2) .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.10 Margen de enlace (Solución #2).....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.11 Características y costo de Torres para Locales .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3.12 Características y costo de equipo FSO.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3.13 Segmento de fibra por Locales.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 3.14 Segmento de fibra Total.....</i>	<i>102</i>

<i>Tabla 3.15 Arriendo de Torre.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 3.16 Costo total de enlaces en un año.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 3.17 Costo sistema FSO por 15 años.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 3.18 Costo enlaces nuevo proveedor por 15 años.....</i>	<i>104</i>

## RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo principal el estudio técnico de la implementación de la tecnología de comunicación en espacio libre aplicado a una cadena de Supermercados.

Para ellos se presenta en primer lugar los conceptos relacionados con esta tecnología. Conceptos que incluyen su operación, los elementos que la conforman, el tipo de seguridad que proporciona y el ámbito legal que le corresponde.

Se analizan los factores externos que inciden en su desempeño y aplicación, como son la presencia de línea de vista entre los lugares donde se requieren los enlaces, y las características climáticas de la zona en donde se ubicarán los equipos FSO.

Al evaluar los factores anteriormente indicados, podemos continuar con el análisis de las especificaciones que nos proveen los equipos de comunicación óptica para, de esta manera concluir en la factibilidad técnica de implementar este tipo de solución.

Si la aplicación de una tecnología estuviese únicamente en función del análisis técnico, sería lo ideal; pero el aspecto económico es en base al cual la gran mayoría de ocasiones se toma este tipo de decisión.

Por este motivo se incluye en el proyecto los precios referenciales de la implementación de un sistema FSO, al cual lo podemos comparar con otro tipo de solución como sería el alquiler de servicios de un carrier.

Cada uno de los capítulos nos va formando una idea más clara del funcionamiento, implicaciones técnicas y económicas que conlleva una tecnología como Free Space Optics.

## **PRESENTACIÓN**

Las soluciones con las que se cuenta en la actualidad para el campo de las comunicaciones inalámbricas, se presentan como soluciones con gran adaptación a requerimientos en 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.

Son estos tres parámetros, los que motivan la investigación en ésta área, la misma que ha arrojado 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 se remonta a 1880, cuando Alexander Graham Bell empleo luz solar reflejada en un espejo vibrante junto con una fotocelda de Selenio para transmitir señales telefónicas.

FSO nos permite, a través de equipos de fácil montaje sobre techos, 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 de que se necesite mover ese enlace hacia otra dirección que mantenga la línea de vista entre ambas partes se lo puede realizar de forma inmediata, enfocando el equipo en su nuevo sentido.

Esta es una ventaja absoluta sobre los sistemas tradicionales como son el cobre o la fibra óptica, sin contar con los gastos que estos acarrear.

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 cambio alguno de equipos.

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

Dentro del presente capítulo se tratará los diferentes conceptos que implica la tecnología de comunicación óptica en espacio libre.

El funcionamiento de FSO es dado de manera general como introducción hacia el tema. Se inicia con los principales elementos que participan en el proceso de comunicación tanto en el lado transmisor como en el que recibe la información. Las nociones básicas comprometidas con el estudio de factibilidad en la implementación de la tecnología son explicadas.

Se revisan los parámetros de seguridad con los cuales se desempeñan los equipos tanto desde el punto de vista de impacto en el ser humano, como a nivel de la transmisión de datos.

Finalmente, el marco legal necesario para la utilización de la tecnología es tratado basándose en estándares internacionales y nacionales, cuya regulación se encuentra vigente.

El objetivo de éste primer capítulo es generar una idea más precisa del tipo de tecnología que se pretende implementar en la cadena de Supermercados. El conocer los diferentes aspectos que rodean al concepto de comunicaciones ópticas en espacio libre es primordial para lograr, de esta manera, evaluar su viabilidad en cuanto a su aplicación.

## 1.1 FSO: La Tecnología

La comunicación óptica en espacio libre trabaja en la banda de frecuencia de luz infrarroja, entre la primera y tercera ventana<sup>1</sup>, las cuales pertenecen a la zona de atenuación mínima. El rango de frecuencias que se emplean sobrepasa los 200 THz.

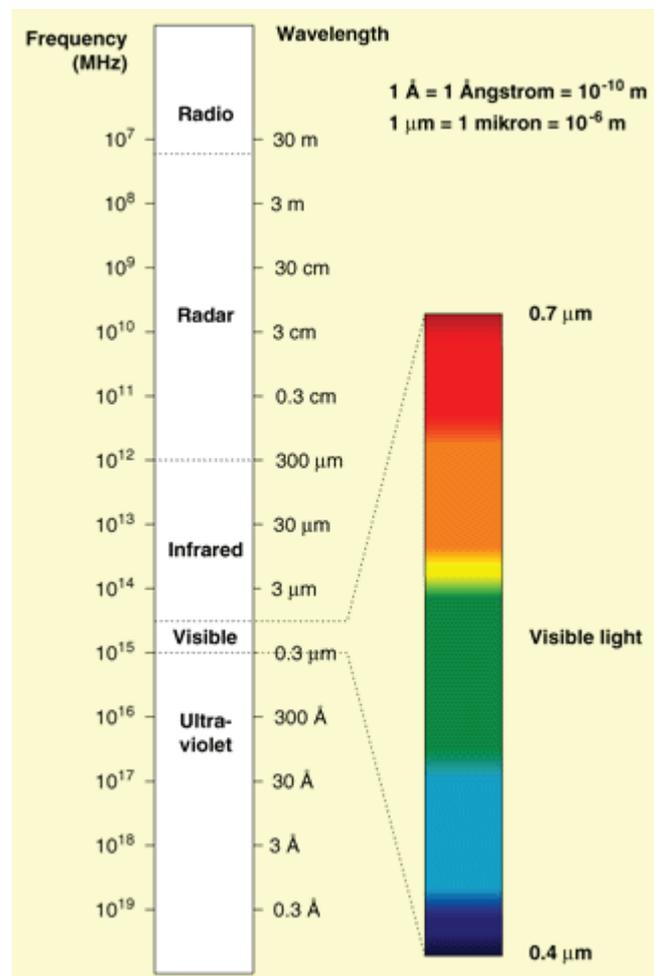
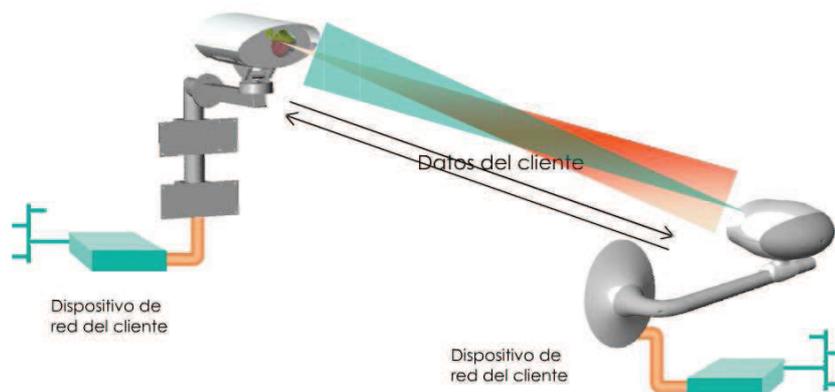


Figura 1.1 Espectro Electromagnético

<sup>1</sup> Las ventanas de trabajo son longitudes de onda central de la fuente luminosa que utilizamos para transmitir la información. Primera ventana: 850nm. Tercera ventana 1550nm.

Es independiente de los protocolos de red empleados, debido a que pertenece a la capa física dentro del modelo OSI<sup>2</sup> y su funcionamiento se asemeja bastante al de la fibra óptica sin los problemas que conlleva el envío de luz dentro de un hilo de vidrio y con los inconvenientes que se presentan al enviar dicha luz a través del espacio libre y debido a que la información en el aire viaja más rápido que mediante fibra óptica, FSO califica como tecnología de alta velocidad. En éste tipo de comunicación se puede enviar de manera simultánea datos, voz y video a una tasa sobre los 2.5 Gb/s

Los sistemas FSO se componen generalmente de un transmisor y receptor en ambos extremos (para comunicación full dúplex) los cuales envían y reciben información mediante un haz invisible de luz directivo. Para lograr la comunicación anteriormente descrita, es un requisito inherente la existencia de línea de vista entre los lugares que queremos conectar. Existen varios elementos que forman parte de un sistema FSO. Los mismos se revisan a continuación.



*Figura 1.2 Comunicación de equipos FSO*

---

<sup>2</sup> Modelo de interconexión de sistemas abiertos para comunicaciones que basa su lineamiento en 7 capas.

### 1.1.1 ELEMENTOS DE FSO

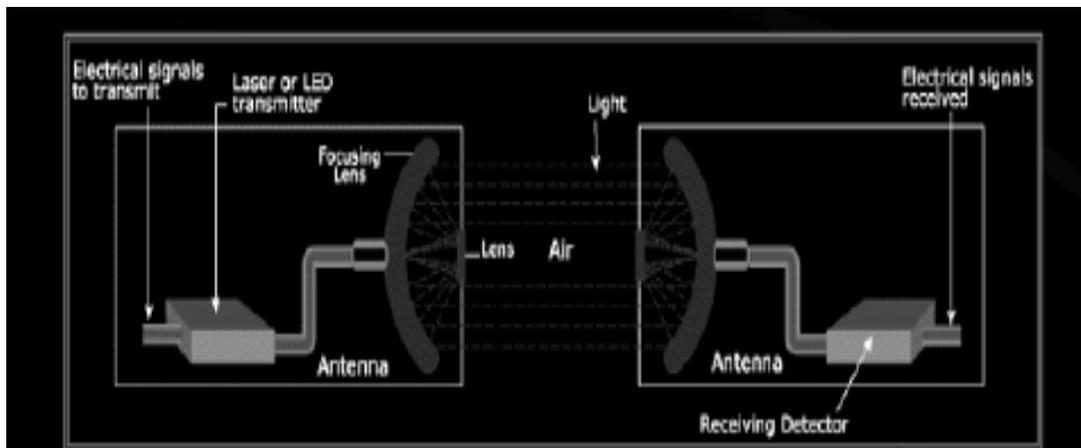


Figura 1.3 Elementos FSO

#### 1.1.1.1 Transmisores

##### Fuentes de luz

En el mercado encontramos una gran variedad de fuentes de luz para sistemas ópticos, pero nos enfocamos en aquellos que se utilizan con más frecuencia tanto por su desempeño como por su costo.

##### 1.1.1.1.1 Diodo de Emisión de luz (LED)

El diodo de emisión de luz es un semiconductor usado generalmente para corto alcance. La luz es producida principalmente por la presencia de la juntura p-n. Mientras que un semiconductor tipo n tiene una provisión adicional de electrones libres y un semiconductor tipo p cuenta con una provisión de huecos dejados por electrones, al encontrarse juntos, estos semiconductores generan una barrera o región neutral, la cual sin un estímulo no permite una recombinación.

Sin embargo, al aplicar un voltaje de polarización directa el nivel de energía aumenta en el extremo n de la juntura e inicia la recombinación en la que los electrones cubren los huecos, cayendo de esta manera en la banda de valencia y liberando a su vez energía en forma de luz, la misma que equivale a un fotón. El tipo de emisión que se desarrolla en el LED es conocido como emisión espontánea, por esta razón la luz emitida no se encuentra en fase o alineada, por lo que la anchura espectral<sup>3</sup> del LED es más amplia y su potencia de salida es menor comparado con el láser.

La longitud de onda emitida dependerá del material del cual se encuentre conformado el LED, por ejemplo, aquellos compuestos por Galio y Arsénico (GaAs) o Aluminio, Galio y Arsénico (AlGaAs) emitirán una longitud de onda alrededor de los 850 nm.

El siguiente cuadro muestra el material del cual está compuesto el led, el rango de la longitud de onda que emite y la diferencia de potencia que se debe aplicar para que se logre dicha emisión.

<b>Material</b>	<b>Rango de longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Energía Aplicada (eV)</b>
GaInP	<b>0.64 - 0.68</b>	1.82 - 1.94
GaAs		0.9 - 1.4
AlGaAs	<b>0.8 - 0.9</b>	1.4 - 1.55
InGaAs	<b>1.0 - 1.3</b>	0.95 - 1.24
InGaAsP	0.9 - 1.7	0.73 - 1.35

*Tabla 1.1 Valores de longitud de onda y potencia aplicada para diferentes materiales de led*

<sup>3</sup> Anchura espectral es el ancho en longitud de onda entre los dos puntos donde la potencia óptica decae a la mitad.

La vida útil de un LED puede llegar a ser de once años (pasado ese tiempo su potencia se reduce a la mitad). Soporta temperaturas de entre  $-65^{\circ}$  y  $+125^{\circ}$  centígrados, aunque decrementa su desempeño a altas temperaturas.

#### - Tipos principales de LED

##### **SLED** (Led de emisión por superficie)

Se tienen diodos con estructuras internas más complejas, en ellos que se busca una emisión más directiva y para ello se permite un área circular limitada en el sustrato por donde atraviesa la luz.

##### **IREL** (Diodo de emisión en infrarrojo)

Aquellos cuya longitud de onda emitida se encuentra entre los valores correspondientes a esta región.

##### **ELED** (Diodo de emisión de borde)

Emiten su luz desde una zona delgada localizada en el plano de unión p-n, lo cual se logra colocando alrededor de la juntura material de menor índice de refracción<sup>4</sup> que conforma un canal por donde transita la luz hasta llegar a la zona de emisión.

##### **SLD** (Diodo súper luminiscente)

Poseen cierta capacidad reflexiva ya que una de las caras por donde se emite la luz es tallada mientras la otra no lo es. La potencia emitida por éste diodo es mayor que los anteriormente mencionados.

---

<sup>4</sup> constante característica de cada medio y representa la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en la sustancia o el medio transparente

#### 1.1.1.1.2 Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación LASER

Su longitud de onda varía en el orden de las milésimas de nanómetros, por lo que se dice que emite luz monocromática<sup>5</sup>. Se utiliza generalmente en grandes distancias, por ejemplo mediante el envío de un pulso de luz láser que rebotó en un reflector en la superficie de la Luna, se logró conocer con precisión la distancia entre ésta y la Tierra. Su anchura espectral es muy baja y cuenta con una gran potencia de salida.

El láser basa su funcionamiento en la emisión estimulada. Al aplicar un estímulo externo (voltaje) en la unión p-n, el cual debe ser mucho mayor al aplicado en los leds, se logra tener una gran cantidad de electrones excitados que, al caer a un estado de menor excitación, liberan energía en forma de fotón. Dicha energía es igual a la diferencia de energía de ambos estados por los que pasó. Por cada fotón que incide sobre un átomo excitado, se genera otro fotón. Se conoce como *inversión de la población* al estado en el que existe una mayor concentración de electrones excitados, lo cual se logra administrando un voltaje muy grande. Este estado tiene características de amplificación.

Para que el proceso de recombinación continúe se requiere una realimentación confinando la luz producida a una cavidad resonante, la cual se logra rodeando la juntura (cuyo índice de refracción es alto) con capas de materiales de índice de refracción menor. En éste punto se cuenta con una guía de onda, pero para que la cavidad se encuentre completa se requiere añadir espejos al final de la misma. Así es como se conforma la cavidad conocida como Fabry Perot, que estimula una mayor emisión debido a que la luz que se refleja en los espejos, regresa a la guía y una pequeña porción de luz escapa conformando el rayo láser.

---

<sup>5</sup> Que tiene una sola longitud de onda.

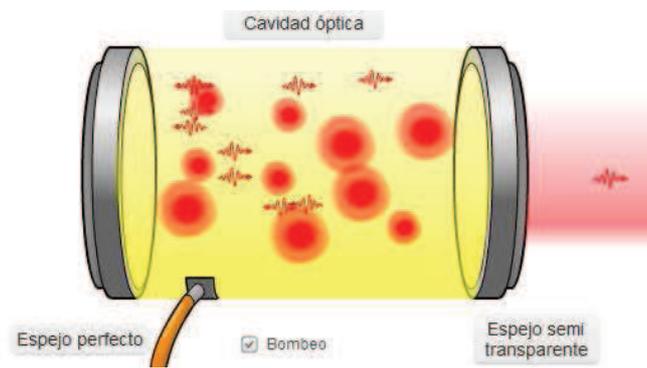


Figura 1.4 Cavidad Fabry Perot

Entre los láser más usados en comunicaciones se encuentran los diodos láser, debido a su costo, tamaño y potencia. El gráfico muestra el perfil de la radiación láser emitida por un diodo láser simple

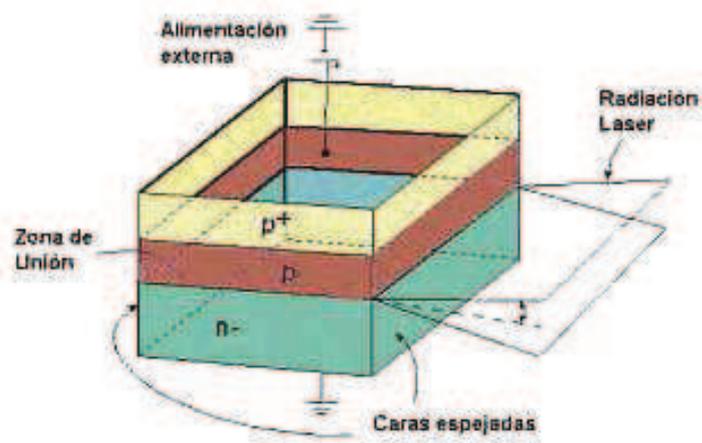


Figura 1.5 Diodo láser simple

#### 1.1.1.2.1 Tipos principales de LASER

Entre los principales se encuentran

**VCSEL** (Láser de emisión de superficie de cavidad vertical)

Su luz es emitida perpendicularmente a la capa activa. Posee espejos tanto arriba como abajo de la juntura y la luz sale por un área en la superficie. Su vida útil es más larga que la de los demás. Requiere una corriente mucho menor que el resto para presentar el efecto láser y debido a la longitud de onda que emite se lo utiliza preferencialmente en sistemas de corta trayectoria.

**EEL** (Láser de emisión de borde)

La luz se propaga paralela a la capa activa y emerge por una división presente en el borde de la misma. Dependiendo de las propiedades de la guía de onda se puede tener un haz de luz de gran calidad pero baja potencia o viceversa.

**DBR** (Reflector de Bragg distribuido)

Láser que emplea una red de difracción<sup>6</sup>, la cual se encuentra fuera de la zona activa, en donde no circula corriente (parte pasiva de la cavidad). La longitud de onda del láser puede ser ajustada a condiciones atmosféricas específicas. Es costoso.

**DFB** (Realimentación distribuida)

La red de difracción se distribuye a lo largo de todo el medio activo. La longitud de onda de la red determina la longitud de onda emitida por el láser, en una línea muy fina del espectro.

*1.1.1.1.3 Parámetros de una fuente de luz*

---

<sup>6</sup> Red compuesta por elementos capaces de difractar la luz. Generalmente compuesta por crestas corrugadas.

Para una determinada fuente de luz, se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros, que aseguren su buen funcionamiento dentro del equipo óptico.

- Rango de longitud de onda emitida (nm)
- Potencia de transmisión (mW)
- Tipo de modulación
- Compatibilidad con el medio de transmisión
- Clasificación de seguridad de la radiación
- Dimensiones físicas
- Disponibilidad en el mercado
- Tiempo de vida
- Alcance sugerido (m)

### **1.1.1.2 Modulación**

#### *1.1.1.2.1 Modulación Directa*

Se logra variando la corriente aplicada a la fuente óptica, lo que incide directamente en la luz emitida. La señal moduladora puede ser analógica o digital. La mayoría de sistemas ópticos utiliza la modulación directa debido a su bajo costo y simplicidad, aunque posee limitaciones tales como una velocidad de modulación limitada, variaciones en la longitud de onda de la luz generada, entre otras.

#### **Modulación OOK (On/Off Keying)**

Modulación utilizada por la mayoría de los sistemas de transmisión ópticos que consiste en suministrar a la fuente de luz una corriente superior a la corriente umbral del mismo para que tenga lugar la emisión de luz, en caso de que se desee transmitir el bit 1. En caso de que sea un 0 lo que se desea enviar, la potencia óptica emitida por el láser deberá ser nula, es decir, la corriente aplicada será menor que el umbral.

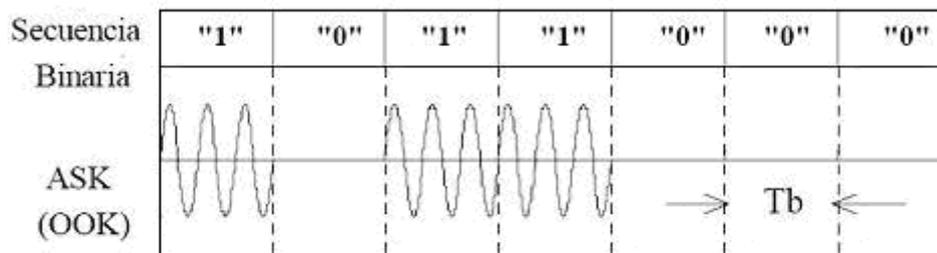


Figura 1.6 Modulación On/Off Keying

#### 1.1.1.2.2 Modulación Externa

En este tipo de modulación, la portadora óptica (luz emitida) pasa a través de un dispositivo externo, el cual genera una señal eléctrica que será la que module a la portadora óptica.

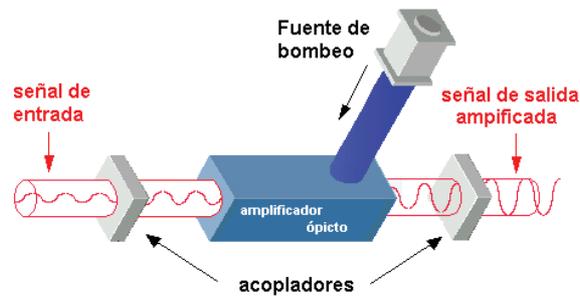
Dentro de este tipo de moduladores se cuenta con el modulador electro-óptico el cual consiste en pasar la onda de luz a través de una guía de onda que al inducirle un campo eléctrico hace variar sus propiedades refractivas, alterándose la fase de la onda luminosa, con lo que se puede modular la intensidad de la misma sin manipular la fuente óptica. Como guía de onda generalmente se utiliza el cristal de niobato de litio<sup>7</sup>, por sus características electro-ópticas. La modulación externa es conveniente para altas velocidades.

#### 1.1.1.3 Amplificación

Los amplificadores usados en los sistemas de comunicaciones ópticas son electro-ópticos y ópticos. Los primeros, toman la señal óptica, transformándola en señal eléctrica, amplificándola, regenerándola y volviéndola a convertir en óptica. Los amplificadores ópticos, inyectan fotones en el medio óptico.

<sup>7</sup> (LiNbO<sub>3</sub>) es un compuesto de niobio, litio y oxígeno. Sus cristales individuales son un material importante para guías de onda ópticas, teléfonos móviles, moduladores ópticos y otras aplicaciones ópticas.

La diferencia principal entre ambos amplificadores radica en la latencia<sup>8</sup>, que para los dispositivos electro-ópticos es mayor, debido a las múltiples etapas ópticas y eléctricas requeridas, en contraste con los amplificadores ópticos los cuales manejan el mismo tipo de señal emitida por la fuente óptica.



*Figura 1.7 Amplificador óptico*

#### *1.1.1.3.1 EDFA (Amplificador de fibra dopado de erbio)*

Su rango de operación está entre los 1520 y 1630 nm. Compuesto de un diodo láser, una sección de fibra óptica dopada generalmente con erbio y un láser de onda continua que bombea luz a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifica. Al administrar radiación infrarroja, ésta es absorbida por los átomos de erbio, que a su vez pasan a un estado de excitación. La luz que llega estimula a esos átomos excitados y logra que emitan luz en la misma longitud de onda y en fase con ella, produciendo de esta manera la amplificación. Estos amplificadores tienen una alta ganancia (entre 30 y 50 dB) y bajo ruido.

La figura muestra la configuración de un amplificador EDFA más empleada actualmente. La señal que hay que amplificar y la señal de bombeo se inyectan al EDFA combinadas por medio de un acoplador. El primer aislador se emplea para impedir la propagación hacia fuera del EDFA de emisión espontánea

<sup>8</sup> Suma de retardos temporales dentro de un sistema

(ruido ASE<sup>9</sup>) que se genera y se propaga en sentido contrario al de la transmisión. El bombeo y la amplificación se realizan en el mismo sentido que la propagación. A la salida se coloca otro aislador que evita la entrada al EDFA y por tanto su amplificación de cualquier señal reflejada. Finalmente se emplea un filtro óptico para filtrar el ruido ASE, generado en el amplificador, que se encuentre fuera de la banda de la señal útil.

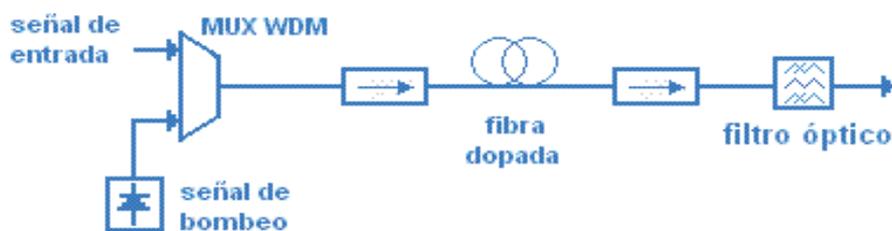


Figura 1.8 Esquema de funcionamiento de amplificador EDFA

#### 1.1.1.3.2 RAMAN

Toma la energía de la radiación administrada por un láser de bombeo para amplificar una señal a otra longitud de onda. Hay una interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo, la cual debe ser alta para obtener una buena amplificación. El máximo de ganancia se consigue a 13 THz (unos 100 nm) por debajo de la longitud de onda de bombeo

Para mejores resultados puede ser empleada junto con un amplificador EDFA, ya que de esta manera se reduce el nivel de ruido producido en la amplificación.

<sup>9</sup> Emisión espontánea amplificada. ASE es el ruido introducido por un amplificador óptico.

#### **1.1.1.4 Multiplexación**

##### *1.1.1.4.1 TDM (Multiplexación por división de tiempo)*

Consiste en asignar a cada señal el ancho de banda disponible, durante uno o más slots o ranuras de tiempo, en donde no se presenta interferencia alguna ya que solo dicha señal está siendo transmitida.

##### *1.1.1.4.2 FDM (Multiplexación por división de frecuencia)*

Mediante la utilización de filtros dividimos el espectro de frecuencias del canal de transmisión y a cada señal se le asigna una banda de frecuencia o subcanal diferente. Cada señal es modulada con una subportadora de frecuencia apropiada.

##### *1.1.1.4.3 CDM (Multiplexación por división de código)*

Se transmiten señales al mismo tiempo y sobre la misma banda de frecuencia. Esto se logra multiplicando a la portadora por un código que produce un ensanchamiento del espectro de la señal transmitida. Cada usuario emplea su propio código ortogonal con el que se cifra la señal a transmitir.

##### *1.1.1.4.4 WDM (Multiplexación por división de longitud e onda)*

Permite incremento en la capacidad de transmisión ya que cada señal emplea diferente longitud de onda. En este tipo de multiplexación tenemos a WDM Convencional (ITU G.692), Coarse WDM (ITU G 694.2) y Dense WDM, el cual es el mismo WDM de banda angosta ya que su espaciado entre canales es mucho más estrecho que los anteriores (entre 0.4nm y 0.2nm).

DWDM permite independencia en cuanto a la velocidad de cada señal y al tipo de protocolo de red empleado. Opera en la tercera ventana de transmisión. Puede emplear amplificadores EDFA para el rango de longitudes de onda en que éste opera o RAMAN para extender el número de longitudes de onda

utilizables, lo que posibilita un aumento en el número de canales, además la dispersión temporal<sup>10</sup> o efectos no lineales<sup>11</sup> no afectan al desempeño de DWDM, como sí ocurre en la fibra óptica, aunque implica un costo un tanto elevado en comparación con los anteriores tipos de multiplexación. En laboratorio, FSO ha logrado operar con 40 longitudes de onda satisfactoriamente. Tanto láseres como componentes estándar que se utilizan en sistemas de fibra óptica pueden ser empleados en FSO.

#### 1.1.1.4 Receptores Ópticos

Los más frecuentemente empleados son los conocidos foto detectores de semiconductor, en los que se produce un efecto contrario a las fuentes de luz. Una vez que llega un fotón a la juntura p-n, previamente polarizada en forma inversa, logra que un electrón en la banda de valencia salte a la banda de conducción. Cuando el fotón tenga una energía igual o superior a  $E_g$ <sup>12</sup> se libera al electrón, dejando un hueco en el lugar que ocupaba, produciéndose de esta manera una corriente denominada foto corriente en la que los portadores toman sentidos opuestos.

La longitud de onda en la cual operan los fotodetectores dependerá del material del cual estén compuestos. El tiempo de respuesta<sup>13</sup> está en el rango de los microsegundos, lo que los convierte en poco adecuados para sistemas de altas velocidades. En este grupo tenemos a los siguientes detectores ópticos

##### 1.1.1.5.1 Detectores PIN (*P- región intrínseca-N*)

Son los más difundidos en FSO, entre otros factores, debido a que superan el problema del alto tiempo de respuesta. Es la capa intrínseca la que mejora

---

<sup>10</sup> Parámetro fundamental en la fibra óptica que puede ser modal, cromática o de modo polarizado.

<sup>11</sup> Parámetro fundamental en la fibra óptica que puede ser auto modulación de fase, modulación de fase cruzada o mezcla de cuatro ondas.

<sup>12</sup> Denominada energía de banda prohibida. Es la energía requerida para saltar de la banda de valencia a la de conducción y es propia de cada elemento. Es, por ejemplo, 1.2 eV para el silicio.

<sup>13</sup> Tiempo que toma el detector en subir su corriente entregada de 10% a 90% del valor final, al aplicarle un pulso de luz.

notablemente tanto la responsividad ( $A/W$ ), la cual se define como la relación entre la corriente entregada ( $A$ ) por el foto detector y la potencia óptica recibida ( $W$ ), como el tiempo de respuesta.

Entre las capas p y n se extiende la capa intrínseca, la misma que no tiene cargas libres por lo que presenta una gran resistencia. Al llegar los fotones a la zona intrínseca, la gran mayoría son absorbidos. Entregan su energía a los electrones logrando que estos pasen a la capa de conducción y se conviertan en portadores produciendo una mayor corriente eléctrica que fluye por el dispositivo.

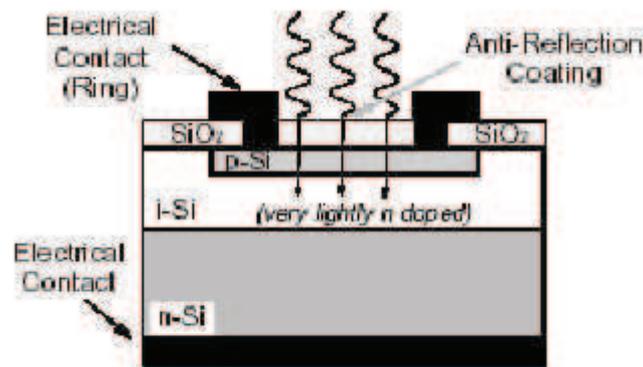


Figura 1.9 Esquema de un fotodiodo pin

#### 1.1.1.4.2 Detectores APD (foto diodo de efecto avalancha)

En esta clase de detectores la región intrínseca es un poco mayor que en el detector PIN. Dicha región se denomina  $\Pi$ , la cual se polariza inversamente con un voltaje muy alto, lo que produce un campo eléctrico tan intenso que acelera los pares electrón-hueco generados por los fotones que son absorbidos por la región. La energía es tal que la aceleración de los pares produce colisiones con los átomos de la estructura y esto a su vez produce más portadores.

Si bien los detectores APD cuentan con una mejor responsividad y tiempo de respuesta que los PIN, generan mayor ruido y son sensibles a variaciones de

temperatura, por lo que requieren circuitos especiales para sopesar el problema, lo que implica un aumento en su costo final.

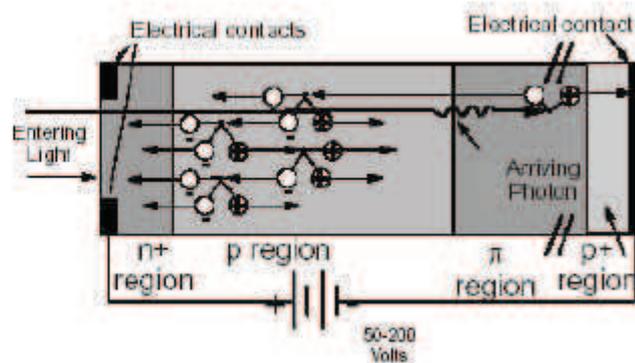


Figura 1.10 Esquema del funcionamiento de un APD

Otras opciones en el campo de los fotodetectores son los fototransistores, los cuales ofrecen amplificación de la corriente producida por la luz. Generan menor ruido y mayor señal de salida que los detectores APD, pero su responsividad es inferior.

También están los conocidos como Barrera Schottky en donde uno de los componentes de la juntura p-n se reemplaza por un metal. No son muy utilizados en la actualidad, aunque son objeto de estudios debido a sus características prometedoras.

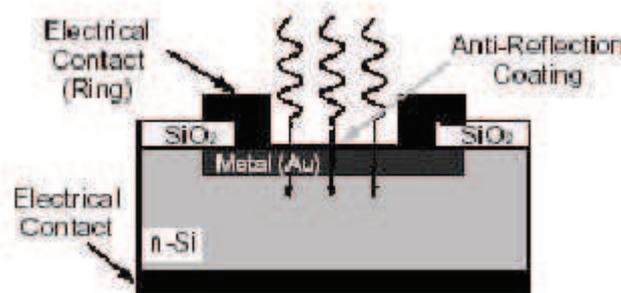


Figura 1.11 Fotodiodo de unión metal semiconductor

El empleo del detector dependerá de su aplicación, para distancias cortas y transmisores con suficiente potencia tenemos a los detectores PIN y en caso de largas distancias los APD serían convenientes.

