

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO Y FACTIBILIDAD DE UNA RED INALÁMBRICA ÓPTICA  
UTILIZANDO TECNOLOGÍA FSO PARA LA COMUNICACIÓN  
ENTRE LOS EDIFICIOS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA  
NACIONAL Y EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CHRISTIAN ANDRÉS CUENCA PAUTA  
Christianandres20@hotmail.com**

**JULIO CÉSAR PALACIO PACHECO  
juliusjcp@yahoo.com.mx**

**DIRECTOR: INGENIERO FABIÁN CORRAL  
fcorral@conatel.gov.ec**

**Quito, Marzo 2008**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Christian Andrés Cuenca Pauta y Julio César Palacio Pacheco, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Christian Cuenca

---

Julio Palacio

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Andrés Cuenca Pauta y Julio César Palacio Pacheco, bajo mi supervisión.

---

**Ingeniero Fabián Corral**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Politécnica Nacional y la facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, por la oportunidad brindada de estudiar en sus aulas y adquirir una formación profesional.

A todos nuestros profesores de quienes hemos aprendido no solo sus conocimientos, sino sus experiencias y valores.

A nuestro director de tesis, Ingeniero Fabián Corral, quien ha aportado con sus enseñanzas y paciencia para el desarrollo de esta tesis.

A nuestros amigos, que de una u otra manera han colaborado con la realización de ésta tesis, hacemos extensivos nuestro más sincero agradecimiento.

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme regalado hasta el día de hoy el regalo máspreciado que tengo, LA VIDA.

A mis padres porque todo lo que soy se los debo a ellos, ya que sus palabras de apoyo y cariño nunca me han dejado desfallecer en todas las etapas de mi estudio.

A mis hermanos, con quienes he compartido muchas alegrías y tristezas que han hecho que no sólo nos una un lazo de sangre sino una inmortal amistad.

Y nuevamente a LA VIDA, porque hasta el día de hoy me ha enseñado que las cosas más hermosas y extraordinarias son a la vez las más simples.

Christian Andrés Cuenca Pauta

## **DEDICATORIA**

A mi familia en especial a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en el camino de la vida y el estudio, a ustedes les debo mucho.

A todos aquellos quienes de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo.

Y finalmente a los jóvenes estudiantes que tienen ansias de conocimiento y sueñan con un futuro mejor.

Julio César Palacio Pacheco



## Índice

CAPÍTULO 1.....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	2
1.1.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	2
1.1.1.1 Espectro Electromagnético.....	2
1.1.1.2 La luz y el Espectro Visible.....	5
1.1.1.3 Radiación Infrarroja.....	6
<i>1.1.1.3.1 Propagación Infrarroja punto a punto</i> .....	6
<i>1.1.1.3.2 Divergencia en la propagación (Láser)</i> .....	7
1.1.1.4 Bandas Libres.....	7
1.1.2 CONCEPTOS DE COMUNICACIÓN LÁSER.....	8
1.1.2.1 Planteamientos Básicos.....	8
1.1.2.2 Resonador de FABRY-PEROT.....	9
1.1.2.4 Características de la Radiación Láser.....	12
<i>1.1.2.4.1 Monocromaticidad</i> .....	13
<i>1.1.2.4.2 Coherencia temporal y espacial</i> .....	13
<i>1.1.2.4.3 Direccionalidad</i> .....	14
1.1.2.5 Láser de Semiconductor.....	14
<i>1.1.2.5.1 Láseres Monomodo</i> .....	14
<i>1.1.2.5.2 Láseres de Cavidad Vertical o VCSEL (VERTICAL CAVITY SURFACE - EMITTING LASERS)</i> .....	15
<i>1.1.2.5.3 Características de Funcionamiento del VCSEL</i> .....	15
1.1.3 SISTEMAS INALÁMBRICOS.....	16
1.1.3.1 Redes Inalámbricas.....	16
1.1.3.2 Clasificación de las Redes Inalámbricas según su Alcance.....	17
<i>1.1.3.2.1 Redes Inalámbricas de Corta Distancia</i> .....	17
<i>1.1.3.2.2 Redes Inalámbricas de Larga Distancia</i> .....	18
1.1.3.3 Tipos de Redes Inalámbricas.....	18
<i>1.1.3.3.1 WBAN (Wireless Body Area Network – Red Inalámbrica de Área Corporal)</i> .....	18
<i>1.1.3.3.2 WPAN (Wireless Personal Area Network – Red Inalámbrica de Área Personal)</i> .....	19
<i>1.1.3.3.3 WLAN (Wireless Local Area Network – Red Inalámbrica de Área Local)</i> ..	19
<i>1.1.3.3.4 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network – Red Inalámbrica de Área Metropolitana)</i> .....	19
<i>1.1.3.3.4.1 LMDS (Local Multipoint Distribution Service – Servicio de Distribución Local Multipunto)</i> .....	19
<i>1.1.3.3.4.2 MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service – Servicio de Distribución Multicanal Multipunto)</i> .....	20
<i>1.1.3.3.4.3 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)</i> .....	20
<i>1.1.3.3.5 WWAN (Wireless Wide Area Network – Red Inalámbrica de Área Amplia)</i>	20
1.1.3.4 Topologías de redes Inalámbricas.....	21
<i>1.1.3.4.1 Infraestructura</i> .....	21
<i>1.1.3.4.2 Ad-hoc</i> .....	21
1.1.4 DEFINICIÓN DE SISTEMAS INALÁMBRICOS DE ESPACIO LIBRE FSO (FREE SPACE OPTICS - ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE).....	22
1.1.4.1 Definición de Óptica de Espacio Libre (FSO).....	22

1.1.4.2 Breve Reseña Histórica .....	22
1.1.4.3 Características del FSO .....	23
1.1.4.4 Funcionamiento del FSO .....	24
1.1.4.5 Aplicaciones FSO .....	25
1.1.4.5.1 <i>Redes Empresariales</i> .....	25
1.1.4.5.2 <i>Comunicación LAN a LAN</i> .....	25
1.1.4.5.3 <i>Infraestructura de Banda Ancha</i> .....	26
1.1.4.5.4 <i>Recuperación de Desastre y Despliegue Temporal</i> .....	27
1.1.4.6 Ventajas de la comunicación óptica de espacio libre frente a otras alternativas .....	28
1.1.4.7 Comportamiento FSO.....	28
1.1.5 MEDIO DE TRANSMISIÓN FSO .....	29
1.1.5.1 Características del Medio de Transmisión.....	29
1.1.5.1.1 <i>Índice de Refracción</i> .....	29
1.1.5.2 Problemas del medio de transmisión .....	31
1.1.5.2.1 <i>La niebla</i> .....	31
1.1.5.2.2 <i>La absorción</i> .....	32
1.1.5.2.3 <i>Esparcimiento</i> .....	32
1.1.5.2.4 <i>Obstrucciones físicas</i> .....	33
1.1.5.2.5 <i>Actividad de construcción, oscilación sísmica</i> .....	33
1.1.5.2.6 <i>La vacilación</i> .....	34
1.1.5.2.7 <i>Seguridad Ocular</i> .....	34
<b>CAPÍTULO 2.</b> .....	<b>35</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>35</b>
2.1 ANÁLISIS DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Y DE LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE QUITO.....	36
2.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL .....	36
2.1.2 INFRAESTRUCTURA GENERAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL .....	39
2.1.2.1 Topología de Red .....	39
2.1.2.2. Elementos Activos de la Red.....	40
2.1.2.3. Elementos Pasivos de la Red .....	41
2.1.2.4. Jerarquía de Red .....	43
2.1.2.4.1. <i>Capa de Núcleo</i> .....	44
2.1.2.4.2 <i>Capa de Distribución</i> .....	45
2.1.2.4.3. <i>Capa de Acceso</i> .....	46
2.1.3 CONEXIÓN GENERAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL .....	49
2.1.3.1 Descripción de los Nodos de la red .....	51
2.1.3.1.1 <i>Switches de Core</i> .....	51
2.1.3.1.1.1 <i>Switch de Core de la Unidad de Gestión de la Información</i> .....	51
2.1.3.1.1.2 <i>Switch de Core de Química</i> .....	52
2.1.3.1.2 <i>Switches de Distribución</i> .....	53
2.1.3.1.2.1 <i>Switch de Distribución de Civil</i> .....	53
2.1.3.1.2.2 <i>Switch de Distribución de la Unidad de Gestión de Información</i> .....	54
2.1.3.1.2.3 <i>Switch de Distribución de Eléctrica</i> .....	55
2.1.3.1.2.4 <i>Switch de Distribución de Mecánica</i> .....	55

2.1.3.1.2.5 <i>Switch de Distribución de Sistemas</i> .....	56
2.1.3.1.3 <i>Switches de Acceso</i> .....	56
2.1.4 TRÁFICO DE RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.....	58
2.1.4.1 Tráfico medido entre los Switches de Core.....	58
2.1.4.4 Tráfico Total de Salida hacia el proveedor de Internet .....	61
2.1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO A NOVIEMBRE DEL 2007 .....	62
2.1.5.1 Infraestructura general de la red del Observatorio Astronómico .....	63
2.1.5.2 Conexión general de la red del Observatorio Astronómico .....	65
2.1.5.3 Tráfico de la red del Observatorio Astronómico.....	66
<b>CAPÍTULO 3.</b> ....	<b>68</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>68</b>
3.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	69
3.1.1 REQUISITOS DE LAS REDES DE ÁREA LOCAL (LAN).....	69
3.1.1.1 Tráfico Medido Actual .....	70
3.1.1.2 Distancias de los Enlaces y existencia de Línea de Vista.....	71
3.1.1.2.1 <i>Cálculo de las Distancias de los Enlaces Inalámbricos Ópticos</i> .....	75
3.1.1.2.1.1 <i>Enlace Unidad de Gestión de la Información (cugi) y Química (cquímica)</i> .....	75
3.1.1.2.1.2 <i>Enlace Unidad de Gestión de la Información (cugi) y Civil (dcivil)</i> .....	77
3.1.1.2.1.3 <i>Enlace Química (cquímica) y Sistemas (dsistemas)</i> .....	79
3.1.1.2.1.4 <i>Enlace Química (cquímica) y Eléctrica (deléctrica)</i> .....	80
3.1.1.2.1.5 <i>Enlace Química (cquímica) y Mecánica (dmecánica)</i> .....	81
3.1.1.2.1.7 <i>Distancias Reales de los Enlaces Inalámbricos Ópticos</i> .....	86
3.1.1.3 Topología de Red .....	87
3.1.1.3.1 <i>Topología de Bus</i> .....	88
3.1.1.3.2 <i>Topología en Anillo</i> .....	88
3.1.1.3.3 <i>Topología en Árbol</i> .....	88
3.1.1.3.4 <i>Topología en Estrella</i> .....	89
3.1.1.3.5 <i>Topología en Estrella Extendida</i> .....	89
3.1.1.3.6 <i>Topología en Malla</i> .....	90
3.1.1.3.7 <i>Topología Seleccionada</i> .....	90
3.1.2 PROPAGACIÓN DE LÍNEA DE VISTA .....	92
3.1.2.1 Influencia del medio ambiente en la propagación.....	92
3.1.2.1.1 <i>Absorción atmosférica</i> .....	92
3.1.2.1.2 <i>Dispersión atmosférica</i> .....	92
3.1.2.1.2.1 <i>Dispersión Rayleigh</i> .....	93
3.1.2.1.2.2 <i>Dispersión Mie</i> .....	93
3.1.2.1.3 <i>Cintilación atmosférica</i> .....	93
3.1.2.1.4 <i>Atmósfera de la Tierra</i> .....	93
3.1.2.1.4.1 <i>Composición atmosférica</i> .....	94
3.1.2.1.4.2 <i>Aerosoles</i> .....	95
3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FSO .....	95
3.1.3.1 Análisis .....	95
3.1.4 DISEÑO DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS ÓPTICOS .....	96
3.1.4.1 Potencia de emisión de la señal y Sensibilidad del Receptor.....	96
3.1.4.2 Atenuación Geométrica .....	99
3.1.4.3 Atenuación Atmosférica por Niebla.....	103

3.1.4.4 Pérdidas del Sistema.....	110
3.1.4.4.1 Pérdidas de Equipos.....	110
3.1.4.4.2 Pérdidas en Conectores.....	111
3.1.4.4.3 Pérdidas en Fibra Óptica.....	112
3.1.4.4.4 Pérdidas por Desalineamiento.....	113
3.1.4.4.5 Pérdidas del Sistema.....	114
3.1.4.5 Margen de Enlace o Link Margin.....	115
3.1.5 ESQUEMA DE RED PROPUESTO.....	118
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>123</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>123</b>
4.1 CONSIDERACIONES DEL EQUIPAMIENTO PARA LA COMUNICACIÓN DE ESPACIO LIBRE (FSO).....	124
4.1.1 PRINCIPIOS OPERATIVOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE.....	124
4.1.1.1 Parámetros principales.....	127
4.1.1.1.1 Rango.....	127
4.1.1.1.2 Seguridad.....	127
4.1.1.1.2.1 Peligros del láser.....	127
4.1.1.1.2.2 Concepto de Categorías.....	129
4.1.1.1.2.3 Límites de Emisión Accesible (AEL).....	130
4.1.1.1.2.4 Máxima Exposición Permisible (MPE).....	131
4.1.1.1.3 Tiempo de propagación.....	132
4.1.1.1.3.1 Tiempo de propagación de los enlaces inalámbricos ópticos.....	134
4.1.1.1.4 Recomendaciones de implementación.....	136
4.1.2 PRINCIPIOS TÉCNICOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE.....	138
4.1.2.1 Topologías Redundantes.....	138
4.1.2.2 Árbol de Extensión (Spanning Tree).....	141
4.1.2.2.1 Protocolo Árbol de Extensión - Spanning-Tree.....	142
4.1.3 PRINCIPIOS REGULATORIOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE.....	143
4.1.3.1 La organización de regulación de actividades en radio comunicaciones.....	143
4.1.3.2 Regulación de equipos FSO.....	144
4.1.4 SEGURIDAD EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN EN LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE.....	146
4.1.4.1 Confidencialidad de los datos transmitidos.....	146
4.1.4.2 Técnicas de Confidencialidad.....	148
4.1.4.2.1 Criptografía.....	148
4.1.4.2.2 Criptografía Cuántica.....	149
4.1.4.3 Modulación On/Off Keying.....	150
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>151</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>151</b>
5.1 COSTOS.....	152
5.1.1 COSTO DE INSTALACIÓN DE LA TORRE NECESARIA EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO.....	152
5.1.2 EQUIPOS DE CONECTIVIDAD.....	153
5.1.2.1 Equipo Switch Cisco Catalyst 3560G.....	153

5.1.2.2 Equipos de Óptica de Espacio Libre (FSO).....	154
5.1.2.2.1 Equipos FSO para el establecimiento de los enlaces dentro del campus de la EPN.....	155
5.1.2.2.2 Equipos FSO para el establecimiento de la conexión con el Observatorio Astronómico.....	156
5.1.2.2.3 Valores totales de equipos FSO .....	157
5.1.2.3 Conectores y Fibra Óptica .....	157
5.1.2.3.1 Conectores .....	157
5.1.2.3.2 Segmentos de Fibra Óptica .....	158
5.1.3 LICENCIAS .....	159
5.1.4 COSTO DE SOLUCIÓN DE LOS ENLACES FSO (ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE) .....	160
5.1.4.1 Costos de los Enlaces FSO en la Escuela Politécnica Nacional.....	160
5.1.4.2 Costo del Enlace FSO entre la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico .....	162
5.1.4.3 Costos Totales de la Red Inalámbrica de Óptica de Espacio Libre (FSO)...	163
5.1.5 COSTOS DE SOLUCIÓN POR FIBRA ÓPTICA .....	163
5.1.5.1 Costos de Enlaces de Fibra Óptica en la Escuela Politécnica Nacional.....	163
5.1.5.2 Costo de Enlace con Fibra Óptica con el Observatorio Astronómico.....	165
5.1.5.3 Costos Totales de Solución por Fibra Óptica .....	166
5.1.5.4 Comparación de Costos entre las Soluciones Inalámbrica Óptica FSO y la Solución Cableada de Fibra Óptica. ....	166
<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>167</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	167
6.2 RECOMENDACIONES .....	175

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## RESUMEN

El presente trabajo contiene el diseño de una red inalámbrica óptica, de tecnología FSO (Free Space Optics – Óptica de Espacio Libre), que es propuesta como una alternativa para establecer caminos redundantes de comunicación en la red de la Escuela Politécnica Nacional; y adicionalmente permitir la implementación de un enlace con la red del Observatorio Astronómico propiedad de la EPN ubicado en el parque la Alameda.