### **1.1.1.5 Componentes de FSO**

#### *1.1.1.6.1 Sistemas de control de apuntamiento*

Además de los elementos tratados anteriormente, en FSO intervienen otros componentes que son de mucha importancia para un buen funcionamiento del sistema los cuales son tratados a continuación.

### **Tracking**

El tracking nos permite lograr la alineación correcta entre transmisor y receptor para un mejor aprovechamiento del enlace. Generalmente es automático en los equipos (auto tracking) y suele contar con un haz de luz guía separada de la señal de datos para lograr su propósito de realineamiento, además de un filtro del lado del receptor, que solo aceptará la entrada de la señal de datos.

Se asigna longitudes de onda diferentes a estos haces de luz (datos y guía), aunque en el caso de que se emplee la misma longitud de onda se podrá contar con un divisor de señal.

Se debe indicar que, en muchos de los casos, aún el uso del tracking implica pérdidas en el enlace establecido, por lo que se emplea mecanismos de realimentación de la señal.

## **Subsistemas de Tracking,**

### **Servo Motores**

Permiten la rotación del equipo desde su base. Son sistemas robustos pero tienen un gran consumo de energía.

### **Espejos Direccionados**

Empleados en tracking a bajas velocidades, se conforman por un espejo colocado sobre una plataforma que le permite cambiar de dirección y desviar el haz de luz de acuerdo a requerimientos. Es de gran utilidad en sistemas donde alguno de los puntos o ambos sufren cambios de posición.

### **Detectores Quad**

Utiliza cuatro señales para localizar el lugar donde debe ser apuntado la señal de datos. Son empleados para ángulos de desviación pequeños.

#### *1.1.1.6.2 Sistemas de transmisión de haz amplio*

Pueden ser utilizados en sistemas carentes de tracking, ya que logra el propósito de llevar la señal hacia el receptor mediante el envío de la misma a través de un haz de luz de gran amplitud aunque, al no ser directivo totalmente, produce pérdidas en el sistema debido a que la potencia empleada para enviar la señal no es totalmente aprovechada. Es empleado en distancias y velocidades de transmisión moderadas ya que para edificios de gran altura que tienden a oscilar, es aconsejable la utilización de tracking automático

### 1.1.1.6.3 Gimbal

Dispositivo en donde se coloca el equipo transmisor-receptor de FSO y permite el movimiento en sentido vertical, así como en la dirección horizontal. Acompaña el funcionamiento del tracking y facilita el direccionamiento de los equipos FSO.

## 1.1.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL ENLACE

### 1.1.2.1 Rango

Depende de las características de los equipos, y se refiere a la distancia entre dos puntos de enlace. Pueden cubrir pocas decenas de metros y llegar hasta kilómetros. La mayoría de fabricantes proporcionan un rango máximo mientras otros indican un rango típico para determinadas condiciones climatológicas. Los valores del rango deben tomarse como órdenes de magnitud y no como valores absolutos.

### 1.1.2.2 Margen de enlace

Parámetro principal para describir el rendimiento de un enlace FSO. Se refiere a la cantidad de luz recibida por un terminal, la cual es necesaria para mantener el enlace activo. Generalmente es expresado en decibeles (dB) y su valor debe ser positivo para garantizar el funcionamiento del sistema. La expresión que se emplea en el cálculo del margen de enlace es la siguiente:

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

$M_{link}$  es el margen de enlace en dB

$P_e$  es la potencia de emisión de la señal en dBm

$S_r$  es la sensibilidad del receptor en dBm

$Aff_{Geom}$  es la atenuación geométrica del enlace en dB

$Aff_{Atm}$  es la atenuación atmosférica del enlace en dB (afectada principalmente por la niebla)

$P_{Sist}$  son pérdidas del equipo, conectores, fibra óptica y desalineamiento en dB

#### 1.1.2.3 Potencia Transmitida o de Emisión

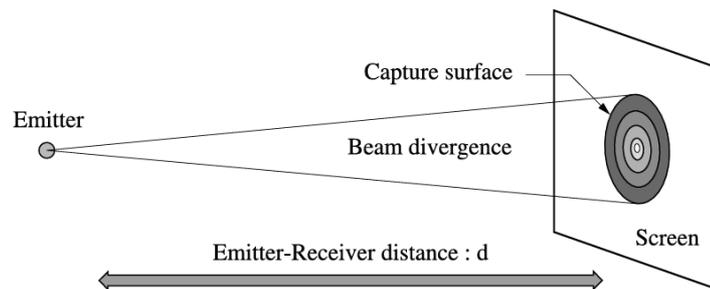
Conforme éste parámetro sea más alto, se va a lograr enfrentar de mejor manera factores climatológicos, que son los que atenúan con mayor fuerza a la señal. Los equipos FSO que operan en la tercera ventana cuentan con potencias de transmisión mucho mayores a los que operan en primera ventana. Este parámetro afecta directamente al nivel de disponibilidad del enlace, es proporcionado por el fabricante del equipo FSO y generalmente está dado en mW.

#### 1.1.2.4 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad es el mínimo nivel de potencia que puede detectarse manteniendo una tasa de error de bit (BER) especificada. Este parámetro es también proporcionado por el fabricante del equipo FSO.

### 1.1.2.5 Atenuación Geométrica

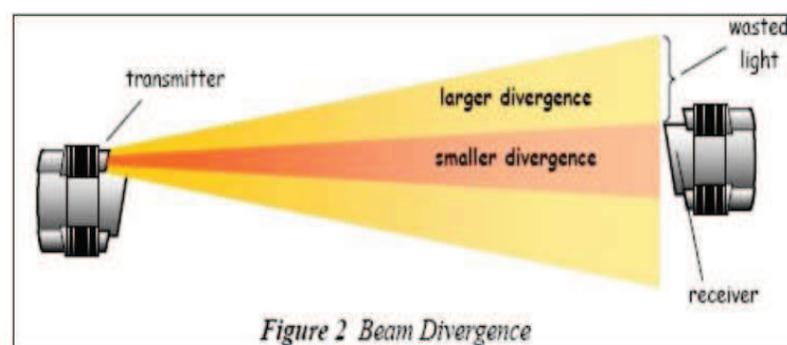
La atenuación geométrica está dada en función de la divergencia del láser, la distancia entre emisor y receptor y el área de captura del receptor, que es un parámetro definido por el fabricante del equipo FSO.



*Figura 1.12 Atenuación geométrica*

#### 1.1.2.5.1 Divergencia del láser

Mientras el láser se encuentra transmitiendo, su haz en la atmósfera empieza a ampliar su diámetro, formando un ángulo de apertura el cual es directamente proporcional al área de cobertura en el extremo remoto e inversamente proporcional a la potencia recibida en el receptor del equipo remoto.



*Figura 1.13 Divergencia de láser*

Para efecto de cálculo de la atenuación geométrica, se emplea la siguiente expresión:

$$Aff_{Geom} = \frac{S_d}{S_{captura}} = \frac{\pi}{4} (d\theta)^2 \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

$Aff_{Geom}$  es la atenuación geométrica en dB

$S_d$  es el área del haz de luz a una distancia (d)

$S_{captura}$  es el área de captura del receptor en m<sup>2</sup>

$d$  es la distancia que recorre el haz en m

$\theta$  es la divergencia del haz en mrad

#### 1.1.2.6 Atenuación Atmosférica

La atenuación atmosférica resulta principalmente por los efectos de la absorción y de la dispersión de la luz infrarroja por moléculas de gas y aerosol presentes en la atmósfera.

Se describe mediante la Ley de Beer<sup>14</sup>, que se presenta a continuación en función de la transmitancia (magnitud que indica la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo):

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} = e^{-\sigma d} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

$\tau(d)$  es la transmitancia a una distancia  $d$  del transmisor

$P(d)$  es la potencia de la señal a una distancia  $d$  del transmisor

$P(0)$  es la potencia emitida

$\sigma$  es la atenuación o el coeficiente de extinción por unidad de longitud.

El coeficiente de extinción está conformado por cuatro términos:

$$\sigma = \alpha_m + \alpha_n + \beta_m + \beta_n \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

$\alpha_m$  es el coeficiente de absorción molecular

$\alpha_n$  es el coeficiente de absorción del aerosol<sup>15</sup>

$\beta_m$  es el coeficiente de dispersión de Rayleigh

---

<sup>14</sup> La Ley de Beer la ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia, así como también entre la transmisión y la longitud del cuerpo que la luz atraviesa.

<sup>15</sup> Finas partículas sólidas o líquidas que se encuentran en el ambiente. Se analizará en el próximo capítulo.

$\beta_n$  es el coeficiente de dispersión de Mie

Se debe tomar en cuenta que en sistemas FSO los coeficientes de absorción molecular, aerosol y el coeficiente de dispersión de Rayleigh son despreciables.

Por esta razón el coeficiente de extinción queda en función del coeficiente de dispersión de Mie, el cual es a su vez función de la visibilidad.

$$\sigma = \beta_n \quad \text{Ecuación 1.5}$$

La visibilidad se define como la distancia a la cual la intensidad de la luz decrece en un 2%, o también se puede decir que es la distancia máxima a la cual se logra distinguir un objeto oscuro en el horizonte.

La atenuación se relaciona con la transmitancia por la siguiente expresión:

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right) \quad \text{Ecuación 1.6}$$

El resultado nos indica el grado de atenuación atmosférica en dB.

#### 1.1.2.6.1 Dispersión de Rayleigh

Cuando la luz o cualquier otra onda electromagnética alcanza una partícula, parte de la radiación incidente es dispersada. La energía dispersada se denomina radiación difusa. La dispersión de Rayleigh se produce cuando las partículas son menores que la longitud de onda de la luz incidente. Este tipo de dispersión es la principal razón de que el cielo sea azul.

### 1.1.2.6.2 *Dispersión de Mie*

Cuando los diámetros de las partículas a las que alcanza la luz son iguales o mayores a la longitud de onda de la misma, tenemos la dispersión de Mie. Este tipo de dispersión no es selectiva por lo que la luz blanca solar es devuelta con toda su fuerza por nubes formadas por partículas de gotitas o cristalitos de hielo, dando su color característico a las nubes.

### 1.1.2.6.3 *Coeficiente de Absorción*

En la absorción se produce una transferencia de energía de la radiación a las partículas atmosféricas. Este mecanismo implica absorción de energía de determinada o determinadas longitudes de onda. Desde este punto de vista los absorbentes más eficaces de radiación solar son las moléculas de agua, de dióxido de carbono y ozono. Está dado en función de la fuerza de absorción de un determinado tipo de partícula, así como de la densidad de la misma, y se determina experimentalmente. La absorción no tiene gran efecto en los sistemas FSO.

### 1.1.2.7 **Tiempo de Propagación**

Es el tiempo que tarda la señal en llegar desde un equipo hacia su par, del lado contrario del enlace. Los factores a tomar en cuenta en el cálculo del tiempo de propagación son:

- Tiempo de procesamiento electrónico de los equipos FSO, tanto emisor como receptor
- Tiempo de propagación de la luz en la atmósfera, entre emisor y receptor

$$t_{\text{procesamiento}} = t_{\text{electr}} + t_{\text{propagacion}}$$

Ecuación 1.7

El tiempo de procesamiento electrónico es un parámetro que viene especificado por el fabricante del equipo y que se multiplica por dos ya que siempre se tiene un receptor y un emisor.

En el caso del tiempo de propagación de la luz, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t_{propagación} = \frac{d}{V_c} \quad \text{Ecuación 1.8}$$

Siendo:

$d$  la distancia entre ambos puntos del enlace

$V_c$  la constante de la velocidad de la luz en el vacío

#### 1.1.2.8 Disponibilidad del enlace

La suma del número de cortes en el enlace, así como el tiempo que los mismos se mantienen funcionando en el lapso de un año da como resultado la disponibilidad del enlace. Se acepta una disponibilidad del 99.999%, lo que implica que durante todo un año el enlace puede fallar durante 5.2 minutos.

Este parámetro se ve afectado por fallas en el equipo, variaciones climáticas que involucran lluvia o neblina, cintilación o el corte de la línea de vista por algún motivo.

Para mantener la disponibilidad de nuestro enlace en valores que no sobrepase el aconsejado, se recomienda mantener un alcance menor al indicado por el equipo en lugares donde el clima se vea afectado constantemente por factores descritos anteriormente.

La casa fabricante generalmente indica el porcentaje de disponibilidad bajo condiciones atmosféricas de cielo claro y rangos específicos de trabajo.

### 1.1.3 SEGURIDAD

#### 1.1.3.1 Confidencialidad de la Información

La seguridad es uno de los principales parámetros a tomar en consideración cuando se aborda el tema de la información de cualquier organización. Si bien, generalmente el peligro se presenta en las capas superiores del modelo OSI, también se debe tomar precauciones en la capa física, la misma que en caso de contar con una infraestructura de cobre (que se puede interferir fácilmente) se encuentra amenazada, problema que desaparece en gran medida al emplear comunicaciones ópticas.

Los sistemas ópticos en espacio libre, como se indicó anteriormente, trabajan sobre el espectro de luz invisible, por lo tanto el ojo humano no puede ver el haz de transmisión. Mientras los equipos de comunicaciones de radio frecuencia (RF) o microondas, para la interconexión entre dos locaciones remotas punto a punto propagan la radiación en ángulos entre 5 y 25 grados, la comunicación óptica lo hace en haces estrechos de luz cuya amplitud en mucho menor a 0.5 grados (en FSO el ángulo de propagación se mide en mili radianes, y generalmente es de 3 mrad).

Es esta diferencia que permite la interceptación de la información bajo RF o microonda, utilizando un escáner espectral que trabaje en la frecuencia de transmisión específica. Por este motivo se emplea el conocido WEP o protocolo de cifrado en sistemas inalámbricos para la protección de la información. Aunque es difícil romper un código de cifrado, se puede lograr.

En contraste, la interceptación de un haz tan pequeño, se torna mucho más difícil y es por esto que las entidades gubernamentales y militares, cuya información requiere la máxima seguridad, fueron los primeros en la utilización de FSO debido a la protección a la información que el sistema brinda.

La interceptación del haz de luz que transporta los datos es virtualmente imposible, debido a varios factores, como que el interceptor debe tener acceso al lugar donde se encuentra el equipo, esto quiere decir que tiene acceso a

propiedad privada que incluye techos y oficinas ya que el equipo puede ser ubicado frente a una ventana dentro de una oficina, además de la elevación a la que se encuentra el haz, su invisibilidad y los bajos niveles de potencia de los fotones dispersos que pudieran ser capturados en la atmósfera durante el proceso de transmisión. Pero la razón principal es que un detector que no sea colocado apropiadamente, no podrá recolectar el haz completo, por lo que no tendrá acceso a la información.

Detectar los datos es muy difícil y extremadamente inverosímil ya que el detector intruso deberá ser colocado en el lugar exacto del receptor autorizado para poder recibir la transmisión, de lo contrario la cantidad de luz no será suficiente para completar la información enviada.

Para poder interceptar la señal se requiere generalmente cortar la comunicación en uno de los extremos, debido a que no llegará a su destino. Esto puede ser notado por la parte afectada.

#### *1.1.3.1.1 Criptografía*

El cifrado de la información es un método que refuerza la seguridad del sistema FSO, por lo que es altamente empleado.

Se basa en el envío codificado del mensaje mediante una llave, dicho mensaje al llegar al receptor puede ser descifrado a través de esa misma llave (clave privada) u otra diferente (clave pública). Si dicho mensaje es recibido por una tercera persona, no podrá conocer el mensaje ya que no posee la llave.

Una técnica de codificación altamente segura es la criptografía cuántica. La aportación cuántica a la seguridad del proceso consiste esencialmente en que un espía no puede extraer información sin revelar su presencia a los comunicantes, ya que por las leyes de la mecánica cuántica no es posible copiar estados. Esto se debe a que solo el observar un sistema cuántico

perturba al mismo e impide que el observador conozca su estado exacto antes de la observación (principio de incertidumbre de Heisenberg).

Existen diversos protocolos para la distribución cuántica de claves privadas. El más sencillo se conoce como BB84. Después se propusieron diversas modificaciones que dan lugar a otros protocolos esencialmente equivalentes.

En un proceso de distribución cuántica de claves, intervienen un emisor y un receptor y dos canales de comunicación, uno cuántico para enviar fotones y otro clásico para reconciliar y depurar la información. Ambas partes usan una parte de su clave para detectar la presencia de espías.

La seguridad de la criptografía cuántica no depende de la capacidad de cómputo del adversario sino que está garantizada en forma absoluta por las leyes de la física cuántica. Su empleo en comunicaciones ópticas en espacio libre puede aplicarse en el caso de que se utilicen fuentes y detectores de un único fotón, y condicionado a que el transmisor conozca el estado de polarización del mismo.

### **1.1.3.2 Seguridad Ocular**

Si bien cualquier láser puede presentar peligro para el hombre tanto a nivel cutáneo como ocular, los niveles de energía de los equipos de FSO no presentan riesgo para la piel, pero sí lo hacen para la vista. El siguiente cuadro indica las longitudes de onda en las que operan los láseres y su incidencia en el órgano de la vista tomando en cuenta los porcentajes de transmisión y absorción de la señal óptica.

Longitud de Onda	550-700 nm	700-1000 nm	1500-1800 nm
<b>Emisión</b>	Visible	Infrarrojo cercano	Infrarrojo lejano
<b>Transmisión</b>	90%	50%	0%
<b>Absorción</b>	retina: 90%	cornea: 0% humor vítreo: 50%	cornea: 90% humor acuoso: 10%
<b>Peligro para el ojo (umbrales que excedan el MPE<sup>16</sup>)</b>	retina: calentamiento, quemaduras, lesiones limitadas e irreversibles	retina: calentamiento, quemaduras, lesiones limitadas e irreversibles lente cristalino: lesiones potenciales	córnea: opacamiento potencial

*Tabla 1.2 Impacto ocular bajo diferentes longitudes de onda de operación*

Fuera de la longitud de onda en la que operan, la forma del haz de luz y la potencia manejada, otros parámetros nos permiten cuantificar el riesgo que un determinado láser implica:

La *categoría*, que define el riesgo y el nivel de potencia y la descripción obligatoria para cualquier producto láser.

Los *límites de emisión accesible*, AEL por sus siglas en inglés, que categorizan a los láseres de acuerdo a la potencia emitida.

La *máxima exposición permisible* (MPE), un factor de riesgo que indica el nivel de radiación al cual una persona puede estar expuesta sin efectos dañinos.

Y la *distancia nominal de peligro ocular*, NOHD por sus siglas en inglés, que indica la distancia del láser a la cual la exposición cae bajo el MPE. Bajo esta distancia el riesgo se vuelve insignificante.

<sup>16</sup> Máxima exposición permisible

### 1.1.3.2.1 Categorías de láser

De acuerdo al estándar EN 60825-1, contamos con 7 categorías en cuanto al tipo de riesgo que implica la luz emitida por el láser. Cada clase se define por la potencia o energía emitida.

Categoría	Riesgos asociados
1M	Equipos de baja potencia que emiten radiación en longitudes de onda de 302.5-4000 nm. Sin riesgo bajo condiciones razonables de uso, que incluye instrumentos de uso óptico como binoculares, microscopios, monoculares.
1	Equipos de baja potencia que emiten radiación en longitudes de onda de 302.5-4000 nm. Sin riesgo bajo condiciones razonables de uso, con la excepción de instrumentos de uso óptico como binoculares, microscopios, monoculares.
2M (II M)	Equipos de baja potencia que emiten radiación visible (400-700nm). La protección ocular es asegurada por los reflejos de defensa, incluido el reflejo del párpado, el cual provee protección efectiva bajo condiciones previsibles razonables, incluyendo a instrumentos de uso óptico como binoculares, microscopio, monoculares.
2 (II)	Equipos de baja potencia que emiten radiación visible (400-700nm). La protección ocular es asegurada por los reflejos de defensa, incluido el reflejo del párpado, el cual provee protección efectiva bajo condiciones previsibles razonables, a excepción de instrumentos de uso óptico como binoculares, microscopio, monoculares.
Categoría	Riesgos asociados
3B (III B)	Equipos con potencia media cuya radiación emitida está entre 302.5-4000 nm. La visión directa es siempre peligrosa.
4 (IV )	Equipos de alta potencia. Siempre hay peligro para los ojos y la piel. Existe riesgo de fuego.

Tabla 1.3 Categorías de láser

#### *1.1.3.2.2 Métodos para Mantener la Seguridad Ocular*

Con la finalidad de precautelar la seguridad e integridad física del personal que manipula los equipos de FSO, se deben tomar los siguientes puntos en consideración al momento de instalar un sistema de comunicación óptica por espacio libre:

- Limitar la potencia de salida del láser
- Utilizar múltiples fuentes de transmisión.
- Minimizar el acceso al láser
- Colocar etiquetas apropiadas de seguridad ocular
- Proveer indicaciones visibles del estado encendido/apagado del láser
- Empleo de procedimientos establecidos de seguridad para alineación de equipos.
- Capacitar a los usuarios en procedimientos de mantenimiento y configuración apropiados.

El empleo de múltiples fuentes de transmisión, entre 3 y 4, permite incrementar la intensidad total de la luz enviada para grandes distancias o altas velocidades manteniendo la seguridad, debido a que disminuye la potencia enviada por un solo láser. Estos sistemas son diseñados de tal manera que no sea factible que un mismo usuario sea capaz de recibir simultáneamente todos los haces de luz a pequeñas distancias.

Minimizar el acceso al láser implica instalar el equipo en lugares inaccesibles para evitar que usuarios sin previa capacitación tengan contacto accidental con la luz del láser.

El etiquetar apropiadamente significa indicar la categorización del equipo, junto con el organismo de estandarización respectivo. Esta etiqueta debe estar visible.

Los equipos de FSO deberán avisar mediante un indicador de luz el estado de encendido, para no correr riesgos en su manipulación.

La alineación de láseres se debe realizar bajo gran cuidado. Generalmente se realizan los trabajos en distancias mayores a 20 metros, que es lo que se recomienda para un correcto funcionamiento del equipo.

También se puede recurrir a información más detallada sobre seguridad en el campo óptico en los diversos estándares que hacen referencia al tema.

En CEI 60825-1, CEI 60825-2 y CEI 60825-12 se proporciona información sobre diversas consideraciones de seguridad ocular relevantes para los sistemas FSO. En concreto, en CEI 60825-12, *Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*, se facilita información detallada sobre la clasificación de las ubicaciones en que pueden funcionar los sistemas FSO, especificando los requisitos de los equipos usados en cada uno de ellos.

#### **1.1.4 REGULACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS POR ESPACIO LIBRE**

Dentro de la implementación de los sistemas FSO, la licencia por el uso de la banda de frecuencia no es tomada en cuenta ya que no se requiere. Esto es debido a que las longitudes de onda empleadas en la transmisión de los equipos FSO no están cubiertas por disposición alguna del Reglamento de Radiocomunicaciones, lo que significa que actualmente no tenemos legislación sobre la porción del espectro empleado por las comunicaciones ópticas en espacio libre.

Los equipos generalmente funcionan en rangos de frecuencia entre 150 y 500 THz y dentro del reglamento tanto internacional (normado por la ITU) como nacional (normado por CONATEL y SENATEL) no se llega a normalizar tales frecuencias.

La normativa nacional viene dada por el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) y por el SENATEL (Secretaría Nacional de

Telecomunicaciones). Dentro del Plan Nacional de Frecuencias se encuentra el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, emitido por el CONATEL , el cual se extiende hasta el rango de 248 a 1000 GHz, en donde las frecuencias de 275 a 1000 GHz no se encuentran actualmente atribuidas a ley alguna.

La normativa internacional en cambio, viene dada por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) la cual es una organización dentro del sistema de Naciones Unidas dedicada a normalizar redes y servicios de telecomunicaciones. Se basa en tres sectores estructurales; Desarrollo, Estandarización y Radiocomunicaciones, siendo éste último sector el que nos interesa, ya que el uso del espectro radioeléctrico y las atribuciones del plan de frecuencias son de su competencia.

Cada 3 años se lleva a cabo la Conferencia Mundial de Radio (WRC por sus siglas en inglés) en donde se revisan el Reglamento de Radiocomunicaciones. En el 2002, una nueva resolución para el uso del espectro sobre los 3000 GHz fue definida. La Resolución 118, en Marrakech, contempla las siguientes recomendaciones:

- Estudiar la posibilidad e importancia de incluir en el Reglamento de Radiocomunicaciones las bandas de frecuencias por encima de 3000 GHz.
- Autorizar la inclusión en la agenda del próximo WRC los puntos relativos a las frecuencias más altas que 3000 GHz e introducir, si es necesario las disposiciones concernientes a estas frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

El que entre en vigor un nuevo reglamento dependerá de los cambios de la convención de la próxima Conferencia Plenipotenciaria, siendo éste el organismo de más alto rango dentro de la ITU

## **CAPÍTULO 2.**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se definen las condiciones atmosféricas que afectan a las comunicaciones en espacio libre. En base a ellas se realiza una breve introducción acerca de la situación ambiental y geográfica del lugar donde se ubican los locales comerciales de la cadena de Supermercados.

Además, se analizan los principales fenómenos naturales que tienen mayor incidencia en la aplicación de la tecnología. Las comunicaciones ópticas en espacio libre, si bien tienen la ventaja de viajar a través del aire, son afectadas sobre todo por las diferentes condiciones climáticas que presenta la atmósfera.

Junto con los elementos climatológicos que perjudican su funcionamiento, la presencia de línea de vista es uno de los parámetros fundamentales en un estudio de factibilidad para la implementación de esta tecnología. Mediante la observación desde los puntos establecidos para el estudio, se verifica el alcance visual entre los locales. En este punto se analiza la topografía del ambiente que rodea a los locales para que, de esta manera la línea de vista no se vea afectada por la presencia de diferentes factores que influyen en ella. Cabe indicar que la línea de vista es directa en el mejor de los casos, pero puede sortearse de diferentes maneras.

En el presente capítulo se establecen factores importantes que deben ser tomados en cuenta en cualquier análisis de comunicación óptica. Los lugares en donde se planea una futura instalación poseen características climáticas y topográficas propias que se convierten en parámetros que favorecen o entorpecen una posible aplicación, por lo que es indispensable conocerlos.

## 2.1 ESTUDIO AMBIENTAL Y TOPOGRÁFICO

### 2.1.1 LA ATMÓSFERA

Para los enlaces de FSO, el medio de propagación es la atmósfera. Esta se encuentra compuesta por una serie de capas de gas alrededor de la Tierra, de la siguiente manera:

De 0 hasta 80-90 Km de altitud tenemos la homósfera. Sobre ella se encuentra una capa de gas denominada Heterósfera.

Dentro de la Homósfera, se distinguen tres capas atmosféricas;

- Tropósfera
- Estratósfera
- Mesósfera.

Es la Tropósfera la capa atmosférica que nos interesa debido a que en ella tienen lugar la mayoría de fenómenos atmosféricos. La propagación de luz en esta capa toma en cuenta los siguientes parámetros:

- la composición de gas de la atmósfera
- presencia de aerosoles suspendidos en el aire
- lluvia, nieve, granizo
- polvo, humo y arena

Estas partículas pueden dispersar o absorber la propagación de los fotones infrarrojos en la atmósfera, y debido a que no es posible cambiar las condiciones atmosféricas, es posible tomar ventaja de las ventanas de trabajo al escoger la longitud de onda en la que se va a trabajar.

Para asegurar una mínima atenuación por dispersión y absorción, los sistemas FSO operan en la ventana del infrarrojo cercano, localizado entre los 850 y 1550 nm. Existen otras ventanas en los rangos de longitud de onda entre los 3 a 5  $\mu\text{m}$  y 8 a 14  $\mu\text{m}$ .

Sin embargo su uso comercial es limitado por la disponibilidad de equipos y componentes, así como por las dificultades relacionadas a la implementación en temperaturas tan bajas.

La atenuación de la luz a través de la atmósfera por efecto de la absorción y dispersión es descrita por la Ley de Beer, tratada en el capítulo anterior.

### **2.1.1.1 Dispersión**

La dispersión se refiere a la naturaleza de la luz de intentar abrirse camino a través de la atmósfera. Esta puede impactar drásticamente en el funcionamiento de los sistemas FSO y no se relaciona con la pérdida de energía por el proceso de absorción de luz. Se puede entender como un redireccionamiento o redistribución de la luz que puede conllevar una reducción significativa de la intensidad de luz que llega al receptor.

Dependiendo del tamaño característico de las partículas que la luz encuentra en su camino, tenemos diferentes tipos de dispersión, como la dispersión Mie (dispersión producida cuando las partículas son menores que la longitud de onda de la luz incidente) y Rayleigh (dispersión producida cuando las partículas son de mayor tamaño que la longitud de onda de la luz incidente) explicadas en el capítulo anterior. Al comparar las longitudes de onda empleadas generalmente en las comunicaciones ópticas de espacio libre con el radio promedio de las partículas de niebla, el resultado es que ambas tienen el mismo tamaño, razón por la cual ésta es el principal enemigo del haz de luz emitido por los equipos FSO.

Se debe tomar en cuenta que ambientes con gran variación de clima (como aquellos en los que tenemos microclimas<sup>17</sup>) presentan un gran reto. Por esta razón, para fines de instalación de sistemas FSO, la operación en ambientes

---

<sup>17</sup> Conjunto de condiciones atmosféricas y climáticas uniformes en un espacio muy reducido.

con fuerte presencia de niebla requiere que se mantengan cortas distancias para mantener altos niveles de disponibilidad.

La mayoría de fabricantes de equipos aseguran disponibilidades de enlace que exceden el 99.99% en caso de que las distancias se mantengan bajo los 200 metros.

#### **2.1.1.2 Absorción en la ventana atmosférica**

En la ventana empleada por FSO, en el rango del infrarrojo cercano, las partículas de absorción más comunes son el agua, el dióxido de carbono y el ozono. La región de 700 a 2000 nm es dominada por la absorción por vapor de agua, mientras la región desde los 2000 a los 4000 nm es dominada por una combinación de absorción por agua y dióxido de carbono.

#### **2.1.1.3 Aerosoles**

Los aerosoles se forman naturalmente de polvo de meteorito, partículas de sal del océano, polvo del desierto y partículas volcánicas. También pueden crearse como partículas resultantes de la conversión química de gases a sólidos o líquidos por parte del hombre, así como de deshecho industrial.

Estas partículas se presentan en diversos tamaños, desde fino polvo de 0.1  $\mu\text{m}$  hasta partículas gigantes con diámetros mayores a 10  $\mu\text{m}$ . La tierra produce más aerosoles que el océano, y en el hemisferio norte se produce el 61% de aerosoles del total del planeta.

#### 2.1.1.4 Turbulencias

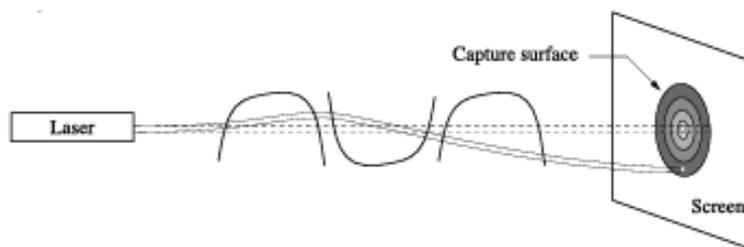
En climas calientes y secos, las turbulencias pueden causar problemas en la transmisión. Mientras el suelo se calienta por el sol, el aire sufre el mismo efecto y ocurre que ciertas porciones de aire se calientan más que otras. Esto causa cambios en el índice de refracción, lo cual cambia el camino que el haz de luz toma mientras se propaga en el aire.

Debido a que estas moléculas de aire no son estables en tiempo o espacio, el cambio en el índice de refracción sigue un modelo randómico. Para un observador esto asemeja un comportamiento turbulento.

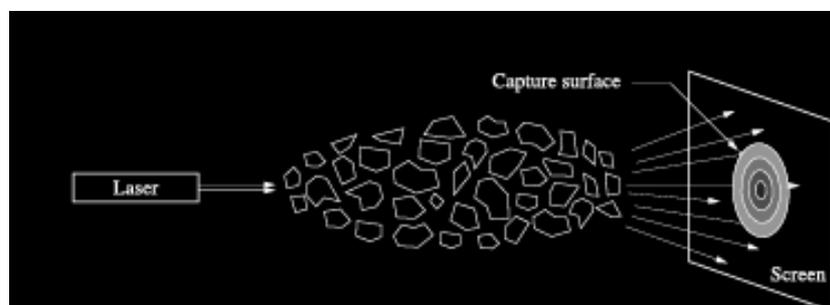
Los haces de luz experimentan tres efectos bajo turbulencia. Primero, el rayo puede ser desviado de manera randómica debido al cambio del índice de refracción en el aire. Este fenómeno es conocido como *rayo incoherente*. Debido a que la refracción a través del un medio como el aire se asemeja a la luz atravesando cualquier otro medio de refracción como el cristal, la luz será enfocada o desenfocada de manera randómica, siguiendo los cambios en el índice de refracción durante el camino de transmisión.

El segundo efecto involucra fluctuaciones intensas o centelleo provocado por la variación en la fase frontal del haz de luz. Bajo el tercer efecto, el haz puede ensancharse más de lo que la teoría predice.

Para minimizar los efectos de centelleo en el camino de transmisión, los sistemas FSO no deben ser instalados en superficies calientes. La instalación en techos debe tener en cuenta esta consecuencia. Debido a que el centelleo decrece con la altitud, es recomendable que los sistemas FSO sean instalados en sitios de mayor altitud que 4 pies (1,25 metros). Aunque la instalación típica de un sistema FSO se realiza en los techos, también se pueden situar tras las ventanas de las construcciones. Se toma en cuenta que algunas ventanas contienen vidrio o cubiertas de vidrio que reducen o rechazan la luz infrarroja. Dichas cubiertas reducen la señal en un 60% o más.