En el desarrollo del contenido de la presente tesis se expone la teoría concerniente a las comunicaciones ópticas, enfocándonos sobre la óptica de espacio libre que es la tecnología utilizada para el diseño de los enlaces.

El capítulo correspondiente al diseño detalla seis enlaces inalámbricos ópticos, de los cuales cinco corresponden a enlaces dentro del campus de la EPN, y un enlace adicional externo para la conexión con el Observatorio Astronómico.

Los enlaces dentro del campus conectarán los edificios que contienen los switches de Core y Distribución, que son los niveles primarios de conectividad siguiendo la topología en estrella extendida que actualmente se encuentra implementada en la Polired. El enlace con el Observatorio Astronómico representa la creación de un nuevo nivel de distribución a la actual jerarquización de la red de la EPN.

También se calculan valores estimados de los costos que implicarían la implementación de la red FSO diseñada en el presente trabajo.

Los requerimientos técnicos y de seguridad de los equipos se analizan para conocer las ventajas y desventajas que plantea el uso de esta tecnología como medio de acceso. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del tema planteado.

## PRESENTACIÓN

Los métodos de comunicación óptica han existido en una muy primitiva forma por milenios. Las Telecomunicaciones, las cuales fueron exclusivamente ópticas en un principio, empezaron a finales del siglo 18 con la aparición del telegrama óptico. Por años, la comunicación inalámbrica óptica ha permitido comunicarse a grandes distancias, sin embargo, la calidad del servicio ha sido deficiente debido a la falta de confiabilidad en el método de transmisión así como en los equipos transmisores y receptores.

La electricidad, cargas eléctricas en movimiento a través de cobre, reemplazó rápidamente a la comunicación óptica, fotones en movimiento a través del aire; la información puede ser transmitida sobre líneas de cobre a tasas relativamente altas y aún en la actualidad la comunicación basada en enlaces de cobre continúa siendo explotada, tanto así que el cobre se ha constituido por décadas como el material por excelencia para establecer enlaces que permitan la transmisión de información alrededor del mundo.

La invención del láser en 1960, preparó el camino para la otra solución usada actualmente, la fibra óptica la cual ofrece casi una ilimitada capacidad en la línea de transmisión. Los siguientes descubrimientos entre 1970 y 1971, como la baja atenuación óptica de las fibras, y la emisión de láseres semiconductores de manera continua en un material; permitieron la explosión de la de las telecomunicaciones ópticas cableadas. El vidrio se estableció como el medio de transmisión para los fotones, y las fibras de vidrio pueden extenderse sobre grandes distancias, convirtiéndose en un medio integral e indispensable para las actuales comunicaciones de larga distancia.

Para cortas distancias, la denominada “última milla”; muchas y diferentes técnicas cableadas e inalámbricas compiten. Las basadas en electricidad sobre un medio de cobre (xDSL), fibra óptica, radio (GSM, UMTS, WiFi, etc.) y ahora la “comunicación óptica de espacio libre”. Cada una de estas técnicas presenta

distintas ventajas y desventajas relacionadas con la tasa de transmisión, las distancias de transmisión, calidad de servicio y costos.

Los enlaces atmosféricos ópticos representan un medio de transmisión inalámbrico que ofrece altas tasas de transmisión (Gbits/s) a cortas distancias (varios metros hasta pocos kilómetros). El principio de los enlaces atmosféricos es el uso de la interconexión inalámbrica para permitir la comunicación entre teléfonos digitales, equipos procesadores de datos o redes de video, conexiones con altas tasas de transmisión en cortas distancias, dentro de redes de un limitado dimensionamiento, como pequeñas empresas, universidades, etc.

El uso de enlaces atmosféricos ópticos presenta algunas ventajas que hace de su implementación atractiva, una de ellas tiene que ver con el aspecto regulatorio, por ejemplo y en contraste con los enlaces de radio no se requiere de ninguna autorización para el uso de frecuencias. También se tienen razones económicas, como la implementación de enlaces inalámbricos de manera más fácil, rápidos y menos costosos que enlaces cableados.

La comunicación inalámbrica óptica presentada en el presente trabajo, utilizada equipos de fabricantes que operan en el espacio libre a 1,5 micrómetros, longitud de onda que incluye ventajas como seguridad ocular, gran disponibilidad de componentes industriales, la posibilidad de continuar con la operación de otros sistemas de comunicación basados en fibra óptica (operan también a 1,5 micrómetros) y una menor sensibilidad a disturbios inducidos por el ambiente como el sol, diferentes condiciones de iluminación, controles remotos, etc.

El objetivo es mostrar como la comunicación óptica de espacio libre, que poco a poco se convierte en una parte esencial de la arquitectura de las telecomunicaciones, puede implementar un medio de transmisión redundante para la red de la Escuela Politécnica Nacional (Polired) y adicionalmente permitir la interconexión con el Observatorio Astronómico, un departamento importante de la EPN que no se encuentra conectado a la Polired de ninguna manera en la actualidad.

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se definen los conceptos básicos sobre la teoría de comunicaciones ópticas. Se empieza describiendo el concepto de onda electromagnética, luego el de la radiación infrarroja del láser, y finalmente se explica los conceptos y funcionamiento del sistema inalámbrico óptico FSO (Free Space Optics - Óptica de Espacio Libre).

El sistema inalámbrico óptico (FSO), será el que se aplique para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos que permitirán la conexión de las facultades de la Escuela Politécnica Nacional, y adicionalmente establecerán un enlace con el Observatorio Astronómico ubicado en el parque de la Alameda.

También se definirán las características del sistema FSO, los parámetros de transmisión y los fenómenos ambientales que pueden afectar el desempeño de los enlaces.

Toda esta información nos ayudará a entender el modo de funcionamiento de las transmisiones ópticas en espacio libre, conocer las ventajas y desventajas de esta alternativa de medio de transmisión respecto a otros medios guiados e inalámbricos.

La incursión en este tipo de tecnología abre un panorama muy amplio sobre lo que son aplicaciones de gran ancho de banda, el poder adaptarlas hacia las necesidades actuales constituye un reto, y presenta nuevas expectativas de superación de la forma en que se cursará la información en un futuro inmediato.

## 1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Se conoce como onda electromagnética a la forma de propagación de la radiación electromagnética<sup>1</sup> a través del espacio. Conocida también como pulso lumínico elemental, la onda electromagnética es un campo electromagnético<sup>2</sup> propagándose.

Los haces lumínicos están conformados por diversos pulsos lumínicos elementales. Cada pulso lumínico es un único campo magnético en propagación o "modo" y su cálculo, viene dado por la solución particularizada a las ecuaciones de Maxwell.

#### 1.1.1.1 Espectro Electromagnético

El Espectro Electromagnético es un conjunto de ondas que comprenden a las ondas con mayor longitud de onda como "las ondas de radio" hasta las que tienen menor longitud de onda como "los rayos gamma". Las unidades más usuales para medirlas son la frecuencia y la longitud de onda, la relación entre ambas es determinada por la ecuación 1.1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

$c = \text{velocidad de la luz} = 300.000\text{km} / \text{s}$

$f = \text{frecuencia}$

$\lambda = \text{longitud de onda}$

---

<sup>1</sup> La radiación electromagnética es la combinación de los campos magnéticos y eléctricos oscilantes, que se pueden propagar a través del vacío para transportar energía de un lugar a otro.

<sup>2</sup> El campo electromagnético es un campo físico que afecta a las partículas con carga eléctrica.

Como se puede apreciar la longitud de onda y la frecuencia de la señal guardan una relación inversamente proporcional.

En la figura 1.1 aparecen varias de las señales del espectro electromagnético, en la cual se puede apreciar hacia el centro y derecha la zona que cubre las actuales comunicaciones ópticas. La región que se suele denominar óptica es la que abarca, aproximadamente, desde los 50 nanómetros (ultravioleta) hasta los 100 micrómetros (región del infrarrojo). A la derecha del visible puede verse la zona del ultravioleta y, más allá, la de los rayos X, los rayos gamma y los cósmicos.

Todas las radiaciones que cubren el espectro electromagnético tienen similares propiedades, por ejemplo, el hecho de que se desplazan por el vacío a la velocidad de la luz ( $c = 300.000 \text{ km/s}$ ); y todas ellas pueden representarse por las ecuaciones de Maxwell<sup>3</sup>.

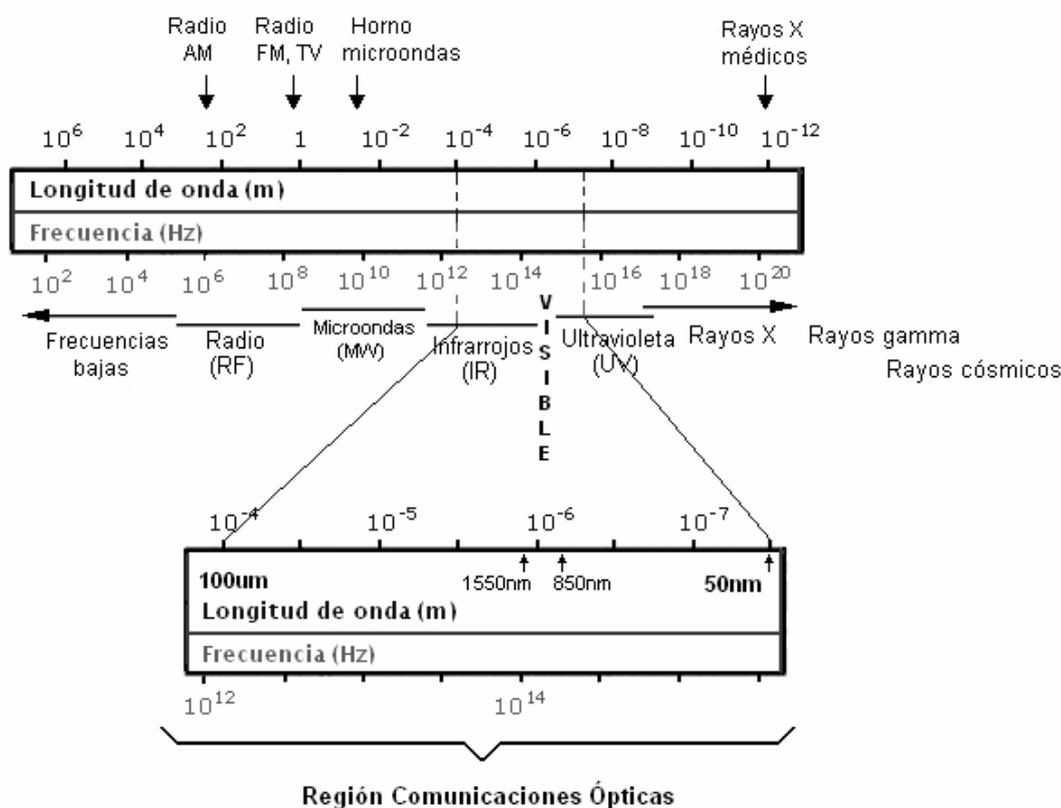


Figura 1.1 Espectro Electromagnético – Región Comunicaciones Ópticas

<sup>3</sup> Las ecuaciones de Maxwell describen los fenómenos electromagnéticos.

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias y pueden clasificarse según su principal fuente de origen.

La tabla 1.1 muestra la clasificación del rango de frecuencias, la descripción y la longitud de la onda.

Los equipos de comunicación óptica por espacio libre (FSO) operan en el rango de los 150 y 500 THz, ubicándose en el rango del infrarrojo, luz visible y ultravioleta.

		<b>Longitud de onda (m)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
<b>Radio</b>	Muy Baja Frecuencia	> 10 Km	< 30 KHz
	Onda Larga	< 10 Km	> 30 KHz
	Onda media	< 650 m	> 650 KHz
	Onda corta	< 180 m	> 1.7 MHz
	Muy alta frecuencia	< 10 m	> 30 MHz
	Ultra alta frecuencia	< 1 m	> 300 MHz
<b>Microondas</b>		< 30 cm	> 1.0 GHz
<b>Infrarrojo</b>	Lejano	< 1 mm	> 300 GHz
	Medio	< 50 $\mu$ m	> 6.0 THz
	Cercano	< 2.5 $\mu$ m	> 120 THz
<b>Luz Visible</b>		< 780 nm	> 384 THz
<b>Ultravioleta</b>	Cercano	< 380 nm	> 789 THz
	Extremo	< 200 nm	> 1.5 PHz
<b>Rayos X</b>		< 10 nm	> 30.0 PHz
<b>Rayos Gamma</b>		< 10 pm	> 30.0 EHz

*Tabla 1.1 Rangos de Frecuencia*

Múltiplos y Submúltiplos					
Unidades de Longitud			Unidades de Frecuencia		
Nombre	Símbolo	Equivalencia(m)	Nombre	Símbolo	Equivalencia(Hz)
Kilómetro	Km	$10^3$	Exahertz	EHz	$10^{18}$
Metro	m	1	Petahertz	PHz	$10^{15}$
Centímetro	cm	$10^{-2}$	Terahertz	THz	$10^{12}$
Milímetro	mm	$10^{-3}$	Gigahertz	GHz	$10^9$
Micrómetro	um	$10^{-6}$	Megahertz	MHz	$10^6$
Nanómetro	nm	$10^{-9}$	Kilohertz	KHz	$10^3$
Picómetro	pm	$10^{-12}$	Hertz	Hz	1

Tabla 1.2 Equivalencia de unidades de longitud y frecuencia

### 1.1.1.2 La luz y el Espectro Visible

La luz es una onda electromagnética, compuesta por partículas energizadas llamadas fotones, capaz de ser percibida por el ojo humano y cuya frecuencia o energía determina su color. La ciencia que estudia las principales formas de producir luz, así como su control y aplicaciones se denomina luminotecnia.

La luz visible (al ojo humano) forma parte de una estrecha franja que va desde longitudes de onda de 380 nm (violeta) hasta los 780 nm (rojo). Los colores del espectro se ordenan como en el arco iris, formando el llamado espectro visible. Espectro que se puede apreciar en la figura 1.2.

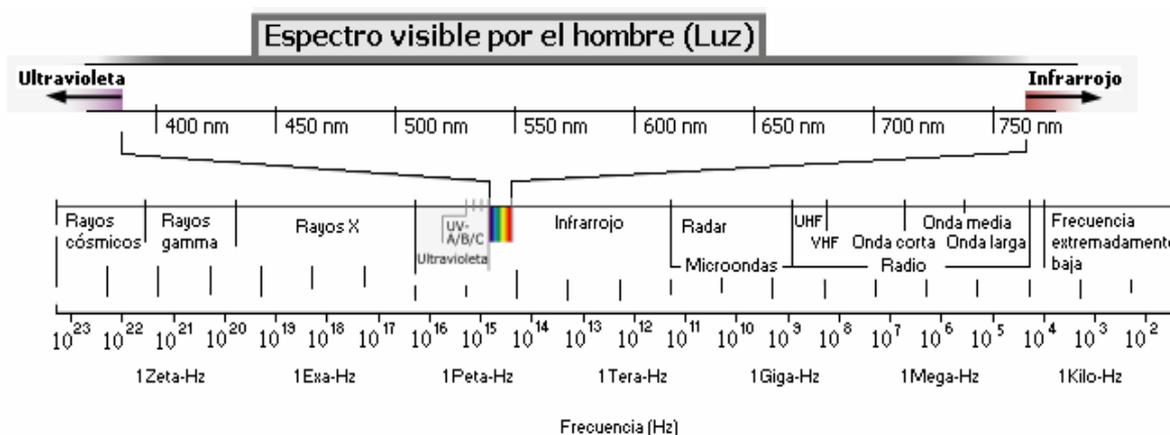


Figura 1.2 Espectro visible

### 1.1.1.3 Radiación Infrarroja

La Radiación Infrarroja, aplicada luego como láser para comunicaciones ópticas, se origina en el rango del infrarrojo del espectro electromagnético, es invisible para el ojo humano y ha sido recientemente utilizada para las comunicaciones ópticas como una alternativa de acceso de gran ancho de banda a redes inalámbricas y cableadas debido a las facilidades que brinda para transmitir información; características que han permitido desarrollar productos para este tipo de aplicaciones.

La figura 1.3 muestra la región del infrarrojo.

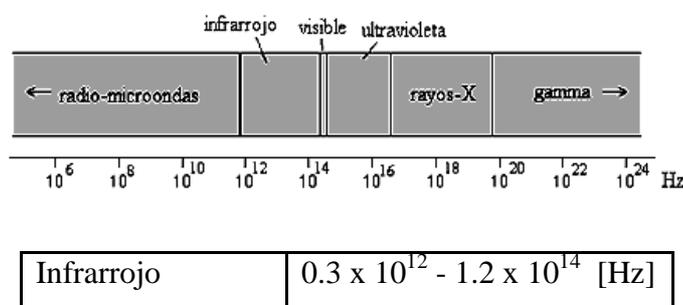


Figura 1.3 Región Infrarrojo

#### 1.1.1.3.1 Propagación Infrarroja punto a punto

La radiación infrarroja punto a punto, se transmite a través del aire en línea recta, en condiciones ideales, los haces invisibles formarían enlaces puntuales sin deformarse con respecto a la fuente origen.

La realidad es que los rayos infrarrojos (láser) no son totalmente puntuales, estos van "abriéndose" conforme van avanzando por el medio, es decir que se produce una divergencia del haz en el sitio de llegada.

Esta divergencia forma un ángulo de apertura que es directamente proporcional al área de cobertura en el extremo remoto, y es inversamente proporcional a la potencia recibida en el receptor del equipo remoto.

### 1.1.1.3.2 Divergencia en la propagación (Láser)

La divergencia del láser como radiación infrarroja, consiste en un aumento del diámetro del haz con la distancia, según el tipo de láser de que se trate. Por lo general, la divergencia del láser se produce con menos de 1 miliradian, lo que supone un aumento del diámetro del haz de menor a 1 milímetro sobre metro.

Debido a su diseño, los láseres semiconductores siempre disponen de un elemento colimador. El mismo que permite reducir la divergencia en los equipos láser; la figura 1.4 muestra un ejemplo de la divergencia del láser.



Figura 1.4 Divergencia del Láser

### 1.1.1.4 Bandas Libres

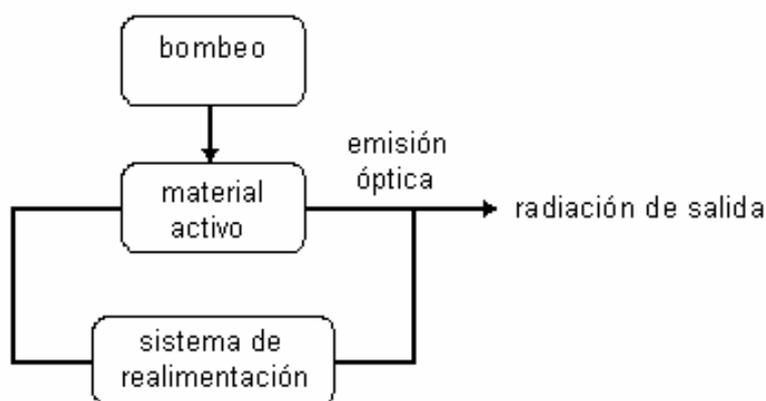
En el espectro electromagnético existen bandas libres, las cuales no se encuentran reguladas y por lo tanto no requieren de licencia de los organismos de control para su utilización. Entre dichas bandas se encuentra la banda no licenciada ISM, que tiene su origen en las aplicaciones para las cuales fue otorgado (Industrial, Scientist, Medical – Industria, Ciencia, Medicina), por la FCC (Federal Communications Comisión – Comisión General de Comunicaciones) en 1980, ocupa actualmente tres bandas de frecuencia: 902 a 928 MHz, 2,4 GHz (2,4 – 2,483 GHz), 5,725 GHz – 5,850 GHz.

En el espectro electromagnético, la región sobre los 3.000 GHz (que incluye el infrarrojo) es de licencia libre mundial, no requiriendo pagos por concesión o licencias a los organismos de control. Característica que hace a la tecnología FSO como una alternativa rentable y atractiva para las comunicaciones del futuro.

## 1.1.2 CONCEPTOS DE COMUNICACIÓN LÁSER

### 1.1.2.1 Planteamientos Básicos

Todo sistema de emisión del tipo láser está compuesto básicamente por los elementos representados en la figura 1.5:



*Figura 1.5 Sistema láser*

Un material activo es bombeado mediante un mecanismo externo característico de cada tipo de láser; mediante dicho bombeo el material pasa a situarse en un estado de excitación. Para salir del mismo se emplea la emisión de radiación óptica a una determinada longitud de onda.

Para que dicha emisión pueda llegar a alcanzar las condiciones requeridas para que pueda ser denominada del tipo láser, es precisa la presencia de algún tipo de realimentación óptica. En la mayor parte de los casos, esta realimentación se consigue mediante el empleo de un resonador tipo Fabry-Perot<sup>4</sup>, ampliamente conocido en óptica desde hace muchos años.

Del resultado de la interacción de ambos fenómenos, el bombeo de un material activo ópticamente y la realimentación, surge la oscilación láser con las características mencionadas.

<sup>4</sup> Resonador básico en la generación láser.

### 1.1.2.2 Resonador de FABRY-PEROT

El concepto del resonador Fabry-Perot puede considerarse en su versión más simplificada como la que aparece en la figura 1.6.

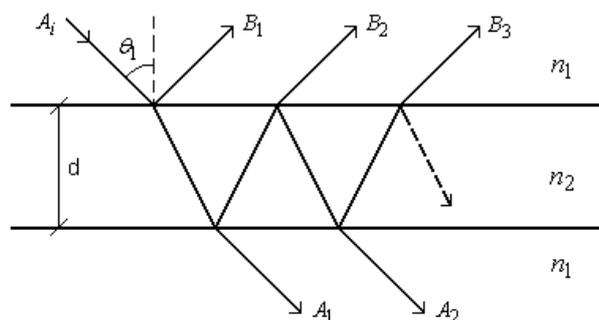


Figura 1.6 Resonador Fabry-Perot

Consiste en un medio de caras planas y paralelas separadas una distancia  $d$ , con un índice de refracción  $n_2$ , e inmerso en otro medio infinito de índice de refracción  $n_1$ . Sobre dicho medio se hace incidir una radiación que forme un ángulo  $\theta_1$  con la normal a las caras, de acuerdo con los conceptos de reflexión y refracción, se creará un conjunto de haces tanto refractados como reflejados  $A_1, A_2, \dots, B_1, B_2, \dots$ , que se muestran en la figura 1.6.

Para valores de retardo de fase periódicos, es decir  $2m\pi$ , se cumple que la intensidad transmitida es igual a la intensidad incidente, sin pérdidas por reflexión; expresión representada por la ecuación 1.2.

$$I_t + I_r = I_i \quad \text{Ecuación 1.2}$$

$$I_t = I_i$$

Donde:

$$I_t = \text{intensidad transmitida}$$

$$I_r = \text{intensidad reflejada}$$

$$I_i = \text{intensidad incidente}$$

Del análisis de las trayectorias seguidas por los haces de reflexión y refracción, se llega a obtener la siguiente expresión, representada por la ecuación 1.3.

$$\lambda_m = \frac{2n_2d}{m} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

$\lambda_m$  = longitud de onda

$m$  = entero

$n_2$  = índice de refracción del medio

$d$  = distancia de separación

En esta expresión se pueden variar los siguientes tres parámetros  $n_2$ ,  $d$  y  $\lambda$ , donde la variación de longitud de onda  $\lambda$  origina los resonadores ópticos (Fabry-Perot) o cavidades láser.

En el caso de que en la ecuación 1.3 se consideren valores constantes para  $n_2$  y  $d$ , el único parámetro variable sería  $\lambda$ ; permitiendo que la cavidad se comporte como un filtro de frecuencias, reflejando aquellas que no cumplan ciertas condiciones. De esta manera se reducen las posibles anchuras de las líneas de emisión de un material y se puede disponer sólo de un limitado número de frecuencias.

Así, es posible inducir una emisión estimulada más intensa en torno a dichas frecuencias y reducir en una magnitud apreciable las del resto. Este es el principio de funcionamiento del láser.

### 1.1.2.3 Condiciones Requeridas para Alcanzar la Oscilación Láser

La oscilación que se denominará láser será alcanzada cuando la ganancia que se alcance en el sistema, generada en este caso a través del mecanismo de emisión estimulada, llegue a ser superior a todas las pérdidas existentes.

Cada material posee una estructura única lo que hace diferentes los niveles de absorción y emisión, tanto espontánea como estimulada; por ello, el primer paso para el estudio de la forma de establecer la oscilación deseada es conocer las características que posee un material.

La manera más directa de conocerlas es a través de la forma que presentan las líneas de emisión del material objeto de interés. De manera general, cada una de ellas posee una estructura similar a la figura 1.7.

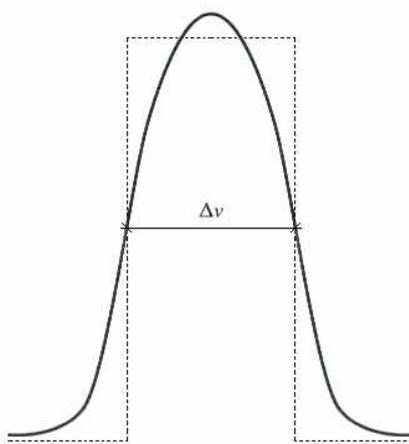


Figura 1.7 Línea de Emisión

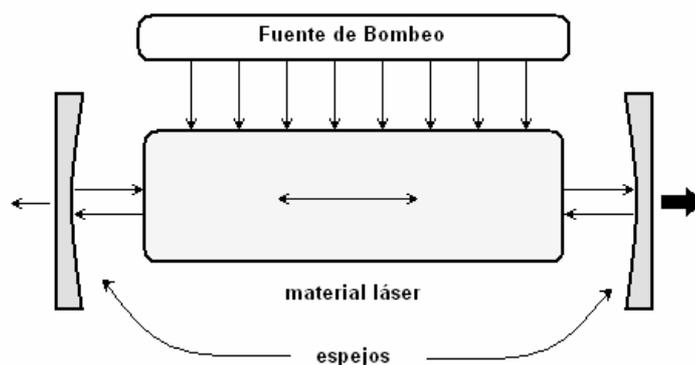
Donde:

$$\Delta\nu = \text{rango de frecuencia}$$

Luego se observa el comportamiento de un haz de radiación óptica con una determinada potencia y se analizan los procesos de absorción y pérdida que tienen lugar en el material.

Para lograr ganancia se necesita que la población de átomos en el material sea mayor a la población en el medio, en esta situación las emisiones estimuladas serán superiores a las absorciones, habrá ganancia y el haz crecerá de manera exponencial.

Si ahora, mediante la introducción del material en un resonador Fabry-Perot, se consigue un mecanismo de realimentación que hace que el haz recorra de forma indefinida un camino de ida y vuelta entre los correspondientes espejos, y, si se logra que la potencia de partida en una de las caras del resonador  $P(0)$ , sea igual o menor que la potencia que regresa al mismo punto, luego de un camino de ida y vuelta, entonces se habrá conseguido la oscilación en el sistema. La figura 1.8 muestra el esquema de un oscilador.



*Figura 1.8 Esquema oscilador*

#### **1.1.2.4 Características de la Radiación Láser**

Las características más importantes del láser son la monocromaticidad, la coherencia temporal, espacial y la direccionalidad.

#### *1.1.2.4.1 Monocromaticidad*

Una radiación electromagnética se denomina monocromática cuando solo esta presente en ella una única frecuencia. Debido a este hecho un análisis en su espectro daría como resultado un único pulso, similar a una delta con una altura infinita. En la realidad debido a un conjunto de factores ese impulso se ensancha llegando a cubrir un cierto margen de longitudes.

El concepto de láser como generador de radiación monocromática es indudable frente a otros tipos de fuente óptica.

#### *1.1.2.4.2 Coherencia temporal y espacial*

Coherencia es la propiedad de mantener determinadas características de radiación óptica durante un tiempo más o menos largo o en distancias más o menos grandes.

La coherencia temporal es conocida como las fluctuaciones de fase que experimenta cualquier fuente óptica, incluido el láser, lo cual se genera porque el conjunto de osciladores idénticos del material, emiten y dejan de emitir su radiación, en instantes distintos de tiempo, generando una emisión más intensa en torno a una frecuencia, pero además, un conjunto de frecuencias a su alrededor generando una cierta anchura de línea.