*Figura 2.1 Desviación del haz luminoso por presencia de moléculas de aire más grandes que el diámetro del haz de luz*



*Figura 2.2 Desviación del haz luminoso por presencia de moléculas de aire más pequeñas que el diámetro del haz de luz*

#### 2.1.1.4.1 Centelleo

Los efectos del centelleo atmosférico pueden ser apreciados al mirar de lejos el asfalto caliente, la ilusión óptica nos hace ver unas pequeñas olas sobre el pavimento. De los tres efectos de la turbulencia, los sistemas de comunicaciones ópticas en espacio libre se ven más afectados por el centelleo. La interferencia randómica en el frente de la onda causa picos y caídas, que resultan en la pérdida de la señal o saturación en el receptor.

Dado que el índice de refracción del aire cambia con la temperatura, el intercambio de calor causa variaciones locales del índice de refracción que conducen al desenfoque o a la curvatura del haz láser. Los sistemas FSO

operan horizontalmente en la atmósfera, cerca de la superficie, por lo cual experimentan un gran centelleo.

El efecto final del centelleo es una fluctuación temporal de la intensidad del haz del láser en el receptor. Dichas fluctuaciones de intensidad son semejantes al “parpadeo” de una estrella distante. La pérdida por centelleo puede ser reducida con la utilización de múltiples haces transmisores y el aumento del área del receptor.



*Figura 2.3 Efecto de centelleo*

### **2.1.1.5 Lluvia**

La lluvia impacta en la reducción de la distancia en FSO, aunque su impacto es significativamente menor al que produce la niebla. Esto se debe a que el radio de las gotas de lluvia (200 a 2000  $\mu\text{m}$ ) es mucho más largo que la longitud de onda típica de las fuentes de luz FSO. Los valores típicos de atenuación por lluvia son moderados en la naturaleza, por ejemplo, en una lluvia de 2.5 cm/hora, se puede observar una atenuación de señal de 6dB/Km.

Por lo tanto, los sistemas FSO disponibles en el mercado que operan con un margen de enlace de 25 dB pueden penetrar la lluvia relativamente sin mayor problema.

Este es el caso, especialmente cuando los sistemas se instalan en áreas metropolitanas donde la distancia entre edificios es menor a 1 Km. Si por ejemplo la distancia es de 500 m. bajo las mismas condiciones de lluvia, la atenuación será de 3 dB/Km. Sin embargo, cuando la proporción de lluvia incrementa dramáticamente (mayor a 10 cm/hora), la atenuación debido a ella puede llegar a ser un problema, más debe ser tomado en cuenta que éste tipo de situaciones duran por un periodo corto de tiempo (minutos).

Un punto interesante es que en la tecnología inalámbrica de radio frecuencia que usa frecuencias sobre los 10 GHz, el impacto de la lluvia es muy fuerte, mientras que el de la niebla es casi despreciable, contrario a lo que ocurre en FSO. Esto es debido a la similitud entre la longitud de onda usada en radio frecuencia y el diámetro de las gotas de lluvia; ambos son más largos que las partículas de neblina. Las frecuencias de RF en los rangos de 2.4 y 5.8 GHz no son afectadas relativamente por la lluvia o la neblina, pero tienen riesgos significativos de interferencia por la falta de licenciamiento en esas frecuencias.

#### **2.1.1.6 Nieve**

Los copos de nieve son cristales de hielo que vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Las condiciones atmosféricas de nieve pueden atenuar el haz, pero la dispersión no tiende a ser un gran problema para los sistemas FSO debido a que el tamaño de los copos de nieve es más largo comparado con la longitud de onda operativa. El impacto de la caída de nieve ligera o de una ventisca se aproxima a los valores entre una tenue lluvia y neblina moderada, con atenuación de enlace aproximado de 3 a 30 dB/Km.

#### **2.1.1.7 Niebla**

La niebla es el fenómeno climático que tiene una mayor afectación sobre los sistemas FSO, debido a que su composición, partículas pequeñas de agua, tiene un radio cercano al tamaño de las longitudes de onda del infrarrojo

cercano. La distribución del tamaño de partículas varía para diferentes grados de niebla.

Las condiciones atmosféricas se refieren a niebla cuando la visibilidad está en el rango de 0 a 2000 metros. Los términos de niebla densa y tenue son empleados debido a que son difíciles de describir los grados de ésta.

Cuando la visibilidad es más de 2000 metros, la condición atmosférica es referida como neblina.



*Figura 2.4 Efecto de niebla y neblina para un enlace FSO*

La siguiente tabla ilustra las diferentes condiciones ambientales y las pérdidas que estas implican en la señal, así como la visibilidad con la que se cuenta generalmente en cada una de ellas.

Condición climática	Precipitación		Cantidad (mm/hora)	Visibilidad	Pérdida (dB/Km)
Niebla densa				0 - 50m	-271.65
Niebla espesa				200m	-59.57
Niebla moderada	Nieve			500m	-20.99
Niebla moderada	Nieve	aguacero	100	770m 1Km	-12.65 -9.26
Niebla fina	Nieve	lluvia fuerte	25	1.9Km 2Km	-4.22 -3.96
Neblina	Nieve	lluvia media	12.5	2.8Km 4Km	-2.58 -1.62
Neblina ligera	Nieve	lluvia ligera	2.5	5.9Km 10Km	-0.96 -0.44
Condición climática	Precipitación		Cantidad (mm/hora)	Visibilidad	Pérdida (dB/Km)
Despejado	Nieve	llovizna	0.25	18.1Km 20Km	-0.24 -0.22
Muy despejado				23Km 50Km	-0.19 -0.06

*Tabla 2.1 Condiciones ambientales y sus pérdidas*

La visibilidad es comúnmente empleada para categorizar las condiciones de niebla debido a que es difícil caracterizarla físicamente. La limitada información que se tiene con respecto al impacto de la niebla en la disponibilidad de los sistemas FSO es ciertamente uno de los grandes desafíos para la industria de las comunicaciones ópticas.

### 2.1.2 INTRODUCCIÓN AL CLIMA DEL ECUADOR

El clima se refiere al estado medio de las condiciones atmosféricas, caracterizado por la evolución del tiempo atmosférico de un área determinada. Esto pone de manifiesto que actualmente el clima no se considera como algo estático o invariable, por el contrario es dinámico y por la misma razón fluctuante.

El territorio del Ecuador está dividido en cuatro regiones naturales claramente definidas entre sí. Estas cuatro regiones son: Costa, Sierra y Oriente y región Insular, las mismas que presentan diferentes características climáticas determinadas básicamente por su altitud y ubicación. La cordillera de los Andes y la influencia marítima influyen en cada zona, generando a su vez microclimas determinados.

En la Sierra las altitudes varían desde los 1200 hasta los 6000 msnm<sup>18</sup>. El período lluvioso se inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de mayo, con dos valores de altas precipitaciones, el valor mayor o valor máximo se registra en los meses de marzo a abril, y el segundo valor mayor o segundo valor máximo en los meses de octubre o noviembre. El período seco o verano se extiende desde el mes de junio a septiembre.

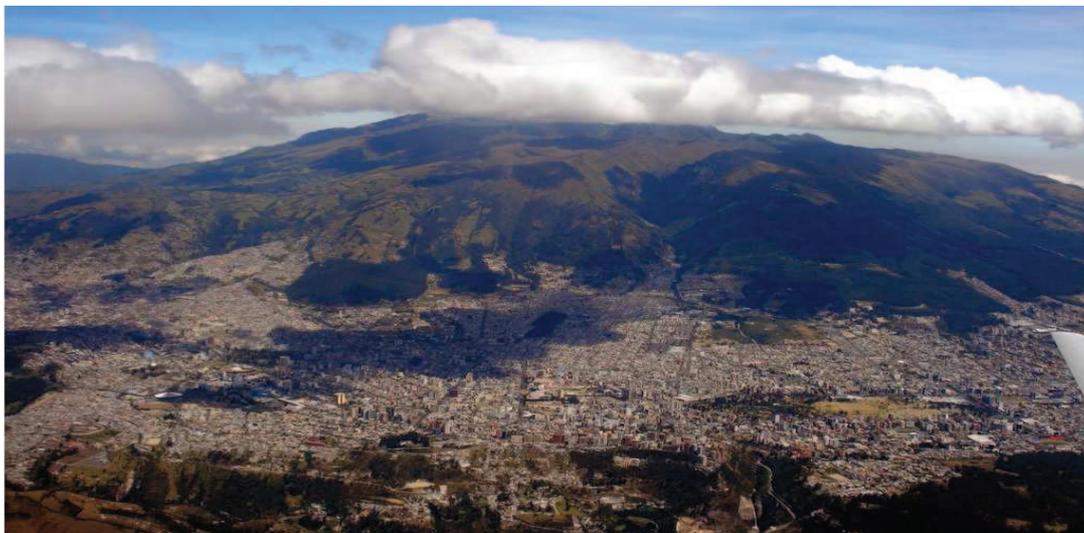
La presencia de una topografía muy irregular en la zona de altura como lo es el callejón interandino, influye drásticamente en los factores climáticos que afectan a las zonas aledañas, por lo que el clima adopta comportamientos diferentes en espacios físicos separados por cortas distancias.

Quito, debido a su posición en la línea ecuatorial y su altitud, tiene un clima muy particular que varía mucho entre la noche y el día. La temperatura media del día está entre 23 y 25° C, mientras en la noche baja a 10° C. En general, los días son claros por la mañana y nublados por la tarde.

---

<sup>18</sup> Metros sobre el nivel del mar

Sangolquí, ubicado en uno de los valles que rodea a la ciudad, posee un clima más cálido que Quito. Oscila desde los 16 grados en promedio y a veces es caluroso llegando a marcar los 26 grados de temperatura. En las noches puede bajar hasta los 8 grados.



*Figura 2.5 Quito – Clima soleado de mediodía con presencia de nubes*

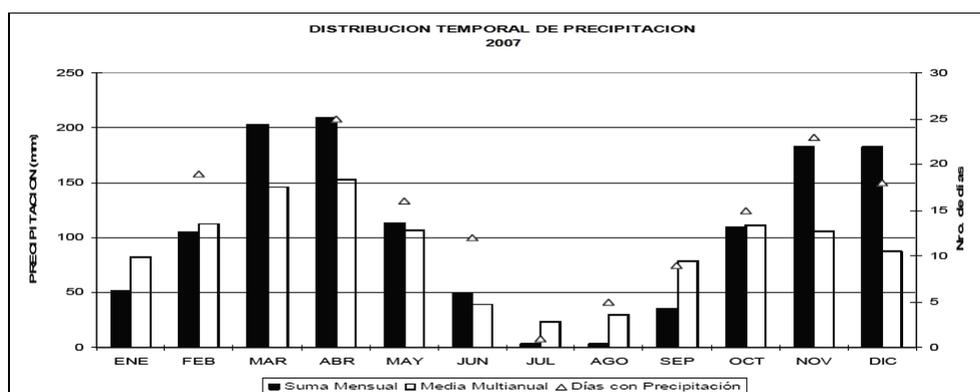
### **2.1.2.1 Precipitación en Quito**

Recurriendo a los anuarios del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología, podemos observar como en el lapso de 3 años el clima de la ciudad de Quito ha ido variando debido a la intensidad de sus lluvias. El anuario Meteorológico es una publicación regular del INAMHI, en el cual constan en valores diarios, mensuales y anuales, las características principales del tiempo atmosférico y del clima de las estaciones tanto del mismo instituto como de instituciones con quienes se trabaja bajo acuerdos. El INAMHI toma en cuenta la precipitación como la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo o hielo granulado desde las nubes a la superficie de la tierra. Los días con precipitación son aquellos en los que el mínimo de agua que debe recogerse es de 0.1 mm. Se observan datos de suma mensual de precipitación, obtenidos con un mínimo de 20 días registrados. La máxima en 24 horas, valor que corresponde a un dato puntual, considerado el máximo absoluto en un día. También se incluye el número de días de precipitación en el mes. Se toma en cuenta la estación Iñaquito, debido

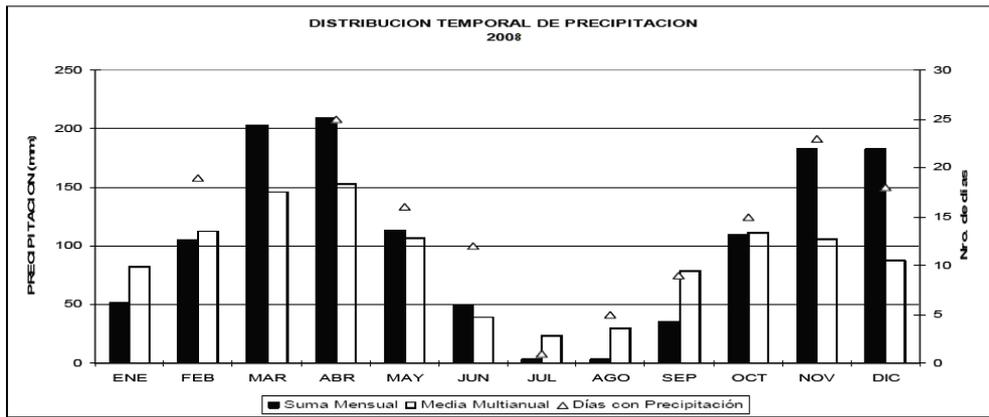
a que ésta abarca el área en el cual se localizan los locales de la cadena de Supermercados con los cuales se estudia la posibilidad de la implantación de la tecnología en la ciudad de Quito.

La estación La Tola-Tumbaco, que se asiente en el valle que lleva su nombre, se toma como referencia para los locales situados en Sangolquí, por la semejanza en las condiciones climáticas, ya que no se cuenta con estación alguna en el lugar. El INAMHI contó con la estación Sangolquí hasta el año 2006 y hasta el año 2004 con la estación de Conocoto. Si bien Sangolquí no pertenece a la ciudad de Quito, existen dentro de su área locales que forman parte de la cadena de Supermercados, cuya ubicación se puede aprovechar incluyéndolos en el estudio de factibilidad.

En las siguientes gráficas el nivel de precipitación se mide en milímetros. La cantidad de precipitación registrada en un determinado lugar puede expresarse de manera equivalente en litros por metro cuadrado (l/m<sup>2</sup>) o en milímetros (mm). Un milímetro de lluvia es la altura que en una cubeta de un metro cuadrado de superficie alcanza exactamente un litro de agua caída del cielo, de ahí la equivalencia.



Figuras 2.6 Gráfica anual de precipitación del año 2007 de la estación Iñaquito. Fuente INAMHI



Figuras 2.7 Gráfica anual de precipitación del año 2008 de la estación Ñaquito. Fuente INAMHI

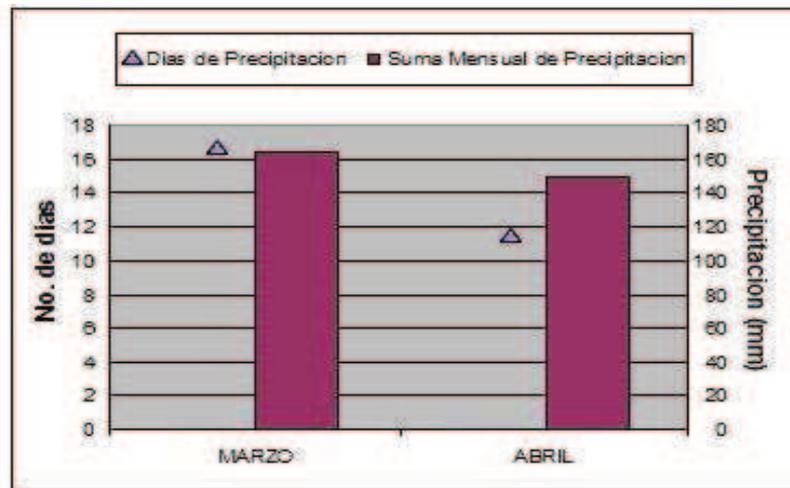
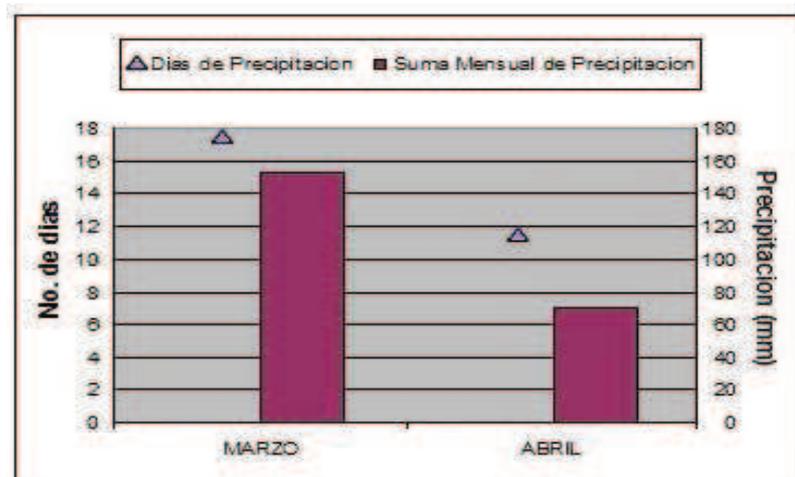


Figura 2.8 Gráfica de precipitación de los meses de marzo y abril del 2009 de la estación Ñaquito. Fuente INAMHI



*Figura 2.9 Gráfica de precipitación de los meses de marzo y abril del 2009 de la estación La Tola-Tumbaco. Fuente INAMHI*

Los datos presentados para la estación Ñaquito presentan un ligero descenso tanto en relación a la suma mensual, como al número de días de precipitación con respecto a años anteriores. Se presentan la información de éste año correspondiente a los meses de mayor precipitación (marzo y abril). Los datos presentados para el valle nos indican niveles similares a Quito en cuanto a los días de lluvia, pero se observa la disminución de precipitación en el mes de abril a casi la mitad.

Para ambos casos se debe tomar en cuenta que las grandes precipitaciones no tienen una duración muy larga. Se puede esperar que los niveles de precipitación posteriores registren valores similares o ligeramente superiores a los esperados. Sin embargo los datos actuales no suponen que ésta condición atmosférica represente un problema mayor para nuestros fines.

Los niveles de precipitación en las zonas consideradas van desde aguaceros a simples lloviznas. Su afectación a la tecnología será tomada en cuenta durante los cálculos del margen de enlace para la peor condición de precipitación que es el aguacero debido a los días críticos que se presentan en los anexos.

### 2.1.2.2 Visibilidad

La visibilidad, como se explicó anteriormente, es un factor de mucha importancia en éste estudio, debido a que es tomado en cuenta para el cálculo del margen de enlace.

El INAMHI no cuenta con datos de visibilidad para las diferentes estaciones. Un parámetro que se puede tomar como análogo es la *nubosidad* la cual se toma mediante observaciones al cielo y es tomado por octavas, pero no nos proporciona la información que se requiere.

TuTiempo.net es un espacio en Internet en el cual se pueden obtener información del clima de diferentes ciudades alrededor del mundo. Cuenta con una base histórica de años anteriores.

Se ha tomado los datos mensuales del año 2008 para referencia de la visibilidad en la ciudad de Quito. Para Sangolquí, no se cuenta con información alguna, salvo las diferentes observaciones que se puede realizar a la ciudad, que nos dan una idea general del tipo de la visibilidad que se llega a tener.

Mes	Visibilidad media (Km)
Enero	7.5
Febrero	7.1
Marzo	8.3
Abril	7.8
Mayo	8.7
Junio	9.7
Julio	10.6
Agosto	10.4
Septiembre	11.2
Octubre	9.1
Noviembre	8.2
Diciembre	7.7

Tabla 2.2 Visibilidad media de Quito del año 2008. Fuente TuTiempo.Net

Estos valores nos indican que durante el año pasado, la visibilidad que se tuvo en la capital llega a los niveles de niebla ligera según la tabla de condiciones ambientales mostrada anteriormente, lo cual favorece nuestro estudio.

De igual manera que en el caso de precipitación, la visibilidad es un valor medio que se toma para el mes. Se pone en consideración que al ser bastante variable el clima de Quito y de Sangolquí, hay días en los que tanto la precipitación como la visibilidad tienen valores críticos para nuestro interés. Es por este motivo que para nuestro caso de estudio, el valor al que se hará referencia en ambos casos es el de la peor condición ambiental, es decir, se toma en cuenta las pérdidas que se tienen en niebla densa.

### **2.1.3 LÍNEA DE VISTA**

La operación de los sistemas FSO requiere, como se menciona anteriormente, línea de vista (LOS por sus siglas en inglés). Esto significa que el transmisor y receptor se puedan ver. Debido a que los haces infrarrojos se propagan y expanden de manera lineal, el criterio es menos estricto al compararlo con los sistemas de microondas que requieren un camino adicional despejado para contar con la zona de Fresnel<sup>19</sup>, aunque será tomado en cuenta.

La manera más fácil para determinar la línea de vista es la observación entre las dos locaciones remotas. En distancias grandes esto resulta un poco más difícil. Otros recursos son necesarios, aunque muchos fabricantes incorporan un telescopio de alineamiento en las terminales FSO para realizar esta tarea.

#### **2.1.3.1 Situación topográfica-Ubicación de locales**

La porción urbanizada del área metropolitana de Quito está situada en un estrecho valle montañoso localizado inmediatamente al Este de las faldas del

---

<sup>19</sup> Zona de Fresnel se denomina al volumen de espacio entre emisor y receptor RF de manera que el desfase entre las ondas en dicho volumen no supere los 180°

volcán activo Pichincha, por esta razón la ciudad de Quito es bastante irregular en lo que a topografía se refiere.

La cadena de Supermercados cuenta con varios locales tanto en la ciudad de Quito como en sus valles. La mayoría de ellos se encuentran lejos entre sí, para tener presencia en las diferentes zonas de la ciudad.

Basados en la premisa de la irregularidad topográfica de la ciudad se buscaron locales que se encuentren en un mismo sector, que comparta un relieve similar y donde se mantengan las construcciones actuales para que en el futuro no se cuente con obstáculos que impidan el funcionamiento de la tecnología.

Bajo estos parámetros, los locales que entran en el estudio son aquellos que se encuentran ubicados en la zona de Quito Norte, así como los locales ubicados en el valle de los Chillos.

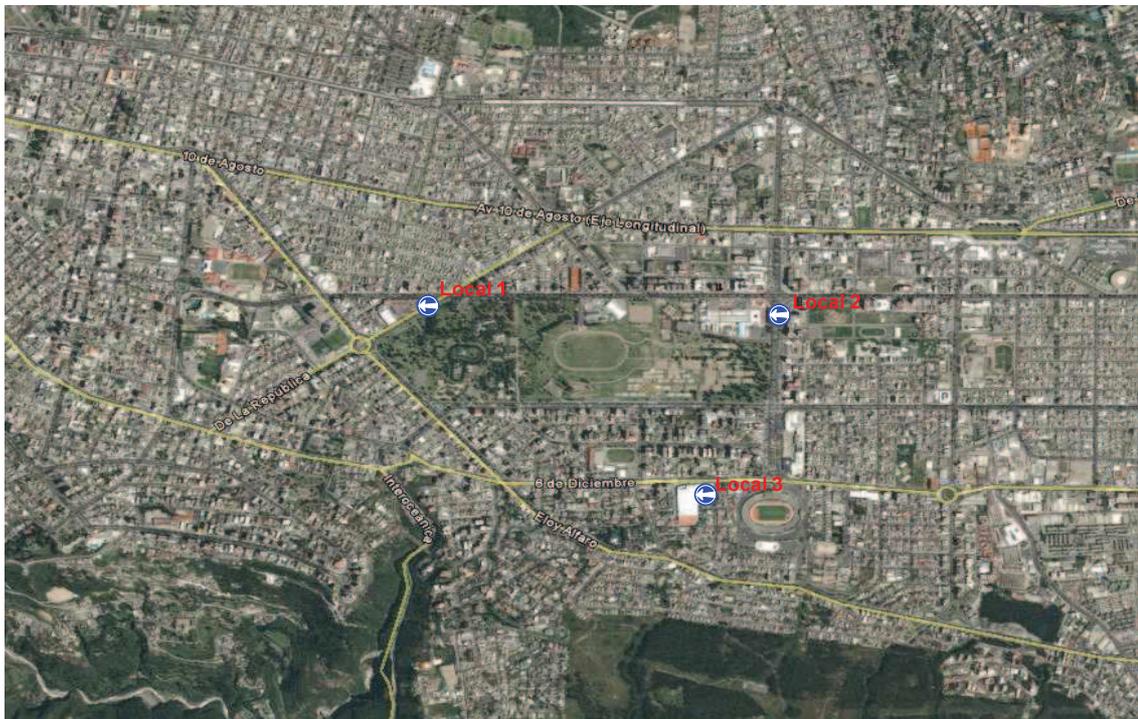
QUITO		
Local	Ubicación	Coordenadas
1	Avenida Amazonas y República	Latitud: 0°11'21.69"S Longitud: 78°29'14.77"W
2	Avenida Naciones Unidas y Amazonas.	Latitud: 0°10'37.15"S Longitud: 78°29'6.04"W
3	Avenida 6 de Diciembre entre calle Alemania y José Moreno.	Latitud: 0°10'49.53"S Longitud: 78°28'40.03"W

*Tabla 2.3 Ubicación de locales en Quito*

QUITO		
Local	Ubicación	Coordenadas
4	Triángulo de San Rafael	Latitud: 0°18'0.59"S Longitud: 78°27'34.85"W
5	Avenida Naciones Unidas y Amazonas.	Latitud: 0°18'26.83"S Longitud: 78°27'0.25"W

*Tabla 2.4 Ubicación de locales en Sangolquí*

Las siguientes figuras muestran la ubicación de los locales



*Figura 2.10 Locales Quito*



*Figura 2.11 Locales Sangolquí*

### 2.1.3.2 Línea de vista entre locales

Para establecer línea de vista, se ingresó a la terraza de los diferentes locales, en los que se pudo observar que ninguno de los 3 locales cuenta con línea de vista a cualquiera de los otros dos. Esto es debido a que si bien los locales elegidos se encuentran bajo condiciones topográficas regulares, sin relieve alguno entre ellas, las edificaciones que las rodean se presentan como obstáculos para que se lleguen a ver entre ellos.

El *Supermercado 1* no cuenta con línea de vista alguna hacia el *Supermercado 3* debido a que éste último se ubica tras varios edificios que superan la altura de su estructura y lo que obstaculiza la línea de vista hacia el *Supermercado 2* son varios árboles y una edificación mucho más alta que el *Supermercado 2*.

En el caso del *Supermercado 3*, éste se encuentra aislado debido a los varios edificios que se interponen entre él y los dos locales. Para todos los casos se requieren soluciones que permitan superar los obstáculos que se interponen entre los puntos a conectar con los enlaces.

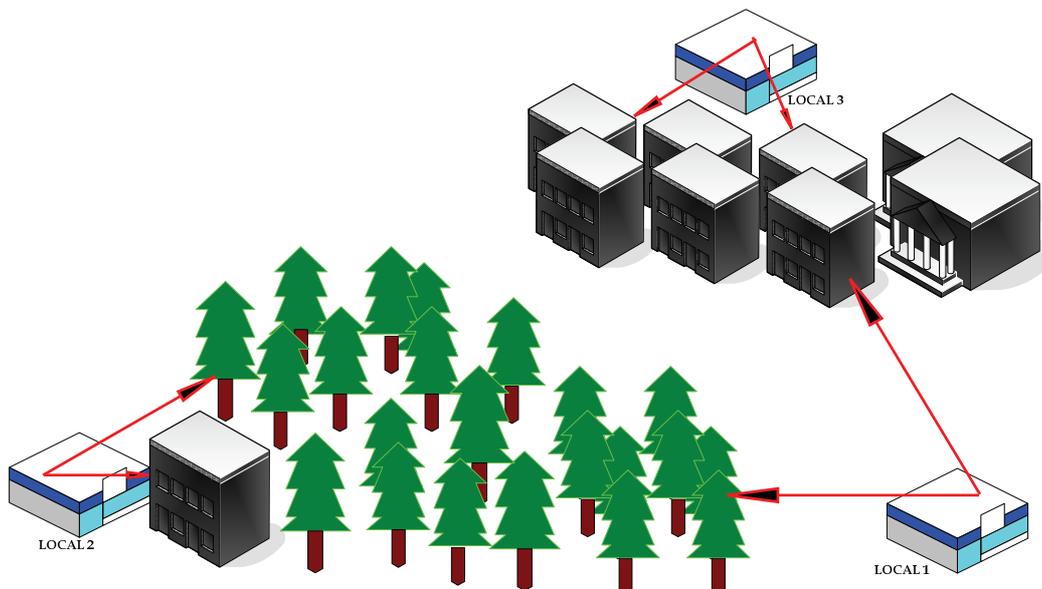
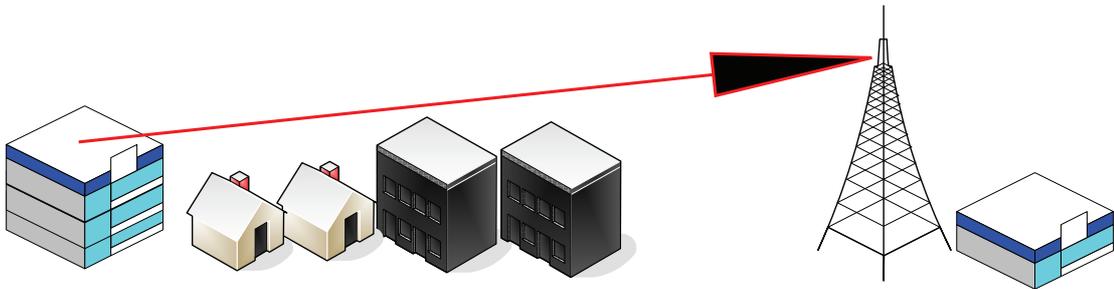


Figura 2.12 Situación de Línea de vista entre los locales en Quito

En contraste, los locales ubicados en el valle de los Chillos no presentan obstáculo alguno a lo largo de la distancia que recorrería el enlace, por lo que se afirma contar con línea de vista entre el *Supermercado 5* que se localiza en un centro comercial con una altura favorable y una torre ubicada en el estacionamiento del *Supermercado 4*.



*Figura 2.12 Situación de Línea de vista entre los locales en Sangolquí*

## **CAPÍTULO 3.**

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se procede a realizar el cálculo del margen de enlace para cada uno de los locales considerados para el estudio de factibilidad, debido principalmente a que se plantean dos soluciones para el problema de línea de vista que se determinó en el capítulo anterior.

Como se observó también, si bien el clima tanto de la ciudad de Quito como de Sangolquí presentan variabilidad en un mismo día, los valores de precipitación y visibilidad nos permiten pensar en una posible implementación.

El cálculo del margen de enlace es el paso previo para proceder a una implementación segura. Esto se debe a que el resultado toma en cuenta las diferentes variables que intervienen en la comunicación óptica por espacio libre (valores del equipo FSO, condición climática en la que va a operar, distancia que separa los equipos en la instalación, entre otras). Este valor debe ser positivo para poder establecer la factibilidad técnica de la aplicación de FSO.

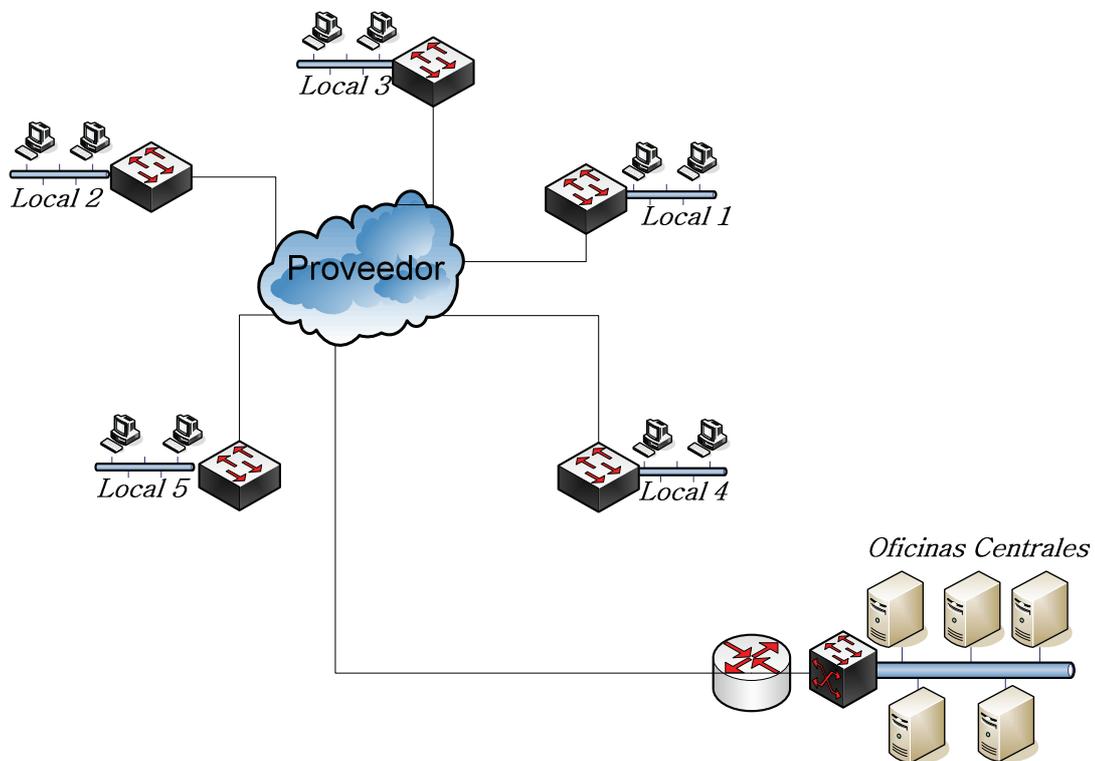
En caso de ser factible, se procede a diseñar la red para los locales con la tecnología Free Space Optics. En éste capítulo se presenta además, los equipos que serían empleados en la implementación, sus especificaciones y costos respectivos. Cabe indicar que los equipos que se muestran, son aquellos que se utilizan para los cálculos necesarios.