La coherencia espacial se refiere a la capacidad de que un rayo de luz se mantenga generando una huella de línea intensa de igual característica durante el transcurso del tiempo, de manera que si se coloca junto a otro haz las interferencias constructivas o destructivas sean invariantes.

#### *1.1.2.4.3 Direccionalidad*

El hecho de que un haz láser posea unas características de direccionalidad muy superiores a las de cualquier otra fuente luminosa, se derivan, parcialmente del resonador empleado para la realimentación.

También debe mencionarse que en cualquier haz láser que se estudie, existe el fenómeno de divergencia, el mismo que es inevitable en condiciones naturales.

#### **1.1.2.5 Láser de Semiconductor**

Las características del láser de semiconductor los diferencian significativamente frente a otros tipos de láser, haciendo de éste el componente idóneo para ser empleado en comunicaciones ópticas.

##### *1.1.2.5.1 Láseres Monomodo*

Los láseres monomodo han surgido como una solución evolutiva, para eliminar los modos longitudinales adicionales que se generan en los láseres de tipo Fabry-Perot.

Este tipo de láseres de modo longitudinal único o monomodo, en realidad no emitirán una sola frecuencia sino una línea con una anchura espectral, que aunque reducida, cubrirá un cierto margen de frecuencias.

Los resultados obtenidos con estos láseres en cuanto a su cromaticidad, valores de intensidad óptica de salida, rendimiento y sobre todo su precio; los han puesto en los niveles más idóneos para las necesidades actuales y futuras.

### 1.1.2.5.2 Láseres de Cavity Vertical o VCSEL (VERTICAL CAVITY SURFACE - EMITTING LASERS)

Pertencientes al tipo de láseres monomodo, están configurados de manera que la cavidad resonante se forma gracias a las superficies horizontales de la zona activa. Gracias a esta estructura se puede conseguir que el haz de salida adopte la forma de dichas superficies horizontales, y que la cavidad que ahora tiene la misma altura que la zona activa, pueda llegar a emitir varios órdenes de magnitud menor que la de los láseres conocidos.

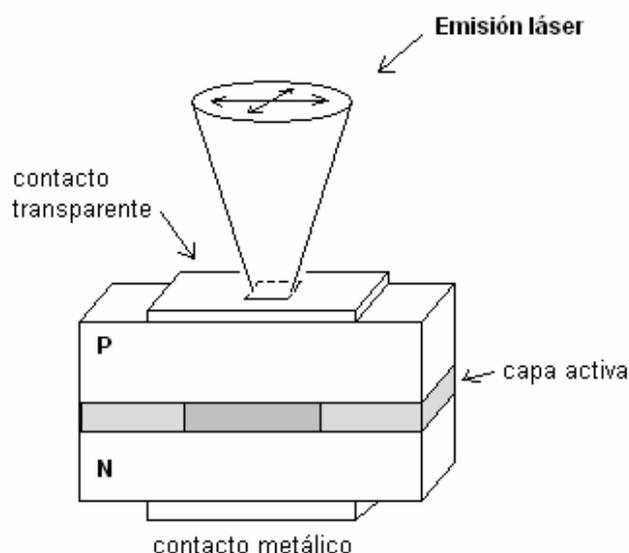


Figura 1.9 Cavity VCSEL

### 1.1.2.5.3 Características de Funcionamiento del VCSEL

En condiciones reales de trabajo, la figura 1.10 muestra las características espectrales del láser VCSEL. Como se puede apreciar para una corriente ligeramente mayor que la corriente umbral (aproximadamente 37 mA), aparece un pico significativo de emisión a 891 nm.

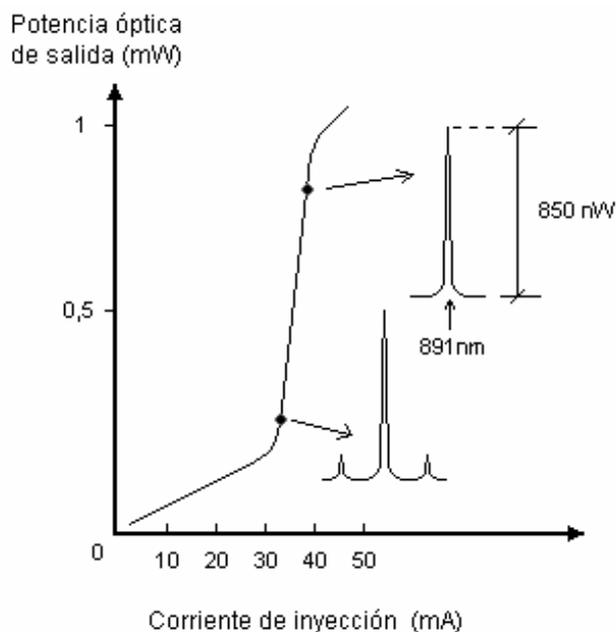


Figura 1.10 Potencia en relación de la corriente

### 1.1.3 SISTEMAS INALÁMBRICOS

#### 1.1.3.1 Redes Inalámbricas

La comunicación inalámbrica, en su modo más sencillo, es la que se realiza sin la participación de cables de interconexión (medios guiados) entre usuarios que necesitan enviar y recibir información.

Las redes inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la disposición física de los terminales cambia continuamente. También las redes inalámbricas son usadas en circunstancias donde el tendido de una red cableada se torna difícil, debido a dificultades de los ambientes geográficos o ambientales, costos elevados de soluciones cableadas y requerimientos de rápida y fácil instalación.

Esta última característica, la facilidad de instalación que las comunicaciones inalámbricas, junto con las prestaciones cada vez más similares a las que ofrecen las redes cableadas; están haciendo que ya no sólo se orienten a solucionar las

necesidades de empresas sino que también sean adaptadas en las comunicaciones personales.

### **Ventajas**

- Las redes inalámbricas permiten a los usuarios moverse libremente sin perder la comunicación dentro del área de cobertura
- Facilidad de instalación, gestión, flexibilidad, ahorro de espacio y costos
- Escalabilidad
- No destruye ambientes frágiles
- Ahorro de costos sobre líneas dedicadas

### **Desventajas**

- Ofrecen velocidades menores de transmisión, en la actualidad es común encontrar tasas en el orden de 11 y 54 Mbits/s
- Problemas de seguridad, la información es susceptible de ser interceptada

#### **1.1.3.2 Clasificación de las Redes Inalámbricas según su Alcance**

Existen dos amplias categorías de Redes Inalámbricas: de larga distancia y de corta distancia.

##### *1.1.3.2.1 Redes Inalámbricas de Corta Distancia*

Redes que son utilizadas principalmente en redes corporativas cuyas puntos de conexión no se encuentran muy retirados entre sí, en uno o varios edificios. Se puede encontrar soluciones que permiten altas velocidades de transmisión.

La comunicación óptica de espacio libre (FSO) puede ser clasificada dentro de esta categoría, ya que actualmente su máximo alcance no supera los 5 kilómetros.

#### *1.1.3.2.2 Redes Inalámbricas de Larga Distancia*

Este tipo de redes son utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden ir desde una ciudad hasta varios países vecinos (mejor conocido como Redes de Área Amplia, WAN por sus siglas en inglés); sus velocidades de transmisión son relativamente bajas.

Existen dos tipos de redes de larga distancia: redes de conmutación de paquetes (públicas y privadas) y redes telefónicas celulares.

Las redes públicas de conmutación de paquetes no tienen problemas de pérdida de señal debido a que su arquitectura está diseñada para soportar paquetes de datos en lugar de comunicaciones de voz. Las redes privadas de conmutación de paquetes utilizan la misma tecnología que las públicas, pero bajo bandas de radio de frecuencias pagadas.

Las redes telefónicas celulares son un medio para transmitir información más costosa respecto a las otras alternativas, esto debido a que los módems celulares son más costosos y delicados que los convencionales ya que permiten mantener la señal aún cuando se cambia entre una celda y otra.

#### **1.1.3.3 Tipos de Redes Inalámbricas**

Podemos clasificarlas en las siguientes categorías según su alcance y aplicación.

##### *1.1.3.3.1 WBAN (Wireless Body Area Network – Red Inalámbrica de Área Corporal)*

Redes que permiten la comunicación inalámbrica de dispositivos ubicados en el cuerpo para el monitoreo y control de los mismos, su aplicación se encuentra mayormente difundida en el campo de la medicina.

#### *1.1.3.3.2 WPAN (Wireless Personal Area Network – Red Inalámbrica de Área Personal)*

Redes inalámbricas de corto alcance, pensadas para ofrecer interconexión de los distintos dispositivos de un mismo usuario; de esta manera se tendrá mayor comodidad para los enlaces y se evitarán los tradicionales cables; se encuentra extendida en las comunicaciones dentro del hogar.

#### *1.1.3.3.3 WLAN (Wireless Local Area Network – Red Inalámbrica de Área Local)*

Permiten la comunicación inalámbrica en un entorno local, de esta manera se puede conectar en unos pocos cientos de metros computadoras o terminales para intercambiar información.

#### *1.1.3.3.4 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network – Red Inalámbrica de Área Metropolitana)*

Redes pensadas para permitir la comunicación inalámbrica en un entorno metropolitano, es decir desde unos cientos de metros hasta varios kilómetros.

Las comunicaciones ópticas de espacio libre se ubican dentro de esta clasificación, razón por la que mencionaremos otras opciones WMAN como son LMDS, MMDS y WiMAX.

##### *1.1.3.3.4.1 LMDS (Local Multipoint Distribution Service – Servicio de Distribución Local Multipunto)*

Tecnología basada en el uso de ondas de radio, donde un emisor central emite señales en un rango aproximado de 5km. Pensado para comunicación entre puntos fijos, no usuarios móviles.

#### 1.1.3.3.4.2 MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service – Servicio de Distribución Multicanal Multipunto*)

Tecnología pensada para la comunicación punto multipuntos fijos, tiene mayor alcance que LMDS.

#### 1.1.3.3.4.3 WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

Conjunto de organizaciones que pensaron en la comercialización del estándar IEEE 802.16, pensada en la cobertura de áreas aproximadas de 40 a 50 km.

#### 1.1.3.3.5 WWAN (*Wireless Wide Area Network – Red Inalámbrica de Área Amplia*)

Redes con cobertura global inalámbrica, basados en la tecnología celular que en muchos países, incluido el nuestro, han tenido una gran desarrollo; esta evolución en el mercado es debido a la mejora de sus prestaciones y en algunos casos a la disminución en sus costos. La tabla 1.2 muestra un resumen de las características más importantes de las redes citadas anteriormente.

	<b>WPAN</b>	<b>WLAN</b>	<b>WMAN</b>	<b>WWAN</b>
<b>Estándares</b>	Bluetooth/ Infrared	802.11 a, 11 b, 11 g HiperLAN2	802.11, MMDS, LMDS	GSM, GPRS, CDMA, 2.5 – 3G
<b>Ancho de Banda</b>	< 1 Mbits/s	2 a 54 Mbits/s	22 Mbits/s	9.6 a 384 Kbits/s
<b>Alcance</b>	Corto Muy Corto	Medio	Medio Largo	Largo
<b>Aplicaciones</b>	Domésticas, PDA's, Entorno Oficina	Redes Corporativas	Interconexión de redes Corporativas	Telefonía móvil, celular, satélite, Redes Radio Terrestre, GPS

Tabla 1.3 Redes Inalámbricas<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Tabla tomada de los apuntes de la materia de Comunicaciones Inalámbricas.

### 1.1.3.4 Topologías de redes Inalámbricas

Las topologías que se implementan en las redes inalámbricas pueden ser del tipo infraestructura y tipo ad-hoc.

#### 1.1.3.4.1 Infraestructura

Este tipo de redes tiene un dispositivo que hace las funciones de un servidor centralizado para interconectar inalámbricamente varios dispositivos terminales.

#### 1.1.3.4.2 Ad-hoc

Es una red punto a punto, en donde no existe un dispositivo que cumpla las funciones de un servidor centralizado.

La figura 1.11 muestra la disposición general de las topologías mencionadas.

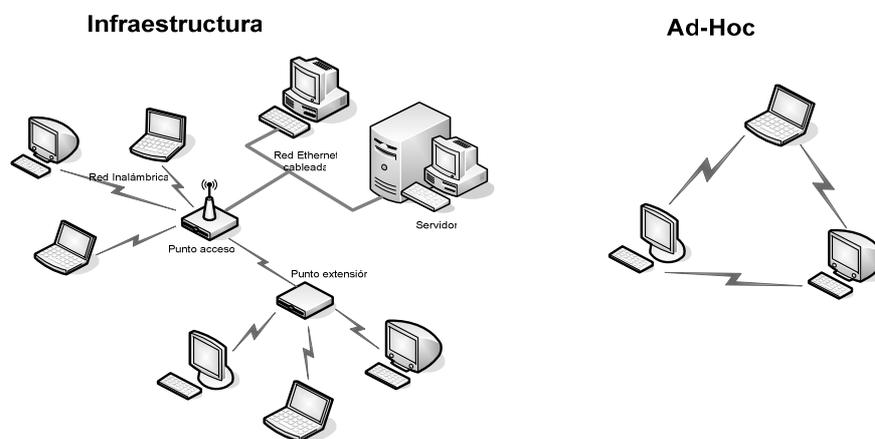


Figura 1.11 Topologías de Redes Inalámbricas<sup>6</sup>

Los enlaces inalámbricos ópticos se catalogan dentro de la topología de tipo ad-hoc, ya que no se tiene ningún equipo FSO que cumpla el rol de un concentrador o dispositivo central. Los equipos FSO establecen un medio de transmisión o un camino redundante según sea el caso.

<sup>6</sup> Figurada consultada de los apuntes del folleto correspondiente a la materia de Telemática.

## **1.1.4 DEFINICIÓN DE SISTEMAS INALÁMBRICOS DE ESPACIO LIBRE FSO (FREE SPACE OPTICS - ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE)**

### **1.1.4.1 Definición de Óptica de Espacio Libre (FSO)**

La tecnología Free Space Optics (FSO) se basa en la transmisión de señales ópticas en el espacio, que forman enlaces puntuales para conectar redes en áreas metropolitanas densamente pobladas.

Es gracias a su tecnología láser que incorpora una nueva alternativa a las formas de conexión de capa física, siendo transparente al protocolo y ancho de banda.

Los transmisores láser envían una señal modulada hacia los receptores de forma segura (“eye safe”) y confiable (“carrier class”), permitiendo conectar redes que se encuentran separadas desde unos pocos metros hasta 4 o 5 kilómetros.

Los sistemas que utilizan la tecnología FSO son de lo más aplicados hoy en día para cubrir las necesidades de conexión hacia la última milla, interconexión de puntos, respaldo de enlaces, redes ópticas, etc.