Este capítulo sintetiza el propósito de la tesis planteada. En él se reflejarán los capítulos precedentes, la aplicación de los conceptos y estudios anteriores

### 3.1 FACTIBILIDAD DE LA RED FSO Y EQUIPOS

#### 3.1.1 RED DE DATOS DE LOS LOCALES DE LA CADENA DE SUPERMERCADOS

Los locales de la cadena de Supermercados actualmente se encuentran conectados a la nube del proveedor, directamente a través de switches de acceso, es decir tenemos una topología actual en estrella ya que toda la comunicación se establece a través del proveedor.



*Figura 3.1 Esquema red actual de la cadena de Supermercados*

##### 3.1.1.1 Descripción de la red actual-Topología de la red

La red de datos tiene casi en su totalidad, una estructura jerárquica donde se puede identificar tres capas.

**Capa de Core.**

Capa de alta velocidad encargada del transporte de altas cantidades de datos. Se encuentra conformada por el equipamiento presente en el centro de cómputo de las Oficinas Centrales. Es aquí donde se encuentran los elementos que dan servicio a toda la red.

El equipo principal que opera en ésta capa es:

- router Cisco 3745.
- switches Cisco Catalyst 4503.

**Capa de Distribución.**

Se caracteriza por estar encargada de las siguientes funciones:

- Control del tipo y cantidad de tráfico que circula entre capa de acceso y core
- La seguridad y la aplicación de las políticas de red que contiene la traducción de las direcciones y los cortafuegos.
- Redistribución de rutas estáticas
- Habilitar el enrutamiento entre todas las VLANs
- Definición de dominios de broadcast y multicast

Los equipos que operan en esta capa son:

- Switches Catalyst 2960

**Capa de Acceso.**

En esta capa se permite el acceso a puntos de red a los usuarios finales. Se encuentran presentes en los locales. Los equipos que operan en esta capa son los siguientes:

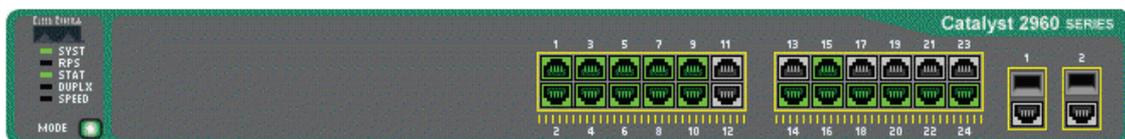
- Switches Catalyst 2960
- Switches 3com 2016

Cada uno de los locales cuenta con un switch principal Cisco Catalyst 2960 y con equipos secundarios switch 3com. Debido a que se cuenta con un proveedor, el mismo que se conecta a uno de los puertos FastEthernet del Cisco, por lo que ambos puertos GigaEthernet se encuentran libres para futuras conexiones. La siguiente tabla muestra las características principales de los equipos Cisco Catalyst 2960:

<b>Cisco Catalyst 2960</b>	
<b>Puertos</b>	24 puertos 10BASE-T/100BASE con auto-negociación, 2 puertos Gigabit de uso dual que pueden habilitar 10/100/1000 Ethernet o SFP-Gigabit Ethernet según la necesidad. Cuentan con PoE
<b>Protocolos de gestión</b>	Telnet, RMON 2, RMON 1, SNMP 1, SNMP 3, SNMP 2c, TFTP, SSH
<b>Protocolo de transmisión de datos</b>	Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet

*Tabla 3.1 Características principales Cisco Catalyst 2960*

Como se muestra en las figuras siguientes, contamos con puertos GigaEthernet libres en cada uno de los cinco locales, lo cual es conveniente para la implementación de FSO, ya que permite la conectividad de los equipos y desecha la posibilidad de adquirir nuevos equipos de comunicación que solventen los requerimientos de la tecnología.



*Figura 3.2 Estado de los puertos de switch principal Local 1*

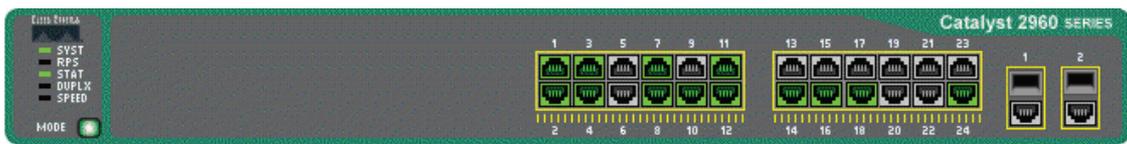


Figura 3.3 Estado de los puertos de switch principal Local 2

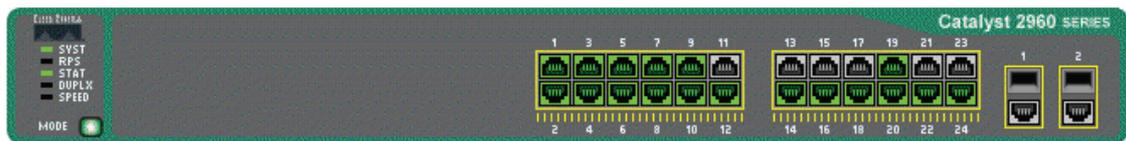


Figura 3.4 Estado de los puertos de switch principal Local 3

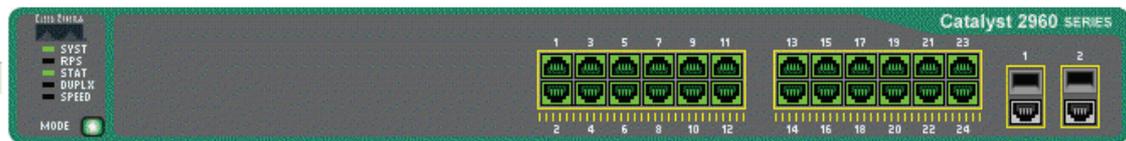


Figura 3.5 Estado de los puertos de switch principal Local 4

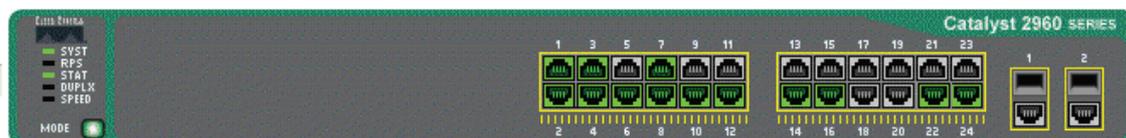


Figura 3.6 Estado de los puertos de switch principal Local 5

## Tipos de puertos

 Ranura pequeña (vacía) del módulo Small form-factor pluggable (SFP)	 Puertos del módulo SFP de fibra óptica (para CWDM, para 100BASE-BX, -FX, o -LX, o para 1000BASE-BX, FX, -LX/LH, -SX, ó -ZX)	 puerto del módulo 1000BASE-T SFP	 Puerto RJ-45
---	---	--	--

## STATUS

 No se encuentra enlace.	 El enlace está activo.	 El puerto queda desactivado administrativamente.
 El puerto queda desactivado por errores.	 El puerto está defectuoso o desactivado por una condición de errores.	 El enlace está defectuoso.

## SPEED

 No se encuentra enlace.	 10 Mbps.	 100 Mbps.	 1000 Mbps.
---	--	---	--

Figura 3.7 Simbología de estado de puertos en switch

### 3.1.1.2 Tráfico de la red de la cadena de Supermercados

La cadena de Supermercados utiliza varias aplicaciones (actualización de precio, registro sanitario, registro de ventas, devoluciones, etc.), correo electrónico y dependiendo del local, 1 o 2 líneas de VoIP<sup>20</sup>. De esta manera se encuentra compuesto el tráfico de los locales. Actualmente, para los enlaces se ha asignado un ancho de banda de 1Mbps para cada local, a través del proveedor.

Los siguientes gráficos muestran el tráfico generado por los locales en donde se pretende aplicar la tecnología FSO. Estos datos fueron facilitados por el actual proveedor. La herramienta de monitoreo se denomina Cacti, el cual es un sistema que verifica el estado de las redes, esto quiere decir, que se tiene controlados los servicios que presta la red que está siendo monitorizada, casi en tiempo real. Tiene una interfaz de usuario fácil de usar, que resulta conveniente para instalaciones del tamaño de una LAN, así como también para redes complejas con cientos de dispositivos. Se ha monitorizado el mes de diciembre, por ser la temporada más alta de ventas, y por lo tanto, la más alta en el uso del ancho de banda en todos los locales. Las gráficas nos dan una

<sup>20</sup> Voz sobre ip

idea mucho más clara sobre la utilización que cada local realiza del enlace asignado.

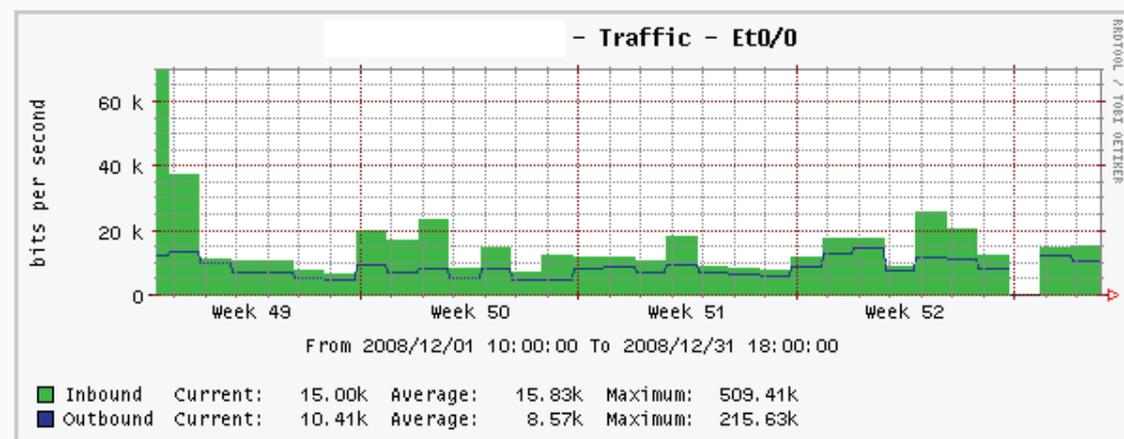


Figura 3.8 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 1

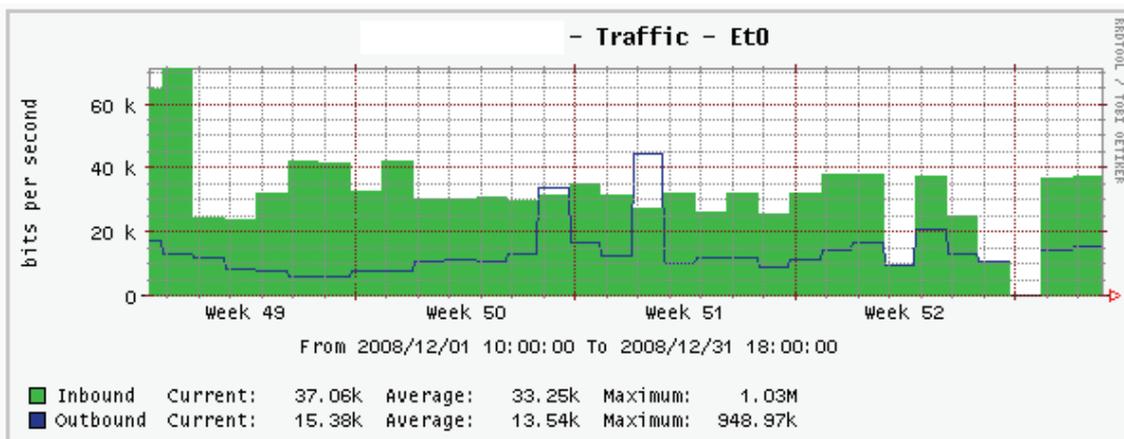


Figura 3.9 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 2

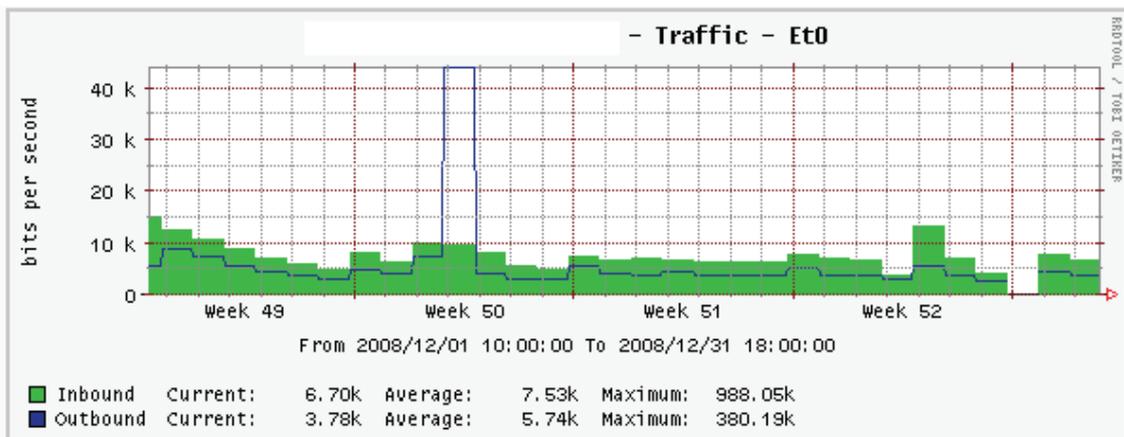


Figura 3.10 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 3

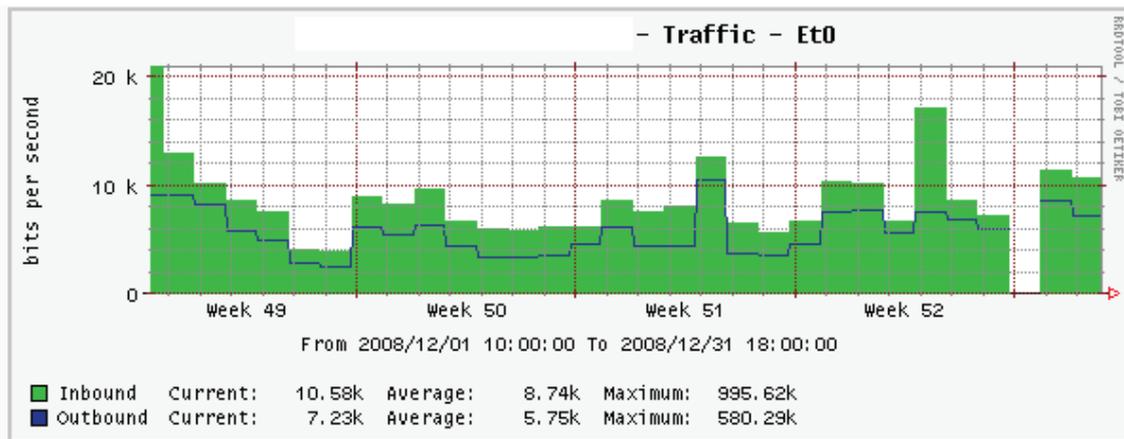


Figura 3.11 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 4

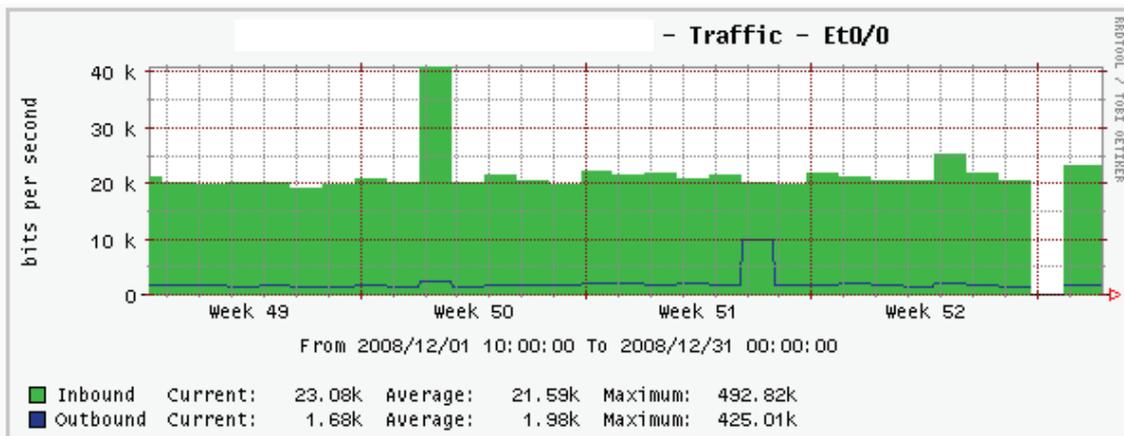


Figura 3.12 Tráfico del mes de diciembre generado por el Local 5

Las gráficas indican que durante el mes de mayor venta, se llegó a saturar el enlace, pero no fue un evento permanente durante la temporada, siendo que el promedio utilizado por los locales fluctúa entre 5 y 33 Kbps, por lo que el ancho de banda de 1 Mbps fue suficiente para soportar el tráfico generado.

### 3.1.2 SOLUCIÓN # 1: REPETIDORES PARA ESTABLECIMIENTO DE LÍNEA DE VISTA DE VISTA

Si bien se determina que no hay línea de vista directa entre los locales de la ciudad de Quito, se puede emplear edificaciones contiguas a los locales para que a través de ellas se pueda transmitir la señal.

Al analizar las construcciones que se encuentran junto al *Supermercado 3*, contamos con el Estadio Olímpico Atahualpa, cuyas luminarias tienen la altura necesaria para enlazar visualmente al *Supermercado 2*.

Mientras que para el *Supermercado 1* se requiere en la edificación donde se encuentra, la construcción de una torre que sobrepase la altura de los árboles que se encuentran en el camino de la transmisión, así como el edificio localizado junto al *Supermercado 2*, por lo que en las instalaciones de éste último se requiere otra torre que permita el contacto entre los dos locales.

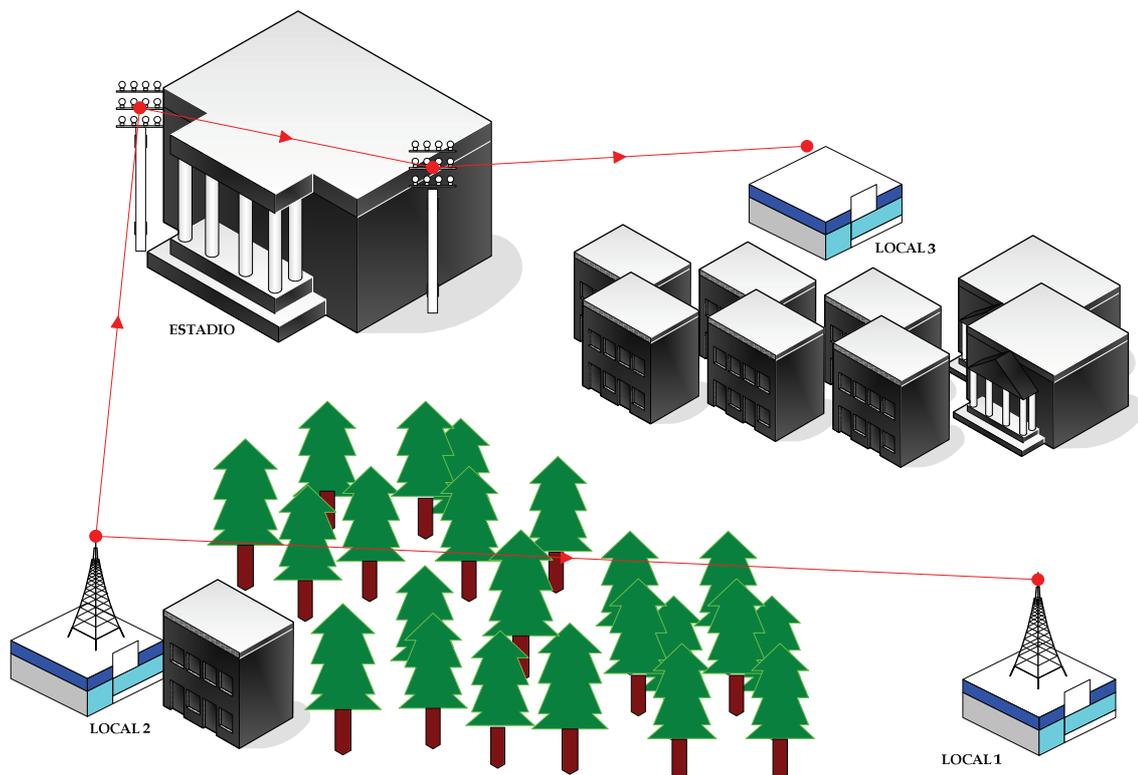


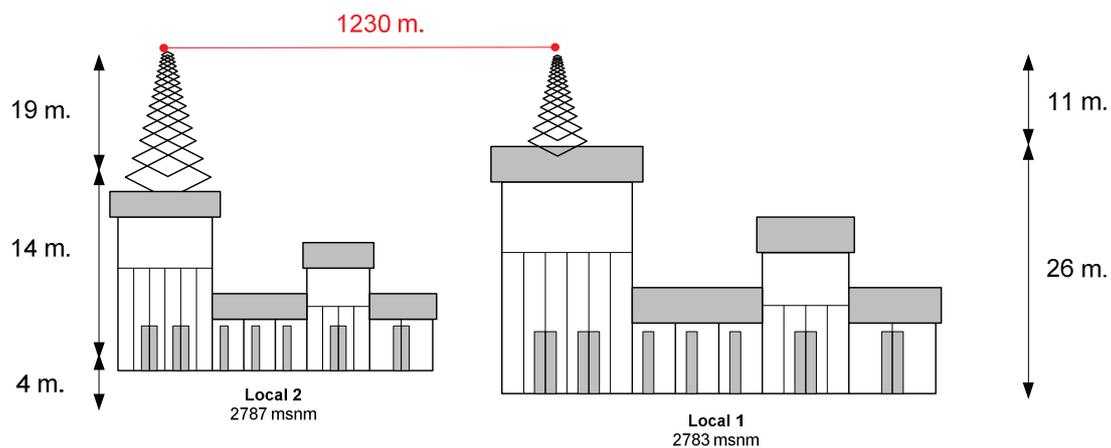
Figura 3.13 Establecimiento de línea de vista mediante repetidores

## DISTANCIA DE LOS ENLACES

Las distancias entre los respectivos enlaces fueron tomadas mediante la herramienta Google Earth Pro, la cual combina fotos satelitales (tomadas en los tres últimos años), mapas y una base de datos muy completa. Estos elementos permiten al usuario navegar libremente por cualquier lugar de la Tierra, observar detalladamente todos sus territorios y desplegar sobre estos, de manera simultánea, basándose en datos y fotografías reales, diversos tipos de información geográfica (topográfica, hidrográfica, demográfica, histórica y cultural, entre otros).

Es necesario indicar que las distancias establecidas por esta herramienta han sido redondeadas hasta su entero inmediato superior. Es preferible que los cálculos se realicen con una distancia un poco mayor.

### 3.1.2.1 Enlace entre Local 1 y Local 2



*Figura 3.14 Altura de torres para Local 1 y Local 2. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

### *3.1.2.1.1 Consideraciones*

La longitud que se considera para el enlace entre los locales 1 y 2 es la misma que nos proporciona la herramienta con la que se tomaron las mediciones de distancia entre los locales (Google Earth Pro).

Los locales no cuentan con línea de vista entre ellos, por lo que se propone la instalación de una torre en cada local, la cual nos permita colocar los equipos FSO sin interferencia alguna entre los mismos.

La altura de las torres está dada tomando en cuenta los siguientes factores;

- La diferencia de altura entre el relieve del suelo en el que se ubican los locales.
- La diferencia de altura entre las edificaciones de ambos locales.
- La altura de los árboles que se encuentran en el trayecto del enlace hacia los locales.

El enlace entre los locales 1 y 2 atraviesa el Parque La Carolina, en el cual tenemos árboles de altura considerable.

Las especies de árboles que existen en el sitio son: pino, ciprés, álamo verde y plateado, nogal, arrayán, níspero, tilo, arupo, yalomán, quishuar y laurel. De todas estas especies podemos esperar un crecimiento máximo de 15 a 35 metros de altura, dependiendo de la especie.

Es por esta razón que tenemos una altura total de 37 metros, que nos proporciona una holgura de 2 metros para evitar en un futuro contar con interferencias en los enlaces que obliguen a instalar nuevamente una torre de mayor altura.

### 3.1.2.2 Enlace entre Local 2 y Luminaria Norte-Estadio

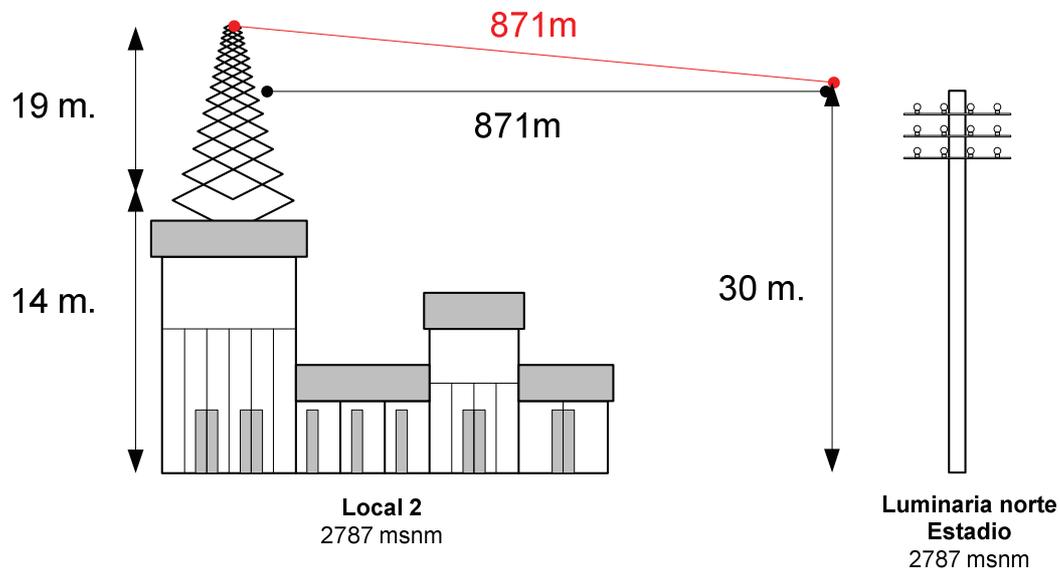


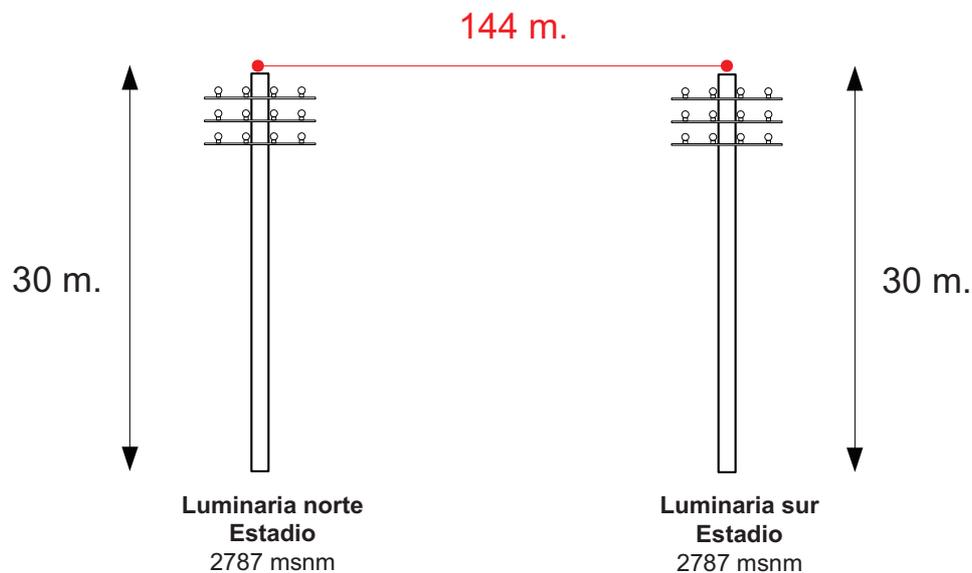
Figura 3.15 Distancia para enlace entre Local 2 y Luminaria norte. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.

#### 3.1.2.2.1 Consideraciones

A diferencia de enlace anterior, entre el local 2 y la luminaria norte del estadio no hay edificación alguna que se tome en consideración para establecer la longitud entre estos dos puntos.

La distancia obtenida se calcula en base a la altura de la torre propuesta para el local 2 y la luminaria norte del Estadio. Debido a que la diferencia entre ambas es pequeña, la longitud entre ambos puntos es igual a la misma que fue dada por la herramienta empleada para dicho trabajo.

### 3.1.2.3 Enlace entre Luminaria Norte-Estadio y Luminaria Sur-Estadio

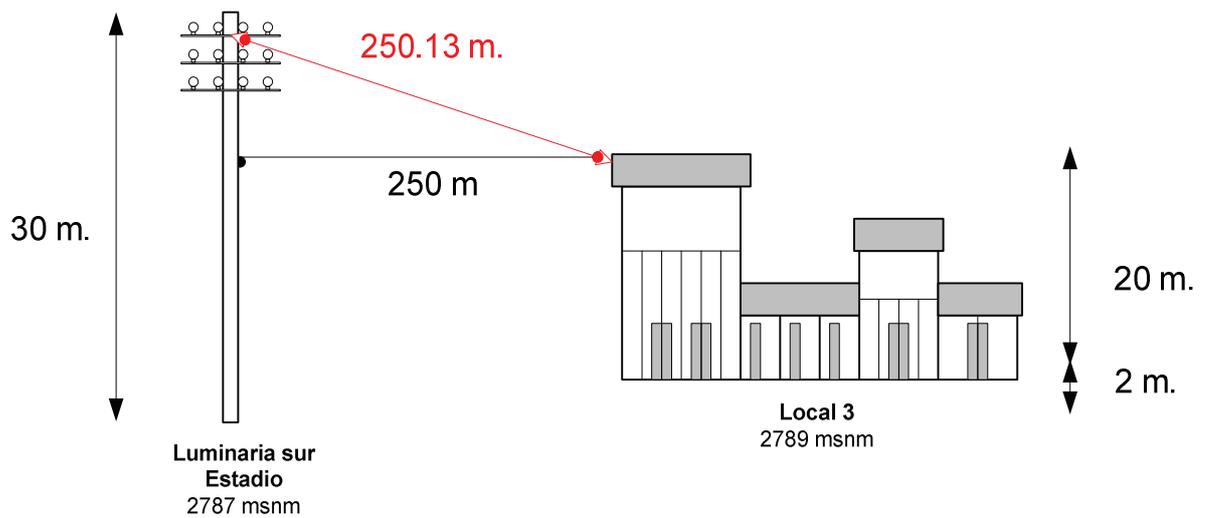


*Figura 3.16 Distancia entre Luminaria norte y sur. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

#### 3.1.2.3.1 Consideraciones

Entre las luminarias no es necesario colocar dos equipos más de FSO debido a que se encuentran en la misma edificación. Se considera entre ellos un enlace de fibra óptica para enlazar a los equipos que se conectan a través de las luminarias con los locales 2 y 3. Se indica la distancia entre ellos como dato informativo, más la distancia que se debe tomar en cuenta es aquella que recorrerá la fibra óptica.

### 3.1.2.4 Enlace entre Luminaria Sur-Estadio y Local 3

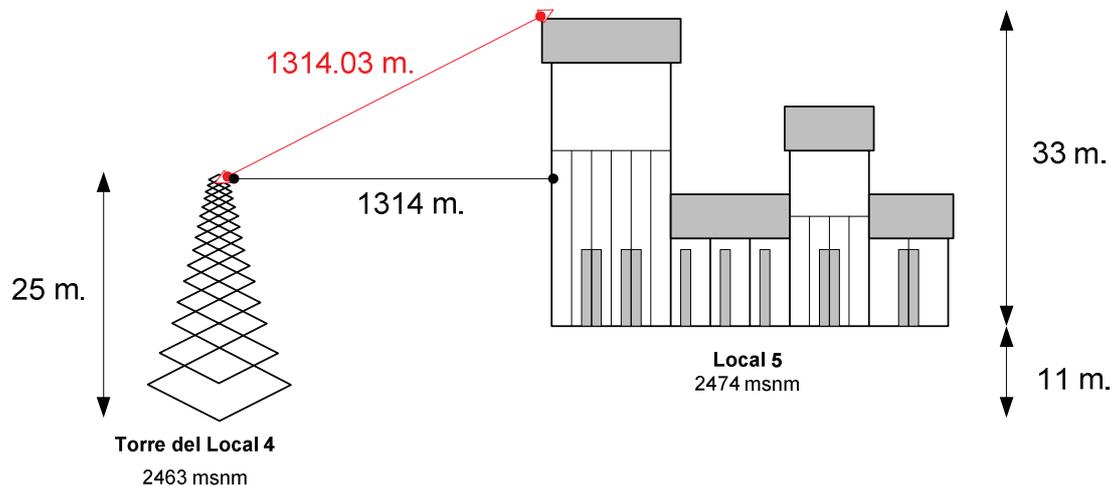


*Figura 3.17 Distancia del enlace entre luminaria sur y local 3. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

#### 3.1.2.4.1 Consideraciones

La distancia que se toma en cuenta para la realización del cálculo de margen de enlace entre estos dos puntos se calcula en base a la diferencia de alturas entre la luminaria sur del estadio y el local 3, dando como resultado una longitud ligeramente superior a aquella proporcionada por la herramienta.