### **1.1.4.2 Breve Reseña Histórica**

Originalmente desarrollado por el ejército de los Estados Unidos y la NASA<sup>7</sup>, FSO se ha usado por más de tres décadas en varias formas para proporcionar enlaces de comunicación rápidos en localizaciones remotas. Los científicos principales estaban en los laboratorios desarrollando sistemas prototipo FSO en Alemania a finales de 1960, incluso antes del advenimiento del cable de fibra óptica.

---

<sup>7</sup> La NASA (National Aeronautics and Space Administration) es una organización del gobierno de los Estados Unidos que tiene como misión investigar, planificar y dirigir todas las actividades aeronáuticas y espaciales del país.

Las primeras publicaciones FSO, ocurrieron en Berlín, Alemania, en el periódico Nachrichtentechnik, en junio de 1968 por el Dr. Erhard Kube, quien ha sido ampliamente considerado al padre de la "tecnología FSO".

Mientras las comunicaciones de fibra óptica ganaron la aceptación mundial en la industria de las telecomunicaciones, las comunicaciones de FSO todavía son consideradas relativamente nuevas.

#### **1.1.4.3 Características del FSO**

Esta tecnología de acercamiento de línea de vista usa haces invisibles de luz (infrarrojo cercano) para proveer conexiones ópticas de banda ancha. Es capaz de enviar simultáneamente información de datos, voz, y video a una tasa sobre los 1.25 Gbits/s través del aire, sin la necesidad de requerir fibra óptica.

Esto permite comunicaciones ópticas a gran velocidad que pueden ser aprovechadas por distinto tipos de empresas.

Esta conectividad óptica no requiere del cable de fibra óptica o de licencias para el uso del espectro electromagnético, como las soluciones de radiofrecuencia (RF). La tecnología de comunicación óptica de espacio libre solo requiere como medio de transmisión el espacio libre.

El uso de la luz es un concepto simple muy similar a las transmisiones ópticas que usan los cables de fibra óptica; la única diferencia radica en el medio de transmisión. En las comunicaciones ópticas de espacio libre la luz viaja a través del aire más rápido que si lo hiciera a través de vidrio, entonces es justo clasificar la tecnología FSO como comunicaciones ópticas de gran velocidad.

#### 1.1.4.4 Funcionamiento del FSO

Las comunicaciones ópticas de espacio libre (FSO) son sorprendentemente simples. Están basadas en la conectividad entre unidades inalámbricas ópticas, las cuales constan de un transceptor óptico, que incluyen un transmisor (láser) y un receptor (fotodetector) para proveer capacidad full-dúplex (bidireccional).

Cada unidad inalámbrica óptica usa una fuente óptica, más una lente o telescopio que transmiten la luz a través de la atmósfera a otra lente que recibe la información. En este punto, la lente receptora o telescopio se conecta a un receptor de alta sensibilidad vía fibra óptica.

La señalización óptica con láseres es inherentemente unidireccional, de manera que cada edificio necesita su propia unidad inalámbrica óptica.

La figura 1.12 muestra una conexión inalámbrica óptica entre dos sitios.

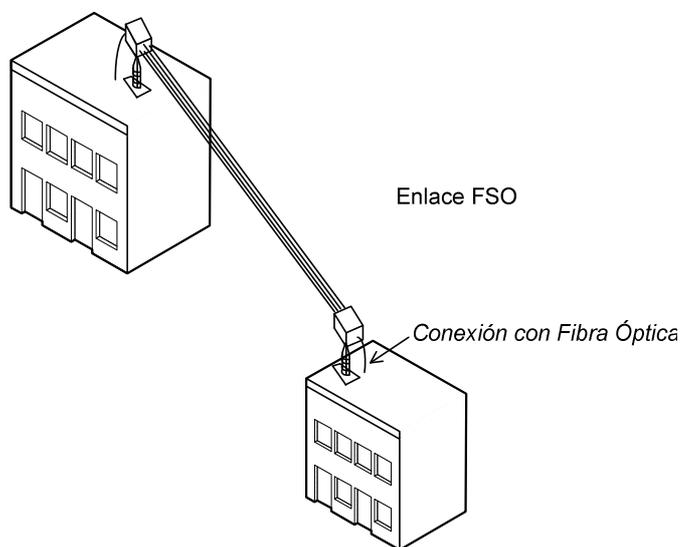


Figura 1.12 Gráfico de Conexión FSO

En la figura 1.12 se muestran los equipos FSO en la terraza de los sitios que desean comunicarse; sin esto ser un requisito indispensable, ya que los dispositivos pueden colocarse detrás de las ventanas de oficinas o departamentos que requieran establecer estos enlaces.

### 1.1.4.5 Aplicaciones FSO

#### 1.1.4.5.1 Redes Empresariales

Las soluciones FSO empresariales están disponibles para muchos tipos de interfaz sobre una amplia gama de anchos de banda. Tradicionalmente FSO se ha desplegado en soluciones punto a punto, sin embargo, cada vez más las organizaciones están aprovechándose de la flexibilidad y fiabilidad de la tecnología para crear arquitecturas de red más complejas.

#### 1.1.4.5.2 Comunicación LAN a LAN

Las comunicaciones ópticas de espacio libre (FSO) pueden lograr conectividad bidireccional (full duplex) y velocidades de redes cableadas manteniendo la infraestructura de conectividad LAN a LAN.

Este es el objetivo del presente proyecto de titulación, mediante el diseño de enlaces inalámbricos ópticos entre las facultades de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico.

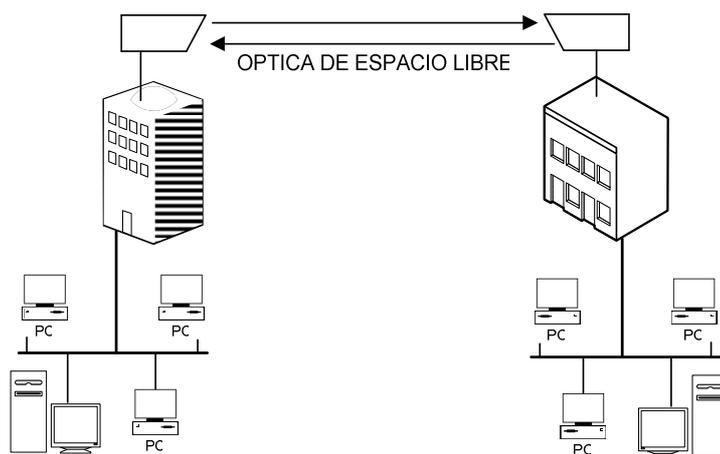


Figura 1.13 Comunicación LAN a LAN

Las soluciones de conectividad cableadas incluyen costosos circuitos arrendados de operadores de telefonía, cable fijo, soluciones inalámbricas como microonda licenciada o IEEE 802.11b; mismos que tienen problemas de disponibilidad de espectro electromagnético y de seguridad. Inconveniente último mencionado, que se supera en las comunicaciones ópticas de espacio libre al utilizar láseres y el aire como medio de transmisión para lograr un ensanchamiento del haz divergente muy bajo en relación con los sistemas de radio frecuencia y microonda.

#### 1.1.4.5.3 Infraestructura de Banda Ancha

FSO es una tecnología que permite entregar acceso de verdadera banda ancha y así permitir la comunicación entre varios sitios remotos y un sitio central para acceder a los recursos de una red. Todo esto lo puede hacer ya sea como un camino redundante de apoyo a la infraestructura actual o como el portador principal (backbone) de la red.

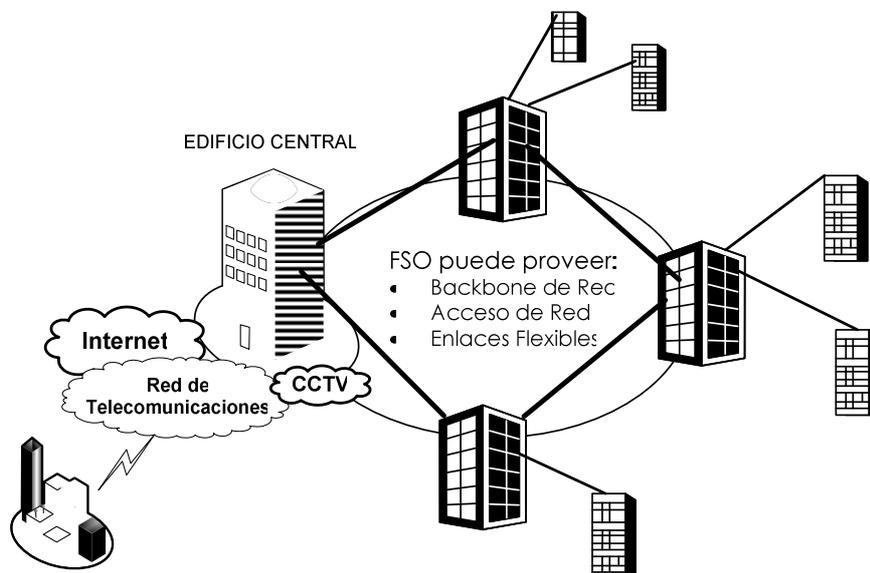
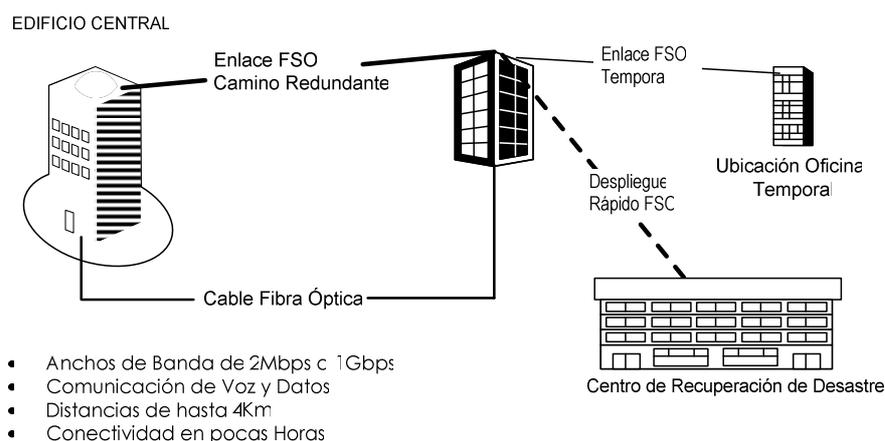


Figura 1.14 Infraestructura Banda Ancha

#### 1.1.4.5.4 Recuperación de Desastre y Despliegue Temporal

La habilidad para recuperarse rápida y fácilmente de todo tipo de desastre es importante a corto y largo plazo para que las redes sean lo más confiables posibles. Cuando se presenta un inconveniente en el funcionamiento de una red, se espera que el tiempo de inactividad sea el menor posible; por ello la transparencia y velocidad de recuperación que una red tenga frente a un desastre se convierte en un factor importante de consideración.

Debido a que opera con licencia libre y tiene procedimientos simples de instalación, la tecnología FSO se convierte en una alternativa ideal para proporcionar infraestructura instantánea que restaure la conectividad de una red que ha sufrido una interrupción en la transmisión de su información.



*Figura 1.15 Recuperación de desastres y despliegue temporal*

La figura 1.16 muestra el despliegue de enlaces FSO que actúan como caminos redundantes para una red que ha sufrido un daño en su cable de fibra óptica.

#### **1.1.4.6 Ventajas de la comunicación óptica de espacio libre frente a otras alternativas**

Las ventajas que presenta la comunicación óptica de espacio libre son las siguientes:

- Rapidez y facilidad de instalación
- Eliminación de la necesidad de instalar cable alguno o fibra óptica; así como contratar enlaces con empresas de telecomunicaciones
- No requiere licencia para el uso del espectro electromagnético, a diferencia de algunas soluciones como las microondas
- Arquitectura altamente modular y escalable ya que sus equipos de comunicación constan de interfaces estándares y abiertas
- Inmune a la interferencia de radiofrecuencia
- Los equipos pueden instalarse detrás de las ventanas, eliminando la necesidad de pagar costosos derechos por el uso de terrazas
- Capacidad de transmisión extensible
- Alta calidad y servicios fiables

#### **1.1.4.7 Comportamiento FSO**

El rango de longitud de onda que se usa en los sistemas de transmisión inalámbricos ópticos, es el mismo rango de longitud de onda usado en los sistemas de transmisión de cable de fibra óptica. Dicho rango de longitud de onda se traduce en frecuencias de varios cientos de terahertz (THz).

Estas frecuencias son significativamente superiores que las frecuencias más altas usadas en sistemas de comunicaciones de microonda, que operan a alrededor de 40 GHz. Esta diferencia en la frecuencia de funcionamiento es una de las razones principales por qué los sistemas inalámbricos ópticos se los considera primero en la categoría de equipos de sistemas de comunicación ópticos en lugar de inalámbricos.

La tecnología óptica inalámbrica basada en la transmisión en el espacio libre, reúne características como la velocidad de fibra óptica junto con la flexibilidad inalámbrica. Esto permite a la transmisión óptica alcanzar velocidades de transmisión sobre los 1.25 Gbits/s y, en el futuro, es capaz de llegar a velocidades de 10 Gbits/s usando WDM (Wavelength Division Multiplexing – Multiplexación por División de Longitud de Onda). Esto no es posible con cualquiera de las tecnologías inalámbricas fijas o de radiofrecuencia.

### **1.1.5 MEDIO DE TRANSMISIÓN FSO**

El espacio libre (aire) es el medio de transmisión empleado en las comunicaciones ópticas (FSO), por lo tanto es de gran importancia analizar las características del medio de transmisión para tener en cuenta que fenómenos atmosféricos pueden afectar la calidad de la transmisión.

#### **1.1.5.1 Características del Medio de Transmisión**

##### *1.1.5.1.1 Índice de Refracción*

Se define el índice de refracción de un medio, como la relación existente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio cualquiera.

Su cálculo se realiza de acuerdo a la ecuación 1.4.

$$N_x = \frac{C_o}{C_x} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

*N<sub>x</sub> = Índice de refracción del medio*

*C<sub>o</sub> = Velocidad de la luz = 300.000km/ s*

*C<sub>x</sub> = Velocidad de la luz en el medio*

Por tanto, de acuerdo a la ecuación 1.4 el índice de refracción del vacío, sería:

$$N_0 = \frac{C_0}{C_0} = 1$$

$N_0 =$  Índice de refracción del vacío

La propagación de una onda lumínica por un medio de transmisión con un índice de refracción  $N_x$ , superior al del vacío, produce una disminución en la velocidad de propagación de dicha onda lumínica. El cálculo de la velocidad de propagación de una onda lumínica, viene dado por el despeje de la ecuación 1.4.

$$C_x = \frac{C_0}{N_x}$$

Para el presente trabajo, el índice de refracción del medio de transmisión (aire) es 1,00029 en condiciones normales de presión y temperatura. Razón por la cual se considera el valor aproximado de 1.

La tabla 1.4 muestra los valores de índice de refracción de algunos elementos.

Material	Índice de refracción
Vacío	1,00000
Aire <sup>8</sup>	1,00029
Agua (a 20°C)	1,333
Diamante	2,417
Acetona	1,36
Alcohol etílico	1,36
Glicerina	1,473

Tabla 1.4 Índices de Refracción

<sup>8</sup> Índice de refracción del aire en condiciones normales de presión y temperatura (abreviado CNPT) o presión y temperatura normales (abreviado PTN), son términos que implican que la temperatura referenciada es de 0°C (273,15 °K) y la presión de 1 atmósfera (definida como 101.325 Pascales).