### 3.1.2.5 Enlace entre Local 4 y Local 5



*Figura 3.18 Distancia entre Local 4 y Local 5. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

#### 3.1.2.5.1. Consideraciones

Al igual que en los dos casos anteriores, la distancia del enlace es el resultado de la diferencia entre la altura de la ubicación de los locales y sus edificaciones respectivas. Cabe indicar que en esta ocasión la torre con la que cuenta el local 4 es propiedad de una tercera parte, pero debido a su altura, su ubicación y a la facilidad de acceso a la misma, se convierte en la alternativa ideal para la colocación del equipo FSO.

En este sector la altura de las edificaciones no es un gran problema ya que no existen construcciones que superen los 20 metros y actualmente no hay lotes vacíos. De todas formas, la altura del enlace nos proporciona un margen amplio en cuanto a futuras construcciones que mantengan la máxima altura de la zona. Esto quiere decir que en este caso se van a tener costos por arrendamiento de torre.

Enlace	Distancia (m)
Local 1 – Local 2	1230
Local 2 – Luminaria norte estadio	871
Luminaria sur estadio – Local 3	250.13
Local 4- Local 5	1314

Tabla 3.2 Distancias entre los enlaces (Solución #1)

### Zona de Fresnel

Zona de Fresnel se denomina al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc., y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°. En otras palabras es la altura ideal (radio) en la cual se deben posicionar los equipos inalámbricos participantes en un enlace (transmisor y receptor), para que su funcionamiento no sea afectado. Este parámetro está dado en función de la frecuencia y la distancia, bajo la siguiente ecuación:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$$

Ecuación 2.1

Donde:

$r_n$  = radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel. ( $n=1,2,3\dots$ )

$d_1$  = distancia desde el transmisor al objeto en Km.

$d_2$  = distancia desde el objeto al receptor en Km.

$d$  = distancia total del enlace en Km.  $d = d_1 + d_2$

$f$  = frecuencia en MHz

La expresión nos indica que a mayor frecuencia, menor será el radio de la Zona de Fresnel y por lo tanto el parámetro no incidirá sobre nuestro diseño. La longitud de onda escogida para trabajar es de 1550 nm y por efectos de demostración, se escoge la distancia más larga que se tiene con obstáculos en ella (distancia entre local 4 y 5).

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f = \frac{3 * 10^8}{1500 * 10^{-9}}$$

$$f = 200Thz$$

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{n * d_1 * d_2}{f * d}}$$

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{1 * 810 * 504}{200\,000\,000 * 1314}}$$

$$r_n = 0.683m$$

El valor calculado hace referencia a la altura requerida para evitar obstrucción de la Zona de Fresnel. El aumento de 1 metro a la altura requerida para cada uno de los enlaces para sobrepasar las obstrucciones de la vegetación y edificaciones, sortea cualquier inconveniente con la Zona de Fresnel.

### 3.1.2.6 Cálculo de Margen de Enlace

Como se indicó en el primer capítulo, el cálculo del margen de enlace representa el parámetro más significativo para describir el desempeño de un enlace FSO.

Su cálculo se realiza en base a la siguiente expresión,

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

### Potencia de emisión de la señal ( $P_e$ )

Encontramos este parámetro en el catálogo del equipo que se empleará, que se incluye en los anexos. Las especificaciones técnicas del equipo indican que la potencia de emisión del equipo es la siguiente:

$$P_e = 320 \text{ mW}$$

Debido a que contamos con dos láser de 160 mW cada uno. La unidad en la que la potencia de emisión del láser debe estar es dBm, por lo que se realiza la siguiente conversión;

$$P_{e_{dBm}} = 10 * \log|P_{e_{mW}}|$$

$$P_{e_{dBm}} = 10 * \log|320|$$

$$P_{e_{dBm}} = 25.05 \text{ dBm}$$

$$P_e = 25.05 \text{ dBm}$$

### Sensibilidad del receptor ( $S_r$ )

La sensibilidad es un parámetro que indica el fabricante, que se incluye en el catálogo del equipo. El fabricante indica que este valor es un valor promedio que se emplea para sus equipos.

$$S_r = -34 \text{ dBm}$$

### Atenuación Geométrica

La siguiente expresión nos permite obtener éste valor (Ecuación 1.2, pag. 22),

$$Aff_{Geom} = \frac{S_d}{S_{captura}} = \frac{\pi}{4} \frac{(d\theta)^2}{S_{captura}}$$

El fabricante es quien nos proporciona la información tanto del área de captura como de la divergencia del haz.

$$S_{captura} = 0.025 \text{ m}^2$$

$$\Theta = 3 \text{ mrad}$$

Calculamos la atenuación geométrica,

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}(d\theta)^2}{S_{captura}}$$

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}((1230m)(0.003rad))^2}{0.025m^2}$$

$$Aff_{Geom} = 427.76$$

$$Aff_{Geom} = 427.76$$

Convirtiéndolos en dB tenemos,

$$Aff_{geom_{dB}} = 10 * \log|Aff_{Geom}|$$

$$Aff_{geom_{dB}} = 10 * \log|427.76|$$

$$Aff_{geom_{dB}} = 26.31 \text{ dB}$$

$$Aff_{Geom} = 26.31 \text{ dB}$$

Enlace	Distancia (m)	Aff <sub>Geom</sub> (dB)
Local 1 – Local 2	1230	26.31
Local 2 – Luminaria norte estadio	871	23.31
Luminaria sur estadio – Local 3	250.13	12.48
Local 4- Local 5	1314	26.89

Tabla 3.3 Atenuación geométrica de los enlaces

### Atenuación atmosférica

La atenuación atmosférica se calcula de la siguiente manera (Ecuación 1.3, pag. 22);

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

En donde,

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} = e^{-\sigma d}$$

El coeficiente de extinción  $\sigma$  se encuentra conformado por la suma de los siguientes términos (Ecuación 1.4, pag. 23),

$$\sigma = \alpha_m + \alpha_n + \beta_m + \beta_n$$

Y como ya se indicó anteriormente debido a que el valor de tres coeficientes es despreciable, el coeficiente de extinción queda en función de la dispersión de Mie,

$$\sigma = \beta_n$$

Y éste a su vez es el resultado de la siguiente expresión,

$$\sigma = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

En donde,

$V$  es la visibilidad (Km)

$\lambda_{nm}$  es la longitud de onda (nm)

$q$  es la dispersión de la partícula en el medio

El exponente  $q$  depende de la visibilidad, de acuerdo a los siguientes rangos,

$$V > 50Km \Rightarrow q = 1.6$$

$$6Km < V < 50Km \Rightarrow q = 1.3$$

$$1Km < V < 6Km \Rightarrow q = 0.16 * V + 0.34$$

$$0.5Km < V < 1Km \Rightarrow q = V - 0.5$$

Para el caso de estudio, como se indicó en el capítulo anterior el valor de visibilidad que se toma para realizar los cálculos es aquel que se tiene bajo condiciones extremas de máximo nivel de lluvia y niebla moderada.

Condición climática	Precipitación		Cantidad (mm/hora)	Visibilidad	Pérdida (dB/Km)
Niebla moderada	nieve	aguacero	100	770m 1Km	-12.65 -9.26

*Tabla 3.4 Niebla moderada y su respectiva pérdida para el enlace FSO*

Por lo que la dispersión de la partícula en el medio tiene el siguiente valor,

$$q = V - 0.5$$

$$V = 0.77Km$$

$$q = 0.77 - 0.5$$

$$q = 0.27$$

Y se lo utiliza para el cálculo del coeficiente de dispersión de Mie,

$$\sigma = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

$$\lambda_{nm} = 1550 \text{ nm}$$

$$q = 0.27$$

$$\beta_n = \frac{3.912}{0.77} \left( \frac{1550}{550} \right)^{-0.27}$$

$$\beta_n = 3.84$$

Siendo la transmitancia,

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 1.230 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 1.230)}$$

$$\tau(d) = 0.008887$$

Por lo que la atenuación atmosférica es,

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.008887} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 20.51$$

$$\mathbf{Aff_{Atm} = 20.51 \text{ dB}}$$

Enlace	Distancia (m)	Aff <sub>Geom</sub> (dB)	Aff <sub>Atm</sub> (dB)
Local 1 – Local 2	1230	26.31	20.51
Local 2 – Luminaria norte estadio	871	23.31	14.53
Luminaria sur estadio – Local 3	250.13	12.48	4.17
Local 4- Local 5	1314	26.89	21.91

Tabla 3.5 Atenuación atmosférica de los enlaces

### Pérdidas del sistema

Para el cálculo de pérdidas del sistema  $P_{Sist}$  se toman las siguientes consideraciones,

$$P_{Sist} = \alpha_e + \alpha_c + \alpha_f + \alpha_d$$

En donde

$\alpha_e$  es la pérdida por desgaste del equipo

Este dato es proporcionado por el fabricante, y para ese caso es el siguiente,

$$\alpha_e = 1dB$$

$\alpha_c$  es la pérdida o atenuación que implica la utilización de conectores de fibra óptica para la conexión de los equipos

Este dato es proporcionado por el fabricante de los cables de fibra y generalmente es bajo. Se debe tomar en cuenta el número de conectores por enlace.

$$\alpha_c = 0.5dB \text{ por conector}$$

En este enlace se emplean dos conectores para ambos extremos, lo que nos da un total de atenuación por conectores igual a,

$$\alpha_c = 2 * 0.5dB$$

$$\alpha_c = 1dB$$

$\alpha_f$  es la atenuación por fibra óptica

Este parámetro no tiene valor debido a que no tenemos en los enlaces tramos de fibra óptica de una longitud considerable (kilómetros de fibra óptica).

$$\alpha_f = 0dB$$

$\alpha_d$  es la atenuación por desalineamiento del equipo.

Este parámetro al igual que en el caso anterior, tiene un valor nulo debido a que las características del equipo que se toma en cuenta para el estudio indican que una vez alineado mediante ayuda de un telescopio de alineamiento que viene incluido el equipo no necesita un realineamiento a menos que haya sufrido un impacto severo de alguna naturaleza.

$$\alpha_d = 0dB$$

De esta manera, se tiene una pérdida total del sistema

$$P_{Sist} = \alpha_e + \alpha_c + \alpha_f + \alpha_d$$

$$P_{Sist} = 1dB + 1dB + 0dB + 0dB$$

$$P_{Sist} = 2dB$$

$$P_{Sis} = 2dB$$

Una vez obtenidos todos los valores que intervienen en el margen de enlace, podemos calcularlo a través de la expresión señalada en el primer capítulo,

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05dBm + |34| - 26.31dB - 20.51dB - 2dB$$

$$M_{enlace} = 25.05dBm + 34 - 26.31dB - 20.51dB - 2dB$$

$$M_{enlace} = 10.23dB$$

<b>Enlace</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Aff<sub>Geom</sub> (dB)</b>	<b>Aff<sub>Atm</sub> (dB)</b>	<b>M<sub>enlace</sub></b>
<b>Local 1 – Local 2</b>	1230	26.31	20.51	10.23
<b>Local 2 – Luminaria norte estadio</b>	871	23.31	14.53	19.21
<b>Luminaria sur estadio – Local 3</b>	250.13	12.48	4.17	40.4
<b>Local 4- Local 5</b>	1314	26.89	21.91	8.25

*Tabla 3.6 Margen de enlace*

Como se puede apreciar, dados los parámetros establecidos según la disposición de los enlaces y los cálculos requeridos, todos los valores correspondientes al margen de enlace tienen valor positivo, por lo que podemos determinar que esta solución es técnicamente factible.

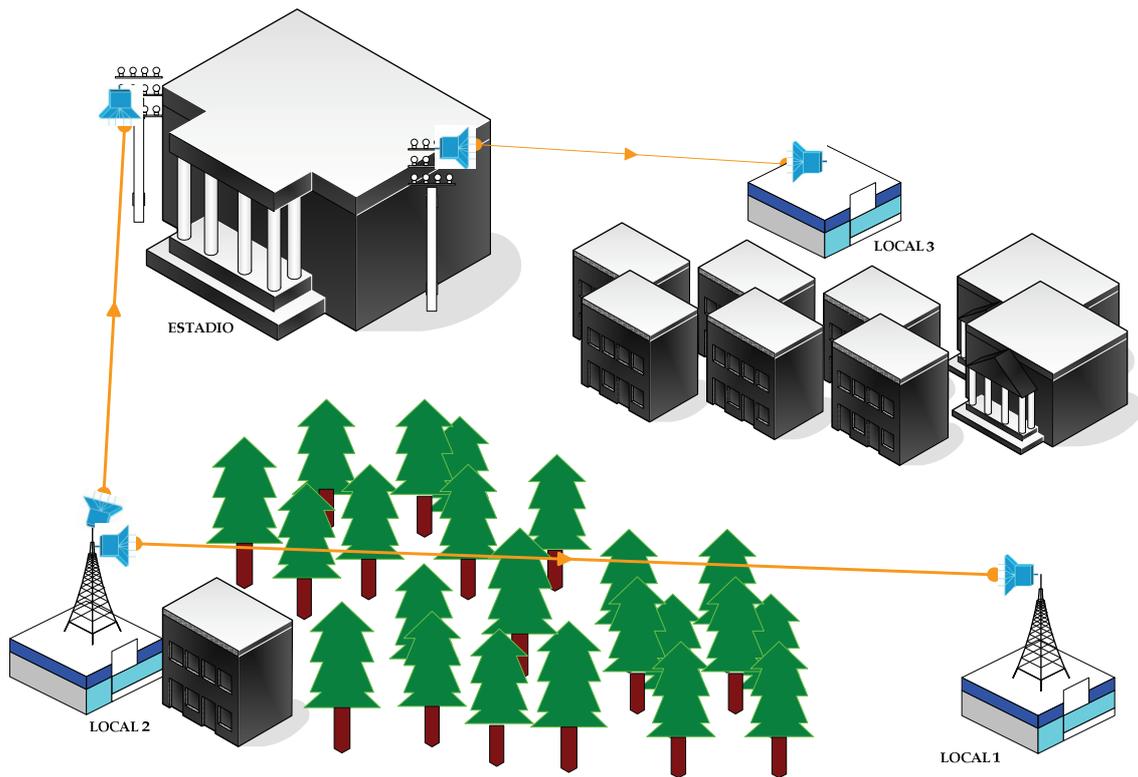


Figura 3.19 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #1 Locales Quito

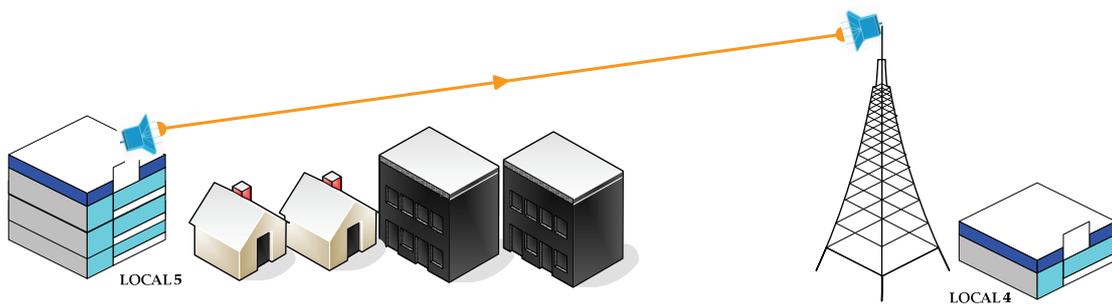


Figura 3.20 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #1 Locales Sangolquí

### 3.1.3 Solución # 2 - Torres Para Establecer Línea De Vista

Si bien se determina que no hay línea de vista directa entre los locales de la ciudad de Quito, se pueden emplear torres sobre las terrazas de los locales para que a sobre ellas se coloquen los equipos FSO.

Mientras que para el *Supermercado 1* se requiere en la edificación donde se encuentra, la construcción de una torre de que sobrepase la altura de los árboles que se encuentran en el camino de la transmisión, así como el edificio localizado junto al *Supermercado 2*, en las instalaciones de éste último se requiere otra torre que permita el contacto entre los dos locales.

El *Supermercado 3* tendrá una instalación similar de torre que procure saltar los obstáculos que suponen los edificios que se encuentran entre él y el *Supermercado 2*.

Es de esta manera como queda establecida la línea de vista entre los locales.

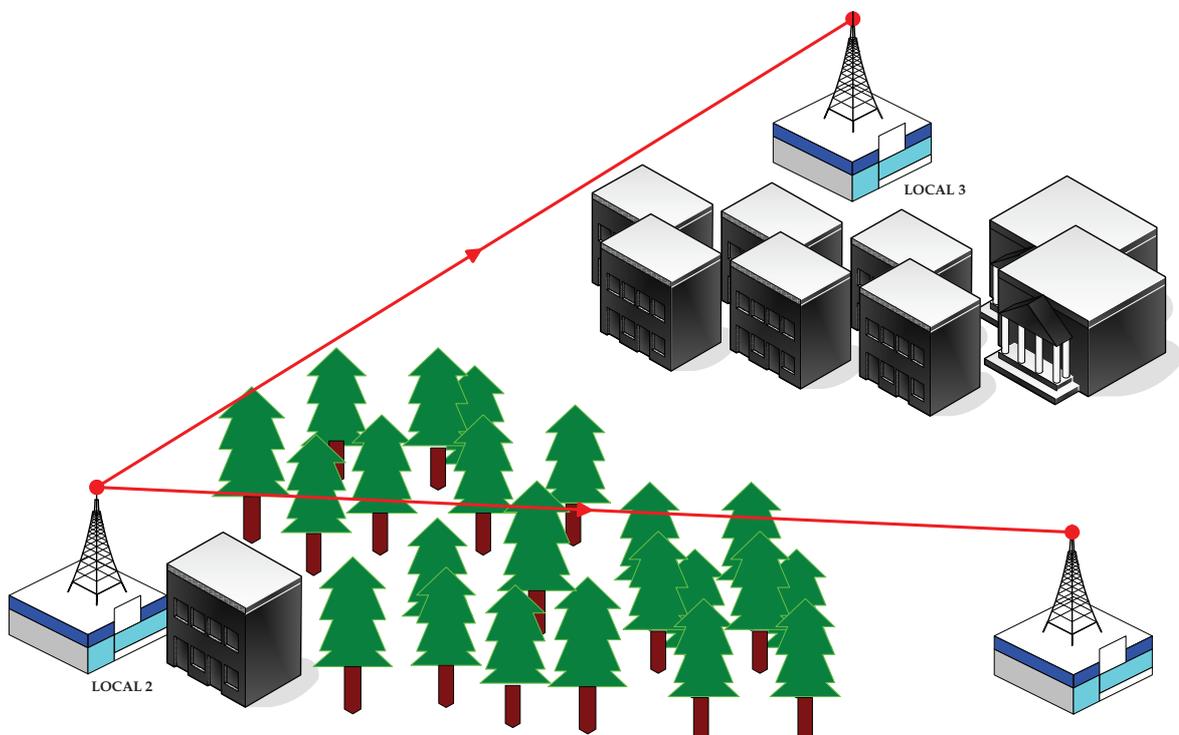


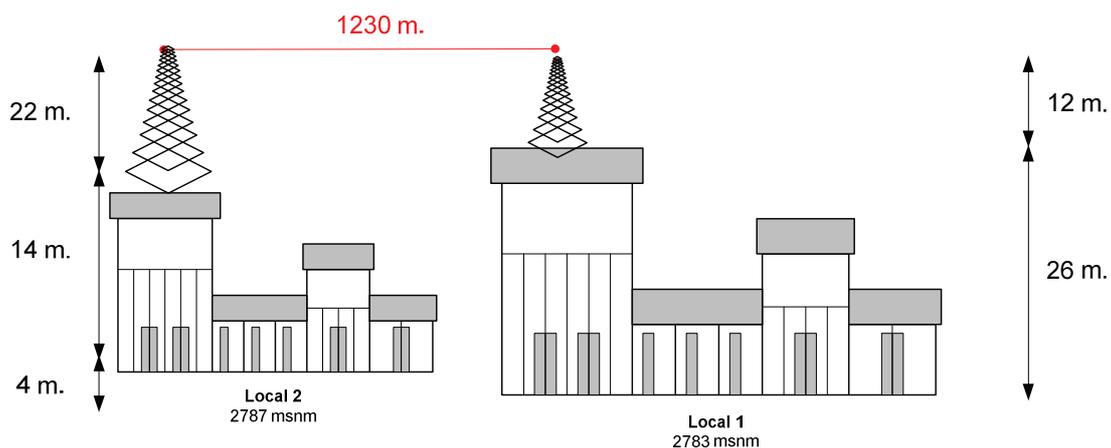
Figura 3.21 Establecimiento de línea de vista en locales de Quito mediante torres.

### Distancia de los Enlaces

Las distancias entre los respectivos enlaces fueron tomadas mediante la herramienta Google Earth Pro, la cual combina fotos satelitales (tomadas en los tres últimos años), mapas y una base de datos muy completa. Estos elementos permiten al usuario navegar libremente por cualquier lugar de la Tierra, observar detalladamente todos sus territorios y desplegar sobre estos, de manera simultánea, basándose en datos y fotografías reales, diversos tipos de información geográfica (topográfica, hidrográfica, demográfica, histórica y cultural, entre otros).

Es necesario indicar que las distancias establecidas por esta herramienta han sido redondeadas hasta su entero inmediato superior. Es preferible que los cálculos se realicen con una distancia un poco mayor.

#### 3.1.3.1 Enlace entre Local 1 y Local 2



*Figura 3.22 Altura de torres para Local 1 y Local 2. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

### 3.1.3.1.1 Consideraciones

La longitud que se considera para el enlace entre los locales 1 y 2 es la misma que nos proporciona la herramienta con la que se tomaron las mediciones de distancia entre los locales (Google Earth Pro).

Los locales no cuentan con línea de vista entre ellos, por lo que se propone la instalación de una torre en cada local, la cual nos permita colocar los equipos FSO sin interferencia alguna entre los mismos.

La altura de las torres está dada tomando en cuenta los siguientes factores;

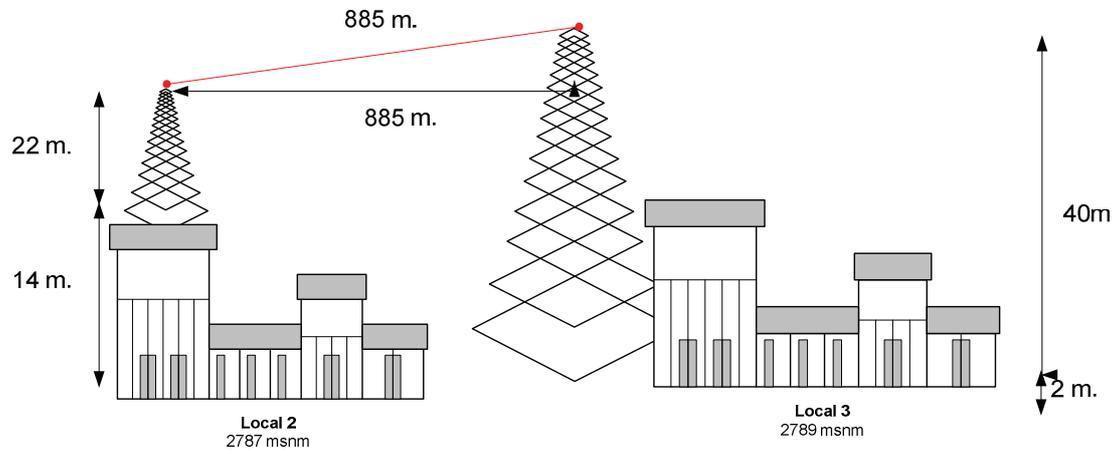
- La diferencia de altura entre el relieve del suelo en el que se ubican los locales.
- La diferencia de altura entre las edificaciones de ambos locales.
- La altura de los árboles que se encuentran en el trayecto del enlace hacia los locales.

El enlace entre los locales 1 y 2 atraviesa el Parque La Carolina, en el cual tenemos árboles de altura considerable.

Las especies de árboles que existen en el sitio son: pino, ciprés, álamo verde y plateado, nogal, arrayán, níspero, tilo, arupo, yalomán, quishuar y laurel. En todas estas especies podemos esperar un crecimiento máximo de 15 a 35 metros de altura, dependiendo de la especie.

Es por esta razón que tenemos una altura total de 37 metros, que nos proporciona un margen de error de 2 metros para evitar en un futuro contar con interferencias en los enlaces que obliguen a instalar nuevamente una torre de mayor altura.

### 3.1.3.2 Enlace entre Local 2 y Local 3



*Figura 3.23 Altura de torres para Local 2 y Local 3. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

#### 3.1.3.2.1 Consideraciones

La distancia calculada para este enlace, es el resultado de la diferencia de altura que suma las edificaciones y el relieve del lugar donde se ubican.

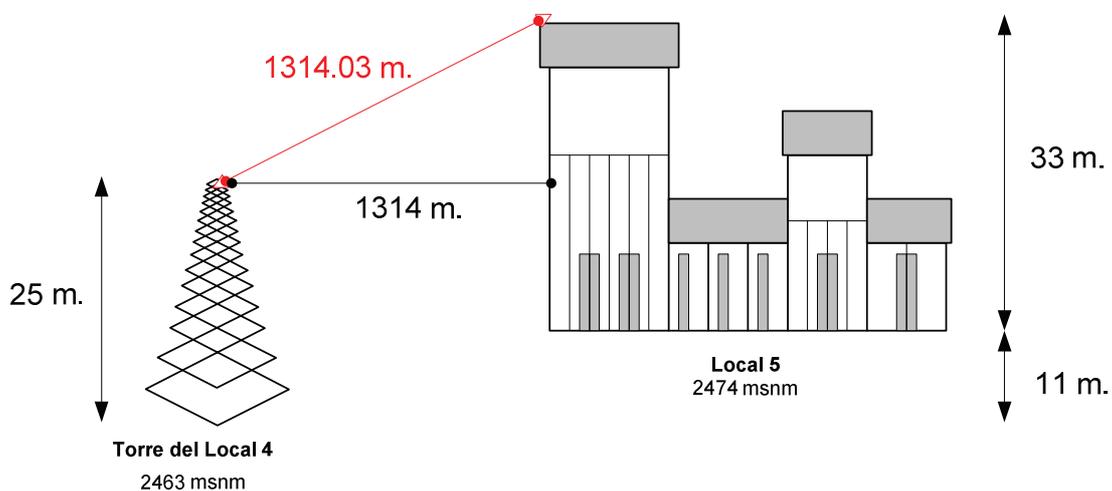
El recorrido del enlace se fijó de esa manera debido a que la zona en donde se encuentra el local 3 es comercial, y los edificios que lo rodean tienen una altura máxima de 36 metros.

Si bien el límite de las construcciones es determinado de acuerdo a la zona en donde se ubiquen, aprobado por la Dirección de Planificación Territorial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y dicha regulación tiene tiempo de validez (en este caso la regulación tiene fecha de caducidad hasta el 2010), no se espera un cambio en la altura de los edificios que separan al local 2 del local 3 debido principalmente a que no hay lotes vacíos en el sector donde se pueda construir y las edificaciones existentes se encuentran en funcionamiento. Esta

información se obtuvo de la Dirección de Planificación Territorial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Administración Zona Norte.

Por esta razón se toma como opción, igual que en el caso anterior, la instalación de una torre que sobrepase la altura que impide la línea de vista entre los locales.

### 3.1.2.3 Enlace entre Local 4 y Local 5



*Figura 3.24 Altura de torres para Local 4 y Local 5. Altura de las edificaciones dada por administradores de las mismas.*

#### 3.1.3.3.1. Consideraciones

Al igual que en los dos casos anteriores, la distancia del enlace es el resultado de la diferencia entre la altura de la ubicación de los locales y sus edificaciones respectivas. Cabe indicar que en esta ocasión la torre con la que cuenta el local 4 es propiedad de una tercera parte, pero debido a su altura, su ubicación y a la facilidad de acceso a la misma, se convierte en la alternativa ideal para la colocación del equipo FSO.

En este sector la altura de las edificaciones no es un gran problema ya que no existen construcciones que superen los 20 metros y actualmente no hay lotes vacíos. De todas formas, la altura del enlace nos proporciona un margen amplio en cuanto a futuras construcciones que mantengan la máxima altura de la zona. Esto quiere decir que en este caso se van a tener costos por arrendamiento de torre.

<b>Enlace</b>	<b>Distancia (m)</b>
<b>Local 1 – Local 2</b>	1230
<b>Local 2 – Local 3</b>	885
<b>Local 4- Local 5</b>	1314

*Tabla 3.7 Distancia de los enlaces (Solución #2)*

#### **3.1.3.4 Cálculo de Margen de Enlace**

Como se indicó en el primer capítulo, el cálculo del margen de enlace representa el parámetro más significativo para describir el desempeño de un enlace FSO.

Su cálculo se realiza en base a la siguiente expresión (Ecuación 1.1, pag. 19),

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

#### **Potencia de emisión de la señal (Pe)**

Encontramos este parámetro en el catálogo del equipo que se empleará, que se incluye en los anexos. Las especificaciones técnicas del equipo indican que la potencia de emisión del equipo es la siguiente:

$$P_e = 320 \text{ mW}$$

Debido a que contamos con dos láser de 160 mW cada uno. La unidad en la que la potencia de emisión del láser debe estar es dBm, por lo que se realiza la siguiente conversión;

$$P_{e_{dBm}} = 10 * \log|P_{e_{mW}}|$$

$$P_{e_{dBm}} = 10 * \log|320|$$

$$P_{e_{dBm}} = 25.05 \text{ dBm}$$

$$\mathbf{P_e = 25.05 dBm}$$

### Sensibilidad del receptor (Sr)

La sensibilidad es un parámetro que indica el fabricante, que se incluye en el catálogo del equipo. El fabricante indica que este valor es un valor promedio que se emplea para sus equipos.

$$\mathbf{S_r = -34 dBm}$$

### Atenuación Geométrica

La siguiente expresión nos permite obtener éste valor (Ecuación 1.2, pag. 22),

$$Aff_{Geom} = \frac{S_d}{S_{captura}} = \frac{\frac{\pi}{4}(d\theta)^2}{S_{captura}}$$

El fabricante es quien nos proporciona la información tanto del área de captura como de la divergencia del haz.

$$S_{\text{captura}} = 0.025 \text{ m}^2$$

$$\Theta = 3 \text{ mrad}$$

Calculamos la atenuación geométrica,

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} (d\theta)^2}{S_{\text{captura}}}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} ((1230\text{m})(0.003\text{rad}))^2}{0.025\text{m}^2}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 427.76$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 427.76$$

Convirtiéndolos en dB tenemos,

$$Aff_{\text{geom}_{dB}} = 10 * \log|Aff_{\text{Geom}}|$$

$$Aff_{\text{geom}_{dB}} = 10 * \log|427.76|$$

$$Aff_{\text{geom}_{dB}} = 26.31 \text{ dB}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 26.31 \text{ dB}$$

Enlace	Distancia (m)	Aff <sub>geom</sub> (dB)
Local 1 – Local 2	1230	26.31
Local 2 – Local 3	885	23.45
Local 4- Local 5	1314	26.89

Tabla 3.8 Atenuación geométrica de los enlaces (Solución #2)

### Atenuación atmosférica

La atenuación atmosférica se calcula de la siguiente manera;

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

En donde,

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} = e^{-\sigma d}$$

El coeficiente de extinción  $\sigma$  se encuentra conformado por la suma de los siguientes términos (Ecuación 1.4, pag. 26)

$$\sigma = \alpha_m + \alpha_n + \beta_m + \beta_n$$

Y como ya se indicó anteriormente debido a que el valor de tres coeficientes es despreciable, el coeficiente de extinción queda en función de la dispersión de Mie,

$$\sigma = \beta_n$$

Y éste a su vez es el resultado de la siguiente expresión (Ecuación 2.2, pag.75),

$$\sigma = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

El exponente  $q$  depende de la visibilidad, de acuerdo a los siguientes rangos,

$$V > 50Km \Rightarrow q = 1.6$$

$$6Km < V < 50Km \Rightarrow q = 1.3$$

$$1Km < V < 6Km \Rightarrow q = 0.16 * V + 0.34$$

$$0.5Km < V < 1Km \Rightarrow q = V - 0.5$$

Para el caso de estudio, como se indicó en el capítulo anterior el valor de visibilidad que se toma para realizar los cálculos es aquel que se tiene bajo condiciones extremas de máximo nivel de lluvia y niebla moderada (Tabla 3.4).

Por lo que la dispersión de la partícula en el medio tiene el siguiente valor,

$$q = V - 0.5$$

$$V = 0.77Km$$

$$q = 0.77 - 0.5$$

$$q = 0.27$$

Y se lo utiliza para el cálculo del coeficiente de dispersión de Mie,

$$\sigma = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

$$\lambda_{nm} = 1550 \text{ nm}$$

$$q = 0.27$$

$$\beta_n = \frac{3.912}{0.77} \left( \frac{1550}{550} \right)^{-0.27}$$

$$\beta_n = 3.84$$

Siendo la transmitancia,

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 1.230 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 1.230)}$$

$$\tau(d) = 0.008887$$

Por lo que la atenuación atmosférica es,

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.008887} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 20.51$$

$$Aff_{Atm} = 20.51 \text{ dB}$$

Enlace	Distancia (m)	Aff <sub>geom</sub> (dB)	Aff <sub>Atm</sub> (dB)
Local 1 – Local 2	1230	26.31	20.51
Local 2 – Local 3	885	23.45	14.76
Local 4- Local 5	1314	26.89	21.91

Tabla 3.9 Atenuación atmosférica de los enlaces

### Pérdidas del sistema

Para el cálculo de pérdidas del sistema  $P_{Sist}$  se toman las siguientes consideraciones,

$$P_{Sist} = \alpha_e + \alpha_c + \alpha_f + \alpha_d$$

En donde

$\alpha_e$  es la pérdida por desgaste del equipo

Este dato es proporcionado por el fabricante, y para ese caso es el siguiente,

$$\alpha_e = 1dB$$

$\alpha_c$  es la pérdida o atenuación que implica la utilización de conectores de fibra óptica para la conexión de los equipos

Este dato es proporcionado por el fabricante de los cables de fibra y generalmente es bajo. Se debe tomar en cuenta el número de conectores por enlace.

$$\alpha_c = 0.5dB \text{ por conector}$$

En este enlace se emplean dos conectores para ambos extremos, lo que nos da un total de atenuación por conectores igual a,

$$\alpha_c = 2 * 0.5dB$$

$$\alpha_c = 1dB$$

$\alpha_f$  es la atenuación por fibra óptica

Este parámetro no tiene valor debido a que no tenemos en los enlaces tramos de fibra óptica de una longitud considerable (kilómetros de fibra óptica).

$$\alpha_f = 0dB$$

$\alpha_d$  es la atenuación por desalineamiento del equipo.