### **1.1.5.2 Problemas del medio de transmisión**

La transmisión de información por el cable de fibra óptica y por el espacio libre (comunicación óptica FSO), comparten muchos atributos pero enfrentan diferentes desafíos; esto debido a la diferente manera en que transmiten la información.

Mientras la fibra óptica está sujeta a las perturbaciones externas de construcciones y problemas físicos causados por roedores, roturas, cortes, actos vandálicos, etc.; la comunicación óptica por el espacio libre se ve afectada por fenómenos climáticos.

Esta es la razón para que las redes inalámbricas ópticas se diseñen tomando en cuenta los fenómenos atmosféricos que afectan una determinada zona donde se piense implementar el sistema FSO.

Además se debe tener a consideración que el sistema FSO requiere de la obligada presencia de línea de vista entre los sitios donde se instalen los dispositivos de comunicación óptica de espacio libre.

Entre los problemas a ser considerados para la implementación de los sistemas inalámbricos ópticos se tienen los siguientes.

#### *1.1.5.2.1 La niebla*

El principal desafío en las comunicaciones basadas en FSO, es la niebla densa, la lluvia y nieve tienen un pequeño efecto en los sistemas FSO.

La niebla es vapor compuesto de gotas de agua que tienen sólo unos pocos cientos de micras de diámetro, pero pueden modificar las características de la luz e impedir parcial o completamente su transmisión a través de una combinación de efectos como son la absorción, esparcimiento, y reflexión.

Para superar los inconvenientes que provocan la presencia de niebla en ambientes donde se busca implementar sistemas de transmisión inalámbrica óptica, se dispone de dispositivos FSO que agregan redundancia a la red; por ejemplo, existen equipos que disponen de hasta cuatro transmisores láser y cuatro receptores que aumentan notablemente la confiabilidad de la comunicación.

Como ejemplo se tiene que ciudades como San Francisco en los Estados Unidos han logrado implementar exitosos sistemas de comunicación inalámbrica óptica, aún en condiciones de niebla densa.

#### *1.1.5.2.2 La absorción*

La absorción ocurre cuando las moléculas de agua suspendidas en la atmósfera provocan la extinción de fotones. Esto causa una disminución en la densidad de potencia (atenuación) del enlace FSO y directamente afecta la disponibilidad del sistema.

La absorción tiene más predisposición en determinadas longitudes de onda, sin embargo, la aplicación de la potencia apropiada basada en las condiciones atmosféricas; y uso de diversidad espacial (múltiples enlaces para un sistema FSO) ayuda a mantener el nivel requerido de disponibilidad de la red.

#### *1.1.5.2.3 Esparcimiento*

El esparcimiento es causado cuando la longitud de onda choca con un elemento esparcidor<sup>9</sup>. Para que un elemento sea considerado esparcidor debe tener un tamaño comparable con la longitud de onda de la señal transmitida. Como ejemplo de elementos esparcidores están las partículas de polvo, agua y cristales.

---

<sup>9</sup> Un elemento esparcidor es cualquier partícula sólida o líquida que se encuentra suspendida en el aire y que debido a sus dimensiones tiene una velocidad de descenso baja hacia la tierra.

Las dimensiones del elemento esparcidor determinan el tipo de esparcimiento, cuando el esparcidor es menor que la longitud de onda incidente el tipo de esparcimiento se conoce como esparcimiento Rayleigh. Cuando el esparcidor es de dimensiones comparables con la longitud de onda incidente el esparcimiento es del tipo Mie. Y cuando el esparcidor es mucho mayor que la longitud de onda se lo conoce como esparcimiento no selectivo.

En el fenómeno del esparcimiento no existe pérdida alguna de energía, lo que se produce es una redistribución direccional de energía que puede provocar una reducción significativa en la intensidad del enlace que afectarían en especial a sistemas que cubran grandes distancias.

#### *1.1.5.2.4 Obstrucciones físicas*

Un inconveniente respecto a los sistemas de comunicación inalámbrica óptica, es la necesidad de que los equipos FSO cuenten con la presencia de línea de vista entre los ellos, es decir no pueden presentarse obstrucciones físicas (edificios, árboles u otras estructuras que bloqueen la línea de visión entre ellos) que puedan bloquear temporal o completamente la transmisión de información en un sistema FSO.

Los equipos creados por los fabricantes de los dispositivos inalámbricos ópticos, usan sistemas multienlace (diversidad espacial) para sobreponerse a obstrucciones temporales, así como otras condiciones atmosféricas; y disponer de mayor disponibilidad en el sistema.

#### *1.1.5.2.5 Actividad de construcción, oscilación sísmica*

El movimiento imperceptible de edificios de grandes alturas, puede perturbar el receptor y la alineación entre éste y el transmisor.

Ciertas soluciones de óptica inalámbrica FSO usan equipos que transmiten un haz divergente para mantener la conectividad, y que además combinado con un sistema de múltiples haces, proporcionan mayor confiabilidad.

Como es de suponer, apuntar un rayo láser de gran estrechez a un blanco a 500 metros de distancia o más, requiere puntería y gran precisión en la instalación. Por lo general, los equipos FSO tienen añadidos lentes al sistema que permiten enfocar ligeramente el rayo.

#### *1.1.5.2.6 La vacilación*

El aire caliente subiendo de la tierra o dispositivos artificiales como chimeneas caloríficas crean variaciones de temperatura en los diferentes niveles de aire; esto puede causar fluctuaciones en la amplitud de la señal que genera una turbulencia refractiva al final del receptor FSO. El sistema de múltiples haces puede ser enfocado para dirigir los efectos de esta vacilación y disminuir la denominada turbulencia refractiva.

#### *1.1.5.2.7 Seguridad Ocular*

La seguridad de las personas frente a la exposición de láseres es una preocupación que conllevan los sistemas que usan láseres para la transmisión de información.

A partir de los primeros dispositivos FSO, aparecidos hace más de tres décadas en los laboratorios, se ha discutido el uso apropiado y las seguridades a tomar en cuenta respecto a los láseres. Las mayores preocupaciones involucran la exposición de los ojos a los rayos de luz láser, y los altos voltajes dentro de los sistemas lumínicos y sus fuentes de alimentación. Inquietudes que son tomadas a consideración por los estrictos estándares internacionales han sido establecidas para la seguridad y actuación frente a dispositivos láseres; por supuesto los sistemas inalámbricos ópticos obedecen estas normas.

## **CAPÍTULO 2.**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se mencionarán los aspectos más generales de la red de la Escuela Politécnica Nacional, entre ellos están: topología aplicada, los equipos de conectividad en cada dependencia, y la jerarquía de funcionamiento de los mismos.

Tomando en cuenta la jerarquía de los equipos, se realizará una breve explicación sobre los switches de Núcleo, Distribución y Acceso, que son los equipos que gestionan el funcionamiento de la Polired, y que ocupan un nivel de importancia o jerarquía dentro del esquema de red. Es importante conocer los valores de tráfico cursado, para de esta tener la referencia necesaria para realizar el diseño de los enlaces. Los valores de tráfico han sido tomados de las instalaciones de la Unidad de Gestión de Información y el Observatorio Astronómico.

A través de los años la red del campus universitario ha ido cambiando, desde sus inicios en 1993 hasta la fecha actual se han incorporado nuevos enlaces, equipos, redes internas, etc. por lo anterior resulta necesario recabar información relevante y de interés de la estructura general de la polired que tiene incidencia en el diseño que se desarrollará en el presente proyecto.

La información ha sido obtenida gracias a la colaboración de los encargados en las diferentes dependencias, por medio de la verificación física de las instalaciones de los puntos principales de red, así como del chequeo de los equipos prioritarios de conectividad a los cuales debe ir acoplada la red inalámbrica óptica objeto de diseño.

Mediante este levantamiento de red se tiene datos reales y actuales sobre los cuales podemos construir un modelo de red de respaldo, funcional, acorde con las necesidades y que permita satisfacer los requerimientos actuales y futuros de los usuarios así como de otras aplicaciones que se incorporen en la Polired.

## **2.1 ANÁLISIS DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Y DE LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE QUITO**

### **2.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL<sup>10</sup>**

Como antecedentes se debe mencionar que la red de la Escuela Politécnica Nacional fue implementada en el año de 1993, la misma que para la interconexión de las facultades siguió una topología en anillo de fibra óptica utilizando la tecnología FDDI (Fiber Distributed Data Interface – Interfaz de Datos Distribuidos sobre Fibra).

En el año de 1999 problemas de conectividad en la red del campus obligaron a adquirir un switch IBM 8274, el mismo que se convirtió en el nodo central de la red; para pasar de una topología en anillo a una topología en estrella.

El nodo central de la red presentó problemas de escalabilidad, seguridad y vulnerabilidad, obligando a reestructurar la red del campus a un diseño jerárquico, en el 2005.

Modelo jerárquico que se explica posteriormente, y se encuentra conformado por dos switches de núcleo (core), cinco switches de distribución y quince switches de acceso, distribuidos en las distintas facultades.

Todas estas se constituyen en consideraciones necesarias para realizar el diseño de la red inalámbrica óptica para la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico, ya que es necesario conocer los requerimientos que deben cumplir los enlaces inalámbricos ópticos propuestos en el diseño del presente trabajo.

---

<sup>10</sup> Situación actual de la red de la EPN a noviembre del 2007.

La tecnología de la red Inalámbrica Óptica FSO (Free Space Optics - Óptica de Espacio Libre), requiere que exista la presencia de línea de vista entre los puntos a interconectar, por tal motivo se verificó que entre los edificios propuestos en el diseño dentro del campus se cumpla con dicha condición.

En lo que respecta al enlace con el Observatorio Astronómico, ningún edificio dentro del campus presenta línea de vista con el Observatorio ubicado en el parque de la Alameda, inconveniente que se supera con la inclusión de una torre en el Observatorio Astronómico que permita el cumplimiento de la condición anteriormente mencionada.

El levantamiento de la red de la Escuela Politécnica Nacional, también se ha realizado con el afán de conocer los elementos activos<sup>11</sup> de la red que permitan la interconexión con los equipos FSO.

La figura 2.1 muestra la topología actual de la red de la Escuela Politécnica Nacional.

De igual manera se recopiló información sobre el tráfico cursado en la red del campus y del Observatorio Astronómico, para así conocer el mínimo valor de ancho de banda que se debe cumplir en los enlaces inalámbricos ópticos entre las facultades de la EPN y el Observatorio

---

<sup>11</sup> Los elementos activos son los que requieren de energía para su funcionamiento, en el campo de las redes se los asocia con los routers, switches y algunos tipos de hubs.

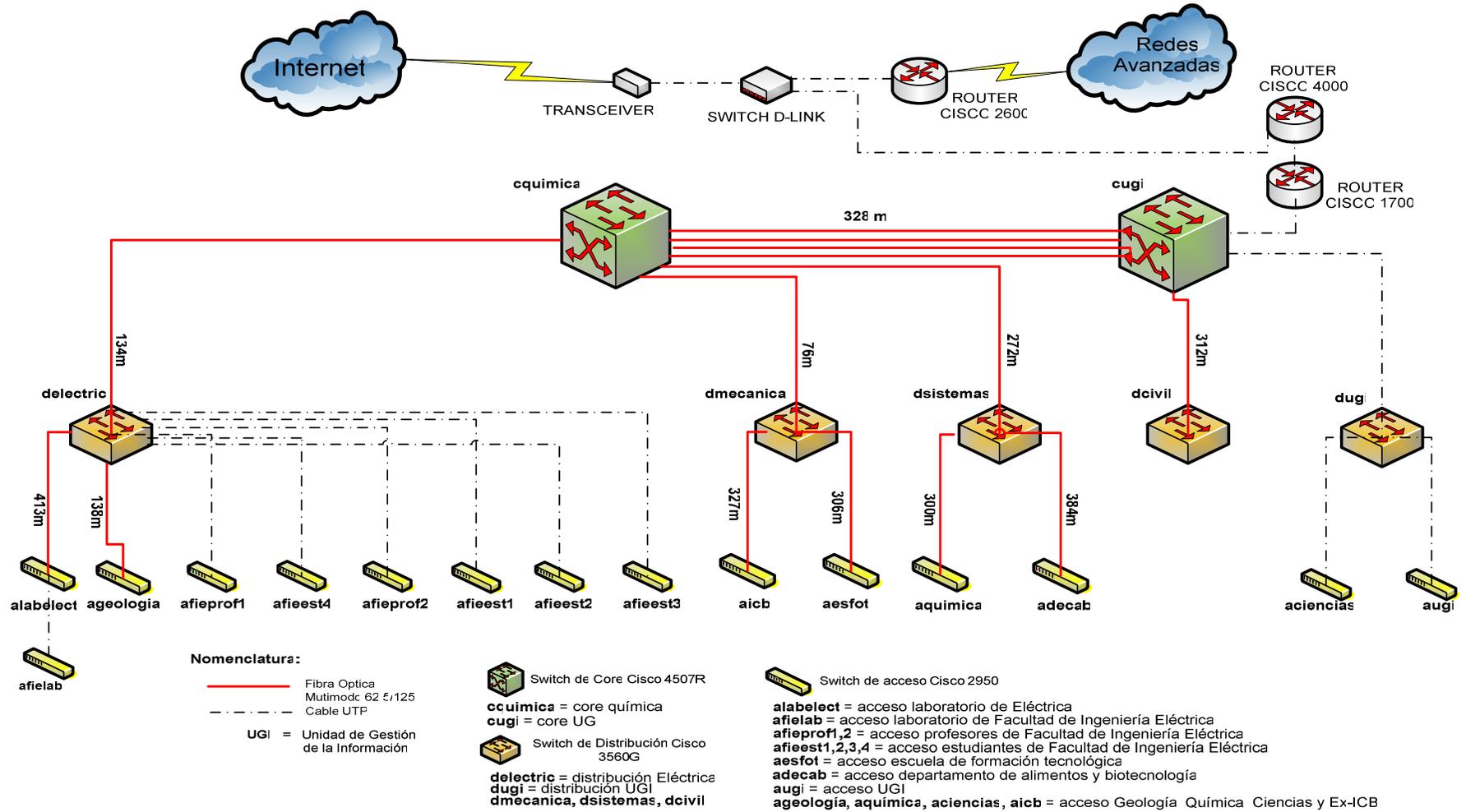


Figura 2.1 Situación actual de la red de la Escuela Politécnica Nacional<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Figura proporcionada por la Unidad de Gestión de la Información (UGI).

## 2.1.2 INFRAESTRUCTURA GENERAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

### 2.1.2.1 Topología de Red

A lo largo del campus universitario se tiene tendida fibra óptica que enlaza las distintas facultades, estos enlaces siguen una topología en estrella extendida y dividen al campus en zona norte y zona sur. Estas zonas comprenden las siguientes facultades y departamentos y se muestran en la tabla 2.1.