Este parámetro al igual que en el caso anterior, tiene un valor nulo debido a que las características del equipo que se toma en cuenta para el estudio indican que una vez alineado mediante ayuda de un telescopio de alineamiento que viene incluido el equipo no necesita un realineamiento a menos que haya sufrido un impacto severo de alguna naturaleza.

$$\alpha_d = 0dB$$

De esta manera, se tiene una pérdida total del sistema

$$P_{Sist} = \alpha_e + \alpha_c + \alpha_f + \alpha_d$$

$$P_{Sist} = 1dB + 1dB + 0dB + 0dB$$

$$P_{Sist} = 2dB$$

$$P_{Sis} = 2dB$$

Una vez obtenidos todos los valores que intervienen en el margen de enlace, podemos calcularlo,

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05dBm + |34| - 26.31dB - 20.51dB - 2dB$$

$$M_{enlace} = 10.23dB$$

Enlace	Distancia (m)	Aff <sub>geom</sub> (dB)	Aff <sub>Atm</sub> (dB)	M <sub>enlace</sub>
Local 1 – Local 2	1230	26.31	20.51	10.23
Local 2 – Local 3	885	23.45	14.76	18.84
Local 4- Local 5	1314	26.89	21.91	8.25

Tabla 3.10 Margen de enlace (Solución #2)

Todos los valores correspondientes al margen de enlace son positivos, por lo que esta solución es técnicamente factible.

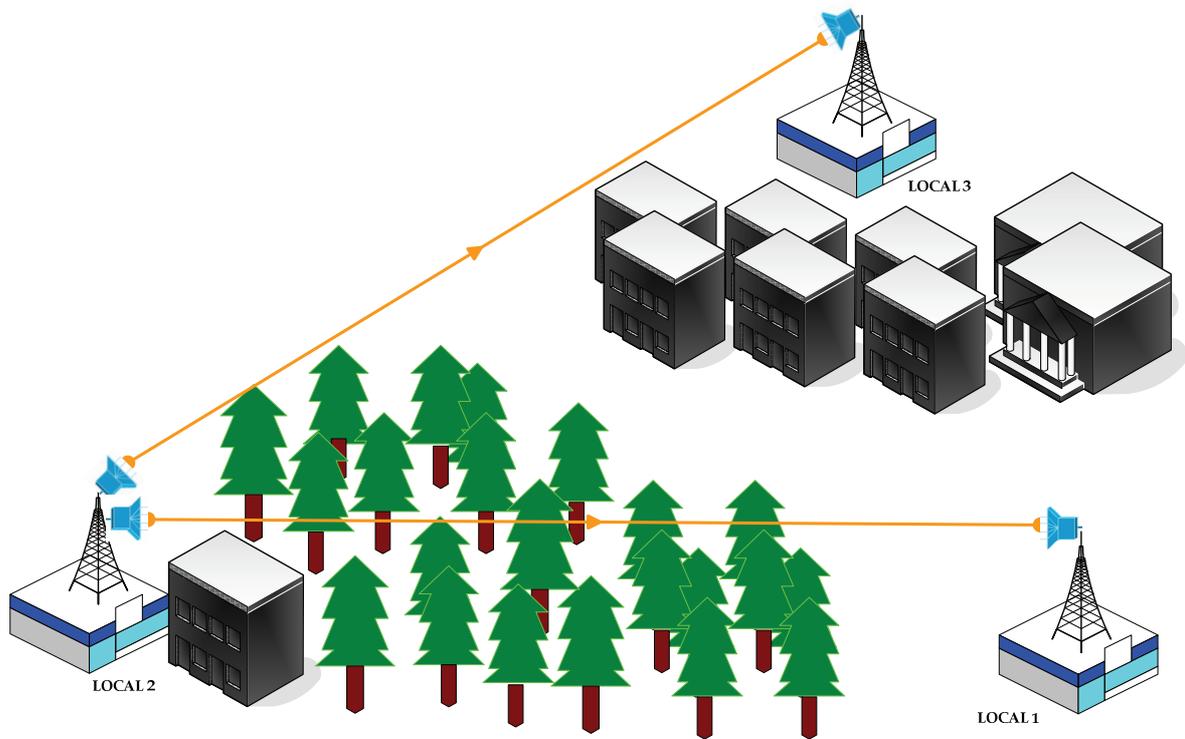


Figura 3.25 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #2 Locales Quito

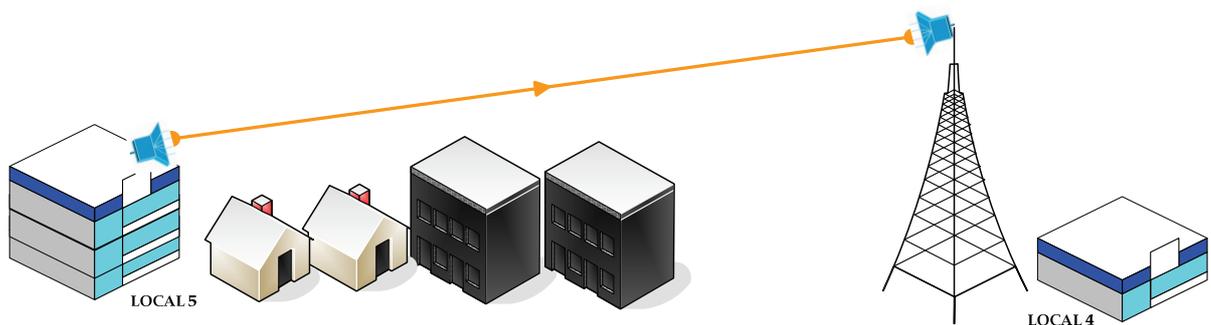


Figura 3.26 Esquema físico de enlaces FSO. Solución #2 Locales Sangolquí

## **Solución # 1 vs. Solución # 2**

Ambas soluciones son factibles en el plano técnico, ya que superan el problema de la ausencia de línea de vista, aunque en formas distintas, y logran tener un margen de enlace positivo y alto, en el que si se agregara 1 o 2 dB más de pérdidas en el sistema, seguirían operando. Pero se debe tener en cuenta otros parámetros que afectan no solo el desempeño de la red propuesta, sino su implementación misma.

1. Los puntos de falla aumentan en la solución #1 con respecto a la solución # 2, debido a que para llegar al local 2, el enlace pasa por repetidores, los mismos que son susceptibles a daños.
2. La ubicación de los equipos en una tercera edificación ajena a la cadena de Supermercados, entorpece la administración de los mismos debido a que en caso de que se presente alguna falla, los permisos necesarios para el ingreso con el fin de revisar los equipos provocaría retraso para reestablecer el enlace, lo que se reflejaría en el malestar de los usuarios.
3. La solución # 1 implica la utilización de 2 equipos FSO más de lo que se necesita en la solución # 2, lo que conlleva inversión adicional en:
  - Equipos
  - Cableado estructurado
  - Arrendamiento de la locación donde se colocarán los equipos

Debido a estas razones, se escoge la solución # 2 como el modelo de red recomendada para la cadena de Supermercados.

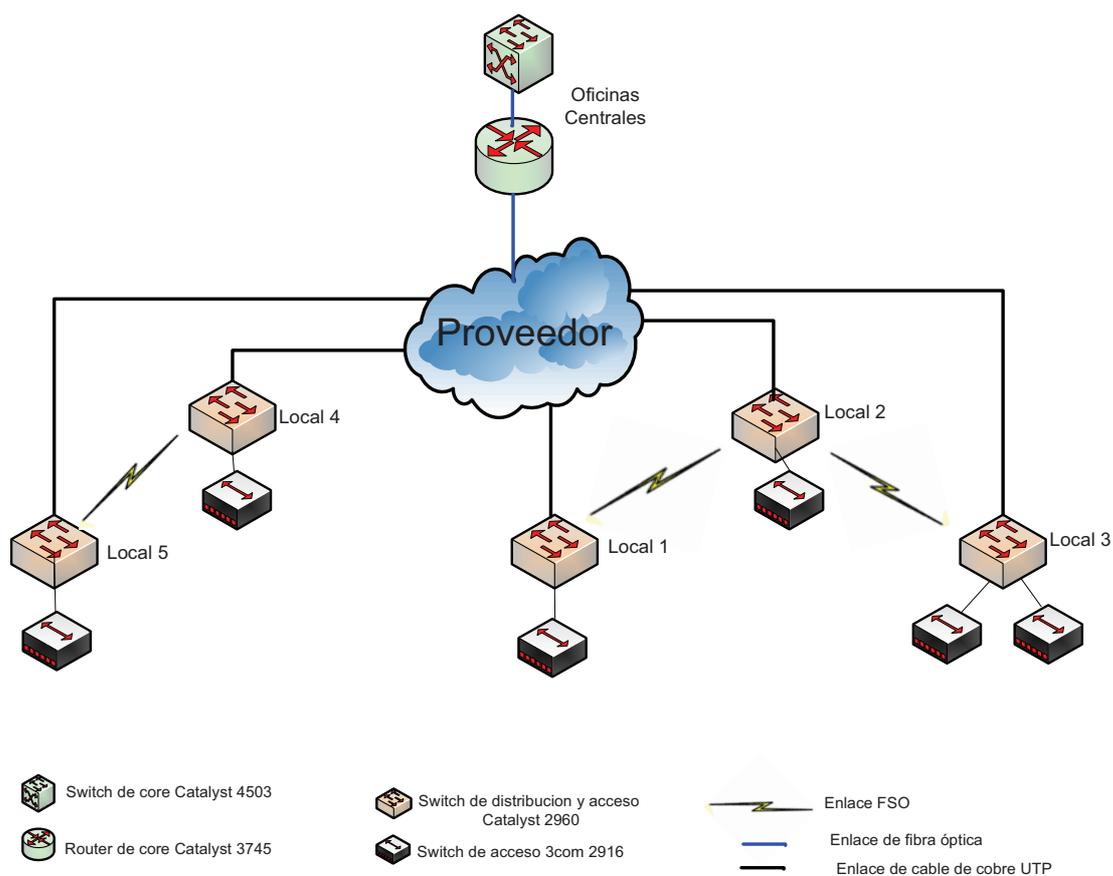


Figura 3.27 Topología lógica de los enlaces FSO propuestos como solución

### 3.1.4 EQUIPAMIENTO FSO

Varias son las marcas de equipos FSO a las que se puede recurrir para la implementación de un sistema basado en esta tecnología.

Los equipos cubren distancias desde 20 metros hasta 5 kilómetros (su alcance varía de acuerdo a sus especificaciones), y se los encuentra bajo una amplia gama de conexiones y velocidades. Las soluciones que se encuentra en el mercado actualmente trabajan en velocidades hasta los 2.5Gbps.

Cada una de las casas fabricantes poseen características que los diferencian entre sí, aunque casi todos cumplen con las siguientes características principales:

- Conectividad Full Dúplex
- Amplia selección de interfases estandarizadas
- Independencia del protocolo de transmisión
- Seguridad en la transmisión de datos
- Seguridad ocular
- Rápida instalación y re-despliegue

#### **3.1.4.1 Equipo considerado para el sistema**

El equipo seleccionado para el estudio pertenece a Fsona, compañía reconocida en el campo de la comunicación óptica inalámbrica. Cubre las distancias requeridas por los enlaces y proporciona varias características que asegura un buen desempeño bajo las condiciones en las cuales va a operar en la red propuesta.

El modelo SONAbeam™ 155-S está enfocado para distancias de hasta 4450 Km aproximadamente. Dependiendo de la aplicación puede ser utilizado para longitudes mayores.

Los equipos cuentan con dos transmisores láser transmitiendo así una potencia hasta 25 veces mayor que los equipos FSO convencionales. Su uso puede ser tanto en exteriores como interiores, en plataformas estables como mástiles, torres auto soportadas, detrás de ventanas, etc.

Se encuentran provistos con un telescopio de alineamiento para facilitar su instalación. Debido a su diseño que refuerza la estabilidad estructural, el realineamiento del equipo en general no se requiere, salvo si éste ha sufrido un impacto físico severo que lo desvió de su dirección original. Soporta vientos

por sobre los 120 km/h (pasó pruebas de 160 km/h) y cuenta con diversidad espacial<sup>21</sup>.

Todas estas características se traducen en una disponibilidad de 99.999% para los enlaces bajo todas las condiciones climáticas, según el fabricante.



*Figura 3.28 Equipo SONAbeam™ 155-S. Fuente [www.fsona.com](http://www.fsona.com)*

Las especificaciones más relevantes del equipo son las siguientes,

- Ancho de banda: Hasta 180 Mbps
- Longitud recomendada: 100 m a 4450 m en condiciones climáticas favorables y 100 m a 2000 m en lluvia extrema
- Láser tipo: Clase 1M
- Longitud de onda para la interfaz óptica: 1550 nm

---

<sup>21</sup> La diversidad espacial nos permite contar con más de una ruta de transmisión entre un transmisor y un receptor, por lo que cuando una ruta se degrada, la transmisión se realiza por otra.

- Potencia FSO: 320 mW
- Número de lasers: 2
- Interfaz física: fibra multimodo o monomodo SC  
Transmisor: 1280 nm a 1325 nm  
Receptor: 1280 nm a 1325 nm
- La potencia del láser se ajusta al cambio de condiciones climáticas.

#### 3.1.4.2 Recomendaciones de Instalación



*Figura 3.29 Equipo FSO*

Varios son los aspectos que hay que tomar en consideración para la instalación de un equipo FSO.

Los equipos FSO, en la actualidad poseen sistemas de realineamiento para corregir las desviaciones del haz de luz en caso de movimientos del lugar donde se encuentra instalado. Aunque contemos con esta característica en nuestros equipos, es muy recomendable que tanto la plataforma como la estructura de montaje del equipo cuenten con un sistema de fijación rígido y estable. Al contar con esto, una vez se encuentre instalado, el enlace va a

funcionar de excelente manera sin necesidad de realizar posteriormente reajustes en la alineación.

Se recomienda la instalación de los equipos en:

- Mástiles en azoteas o paredes
- Mástiles detrás de ventanas
- Torres auto soportadas o atirantadas que provean estabilidad.

Es importante destacar que si bien los equipos FSO cuentan con un nivel de resistencia a vientos y movimiento, de igual manera el lugar donde se los instale deben tener ese mismo nivel de resistencia.

Es también preferible evitar que los cabezales reciban directamente los rayos solares, debido a que esto satura el área del receptor e impide la comunicación. Se aconseja evitar direccionar el cabezal del equipo en sentido este-oeste y procurar que el equipo se cobije bajo alguna sombra.

Como todo equipo de comunicación, el suministro eléctrico debe ser regulado y puesto bajo fuente redundante de poder, en caso de alguna falla eléctrica. Cada equipo tiene sus propias especificaciones en cuanto al tipo de conexión eléctrica que requiere.

### **3.1.5 COSTOS REFERENCIALES DE LA RED FSO**

Los costos referenciales son dados en función de la solución # 2, por razones anteriormente expuestas. Cabe indicar que los costos que se presentan, son costos referenciales proporcionados por empresas que se dedican a las diferentes actividades que son tomadas en cuenta (construcción de torres, distribución e instalación de equipamiento FSO, cableado estructurado y provisión de enlaces de última milla). Dichas empresas no han dado su consentimiento para ser identificadas, razón por la cual no se las menciona.

### 3.1.5.1 Costo de torres para equipos FSO

Debido a que los locales 1,2 y 3 no tienen línea de vista entre ellos, se hace necesaria la instalación de torres en cada uno de ellos.

Estas torres soportan vientos de hasta 130Km/h, lo cual permitirá dar estabilidad al equipo FSO. De acuerdo con el fabricante consultado, las especificaciones de las torres y sus costos son los siguientes;

<b>Torres para Locales</b>			
<b>Local</b>	<b>Local 1</b>	<b>Local 2</b>	<b>Local 3</b>
<b>Cantidad</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Altura (m)</b>	<b>12</b>	<b>22</b>	<b>40</b>
<b>Tipo de torre</b>	Arriostrada o atirantada escalable		
<b>Características</b>	Construcción sobre edificaciones existentes, peso ligero. Galvanizado total de las partes por inmersión profunda caliente. Sección de torre de 3.05 m con base cuadrada Sección superior con mástil		
<b>Costo (incluye instalación)</b>	<b>\$2100</b>	<b>\$4500</b>	<b>\$12300</b>

*Tabla 3.11 Características y costo de Torres para Locales*

### 3.1.5.2 Costo de Equipos de Comunicación Óptica (FSO)

La elección fue señalada anteriormente. Se trata del equipo SONAbeam™ 155-S. Este equipo es el que va a ser empleado en cada uno de los enlaces, debido a que los parámetros principales de cada uno de ellos presentan valores similares tanto en distancia como en condiciones atmosféricas.

<b>Equipo FSO SONAbeam™ 155-S.</b>	
<b>Cantidad</b>	6
<b>Costo por unidad</b>	\$20400
<b>Incluye</b>	Instalación del equipo Conectores de fibra de 3m. SC monomodo (2) Conectores de fibra de 3m. SC multimodo (2) Soporte para montaje de equipo en pared o mástil Kit para instalación de soporte separador de torre SNMP v1
<b>Costo total</b>	\$122400

*Tabla 3.12 Características y costo de equipo FSO*

### 3.1.5.2 Costo de segmento de fibra de interconexión

Este costo hace referencia al segmento de fibra que se emplea al conectar el equipo FSO con el switch de acceso de cada uno de los locales.

Las longitudes requeridas corresponden a la ubicación de los Racks de los locales con respecto a la ubicación final de los equipos de comunicación óptica tomando en cuenta la ductería que tienen que seguir para llegar de un extremo al otro. Dicha información ha sido estimada por los encargados del cableado de los locales.

<b>Segmento de fibra por Locales</b>					
<b>Local</b>	<b>Local 1</b>	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
<b>Longitud (m)</b>	<b>80</b>	110	70	100	130
<b>Especificaciones</b>	Fibra óptica multimodo de 8 hilos 62.5/125 µm para exteriores				
<b>Costo por metro</b>	\$3.5				
<b>Costo total</b>	\$280	<b>\$385</b>	\$245	<b>\$350</b>	\$455

*Tabla 3.13 Segmento de fibra por Locales*

### 3.1.5.3 Costo total por segmentos de fibra

<b>Segmento de fibra Total</b>	
<b>Longitud total</b>	490 metros
<b>Especificaciones</b>	Fibra óptica multimodo de 8 hilos 62.5/125 µm para exteriores
<b>Costo por metro</b>	\$3.5
<b>Costo total fibra</b>	\$1715
<b>Costo total incluido instalación</b>	\$3015

*Tabla 3.14 Segmento de fibra Total*

### 3.1.5.5 Costo por arriendo de torre

Se incluye el costo relacionado con el arriendo de la torre que proporciona línea de vista desde el local 4 hacia el local 5.

Se toma en cuenta esta opción debido a que sería necesario un tipo de torre distinto al que se ha explicado anteriormente. Este local no cuenta con terraza en la cual se pueda colocar una torre atirantada. Se tendría que construir una torre auto soportada, cuyo valor es mucho mayor al de una torre atirantada. Además, se toma en cuenta que se tendría que arrendar también el lugar donde se ubicaría a la torre.

El costo se toma en cuenta en función de los precios actuales por arrendamiento de torre para equipos de similar tamaño<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> Valor referencial de alquiler de torre.

<b>Arriendo de torre</b>	
<b>Tipo de torre</b>	Torre de auto soporte
<b>Costo mensual</b>	\$120

*Tabla 3.15 Arriendo de torre*

### 3.1.5.6 Costo Total del los enlaces FSO diseñados para la cadena de Supermercados

<b>Costo total de los enlaces</b>		
	<b>Número</b>	<b>Monto</b>
<b>Arrendamiento de torre (anual)</b>	1	\$1440
<b>Construcción de torres</b>	3	\$18900
<b>Instalación de fibra</b>	5	\$3015
<b>Equipos FSO</b>	6	\$122400
<b>Costo total</b>		<b>\$145755</b>

*Tabla 3.16 Costo total de enlaces en 1 año*

### 3.1.6 SOLUCIÓN PROPUESTA vs. ALQUILER DE ENLACES DE ÚLTIMA MILLA A NUEVO PROVEEDOR.

La contratación de un carrier es una solución que se presenta fuera del esquema FSO, pero aún así se toma en cuenta ya que proporciona también parte del servicio que se pretende brindar a la cadena de Supermercados, que consiste en un enlace de contingencia.

Según el fabricante, la vida útil de los equipos FSO es de 15 años. Esto implica que en ese tiempo, el costo total del sistema implica los siguientes gastos:

<b>Costo total del sistema FSO durante 15 años</b>		
	<b>Número</b>	<b>Monto</b>
<b>Arrendamiento de torre</b>	1	\$21600
<b>Construcción de torres</b>	3	\$18900
<b>Instalación de fibra</b>	5	\$3015
<b>Equipos FSO</b>	6	\$122400
<b>Garantía de equipos</b>	6	\$33600
<b>Costo total</b>		<b>\$199515</b>

*Tabla 3.17 Costo sistema FSO por 15 años*

El valor estimado de la garantía se toma en cuenta a partir del segundo año.

Quince años es el tiempo que se toma para la comparación de costos. La contratación del servicio de un carrier para los 5 enlaces, con un ancho de banda de 1Mbps conlleva el siguiente valor:

<b>Costo total por contrato de enlaces de última milla a proveedor durante 15 años</b>		
	<b>Número de enlaces</b>	<b>Monto</b>
<b>Enlace 1Mbps (mensual)</b>	1	\$220
<b>Enlace 1Mbps (mensual)</b>	5	\$1100
<b>Costo total (15 años)</b>		<b>\$198000</b>

*Tabla 3.18 Costo enlaces nuevo proveedor por 15 años*

## CAPÍTULO 4.

### 4.1 CONCLUSIONES

- Mientras que en una fibra óptica la transmisión de información se realiza a través de un medio que cuenta con condiciones controladas (núcleo del cable de fibra), en donde contamos con las características propias del mismo, en la comunicación óptica por espacio libre se tienen variables en la transmisión como lo son los diversos factores climáticos.
- La seguridad que brinda esta tecnología es una de sus principales fortalezas. La dificultad en la captura del haz de luz que contiene la información, el difícil acceso a los equipos por parte de terceros debido a su ubicación y los métodos criptográficos que incluyen algunos equipos son una gran barrera que atravesar.
- Se comprueba mediante cálculo que la Zona de Fresnel para la tecnología FSO es despreciable, debido a que no compromete seriamente la altura que se toma en cuenta para sobrepasar las obstrucciones que se encuentran entre los locales. La mayor distancia de los enlaces indica que debe tener 60 cm más de altura, lo cual no altera el diseño.
- Las pérdidas del sistema que se toma en cuenta para el cálculo del margen de enlace puede variar en la práctica. En el caso de que aumente, el valor que se obtiene de margen de enlace (entre 8 y 18 dB) nos permite seguir operando sin problema alguno, por lo que no se vería comprometido el funcionamiento del mismo.

- La instalación de los equipos de comunicación óptica, una vez probada la factibilidad de la implementación, es mucho más sencilla y rápida que otro tipo de tecnología de conectividad. Los sistemas de alineamiento que vienen incorporados en los equipos son una gran ayuda para su instalación.
- La elección de los equipos que serán utilizados viene dado en primer lugar por el cumplimiento de los requerimientos de ancho de banda, distancia y condiciones climáticas que enfrentan, luego por parámetros adicionales que se deseen agregar al enlace, como la redundancia del haz de luz de transmisión, auto alineamiento, SNMP, entre otros.
- Si bien el proyecto de titulación implica una implementación fija, también se puede utilizar en despliegues temporales de enlaces, como por ejemplo en eventos, en los cuales, se instalan los equipos, se emplea el enlace, se desinstalan y se los emplea nuevamente en otro evento.
- Elegir equipos que operen en la longitud de onda 1550 nm permite obtener beneficios como la posibilidad de transmitir a niveles de potencia hasta de 50 veces mayores que aquellos que operan en 850 nm. Además bajo esta longitud de onda, se cumplen con las normas de seguridad "eye-safe".
- Actualmente se tiene una gran variedad de casas fabricantes de equipos FSO. La elección del mismo dependerá de que cumpla con los valores

de ancho de banda requerido, la distancia entre los puntos a conectar y soportar las condiciones climáticas de la zona.

- Las características adicionales como el realineamiento automático, redundancia en la transmisión o los sistemas de alineamiento para la instalación cuentan también a la hora de la elección de un equipo que proporcione seguridad y buen desempeño a la comunicación.
- El planteamiento de dos soluciones para un mismo caso nos permite conocer los diferentes escenarios bajo los cuales podríamos operar con la tecnología que se desea aplicar. Esto es muy útil debido a que esto nos indica que es totalmente posible la implementación, en este caso, desde el punto de vista técnico.
- Aunque ambas soluciones conseguían mantener un buen margen de enlace y superaban la limitación de la línea de vista, era evidente que la solución #1 requería una mayor inversión, no permitía mantener un buen manejo de los equipos, debido a que se hallarían en propiedad ajena a la cadena de Supermercados y aumentaba los puntos de falla en la red, razones por las cuales se escoge a la solución # 2 como solución propuesta para la cadena de Supermercados.
- Así mismo, es interesante plantear una tercera solución que en este caso fue el contratar los servicios de un carrier para los cinco locales. Aquí se evidencia que si bien los precios de ambas soluciones son equiparables (\$199159.45 en el caso de FSO y \$198000 para el carrier) durante el tiempo de vida de los equipos pertenecientes a la tecnología, contamos con la enorme ventaja de un ancho de banda muy superior al

que nos ofrece durante ese tiempo el proveedor de enlace de última milla.

- Se toma en cuenta a la vez, que no solo mediante el análisis técnico se puede llegar a estimar que una tecnología es apta para una determinada aplicación. El impacto económico que conlleva también se considera para decidir si se implementa o no.
- El ancho de banda utilizado hasta el momento por los locales de la cadena de Supermercados es de máximo 1Mbps, valor que en el caso de seguir manteniéndose en los próximos años, no justificaría la implementación de un sistema que puede llevar información hasta los 180 Mbps.
- De acuerdo a lo anteriormente descrito, se toma en cuenta que en caso de emplear la tecnología bajo las condiciones de utilización de ancho de banda actuales, se estaría ocupando únicamente un 0.6% de la capacidad total que nos ofrece la tecnología, lo que nos dejaría un margen de crecimiento de 99.4%.
- Sin embargo, la cadena de Supermercados tiene planificado la puesta en funcionamiento de varias aplicaciones de datos y video para los locales, principalmente para agilizar los procesos durante la temporada navideña, que es la temporada en la que se requiere un mayor ancho de banda. Dichas nuevas aplicaciones aumentarían el ancho de banda requerido por los locales. Esto justificaría la implementación de FSO.

- Esta diferencia nos indica que, para el crecimiento de la empresa en cuanto a servicios de voz, datos y video como se lo planea, contar con un sistema FSO tal como se lo plantea en esta tesis resulta mucho más conveniente que el alquiler de enlaces a un carrier, tanto en la gran capacidad del sistema, como en el aspecto económico.
- El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal dar a conocer el proceso mediante el cual se puede calificar como apto tanto técnica como económicamente a un enlace para implementar la tecnología FSO

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se debe buscar equipos que presenten un buen desempeño ante condiciones climáticas desfavorables, debido a los cambios climáticos bruscos que se experimentan en la ciudad de Quito. Los datos sobre el clima de la ciudad presentan valores medios de precipitación y visibilidad, pero hay que tomar en cuenta que existen los días que provocan los valores máximos y mínimos y es con estos que hay que tener cuidado.
- La instalación de los equipos FSO debe realizarse sobre lugares que mantengan una buena estabilidad. En el caso de torres o astas, éstas deben estar muy bien sostenidas y colocadas para que no se sume una variable más en contra del buen desempeño del enlace.
- Se debe tomar en cuenta los segmentos de fibra que son necesarios para la conexión entre los equipos FSO y los equipos de comunicaciones. Si el tramo que debe recorrer la fibra para realizar esa conexión tiene una gran longitud, es probable que se pueda llegar al punto contrario del enlace con un poco más de cable, sin tener que gastar en la instalación de un equipo de comunicación.
- En ocasiones, algunas especificaciones necesarias de los equipos no se encuentran en las hojas de datos técnicos, sino en las hojas de preguntas frecuentes.
- Involucrarse más con el estudio de tecnologías nuevas o cuyo conocimiento no esté difundido en el país. Es muy probable que al

hacerlo, encontremos entre ellas una solución conveniente para un problema.

- El estudio de la tecnología FSO, como solución en otro tipo de aplicaciones donde sus beneficios pueden ser mejor aprovechados.
- La aplicación de FSO en zonas comerciales, en donde nuevas construcciones no sean un problema y los enlaces viajen de edificio en edificio a distancias más cortas, las cuales tienen como ventaja un mejor desempeño total del equipo.
- Es muy recomendable contratar la garantía de mantenimiento de los equipos FSO luego del primer año de instalación. La seguridad de saber que en caso de que algún elemento del equipo falle tenemos un respaldo mejora el desempeño del mismo.