ZONA	
NORTE	SUR
Ingeniería Eléctrica	Administración General
Ingeniería Química	Ingeniería Civil
Ingeniería Mecánica	Casa Mata
Ingeniería en Sistemas	Escuela de Postgrado
Escuela de Formación Tecnológica	Abastecimientos
Instituto de Ciencias Básicas	Museo
Ingeniería en Geología y Petróleos	Ingeniería Ambiental
Biotecnología	Departamento de Medio Ambiente

*Tabla 2.1 Distribución de zonas en la red del campus*

La topología en estrella, consiste en muchas conexiones entre pares individuales de dispositivos, permite que la red de la EPN sea más ágil y tenga mayor flexibilidad para cursar la información, lo cual aumenta la confiabilidad y disponibilidad de ésta.

Se distinguen dos nodos hacia los cuales confluyen todos los enlaces. Estos nodos son los formados por el switch de core de la Unidad de Gestión de Información (cugi) y el switch de core de Química (cquímica); los mismos que se encuentran ubicados en el edificio de Administración General y el edificio de Eléctrica-Química respectivamente.

Ambos nodos se encuentran conectados entre si por un enlace principal denominado backbone principal, y se conectan al resto de nodos de distribución por enlaces secundarios, formando de esta manera la topología en estrella extendida.

### 2.1.2.2. Elementos Activos de la Red

Los elementos activos de la red son los dispositivos de conectividad que permitirán el acoplamiento con los equipos FSO para el establecimiento de los enlaces inalámbricos ópticos.

La tabla 2.2 presenta los dispositivos activos de interés para los enlaces FSO.

Dispositivo	Marca/Modelo	Nivel	Departamento
Switch	Cisco Catalyst 4507R	Núcleo	UGI
Switch	Cisco Catalyst 4507R	Núcleo	Eléctrica-Química
Switch	Cisco Catalyst 3560G	Distribución	Civil
Switch	Cisco Catalyst 3560G	Distribución	Administración General
Switch	Cisco Catalyst 3560G	Distribución	Eléctrica-Química
Switch	Cisco Catalyst 3560G	Distribución	Mecánica
Switch	Cisco Catalyst 3560G	Distribución	Sistemas
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Geología
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Lab 1
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Lab 2
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Prof1
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Prof2
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Est1
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Est2
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Est3
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Fie Est4
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	Química
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	ICB
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	ESFOT
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	DECAP
Switch	Cisco Catalyst 2950	Acceso	UGI
Switch	Cisco Catalyst 2960	Acceso	Ciencias

*Tabla 2.2 Dispositivos de conectividad de la red de la EPN<sup>13</sup>*

<sup>13</sup> Dato obtenido del levantamiento de la red de la EPN e información del UGI.

En la tabla anterior, no se mencionan los routers<sup>14</sup> que conectan la red de la Escuela Politécnica Nacional con el proveedor de Servicio de Internet<sup>15</sup> (ISP) y con las redes avanzadas<sup>16</sup>; ya que no se contempla el diseño de enlaces inalámbricos ópticos hacia las redes citadas.

### 2.1.2.3. Elementos Pasivos de la Red

Los elementos pasivos de la red se encuentran relacionados con el tendido de fibra óptica. Dicho tendido se muestra en la figura 2.2, a la misma que se ha añadido las coordenadas geográficas de los edificios.

El enlace principal denominado backbone, se forma por el enlace entre los switches de núcleo (core), mismo que consta de 2 cables de fibra óptica multimodo que contienen 8 hilos cada uno de 62.5/125 micrómetros.

La tabla 2.3 muestra el número de fibras conectorizadas y utilizadas, en los switches de núcleo (core), distribución y acceso.

Enlace	Número de fibras (conectorizadas, utilizadas)
cugi-cquímica	16(16,14)
cugi-dcivil	8(6,2)
cquímica-dsistemas	12(8,4)
cquímica-dmecánica	8(6,2)
cquímica-deléctrica	8(6,2)
deléctrica-ageología	8(6,2)
deléctrica-alabelec	8(6,2)
dmeccánica-aicb	8(6,2)
dmeccánica-aesfot	8(6,2)
dsistemas-aquímica	8(6,2)
dsistemas-adeccap	8(6,2)

Tabla 2.3 Fibras conectorizadas y utilizadas<sup>17</sup>

<sup>14</sup> Routers Cisco 1700 y Cisco 4000 hacia el ISP; y Cisco 2600 hacia las redes avanzadas.

<sup>15</sup> El proveedor del servicio de Internet para la red de la EPN es Telconet.

<sup>16</sup> Las Redes Avanzadas permiten a la EPN realizar videoconferencias, seminarios, etc.

<sup>17</sup> Tabla tomada del proyecto de titulación: Díaz Ulloa Juan Carlos, "Reingeniería de la Red del Campus de la EPN considerando los criterios de calidad de servicio".

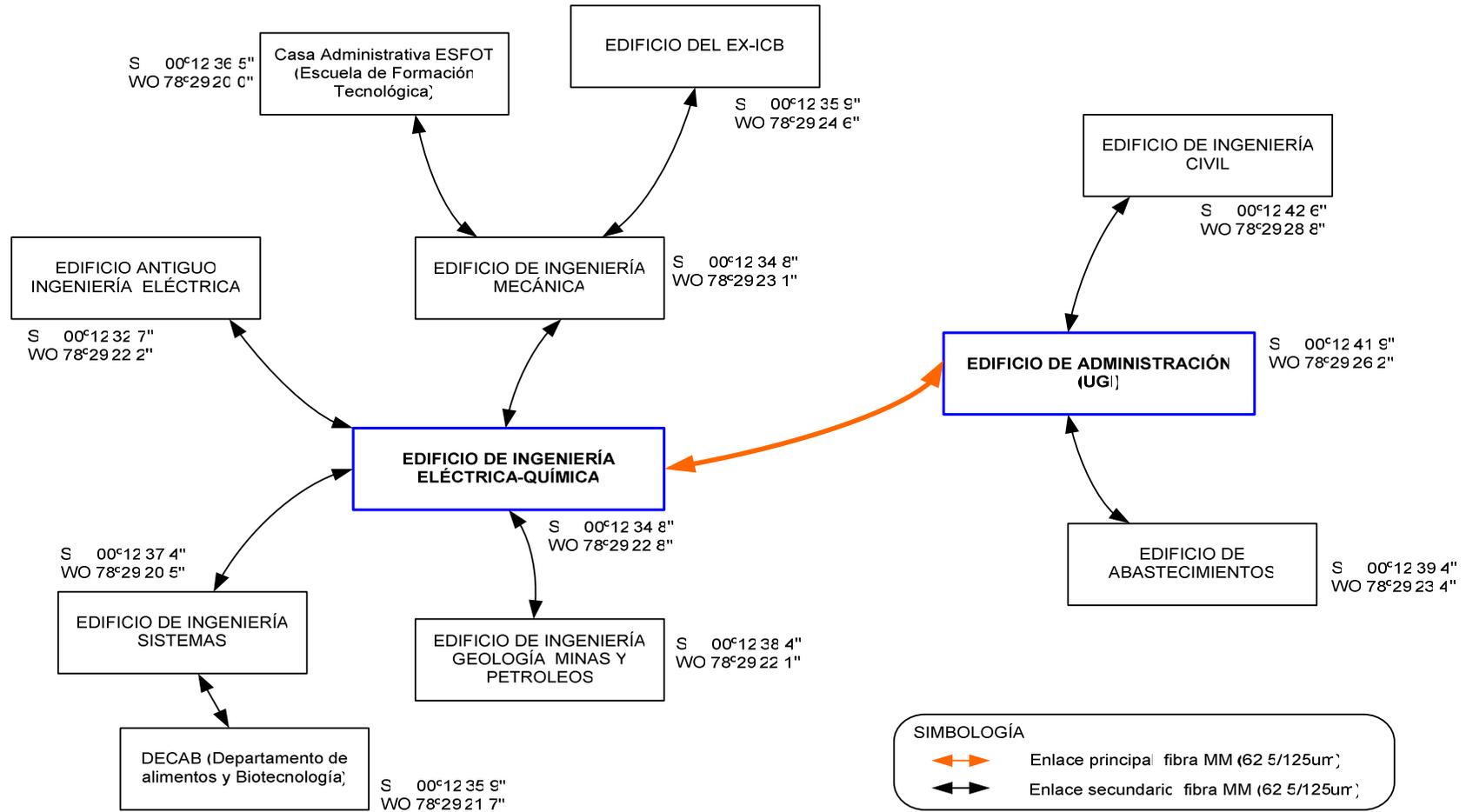


Figura 2.2 Cableado de Fibra Óptica en la Escuela Politécnica Nacional<sup>18</sup>

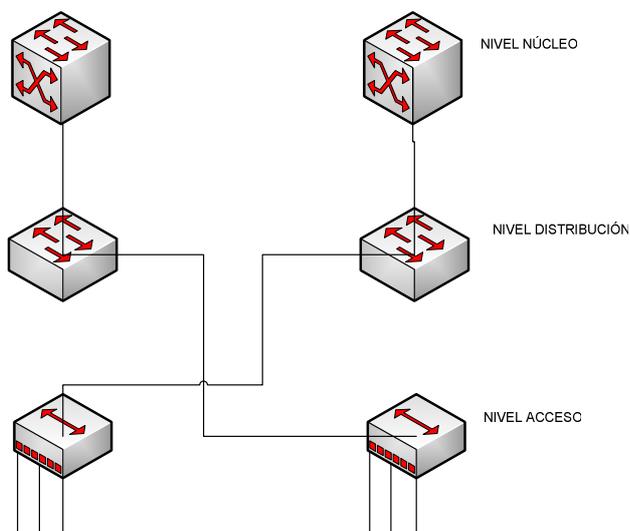
<sup>18</sup> Figura tomada del proyecto de titulación: Díaz Ulloa Juan Carlos, "Reingeniería de la Red del Campus de la EPN considerando los criterios de calidad de servicio".

#### 2.1.2.4. Jerarquía de Red

La red de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico son del tipo LAN Conmutadas. En la red de la Escuela Politécnica Nacional la conmutación se realiza gracias al uso de switches que siguen un modelo de diseño jerárquico.

Esto por que una red tiene mayor oportunidad de cumplir con las necesidades de su diseño, si se aplica un modelo de diseño jerárquico; donde se distinguen las capas o niveles de núcleo, distribución y acceso.

La figura 2.3 muestra los switches de conmutación y su división en los niveles de núcleo, distribución y acceso; de acuerdo a las características y funciones realizadas por cada uno.



*Figura 2.3 Niveles de Modelo Jerárquico*

La capa de Núcleo permite el transporte óptimo entre los distintos puntos de la red, la capa de Distribución brinda conectividad basadas en las políticas de conmutación que defina el administrador de la red y la capa de Acceso proporciona a los usuarios acceso a la red.

#### *2.1.2.4.1. Capa de Núcleo*

Conocida también como Capa de Core por su significado en inglés, es conocida como el backbone de la red.

Este es un nivel de gran velocidad de conmutación; razón por la que no se debe realizar ninguna manipulación de los paquetes. Manipulación que puede ser asociada por ejemplo con el filtrado de listas de acceso que disminuirían el rendimiento de la red al reducir la conmutación de paquetes.

Las listas de acceso se usan para controlar y administrar el tráfico, mediante condiciones que se aplican al tráfico que viaja a través de la red para aceptar o rechazar paquetes a las interfaces del router o switch de capa 3, como es el caso de los switches de la red de la Escuela Politécnica Nacional.

Las listas de acceso se configuran para el tráfico entrante como para el tráfico saliente; de igual manera se distinguen listas de acceso para cada tipo de protocolo.

De esta manera, las listas de acceso implementan procedimientos de seguridad y acceso al permitir el control y la administración del tráfico de red.

La capa de núcleo se puede diseñar para utilizar conmutación de capa 2 o de capa 3, realizándose en la red del campus la conmutación basados en las direcciones de capa 3.

En la red de la Escuela Politécnica Nacional los switches de la Capa de Núcleo no se encuentran muy distanciados, razón por la que se usa la tecnología Ethernet para su conexión.

El funcionamiento de la capa de núcleo permite la segmentación de la red del campus en redes lógicas y físicas.

El switch usado en la red de la Escuela Politécnica Nacional para la Capa de Core es el Cisco Catalyst 4507R, cuyas características generales se muestran en la tabla 2.4.

Características		Observaciones	
Capas OSI admitidas		2, 3	
Puertos	Ethernet	0	
	Fast Ethernet	0	Pueden adaptarse módulos
	Gigabit Ethernet	2	Pueden adaptarse hasta 6 puertos por cada módulo que pueda ser incluido
Routing		Estático	
		Dinámico	RIP v.1 y RIP v.2
Protocolo		802.1X	
		Spanning-Tree	IEEE 802.1D

*Tabla 2.4 Características del Cisco Catalyst 4507R*

#### 2.1.2.4.2 Capa de Distribución

En esta capa se realiza la manipulación de los paquetes, lo que permite aplicar políticas para la gestión de la red, como implementar listas de control de acceso que puedan filtrar los paquetes que se cursan en la red. Con esto se busca aislar los problemas de red y evitar que estos afecten a la capa núcleo, y su desenvolvimiento de alta velocidad de conmutación.

Los switches que operan en esta capa son de Capa 2 y Capa 3. Los switches de Capa 3 son los que operan basados en la dirección IP<sup>19</sup> de una estación o servidor.

La capa de distribución en una red conmutada realiza las siguientes funciones:

- Definición de dominio de broadcast/multicast
- Enrutamiento VLAN (Virtual Local Area Network-Red de Área Local Virtual)
- Seguridad

<sup>19</sup> La dirección IP consiste de 32 bits en la versión de IP vigente (IPv4), es asignada para cada interfaz de comunicación, y se basa en un diseño jerárquico en donde una parte identifica a la red que pertenece y otra al host dentro de la red. (Nota tomada del libro de Telemática del Ingeniero Pablo Hidalgo).

Los switches en la Capa de Distribución son los puntos a donde se concentran los switches de la Capa de Acceso, segmentan la red en dominios de broadcast, y donde se administran las VLANS y las Listas de Acceso; por tal razón deben ser dispositivos que puedan adecuarse al monto total del tráfico de los terminales en la Capa de Acceso y ser de alto rendimiento puedan manejar eficientemente las políticas del tráfico.

Por estas razones los switches que operan en la Capa de Distribución deben poder operar tanto en la Capa 2 como en la Capa 3 del modelo OSI, característica que les denomina dispositivos multicapa que al trabajar en ambas capas combinan las funciones de un router y un switch.

El switch multicapa usado para el nivel de Distribución en la red de la Escuela Politécnica Nacional es el Cisco Catalyst 3560G, cuyas características generales se muestran en la tabla 2.5.

Características		Observaciones	
Capas OSI admitidas		2, 3	
Puertos	Ethernet	0	
	Fast Ethernet	12 a 24	Velocidad configurable
	Gigabit Ethernet	2 a 4	
Protocolo		Spanning-Tree IEEE 802.1D	

*Tabla 2.5 Características del Cisco Catalyst 3560G*

#### *2.1.2.4.3. Capa de Acceso*

Esta capa constituye el punto de entrada para las estaciones de trabajo y servidores a la red. Los dispositivos utilizados en esta capa son los switches o hubs.