# **BIBLIOGRAFIA**

## **Libros**

Olivier Bouchet, Hervé Sizun, Christian Boisrobert, **FREE-SPACE OPTICS: PROPAGATION AND COMMUNICATION**, Wiltshire, Antony Rowe Ltd, 2006

Heinz Willebrand and Bakshesh S. Ghuman, **FREE-SPACE OPTICS: ENABLING OPTICAL CONNECTIVITY IN TODAY'S NETWORKS**, Sams Publishing, Estados Unidos, 2002

## **Folletos**

Ingeniera María Soledad Jiménez, **FOLLETO DE COMUNICACIONES OPTICAS**, Escuela Politécnica Nacional, 2008

Ingeniera Mónica Vinueza, **FOLLETO DE REDES LAN**, Escuela Politécnica Nacional, 2006

Ingeniero Pablo Hidalgo, **FOLLETO DE REDES WAN**, Escuela Politécnica Nacional, 2006

## **Documentos PDF**

**ESTUDIO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS**, R&M International Consulting Group Ltd, 2004

**UNDERSTANDING THE PERFORMANCE OF FREE SPACE OPTICS**, Light Pointe, 2003

**HOW TO DESIGN A RELIABLE FSO SYSTEM**, Light Pointe, 2009

**COMUNICACIONES OPTICAS EN EL ESPACIO LIBRE**, J.R. Souza, CETUC

**THE PHYSICS OF FREE-SPACE OPTICS**, Scott Bloom, AirFiber

**ATMOSPHERIC PROPAGATION CHARACTERISTICS OF HIGHEST IMPORTANCE TO COMMERCIAL FREE SPACE OPTICS**, Eric Korevaar, Isaac I. Kim and Bruce McArthur, MRV Communications

**A TRIAL-BASED STUDY OF FREE-SPACE OPTICS SYSTEMS IN SINGAPORE**, Network Technology Research Centre, 2002

**FSO: ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL ÚLTIMO KILOMETRO DE BANDA ANCHA**, G. A. Stephens, S. A. Jaramillo Florez

## **Páginas Web**

<http://www.fsona.com/>

<http://www.fsona.com/product.php?sec=155s>

<http://www.lightpointe.com/>

[http://www.lightpointe.com/products/fs\\_155.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fs_155.cfm)

<http://www.pavdata.com/>

<http://www.pavdata.com/downloads/uk%20-%20PAVLight%20Gig%20-%20V1.5.pdf>

<http://www.pavdata.com/downloads/es%20-%20PAVLight1.5-%20155%20-%20V1.4.pdf>

[http://www.triohmtec.com/pdf/Triohtmtec\\_SONABeam.pdf](http://www.triohmtec.com/pdf/Triohtmtec_SONABeam.pdf)

<http://www.triohmtec.com/fsosoluciones.shtml>

<http://www.eduspace.esa.int/subtopic/images/02-spektrum.gif>

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/jimenez\\_p\\_jl/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/jimenez_p_jl/capitulo4.pdf)

<http://www.edumedia-sciences.com/es/a392-laser>

<http://www.info-ab.uclm.es/labeledc/Solar/Otros/Infrarrojos/fotodetectores.htm>

[http://www.matpic.com/MATLAB/MATLAB\\_MODULACIONES\\_DIGITALES.html](http://www.matpic.com/MATLAB/MATLAB_MODULACIONES_DIGITALES.html)

<http://www.pmfs.edu.co/espanol/ingenieria/archivos>

<http://www.freespaceoptic.com/>

[www.freespaceoptics.org/](http://www.freespaceoptics.org/)

[http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2\\_8\\_2.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_8_2.htm)

<http://www.slideshare.net/rivamara/optical-wireless-presentation>

<http://www.fao.org/docrep/W7445S/w7445s03.htm>

<http://cistr.exa.ec/>

<http://es.allmetsat.com/metar- taf/ecuador.php?icao=SEQU>

<http://www.inamhi.gov.ec/html/inicio.htm>

<http://www.tutiempo.net/>

[http://hosting.udlap.mx/estudiantes/alfonso.penalosa/IS118/Tarea\\_Satelite\\_1/Curso\\_Fibra/Detectores/Capitulo\\_4.htm](http://hosting.udlap.mx/estudiantes/alfonso.penalosa/IS118/Tarea_Satelite_1/Curso_Fibra/Detectores/Capitulo_4.htm)

<http://www.supertel.gov.ec/>

[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps282/product\\_data\\_sheet09186a008009203f.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps282/product_data_sheet09186a008009203f.pdf)

[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps4324/product\\_data\\_sheet09186a008033a3bd.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps4324/product_data_sheet09186a008033a3bd.pdf)

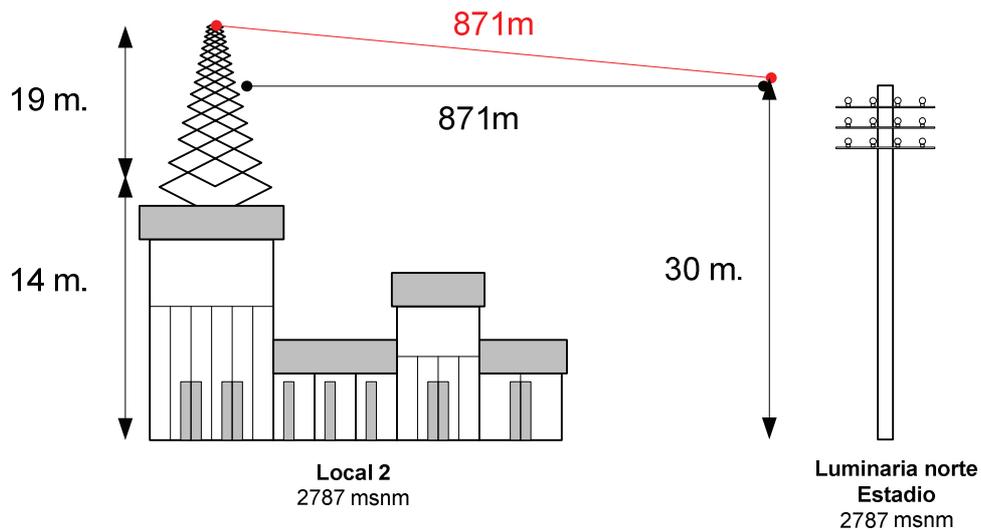
[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps6406/product\\_data\\_sheet0900aec806b0bd8.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps6406/product_data_sheet0900aec806b0bd8.pdf)

**ANEXOS**

**ANEXO  
CALCULOS  
MARGEN DE  
ENLACE**

## CALCULO DE MARGEN DE ENLACE PARA SOLUCIÓN #1

- ENLACE LOCAL 2 - LUMINARIA NORTE ESTADIO



Distancia= 871m

$P_e = 25.05 \text{ dBm}$

$S_r = -34 \text{ dBm}$

$\Theta = 3 \text{ mrad}$

$S_{\text{captura}} = 0.025 \text{ m}^2$

$P_{\text{Sis}} = 2 \text{ dB}$

### **Atenuación Geométrica**

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4}(d\theta)^2}{S_{\text{captura}}}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4}((871\text{m})(0.003\text{rad}))^2}{0.025\text{m}^2}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 214.5$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 10 * \log|Aff_{Geom}|$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 10 * \log|214.5|$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 23.31 dB$$

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 0.871 Km$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 0.871)}$$

$$\tau(d) = 0.0353$$

### **Atenuación Atmosférica**

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.0353} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 14.53 dB$$

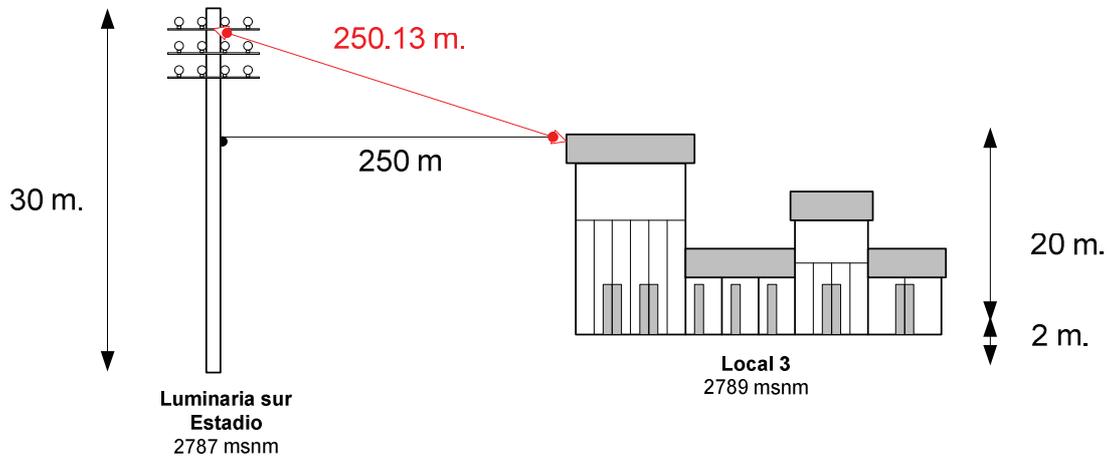
### **Margen de enlace**

$$M_{enlace} = P_e + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05 dBm + |34| - 23.31 dB - 14.53 dB - 2 dB$$

$$M_{enlace} = 19.21$$

- ENLACE LUMINARIA SUR ESTADIO – LOCAL 3



Distancia= 250.13 m

$P_e = 25.05 \text{ dBm}$

$S_r = -34 \text{ dBm}$

$\theta = 3 \text{ mrad}$

$S_{\text{captura}} = 0.025 \text{ m}^2$

$P_{\text{Sis}} = 2 \text{ dB}$

### Atenuación Geométrica

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} (d\theta)^2}{S_{\text{captura}}}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} ((250.13\text{m})(0.003\text{rad}))^2}{0.025\text{m}^2}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 17.69$$

$$Aff_{\text{geom}}_{\text{dB}} = 10 * \log|Aff_{\text{Geom}}|$$

$$Aff_{\text{geom}}_{\text{dB}} = 10 * \log|17.69|$$

$$Aff_{\text{geom}}_{\text{dB}} = 12.48 \text{ dB}$$

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 0.25013 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 0.25013)}$$

$$\tau(d) = 0.3827$$

### **Atenuación Atmosférica**

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.3827} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 4.17 dB$$

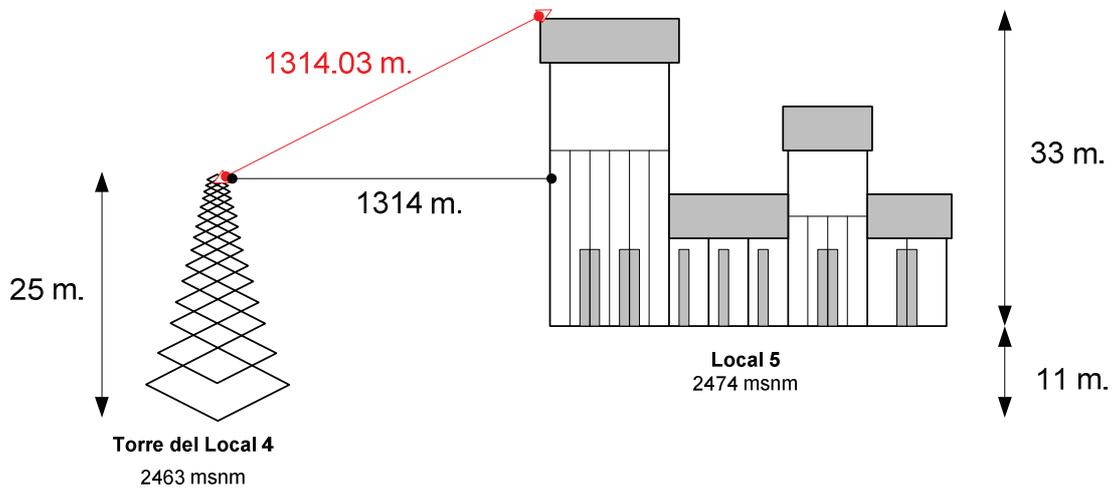
### **Margen de enlace**

$$M_{enlace} = P_e + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05 dBm + |34| - 12.48 dB - 4.17 dB - 2 dB$$

$$M_{enlace} = 40.4$$

- ENLACE LOCAL 4 – LOCAL 5



*Distancia= 1314.03 m*

*Pe = 20 dBm*

*Sr = -34 dBm*

*Θ = 3 mrad*

*S<sub>captura</sub> = 0.025 m<sup>2</sup>*

*P<sub>Sis</sub> = 2dB*

### **Atenuación Geométrica**

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}(d\theta)^2}{S_{captura}}$$

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}((1314.03m)(0.003rad))^2}{0.025m^2}$$

$$Aff_{Geom} = 488.21$$

$$Aff_{geom_{dB}} = 10 * \log|Aff_{Geom}|$$

$$Aff_{geom_{dB}} = 10 * \log|488.21|$$

$$Aff_{geom_{dB}} = 26.89 dB$$

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 1314.03 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 1.314033)}$$

$$\tau(d) = 0.00644$$

### **Atenuación Atmosférica**

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.00644} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 21.91 \text{ dB}$$

### **Margen de enlace**

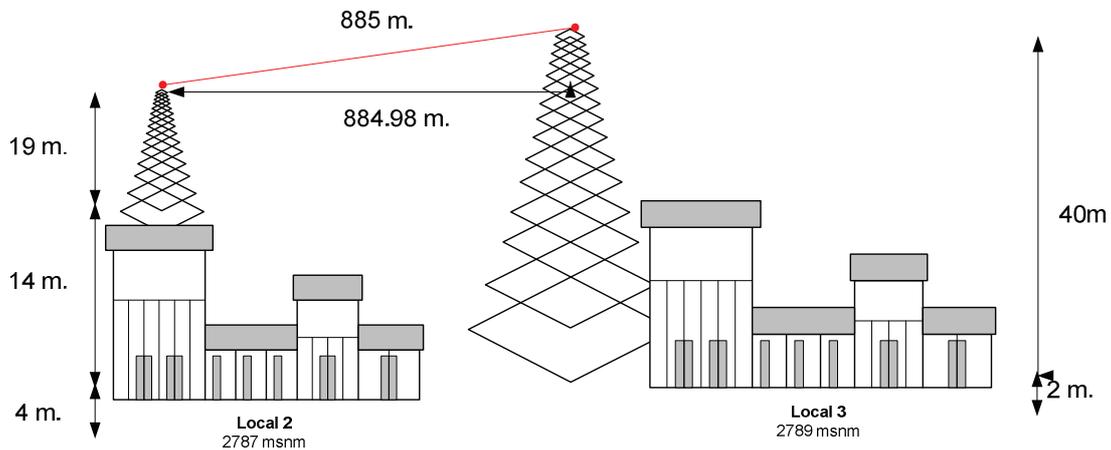
$$M_{enlace} = P_e + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05 \text{ dBm} + |34| - 26.89 \text{ dB} - 21.91 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$M_{enlace} = 8.25$$

## CALCULO DE MARGEN DE ENLACE PARA SOLUCIÓN # 2

- ENLACE LOCAL 2 – ENLACE 3



*Distancia= 885 m*

*Pe = 25.05 dBm*

*Sr = -34 dBm*

*$\Theta = 3 \text{ mrad}$*

*$S_{\text{captura}} = 0.025 \text{ m}^2$*

*$P_{\text{Sis}} = 2 \text{ dB}$*

### **Atenuación Geométrica**

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} (d\theta)^2}{S_{\text{captura}}}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = \frac{\frac{\pi}{4} ((885\text{m})(0.003\text{rad}))^2}{0.025\text{m}^2}$$

$$Aff_{\text{Geom}} = 221.45$$

$$Aff_{\text{Geom}}_{\text{dB}} = 10 * \log|Aff_{\text{Geom}}|$$

$$Aff_{\text{Geom}}_{\text{dB}} = 10 * \log|221.45|$$

$$Aff_{\text{Geom}}_{\text{dB}} = 23.45 \text{ dB}$$

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 885 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 0.885)}$$

$$\tau(d) = 0.0334$$

### **Atenuación Atmosférica**

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.0334} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 14.76 \text{ dB}$$

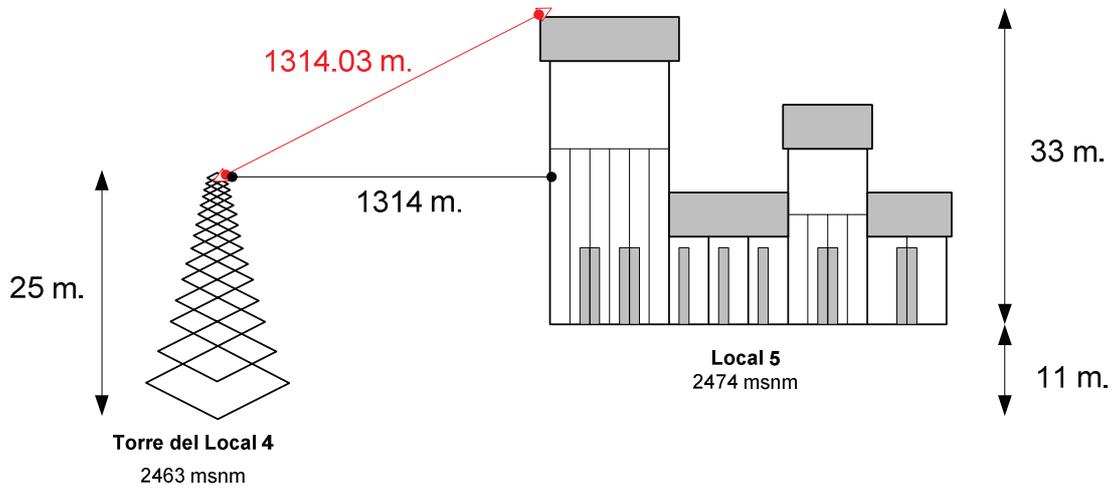
### **Margen de enlace**

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05 \text{ dBm} + |34| - 23.45 \text{ dB} - 14.76 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$M_{enlace} = 18.84$$

- ENLACE LOCAL 4 – LOCAL 5



*Distancia= 1314.03 m*

*Pe = 20 dBm*

*Sr = -34 dBm*

*Θ = 3 mrad*

*S<sub>captura</sub> = 0.025 m<sup>2</sup>*

*P<sub>Sis</sub> = 2dB*

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}(d\theta)^2}{S_{captura}}$$

$$Aff_{Geom} = \frac{\frac{\pi}{4}((1314.03m)(0.003rad))^2}{0.025m^2}$$

$$Aff_{Geom} = 488.21$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 10 * \log|Aff_{Geom}|$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 10 * \log|488.21|$$

$$Aff_{geom}_{dB} = 26.89 dB$$

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

$$\sigma = \beta_n = 3.84$$

$$d = 1314.03 \text{ Km}$$

$$\tau(d) = e^{-(3.84 * 1.314033)}$$

$$\tau(d) = 0.00644$$

### **Atenuación Atmosférica**

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{0.00644} \right)$$

$$Aff_{atm}(d) = 21.91 \text{ dB}$$

### **Margen de enlace**

$$M_{enlace} = Pe + |Sr| - Aff_{Geom} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{enlace} = 25.05 \text{ dBm} + |34| - 26.89 \text{ dB} - 21.91 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$M_{enlace} = 8.25$$

# **ANEXO INAMHI**

**ESTACION METEOROLOGICA "QUITO - IÑAQUITO"**  
**LATITUD 00°10'00" S - LONGITUD 78°29'00" W - ELEVACION: 2.789 m.s.n.m.**

DIA	ANO 2009	
	MARZO	ABRIL
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	2.4	0.0
4	0.7	0.0
5	0.0	0.0
6	0.0	T
7	0.0	0.0
8	0.0	1.0
9	0.0	6.4
10	0.0	0.0
11	8.0	47.8
12	23.4	1.2
13	0.0	14.4
14	0.2	14.0
15	T	27.8
16	0.0	28.4
17	3.6	3.9
18	0.0	0.0
19	0.1	0.0
20	16.7	0.3
21	7.3	0.0
22	16.6	0.0
23	9.0	0.0
24	0.0	0.0
25	12.5	0.0
26	11.4	0.0
27	32.0	0.0
28	15.3	0.0
29	3.1	5.5
30	1.3	0.6
31	0.0	
<b>TOTAL</b>	<b>163.6</b>	<b>151.3</b>

Nota: Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie.

T: Trazas = Precipitación inapreciable (menor a 0.1 mm.)

Los datos que se proporciona estan sujetos a posterior verificación

Fecha : 22 de mayo / 2009



**ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS**  
**ESTACION METEOROLOGICA "LA TOLA - TUMBACO"**  
**LATITUD 00°13'46" S - LONGITUD 78°22'00" W - ELEVACION: 2.480 m.s.n.m.**

DATOS DIARIOS DE LLUVIA (mm.)		
DIA	AÑO 2009	
	MARZO	ABRIL
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	0.4	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
6	0.0	1.5
7	0.0	0.0
8	0.0	0.7
9	0.0	11.8
10	0.9	0.0
11	3.5	23.0
12	9.9	0.0
13	0.2	18.9
14	0.0	3.6
15	0.3	3.0
16	0.0	0.0
17	3.0	1.9
18	0.7	0.0
19	0.0	0.0
20	8.6	1.0
21	2.5	0.6
22	25.3	0.1
23	8.8	0.0
24	0.1	0.0
25	23.0	0.0
26	43.0	0.0
27	6.7	0.0
28	8.8	0.0
29	0.0	3.4
30	0.0	0.0
31	7.2	
<b>TOTAL</b>	<b>152.9</b>	<b>69.5</b>

**Nota:** Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie.

**T:** Trazas = Precipitación inapreciable (menor a 0.1 mm.)

Los datos que se proporciona estan sujetos a posterior verificación

**Fecha : 22 de mayo / 2009**



# **ANEXO EQUIPO FSO**



**SONABEAM**



## SONABEAM FROM FSONA

At fSONA, we deliver optical wireless connectivity solutions that bridge network gaps with unmatched simplicity and performance. From point-to-point connectivity to meshed networking architectures, the SONAbeam's protocol transparent technology gives military, government, service providers and enterprise customers alike the unique ability to integrate free space optics (FSO) quickly and easily into any existing network.

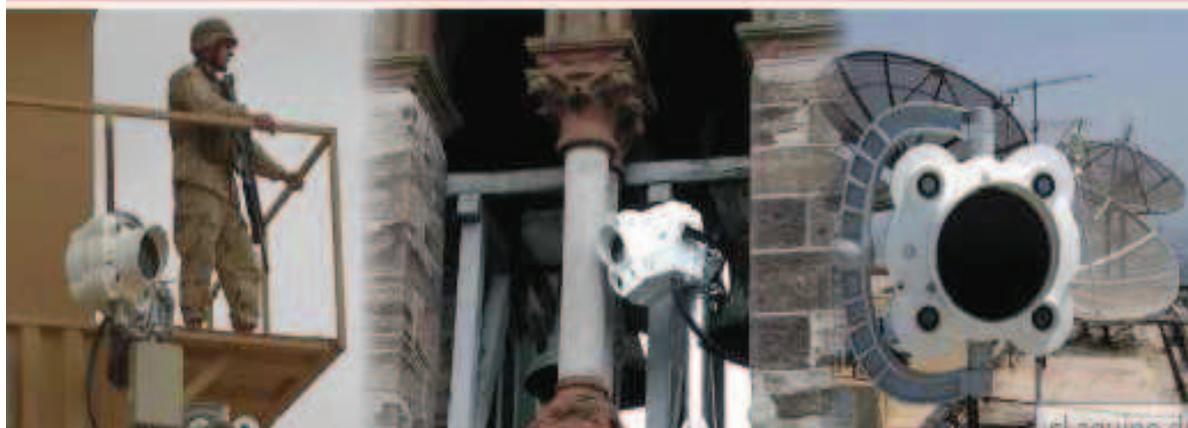
By transmitting through the atmosphere, the SONAbeam eliminates the substantial costs of digging up streets and sidewalks required to install fiber, and unlike other wireless solutions, the SONAbeam is immune to electro-magnetic (EM) and radio-frequency (RF) interference, as well as offering the benefit of eliminating the requirement for costly spectrum licenses. Plus; the SONAbeam's narrow, highly directional transmission all but eliminates eavesdropping or interception. Utilizing advanced FSO technology at the eye-safe 1550 nm wavelength, fSONA has created the most potent FSO systems ever brought to market.

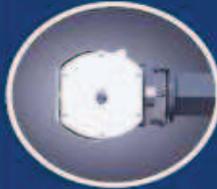
### FORWARD THINKING IN FREE SPACE OPTICS (OPTICAL WIRELESS)

Key to SONAbeam's breakthrough laser technology is its operational wavelength of 1550 nm, which provides a broad spectrum of safety and performance advantages. Wavelengths longer than 1400 nm are safe to the human eye. Thus the SONAbeam is a true eyesafe platform that meets ANSI Class 1 and IEC Class 1M safety standards. Already operating with the highest output power levels in the industry, the SONAbeam still has room to grow; thanks to the benefits of the 1550 nm wavelength.

### SECURE WIRELESS

In today's environment, network security is critical to an organization's survival. The vulnerabilities of RF systems have led people to wrongly conclude that all wireless transmissions are highly vulnerable to interception. The SONAbeam's FSO technology is among the most secure of any wide-area connectivity solution; this is due to its inherent low probability of interception, its anti-jam characteristics and the stealth nature of the transmission.





	SONAbeam 19E	SONAbeam 19F	SONAbeam 19K
Transmission rates	31 - 180 Mbps	10 - 60 Mbps	(date rate transparent or relocked)
Transmission standards	E3, DS3, OC-1/STM-0, OC-3/STM-1, Fast Ethernet	E3, DS3, OC-1/STM-0, OC-3/STM-1, 10baseT	(date rate transparent or relocked)
Range:	3 dBm (clear air)	50 m to 3300 m (160 ft to 2.1 mi)	50 m to 3500 m (160 ft to 2.3 mi)
	10 dBm (extreme rain)	50 m to 1600 m (160 ft to 1.0 mi)	50 m to 1500 m (160 ft to 1.1 mi)
Laser output power	100 mW peak (2 x 50mW)	100 mW peak (2 x 50mW)	100 mW peak (2 x 50mW)
Receive aperture	10 cm (4 in) diameter	10 cm (4 in) diameter	10 cm (4 in) diameter
<b>MULTI-MODE FIBER-OPTIC INTERFACE CARD</b>			
Data physical interface	Multi-mode fiber, SC terminated	Multi-mode fiber, SC terminated	Multi-mode fiber, SC terminated
Fiber xmt output power	-20 dBm (min), -14 dBm (max)	-20 dBm (min), -14 dBm (max)	-20 dBm (min), -14 dBm (max)
Fiber rxmt input power	-30 dBm (min), -14 dBm (max)	-30 dBm (min), -14 dBm (max)	-30 dBm (min), -14 dBm (max)
SR clock & data recovery (CDR)	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux
<b>SINGLE-MODE FIBER-OPTIC INTERFACE CARD</b>			
Data physical interface	Single-mode fiber, SC terminated	Single-mode fiber, SC terminated	Single-mode fiber, SC terminated
Fiber xmt output power	-15 dBm (min), -8 dBm (max)	-15 dBm (min), -8 dBm (max)	-15 dBm (min), -8 dBm (max)
Fiber rxmt input power	-31 dBm (min), -8 dBm (max)	-31 dBm (min), -8 dBm (max)	-31 dBm (min), -8 dBm (max)
SR clock & data recovery (CDR)	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux
<b>SONAbeam 19K</b>			
Transmission rates	100 - 1600 Mbps (date rate transparent or relocked)	100 - 1600 Mbps (date rate transparent or relocked)	100 - 1600 Mbps (date rate transparent or relocked)
Transmission standards	Fast Ethernet, OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, Gigabit Ethernet (1.25 Gbps)	Fast Ethernet, OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, Gigabit Ethernet (1.25 Gbps)	Fast Ethernet, OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, Gigabit Ethernet (1.25 Gbps)
Range:	3 dBm (clear air)	50 m to 3000 m (160 ft to 2.0 mi)	50 m to 3000 m (160 ft to 2.0 mi)
	10 dBm (extreme rain)	50 m to 1710 m (160 ft to 1.1 mi)	50 m to 1710 m (160 ft to 1.1 mi)
Laser output power	320 mW (2 x 160 mW) Directly modulated laser diode	320 mW (2 x 160 mW) Directly modulated laser diode	320 mW (2 x 160 mW) Directly modulated laser diode
Receive aperture	10 cm (4 in) diameter, effective clear	10 cm (4 in) diameter, effective clear	10 cm (4 in) diameter, effective clear
Free space wavelength	1550 nm	1550 nm	1550 nm
<b>INTERFACE CARDS</b>			
	1000-base-SX (850nm)	1000-base-TX	1000-base-LX (1310nm)
Data physical interface	MM fiber LC	RJ45 copper interface	SM + MM fiber LC
Data transmission	100 to 1600 Mbps	100 and 1000 Mbps	100 to 1600 Mbps
Fiber xmt/rxmt wavelength	850 nm nominal	Not applicable	1310 nominal
Fiber xmt output power	802.3z compliant	Not applicable	-11 dBm (min), -03 dBm (max)
Fiber rxmt input power	802.3z compliant	Not applicable	-20 dBm (min), -03 dBm (max)
SR clock & data recovery (CDR)	Configurable (rate specific or bypass)	100-base-T Ethernet	Configurable (rate specific or bypass)

**RUGGED AND ROBUST**

At ISOMA, we explored every possible design consideration to ensure the SONAbeam transceivers are able to survive in even the most extreme weather conditions - from the intense cold of the north, to the blazing desert sun. The SONAbeam's superior environmentally sealed, cast-aluminum housing, is unique in the market and is impervious to water, sun and other environmental hazards. Its support infrastructure is rigid enough to maintain stability in winds up to 120 km/h and survive driving gales of up to 160 km/h, allowing for problem-free rooftop and tower installations. The SONAbeam has also been designed to operate through windows, again furthering the available deployment options.

**THE MOST RELIABLE PART OF YOUR NETWORK**

Thorough product testing is one of the cornerstones of our business, and we consider our testing procedures to be the most rigorous in the industry. To ensure complete reliability throughout the SONAbeam's internal systems, we select and design the electronics to not only utilize the best components available, but to ensure these components operate at the lowest possible stress levels. We then subject every component and every subsystem to a battery of laboratory and real-world tests to confirm the integrity of our design.

**CARRIER-CLASS AVAILABILITY**

The SONAbeam's high-powered laser transmitters are able to penetrate heavy rain, snow and fog far more effectively and consistently than any other available FSO technology. The ability to deliver the industry's highest link margins makes the SONAbeam ideal for use in hybrid networks, using complementary technologies to create fully protected, fully redundant, multi-media solutions - a requirement in today's networks. With up to four redundant transmitters, the SONAbeam produces up to 640mW of output power, 30-50 times more transmission power than most competing FSO products. With greater power comes enhanced weather penetration capabilities and more effective transmission over longer ranges.





S SERIES

	sonabeam 1250-S	sonabeam 155-S
Transmission rates	100 - 1448 Mbps (data rate transparent and relocked)	31 - 180 Mbps (data rate transparent and relocked)
Transmission standards	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, 270 Mbps, 1054 Mbps, Fast/Gig Ethernet	OC-3/STM-1, Fast Ethernet
Range: 3 dB/km (clear air)	100 m to 3600 m (330 ft to 2.0 mi)	100 m to 4450 m (330 ft to 2.8 mi)
10 dB/km (extreme rain)	100 m to 1710 m (330 ft to 1.1 mi)	100 m to 2000 m (330 ft to 1.25 mi)
Laser output power	320 mW (2 x 160 mW)	320 mW (2 x 160 mW)
Fiber xmtr output power	-11 dBm (min), -3 dBm (max)	-15 dBm (min), -8 dBm (max)
Fiber rxvr input power	-20 dBm (min), -3 dBm (max)	-31 dBm (min), -8 dBm (max)
Receive aperture	10 cm (4 in) diameter, effective clear	10 cm (4 in) diameter, effective clear
<b>FIBER-OPTIC INTERFACE</b>		
Interface type	SM or MM fiber, SC terminated	
Fiber xmtr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)	
Fiber rxvr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)	
<b>MECHANICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL</b>		
Operating temperature	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)	
Solar filters	2 spatial, 2 spectral	
Pointing stability	120 km/h (75 mph) operating, > 160 km/h (100 mph) survivability	
Environmental seal	Water-tight, IP66 + NEMA-4 rated	
Dimensions (W*H*D)	Centimeters: 40 x 40 x 36; Inches: 16 x 16 x 14	
Weight - kg (lbs)	Head: 17 kg (37 lbs); Mount: 6 kg (13 lbs)	
Input voltage	85-260 VAC (50/60 Hz)	
Power consumption	Transceiver: 40 watts, max; Heaters: 200 watts, max	
<b>CARRIER-CLASS RELIABILITY AND DURABILITY</b>		
Heating	Internal, to 25°C (77°F), prevents optics fogging, snow/sleet accumulation	
Laser cooling	Active solid state cooling to 35°C (95°F), even in desert conditions	
Redundant transmitters	2 independent lasers, drivers, coolers & cooler controllers	
Power supply	Carrier-grade, 1 million hour MTBF	
Structure	Cast aluminum housing & mount	
Adaptive power control	Adjusts laser power to changing weather conditions	



#### FIBER-OPTIC INTERFACE

Interface type	SM or MM fiber, SC terminated
Fiber xmitr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)
Fiber rcvtr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)

#### MECHANICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL

Operating temperature	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)
Solar filters	2 spatial, 2 spectral
Pointing stability	120 km/h (75 mph) operating, > 160 km/h (100 mph) survivability
Environmental seal	Water-tight, IP66 + NEMA-4 Certified
Dimensions (W*H*D)	Centimeters: 26 x 33 x 46; Inches: 10 x 13 x 18
Weight - kg (lbs)	Head: 10 kg (22 lbs)
Input voltage	22-67 VDC or 100-240 VAC
Power consumption	Transceiver & heater: 165-E/62-E: 30 watts, max; 1260-E: 50 watts, max

#### CARRIER-CLASS RELIABILITY AND DURABILITY

Heating	Window heating prevents optics fogging, snow/sleet accumulation
Laser cooling	Cast aluminum heat sink
Redundant transmitters	2 independent lasers and drivers
Power supply	Telco grade - >850,000 hr demonstrated at 25°C (77°F)
Structure	Cast aluminum and steel housing & mount

#### ELEMENT MANAGEMENT AND CONTROL

	M / S SERIES	E SERIES
Management interface	Serial (DB9 or RJ-45) and 10-base-t	Serial (DB9 or RJ-45) and 10-base-t
SNMP	Embedded v.1 agent	Embedded v.1 agent
GUI control program	SONAbeam™ Terminal Controller	SONAbeam™ Terminal Controller
Command line interface	Via RS232 or IP address	Via RS232 or IP address
Key parameters monitored	Receive signal strength, Power supply currents and voltages, Laser currents, Laser powers (APC levels), Laser temperatures, Internal temperature and humidity, Clock recovery / sync status, Network Interface signal status	Receive signal strength, Laser modulation current, 5V Internal supply voltage, 5V Internal supply current, Internal temperature, Interface card type inserted, Input signal presence, FSO data lock
Historical logging	Internal data and event logging	N/A

#### CERTIFICATIONS AND CLASSIFICATIONS

	US/Canada	International
Laser safety	CDRH 21 CFR including Laser Notice 50, Class 1M; ANSI Z136.1 & Z136.6, Class 1	IEC 60825-1, Class 1M EN 55022 - emissions
EMC Electrical	FCC - Part 15 / ICES - 003 UL 60950 / CSA 60950	EN 55024 - immunity EN 60950 (CB scheme)

**ANEXO**  
**EQUIPOS RED**  
**WAN y LAN**



## DATA SHEET

# CISCO 3700 SERIES MULTISERVICE ACCESS ROUTER

Access Platform Optimized for the Modular Integration of Branch Office Applications and Services

## INTRODUCTION

The Cisco® 3700 Series Multiservice Access Routers are a family of modular routers that enable flexible and scalable deployment of new e-Business applications for the Full Service Branch (FSB) office. The Cisco 3700 Series routers optimize the branch office with high performance routing, integrated low density switching, Security, Voice, IP Telephony, voice mail, Video and Content Networking in a single integrated solution. This unique integrated design enables enterprise customers to incrementally adapt to evolving business needs by enabling important services delivered by Cisco IOS®, such as Quality of Service (QoS), IP Multicast, VPN, Firewall, and Intrusion Prevention, with the performance required for tomorrow's business challenges. The Cisco 3700 Multiservice Access Routers are based on the same modular concepts as the Cisco 3600 Series but enable dramatically higher levels of performance and service integration for the branch office.

The Cisco 3725 and Cisco 3745 provide on-board LAN/WAN connectivity, new high-density service modules (HDSM), and support for multiple Advanced Integration Modules (AIMs) to deliver the highest levels of service density for the enterprise branch office today. Improving on the success of the Cisco 3600 Series' modular architecture, these highly integrated platforms deliver a compelling value proposition by integrating components previously purchased separately, such as two fixed 10/100 LAN ports and additional memory. With the option of two or four network module slots—which can be adapted to accept the HDSM modules—three WAN Interface Card (WIC) slots, and two on-board AIM slots, the Cisco 3700 offers many flexible options to enable high densities of services. Providing support for the majority of LAN and WAN interfaces available today on the Cisco 3600 Series platform reinforces Cisco investment protection promise and maximizes the flexibility of these platforms for the future.

## CISCO 3700 MULTISERVICE ACCESS ROUTER OVERVIEW

The modular Cisco 3700 Series Multiservice Access Routers leverage network modules (NM), WAN Interface Cards (WICs) and Advanced Integration Modules (AIMs) from the Cisco 1700, 2600, and 3600 Series Routers for WAN Access, Voice Gateway, Security, Content, Circuit Emulation, and Dial applications. In addition, the Cisco 3725 and Cisco 3745 introduce a new, doublewide form factor, that provides support for the high density service modules (HDSM's). The Cisco 3745 with four network module slots can accept up to two HDSM's by removing the center guide between each pair of adjacent NM slots. The Cisco 3725, with two network module slots can accept a single HDSM in the upper network module slot by removing the black panel and still have an available network module slot. By utilizing the new HDSM capability the Cisco 3700 Series routers are able to integrate higher port density and new, high performance services.



**Table 1. Cisco 3700 Series Key Features and Benefits**

Feature	Benefit
<b>Investment Protection</b>	
Modular platform which shares interfaces with Cisco 1700, 2600, 3600	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Network interfaces are field-upgradable to accommodate future technologies                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Additional services can be added on an "integrate as you grow" basis</li> <li>– Leverages the large existing portfolio of WICs, VICs, NMs and AIMS to reduce sparring, training, configuration and installation and maintenance costs</li> </ul> </li> </ul>
LAN/WAN Connectivity Integrated into chassis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More NM and HDSM slots available to add services in the future                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Combination of AIMS and WICs along with NMs/HDSMs gives greater flexibility to create new configurations as requirements change</li> </ul> </li> </ul>
VPN and Security configurations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Add Intrusion prevention (IPS) and VPN connectivity to the router through Cisco IOS software and optional performance-enhancing data encryption AIMS.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Provides secure connectivity and perimeter security throughout the network.</li> </ul> </li> </ul>
Flexible voice gateway and IP Telephony configurations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremental or full scale migration from legacy infrastructure to IP Telephony                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– An extensive set of business class IP Telephony features for the small and medium business or branch office are provided through inherent support for Cisco CallManager Express.</li> <li>– Cisco Unity Express voice mail support complements Cisco CallManager Express</li> <li>– Supports numerous standards-based analog and digital interfaces to PBXs and the PSTN</li> <li>– Sliding scale options for higher density mixed analog and digital voice gateway configurations</li> </ul> </li> </ul>
Cisco IOS Software	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supports Cisco IOS feature sets common with the Cisco 2600 routers                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Enables end to end solutions with full support for Cisco IOS-based QoS, bandwidth management and Security mechanisms</li> </ul> </li> </ul>
<b>Scalability</b>	
Increased AIM (2) and WIC density (3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Services and WAN connectivity and backup can be supported without consuming an NM slot                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Increased density per RU of voice, switching, WAN connectivity</li> </ul> </li> </ul>
Increased default memory of 32MB Compact Flash and 256 MB DRAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A greater number of new Cisco IOS releases may be added without the need to purchase/install additional memory</li> </ul>

Feature	Benefit
New High Density Service Modules (HDSM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enables higher port density and new, high performance services</li> </ul>
<b>Availability</b>	
Support for Optional Redundant Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accommodates optional RPS (external for Cisco 3725, Internal for Cisco 3745) and minimizes network downtime</li> </ul>
Survivable Remote Site Telephony	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Branch offices can leverage centralized call control while cost-effectively providing local branch backup redundancy for IP Telephony</li> </ul>
Online Insertion and Removal-capable (3745 only)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allows network modules to be swapped or serviced with minimal impact to network availability                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Allows servicing of online replacement of RPS</li> <li>– Online replacement of fan tray</li> </ul> </li> </ul>
Field-replaceable motherboard, I/O board, power supplies and fan tray (3745 only)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High serviceability design                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Additional operations and maintenance flexibility</li> </ul> </li> </ul>

## Cisco Catalyst 4500 Series Switches

Cisco® Catalyst® 4500 Series Switches deliver secure, flexible, non-stop communications with exceptional investment protection. Catalyst 4500 switches are optimized for collaboration applications in the wiring closet with high availability and are PoEP-ready (up to 30W). PoEP-ready line cards and 10G uplinks are a standard on the Catalyst 4500 E-Series platform allowing customers to future proof their network and protect the investment.

### Overview

Cisco Catalyst 4500 Series Switches provide scalable nonblocking Layer 2-4 switching with secure, flexible, nonstop communications, enabling business resilience for enterprises, small and medium-sized businesses (SMBs), and Metro Ethernet customers deploying business-critical applications. The Cisco Catalyst 4500 delivers predictable and scalable high performance, with advanced dynamic quality-of-service (QoS) capabilities and configuration flexibility for enterprise wiring closets and SMB access cores. Integrated resiliency features in both hardware and software maximize network availability, helping to ensure workforce productivity, profitability, and customer success. The Cisco Catalyst 4500's centralized, innovative, and flexible system design helps ensure smooth migration to wire-speed IPv6 and 10 Gigabit Ethernet. The flexibility, scalability, and forward and backward compatibility between generations of the Cisco Catalyst 4500 Series extend deployment life, providing exceptional investment protection and reducing the total cost of ownership.

The Cisco Catalyst 4500 Series (Figure 1) includes four chassis options: Cisco Catalyst 4510R-E (10 slots), Cisco Catalyst 4507R-E (7 slots), Cisco Catalyst 4506-E (6 slots), and Cisco Catalyst 4503-E (3 slots). The Cisco Catalyst 4500 Series provides a common architecture, taking advantage of existing Cisco Catalyst 4000 Series line cards scaling up to 388 Ethernet ports. Offering compatibility with existing Cisco Catalyst 4000 and 4500 Series line cards, the Cisco Catalyst 4500 E-Series extends its window of deployment in converged networks.

The Cisco Catalyst 4500 Series includes E-series supervisor engine and line cards and "classic" supervisor engines and line cards. The E-Series supervisor engines and line cards provide many enhancements, including 24 gigabits of switching capacity per line-card slot and aggregate forwarding performance of 250 million pps. Classic supervisors and line cards deliver 6 gigabits of switching capacity per line-card slot and forwarding performance up to 102 million pps.

Figure 1. Cisco Catalyst 4500 Series Switches



## Cisco Catalyst 4500 Series Features and Benefits

Table 1 lists the features and benefits of the Cisco Catalyst 4500 Series.

**Table 1.** Cisco Catalyst 4500 Series Features, Functions, and Benefits

Features	Functions and Description	Benefits
<b>Cisco traffic integration</b>	Integrates voice, video, and data into 1 campus infrastructure.	Lowers cost of ownership; improves productivity, investment protection, scalability, and performance.
<b>Hardware</b>		
<b>Modular 3-, 6-, 7-, and 10-slot Cisco 4500 E-Series chassis</b>	Supports supervisor engine (up to two on the Cisco Catalyst 4507R-E and 4510R-E), power supplies with integrated PoE.	Provides a common architecture with advanced integrated resiliency that can be standardized for campuswide Intranet needs.
<b>320-Gbps capacity backplane</b>	Provides enough capacity to forward wire-rate, nonblocking 250 mpps for IPv4 and 125 mpps for IPv6, and supports up to 8 switching modules.	Nonblocking, high-density application.
<b>Flexible switching modules: standards-based, autoensing, and autonegotiating</b>	Offer numerous interface choices: 10/100 Mbps Ethernet and 10/100/1000, 1000 Mbps Gigabit Ethernet, or 10000 Mbps 10 Gigabit Ethernet.	Accommodates IP campus LAN bandwidth growth, providing easy migration while scaling the network.
<b>Integrated PoE</b>	Provides power to devices attached to PoE-enabled Cisco Catalyst 4500 Series switch ports. Devices include IP phones, access points, video cameras, and other Cisco or IEEE 802.3af-compliant appliances.	Provides a single wire to the desktop; no cubic uninterruptible power supply (UPS).
<b>Fault-tolerant, load-sharing power supplies</b>	Support 1 or 2 power supplies.	Increases reliability using multiple power supplies in a fault-tolerant configuration.
<b>High Availability</b>		
<b>Nonstop Forwarding (NSF) with Stateful Switchover (SSO)</b>	Provides dual supervisor engines with subsecond failover. Layer 2 sessions remain up. Layer 3 forwarding continues during a routing event.	Helps ensure supervisor engine switchover is transparent to users in a Layer 2/3 environment. Provides Nonstop traffic forwarding for mission-critical applications and IP voice calls.
<b>SSO-Aware Hot Standby Router Protocol (HSRP)</b>	Offers continuous data packet forwarding during a supervisor engine switchover without a path change to the standby HSRP router.	Adds supervisor redundancy over device redundancy with HSRP to minimize network recovery to a subsecond value.
<b>In-Service Software Upgrade (ISSU)</b>	Upgrades or downgrades a complete Cisco IOS Software image with minimal to no effect on a Cisco Catalyst 4500 system with redundant supervisor engines. Offers continuous packet forwarding during the supervisor engine switchover running different Cisco IOS Software	Enables rapid, nondisruptive software upgrades for new line cards, new power supplies, new features, or bug fixes, without any route flaps or network instabilities. IP phone calls do not drop even when the Cisco IOS Software images are upgraded or downgraded. Eliminates planned

Features	Functions and Description	Benefits
	versions.	downtime to maximize system and network availability.
<b>Gateway Load Balancing Protocol (GLBP)</b>	Protects data traffic from a failed circuit, while allowing packet load sharing between a group of redundant devices.	Provides for circuit redundancy while minimizing configuration. This improves the resiliency of the network and reduces administrative burden. GLBP devices also share packet-forwarding responsibilities, optimizing resource usage, thereby reducing costs.
<b>Cisco IOS Software</b>		
<b>Integrated Cisco IOS Software enhanced Layer 3 switching (Supervisor Engine IV, Supervisor Engine V, Supervisor Engine V-10GE, and Supervisor Engine 6-E)</b>	Provides ASIC-based IP routing up to 256K routes at gigabit speeds (Open Shortest Path First [OSPF], Enhanced Interior Gateway Routing Protocol [EIGRP], Intermediate System to Intermediate System [IS-IS], and Border Gateway Protocol [BGP]).	Offers Layer 3 subnet control of network traffic; mature and proven routed protocols.
<b>4096 VLANs</b>	Helps to ensure that numerous switched VLANs are available for enterprise networks; allows users to select interfaces on multiple switches, networkwide, to create logical LANs.	Eases network administration by allowing users to be logically grouped together, regardless of physical interface location, for performance and security considerations; provides VLAN capability without forcing users to invest in new network technology.
<b>VLAN Trunking Protocol (VTP)</b>	Distributes VLAN configuration information.	Integrates Fast Ethernet VLANs.
<b>Dynamic Trunking Protocol and 802.1Q</b>	Dynamically configures trunk ports between Cisco Catalyst switches.	Minimizes VLAN trunk configuration, maximizes ready-to-use capabilities.
<b>Private VLAN</b>	Prevents users from seeing traffic generated by someone else on the same switch.	Helps to ensure privacy for users on the same switch.
<b>Load balancing via spanning-tree priority on parallel Layer 2 trunks</b>	Assigns spanning-tree priority on a per-VLAN basis.	Provides increased throughput and redundancy between Cisco Catalyst 4500 Series switches.
<b>Web Content Communication Protocol (WCCP) Version 2 Layer 2 Redirection</b>	Enables transparent redirect content requests to the directly connected content engines using a Layer 2/MAC address rewrite.	Eliminates repetitive transmissions of identical content from the original content servers.
<b>Multilayer switching</b>	Supports Layer 2 (MAC), Layer 3 (IP address), and Layer 4 (TCP/UDP port) switching.	Provides desktop switching and integrated enhanced routing functions (Supervisor Engine IV, Supervisor Engine V, Supervisor Engine V-10GE, and Supervisor Engine 6-E) in the LAN, or as a small-enterprise backbone solution.
<b>Cisco Discovery Protocol</b>	Provides automated switch and router neighbor discovery.	Simplifies configuration management and helps enable a higher level of network services based on Cisco IOS Software.
<b>Multicast switching</b>	Provides hardware-based multicasting replication.	Provides standards-based multicasting with a forwarding performance that is line rate.

<b>Comprehensive Security</b>		
<b>ACL</b>		
<b>MAC Authentication Bypass</b>	Upon detecting a new MAC address on a switch port, the switch will proxy an 802.1x authentication request based on the device's MAC address. Allows any vendor's IP phone without an 802.1x supplicant to authenticate into the network. Enhances Cisco NAC Layer 2 802.1x.	Provides network access to agentless devices, including any vendor's IP phones, without 802.1x supplicant capabilities.
<b>MAC Address Notification</b>	Monitors the MAC addresses that are learned by, aged out, or removed from the switch.	Notifies if there is any potential DoS or man-in-the-middle attack.
<b>Multidomain Authentication (MDA)</b>	Allows any vendor's IP phone with an IEEE 802.1x supplicant and a single host behind the IP phone to independently authenticate into the network.	Provides enhanced security for IP phone deployments.
<b>Unicast RPF (uRPF)</b>	Examines all packets received as input on an interface to make sure that the source address and source interface appear in the routing table and match the interface on which the packet was received.	Helps mitigate problems caused by the introduction of malformed or forged (spoofed) IP source addresses into a network by discarding IP packets that lack a verifiable IP source address.
<b>802.1x for Identity-Based Network Services</b>	Using the 802.1x protocol with Cisco enhancements, the network grants privileges based on user logon information, regardless of the user's location or device.	Allows different people to use the same PC and have different capabilities, so that users only get their assigned privileges no matter how they are logged onto the network, preventing unauthorized access.
<b>802.1x Inaccessible Authentication Bypass</b>	Provides a configurable alternative on the switch to grant a critical port network access in a locally specified VLAN.	Minimizes business effect for the duration of the AAA server outage.

Traffic Management		
<b>Modular QoS CLI (MQC)</b>	Provides QoS for both Layer 2 class of service (CoS) and Layer 3 type of service (ToS), traffic shaping, sharing, policing, and congestion avoidance with Dynamic Buffer Limiting (DBL).	Provides centralized control of prioritization of networkwide traffic; easily creates and manages policies to protect mission-critical applications.
<b>Ingress and egress policing</b>	Sequentially classifies packets at entrance and then reclassifies and remarks at exit on a per-port and per-VLAN basis.	Provides granular traffic control by user-defined traffic classifications to help ensure QoS policy.
<b>Control Plane Policing</b>	Provides a unified solution to rate limit the CPU-bound control plane traffic in hardware.	Prevents malicious DoS attack traffic from overwhelming the supervisor CPU and helps ensure network stability, availability, and predictable performance by controlling the traffic to the supervisor CPU.
<b>Multiple queues on every port interface</b>	Provides multiple queue (up to 8 queues) classification with dynamic queue sizing and scheduling of network traffic on a packet-by-packet basis.	Differentiates network traffic to improve traffic control and latency; helps enable sophisticated QoS for superior data, voice, and video traffic.
Network and Switch Management		
<b>Embedded Remote Monitoring (RMON)</b>	Provides four RMON groups on all ports: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistics</li> <li>• History</li> <li>• Alarms</li> <li>• Events</li> </ul>	Delivers efficient and effective workgroup troubleshooting tools. Furnishes analysis tools to help managers tune network performance. Helps identify heavy network users as candidates to move to dedicated or higher-speed ports. Proactively monitors the switched Internetworking centralized management using CiscoWorks solutions. Industry standards-based.
<b>Enhanced Switch Port Analyzer (SPAN)</b>	Allows for monitoring of a single port or multiple (VLAN) ports via a single monitor port, with up to any combination of input/output sessions, up to a maximum of 8 sessions	Helps managers to use existing network analyzers to troubleshoot switched Internetworking. Preserves the network visibility that might otherwise be lost by switches that do not support SPAN. Delivers an analysis path into a company's VLAN architecture.
<b>Remote SPAN</b>	Allows monitoring of multiple switches across the network from a single switch.	Reduces the number of analyzers necessary to monitor networks.
<b>Password-Protected Administration Interface</b>	Requires password for local or remote access using Telnet or SSH.	Provides protection from unauthorized configuration changes.
<b>Local (in-band) management</b>	Supervisor engine has an EIA/TIA-232 interface for modem- or console-terminal connection.	Manages the Cisco Catalyst 4500 Series from a directly attached, low-cost terminal or PC.
<b>Remote (out-of-band) management through SNMP sets or Telnet (client) connection</b>	Accessible through any switched interface.	Manages Cisco Catalyst 4500 Series Switches from anywhere in the network.
<b>Management console</b>	CLI.	Provides easy-to-use ASCII text interface that requires no special applications. Takes advantage of support staff's Cisco Catalyst knowledge.
<b>Full Simple Network Management Protocol (SNMP) management (for Ethernet MIB, MIB II, VTP, and system extensions)</b>	Allows the Cisco Catalyst 4500 Series to be managed from any SNMP-based management station.	Eases management from installed network management platforms. Extends VLAN configuration to SNMP management software.
Secure Copy Protocol (SCP)		
<b>Onboard Flash memory for Trivial File Transfer Protocol (TFTP) download and upload of operating software</b>	Remotely downloads new revisions of an operating system without hardware changes.	Reduces cost of administering software upgrades by providing centralized network- management capability.

## Cisco Catalyst 2960 LAN Lite Series Switches Data Sheet

### Product Overview

Cisco® Catalyst® 2960 Series Switches with LAN Lite software are fixed-configuration, standalone switches that provide desktop Fast Ethernet connectivity for entry-level wiring closet and small branch-office networks (Figure 1). These switches simplify the migration from non-intelligent hubs and unmanaged switches to a fully scalable managed network.

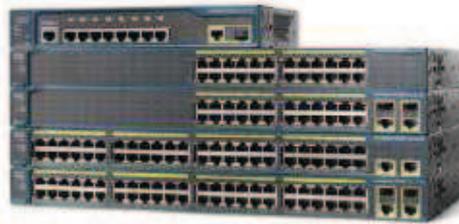
Cisco Catalyst 2960 Series Switches have lower cost of ownership with features such as intelligent switch configuration using Auto Smart Ports, installation with Auto Install and enhanced troubleshooting to facilitate ease of use. Comprehensive management tools such as Cisco Network Assistant provide ongoing management and monitoring of switches.

Services integrating voice, video, and wireless applications are possible using the Cisco Catalyst 2960 Series LAN Lite Switches. Power over Ethernet (POE) and quality of service (QoS) provide comprehensive service delivery for entry-level customers.

Security capabilities that are pervasive in the network are critical for secure operations, and end-to-end security is obtained using the Cisco Catalyst 2960 Series Switches with LAN Lite software. An array of Cisco security solutions is available, including Cisco Clean Access NAC-based solutions.

Overall, the functionality available in Cisco Catalyst 2960 Series Switches with LAN Lite software provides peace of mind when dealing with today's network operations and lowers cost of ownership for customers.

Figure 1. Cisco Catalyst 2960 LAN Lite Series Highlights

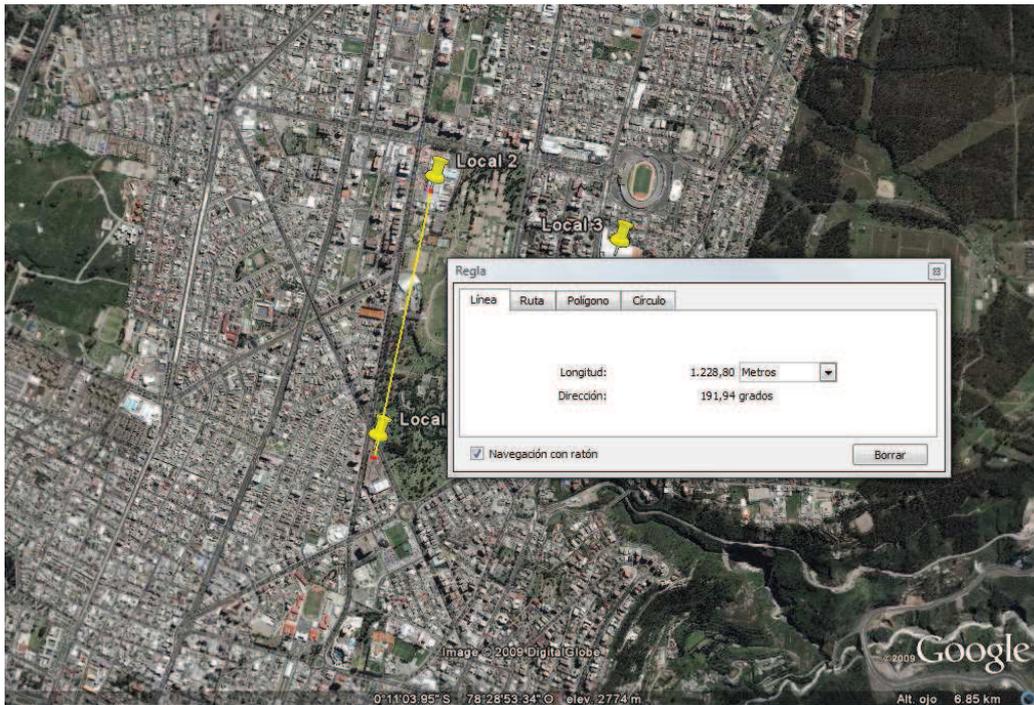


### The Cisco Catalyst 2960 LAN Lite Switches offer:

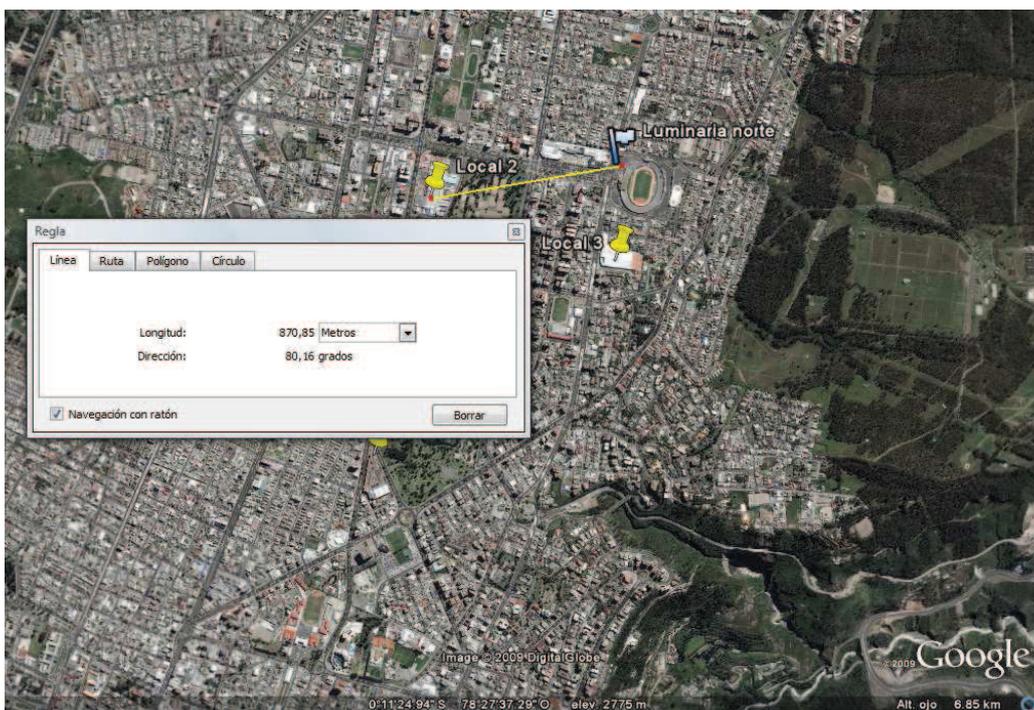
- Both 24 and 48 port POE is available using 802.3af class 3 with 370 Watt power capacity.
- Dual-purpose uplinks for Gigabit Ethernet uplink flexibility, allowing use of either a copper or a fiber uplink. A dual-purpose uplink port has one 10/100/1000 Ethernet port and one Small Form-Factor Pluggable (SFP)-based Gigabit Ethernet port, with one port active at a time
- Scalable and secure ease of use functionality such as auto configuration with Auto Smart Ports and easy installation with Auto Install to lower total cost of ownership.
- Enhanced troubleshooting for problem solving including link connectivity and cable diagnostics
- QoS for traffic classification and shaping to prioritize various applications including voice, video, and multicast applications.
- Single IP address, syslog, and Simple Network Management Protocol (SNMP) management for a stack of up to 16 switches
- Baseline Network Admission Control based on users, ports, and MAC addresses
- Limited lifetime hardware warranty
- Software updates at no additional cost

**ANEXO  
DISTANCIA DE  
ENLACES  
MEDIANTE  
GOOGLE EARTH  
PRO**

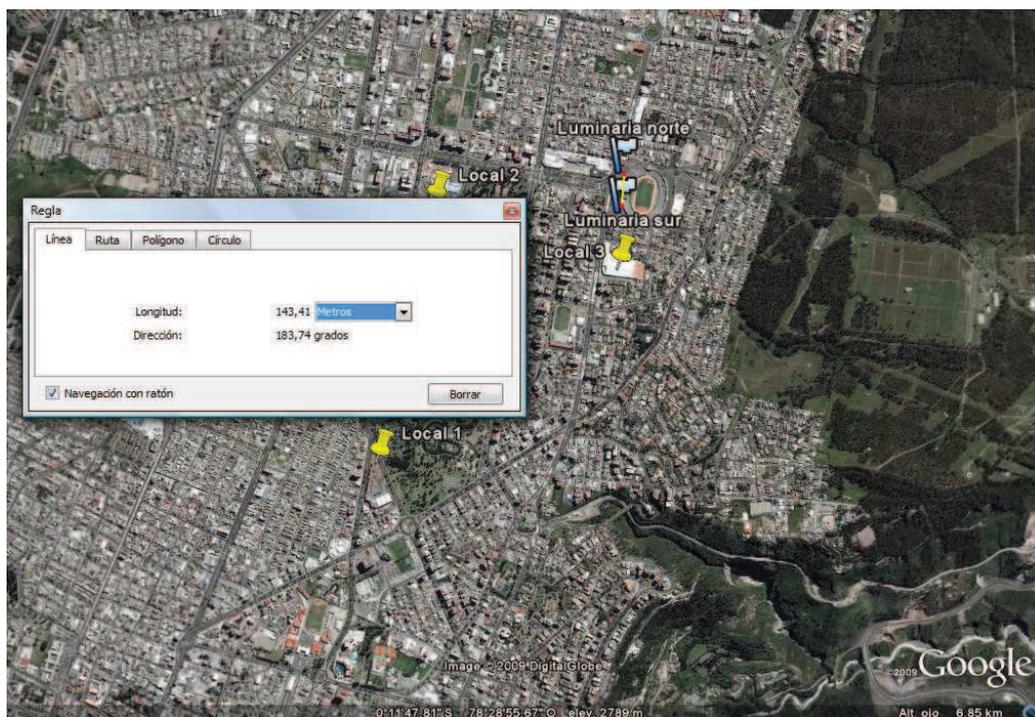
## Distancia entre local 1 y 2



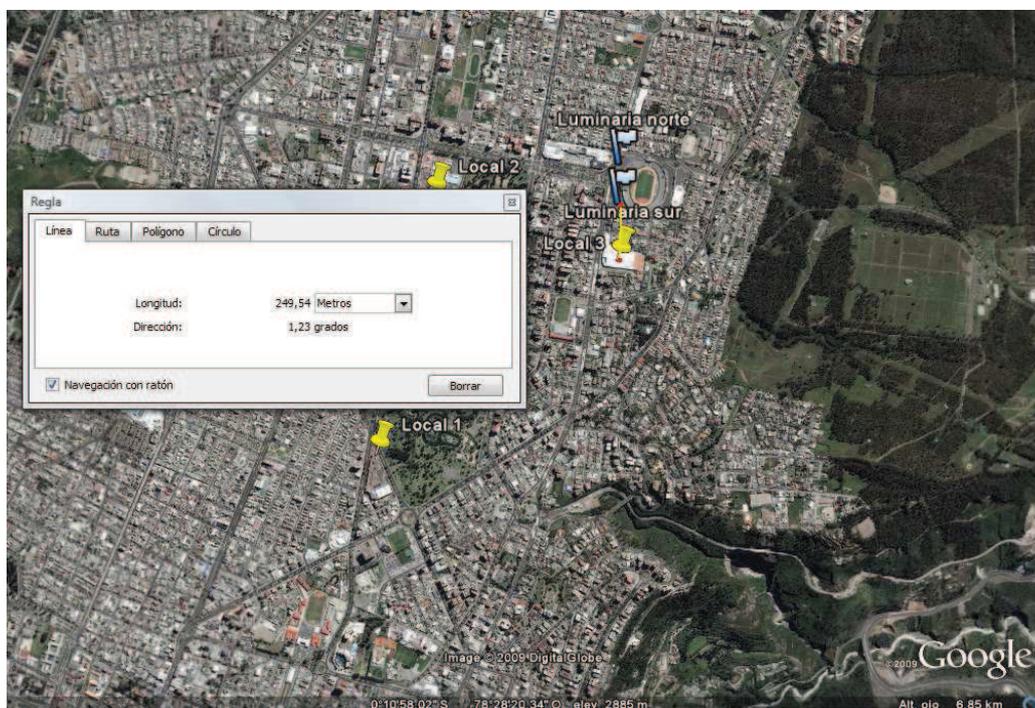
## Distancia entre local 2 y luminaria norte-estadio



## Distancia entre luminaria norte y luminaria sur-estadio



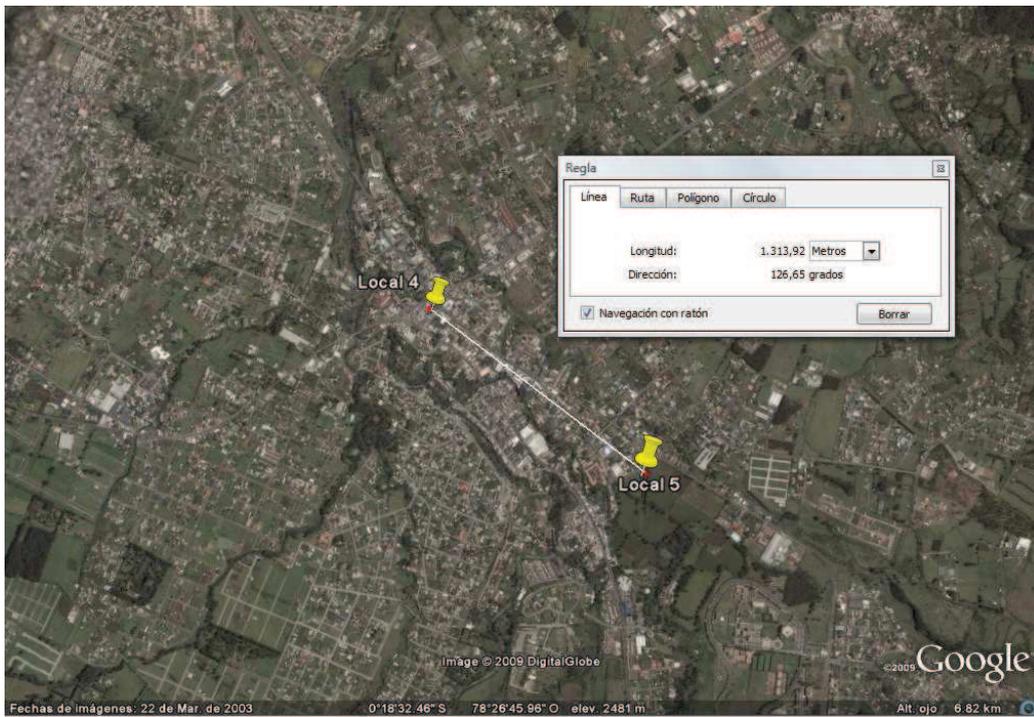
## Distancia entre luminaria sur-estadio y local 3



### Distancia entre local 2 y local 3



### Distancia entre local 4 y local 5



**ANEXO**  
**de**  
**REGULACION**

RESOLUCIÓN 118 (Marrakech, 2002)

**Utilización del espectro en frecuencias por encima de 3 000 GHz**

La Conferencia de Plenipotenciarios de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Marrakech, 2002),

*considerando*

a) que los números 78 de la Constitución de la UIT y 1005 del Anexo al Convenio de la UIT permiten que las Comisiones de Estudio del Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) estudien Cuestiones y aprueben Recomendaciones relacionadas con bandas de frecuencias, sin límite de frecuencia;

b) que en las Comisiones de Estudio del UIT-R se están realizando estudios sobre tecnologías que funcionan por encima de 3 000 GHz;

c) que las frecuencias que se pueden reglamentar en el Reglamento de Radiocomunicaciones están restringidas, en virtud de la definición de «radiocomunicación» del número 1005 del Anexo al Convenio de la UIT, a las frecuencias por debajo de 3 000 GHz;

d) que tecnologías de radiocomunicación han demostrado que se pueden utilizar ondas electromagnéticas en el espacio por encima del límite superior de frecuencia de 3 000 GHz, sin guía artificial, y que, según algunos Estados Miembros, habría que suprimir el límite de 3 000 GHz para permitir que las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR) competentes añadan, en caso necesario, disposiciones al Reglamento de Radiocomunicaciones;

e) que desde hace mucho tiempo se utilizan bandas de frecuencias por encima de 3 000 GHz, especialmente en el infrarrojo y el visible, en sistemas y aplicaciones reglamentados por disposiciones nacionales y no establecidas por la UIT, y que algunos Estados Miembros estiman que, antes de cambiar la definición del Convenio, la relación entre esas disposiciones y las de la UIT deberían ser objeto de un examen minucioso,

*invita a la Asamblea de Radiocomunicaciones*

a que incluya en su programa de trabajo estudios sobre la posibilidad de incluir bandas de frecuencias por encima de 3 000 GHz en el Reglamento de Radiocomunicaciones,

*encarga al Director de la Oficina de Radiocomunicaciones*

que informe a las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones acerca del avance de los estudios del UIT-R sobre el uso de frecuencias por encima de 3 000 GHz,

*resuelve*

que las CMR puedan incluir en el orden del día de Conferencias futuras puntos relativos a la reglamentación del espectro por encima de 3 000 GHz y tomar las

medidas apropiadas incluida especialmente la revisión de las partes pertinentes del Reglamento de Radiocomunicaciones<sup>1</sup>,

*insta a los Estados Miembros*

a que continúen participando en los trabajos del UIT-R sobre el uso del espectro por encima de 3 000 GHz.