El uso de un hub implica:

- Compartir el ancho de bandas entre todas las estaciones y servidores conectadas al mismo
- Formar un solo segmento de red física donde puedan ocurrir colisiones entre las estaciones de trabajo y servidores

Las colisiones decrementan el rendimiento de una red, puesto que cada vez que ocurre una colisión se detienen todas las transmisiones por un periodo de tiempo aleatorio que depende de algoritmos de postergación. Dispositivos de capa 1 como los hubs no dividen los dominios de colisión, ya que primordialmente tienen como función extender los segmentos de cable Ethernet para poder agregar más hosts y así ampliar pero no controlar los dominios de colisión.

El uso de un switch implica:

- El ancho de banda para cada estación o servidor es el completo del que disponga la conexión del switch
- Segmentar o dividir los dominios de colisión

Los switches, realizan el filtrado de la dirección MAC<sup>20</sup> (Medium Access Control-Control de Acceso al Medio), que les permite dirigir las tramas sólo hacia el puerto del switch en donde se encuentra conectado el dispositivo destino.

Al hacer esto, se puede controlar el flujo de tráfico en el nivel de Capa 2, función que hace que las redes sean más eficientes al permitir que los datos se transmitan por diferentes segmentos de la LAN al mismo tiempo sin que las tramas colisionen.

---

<sup>20</sup> La dirección MAC es proporcionada por la NIC (Network Interface Card), que permite identificar el sistema dentro de la red. Cada tarjeta tiene su propia dirección MAC y no necesariamente identifica a toda la estación o servidor. (Nota tomada de los apuntes del folleto de Telemática).

Por tal razón es recomendable el uso de switches de Capa 2 en la capa de acceso. Los switches de Capa 2 son los que realizan la segmentación basados en la dirección MAC de los terminales conectados al mismo, permiten la asociación de VLAN y proporcionan a los usuarios acceso a la red.

El switch de Capa 2 usado para el nivel de Acceso en la red de la Escuela Politécnica Nacional es el Cisco Catalyst 2950, cuyas características generales se muestran en la tabla 2.6.

Capas OSI admitidas		Observaciones	
	Capas OSI admitidas	2	
Puertos	Ethernet	0	
	Fast Ethernet	12 a 24	Velocidad configurable
	Gigabit Ethernet	0 a 2	
Protocolo		802.1X	
		Spanning-Tree	IEEE 802.1D

*Tabla 2.6 Características del Cisco Catalyst 2950*

Este switch también ofrece acceso efectivo para servidores y usuarios que requieren un alto ancho de banda, esto se logra con puertos de switch adaptados para Fast Ethernet.

### 2.1.3 CONEXIÓN GENERAL DE LA RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

En cada edificio de la EPN se tienen redes, subredes y equipos que gestionan el funcionamiento de las mismas, mediante el levantamiento realizado se pretende conocer la conexión de Switches y la manera como se enlazan las dependencias para luego poder realizar el diseño de la red inalámbrica óptica utilizando la información rescatada. De acuerdo a la información obtenida de las distintas dependencias y sobre todo de la Unidad de Gestión de la Información (ugi) se ha determinado el diagrama de conexión de la red de la Escuela Politécnica, la misma que se muestra en la figura 2.4. De acuerdo a este esquema se distinguen tres niveles de operación de los dispositivos de conectividad.

- En un primer nivel se encuentran los switches llamados de NÚCLEO (*CORE*), ubicados en los edificios de Administración e Ingeniería Eléctrica-Química; estos switches son el corazón de la red de la Escuela puesto que son los nodos principales de la misma, gestionan gran parte de la comunicación e interconectan todos los puntos de red
- En un segundo nivel, tenemos los switches de *DISTRIBUCIÓN*, que se encuentran ubicados según lo indica la figura en los edificios de: Civil, Administración, Mecánica, Eléctrica y Sistemas. Al igual que los anteriores los switches de distribución son responsables de conectar a su vez a otras dependencias de la red siguiendo la topología de estrella extendida
- Las dependencias que se derivan de estos switches de distribución nos llevan hacia el siguiente nivel que es el de acceso. Aquí se encuentran funcionando los denominados switches de *ACCESO* que son los puntos finales de conexión dentro de la red (nivel tres) y que se ubican generalmente en dependencias distintas (otros edificios), pero también los hay dentro de los mismos edificios o facultades, siendo en estos casos los laboratorios o centros de investigación los destinos finales

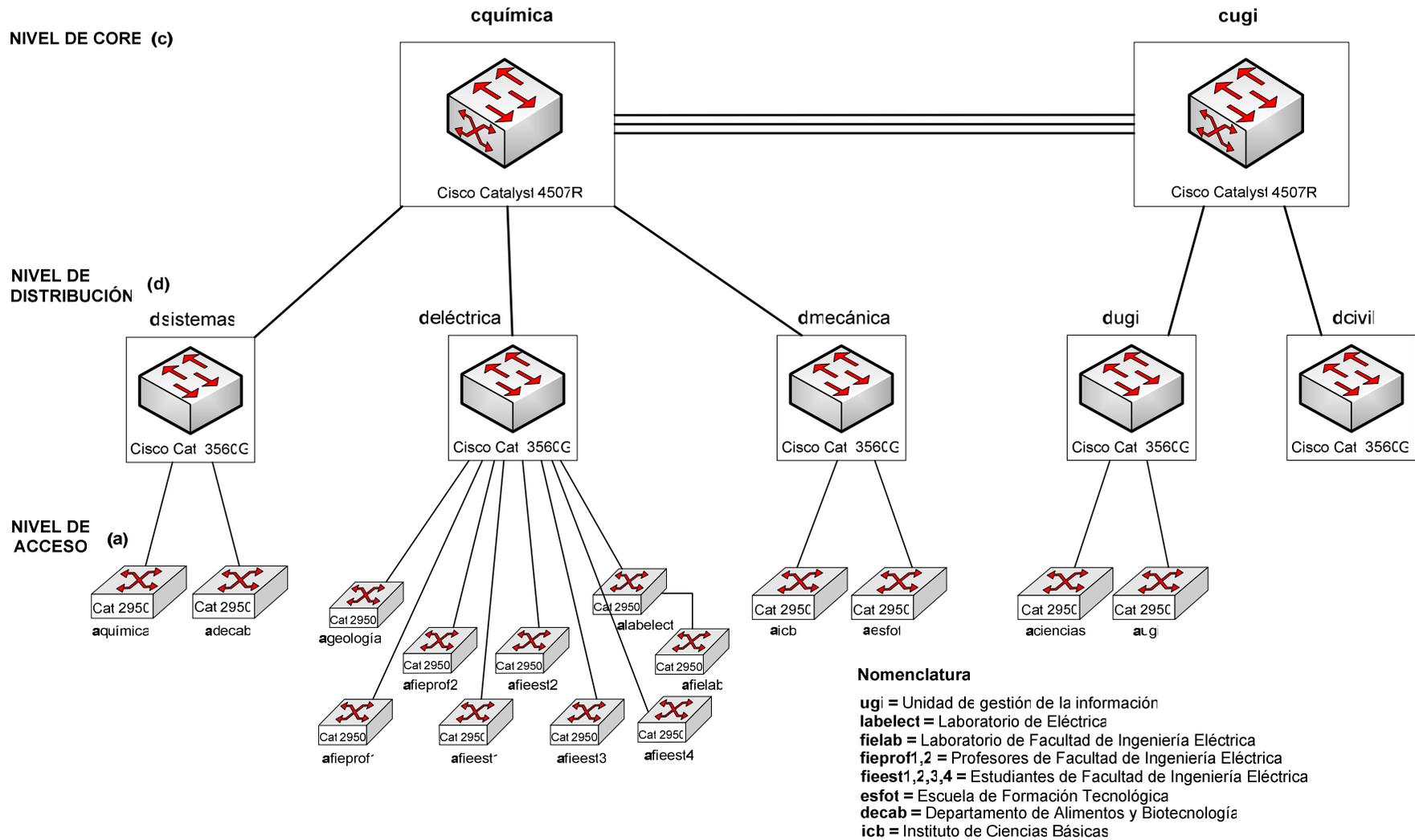


Figura 2.4 Esquema de Conexión de la Red de la Escuela Politécnica Nacional

### 2.1.3.1 Descripción de los Nodos de la red

Como se mencionó anteriormente la Polired se interconecta a través de switches, que se jerarquizan en tres niveles (núcleo, distribución y acceso).

A continuación se procederá a describir cada punto de red en cada uno de los niveles, enfatizando sobre todo en los de Core y Distribución, puesto que serán los niveles que alcance la conexión de la tecnología FSO.

El nivel de acceso también será descrito por cuanto es uno de los niveles jerárquicos de la red, por cuestiones técnicas y económicas, que no justifican la instalación de los equipos hasta estas instancias, no se diseñarán enlaces FSO hasta este nivel, las justificaciones se detallarán en el siguiente capítulo.

#### 2.1.3.1.1 Switches de Core

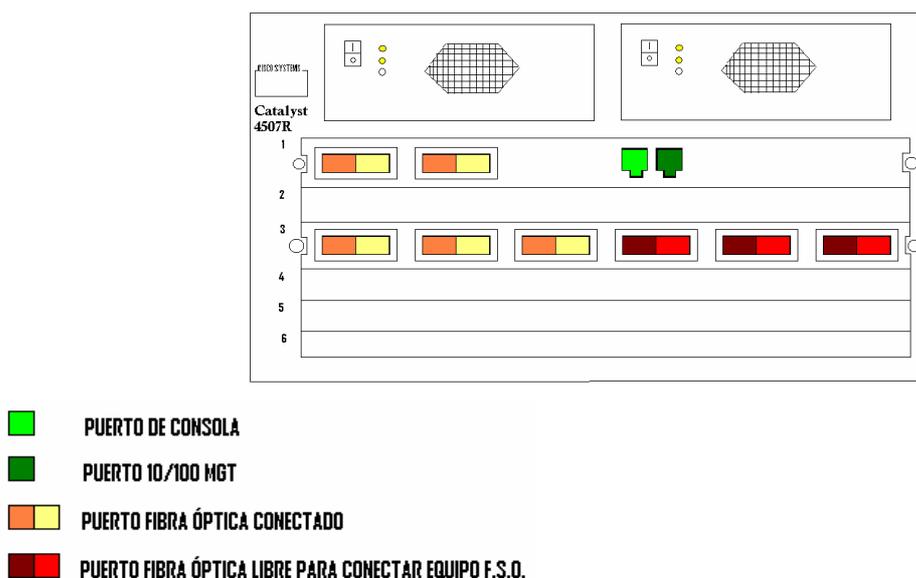
##### 2.1.3.1.1.1 Switch de Core de la Unidad de Gestión de la Información

En el edificio de Administración General se encuentra la Unidad de Gestión de Información (UGI) que es el departamento que tiene a su cargo la administración de la red de la Escuela Politécnica Nacional, puesto que da conectividad hacia varios puntos ubicados en la zona sur del campus.

Cuenta con un *switch de núcleo (core)* tipo *Cisco Catalyst 4507R* que gestiona a su vez a dos switches de distribución que son el de Ingeniería Civil y el de la Unidad de Gestión de Información.

Este switch de core se conecta también a otro switch de iguales características que se encuentra ubicado en el Edificio de Eléctrica-Química y que es el segundo punto principal de la red de la EPN, lo hace mediante un enlace principal de fibra óptica de manera que se enlaza la zona sur del campus con la norte.

El switch de core del ugi (cugi) tiene disponibilidad de puertos de fibra óptica libres y se pueden insertar aún cuatro módulos más para fibra. La conexión con el equipo FSO sería posible a través de uno de los puertos de fibra que tiene disponible este switch, sin la necesidad de adquirir un módulo adicional. La figura 2.5 muestra los puertos conectorizados y disponibles en switch de core del ugi.



*Figura 2.5 Switch de Core de la Unidad de Gestión de Información*

#### *2.1.3.1.1.2 Switch de Core de Química*

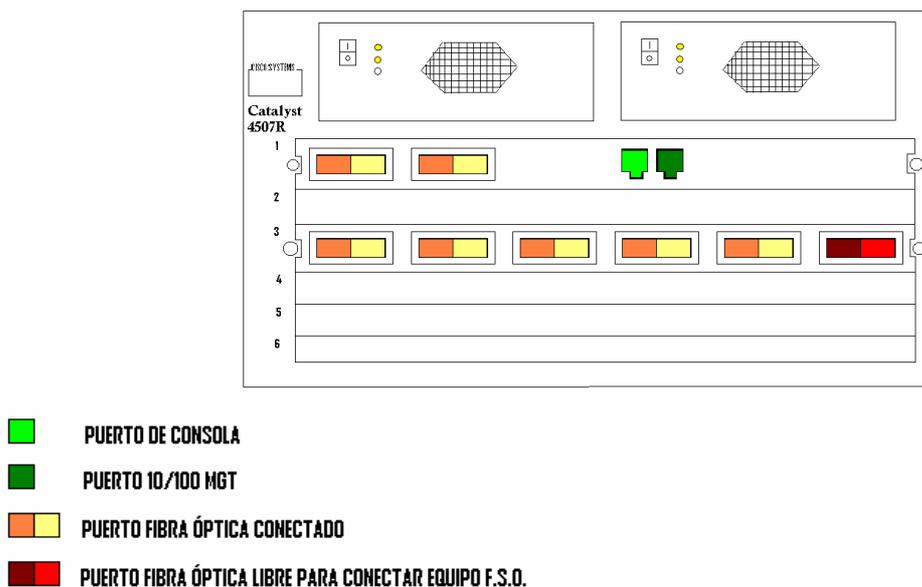
En el edificio de Eléctrica-Química tenemos ubicado el segundo punto principal de la red, en este nodo se controla el tráfico de la zona norte del campus de la universidad.

El switch del que se dispone en esta dependencia es de iguales características al que se tiene en el Edificio de Administración, es decir es un *Cisco Catalyst 4507R*, que se encuentra ubicado en el tercer piso del Edificio Eléctrica-Química.

A este switch de core se conectan tres switches de distribución, que son los de: Sistemas, Eléctrica y Mecánica, cubriendo de esta forma las necesidades de conexión en la zona norte.

Como ya se indicó se conecta además con un enlace principal con el switch de core ubicado en el edificio de Administración.

La figura 2.6 muestra el switch de core de química, el cual tiene disponibilidad de un puerto de fibra óptica para la conexión con el equipo FSO.



*Figura 2.6 Switch de Core de Química*

### *2.1.3.1.2 Switches de Distribución*

#### *2.1.3.1.2.1 Switch de Distribución de Civil*

El edificio de Ingeniería Civil se enlaza a la red de la universidad mediante un switch de distribución del tipo Cisco Catalyst 3560G que se encuentra ubicado en el segundo piso, específicamente en la Secretaría General de la carrera.

El switch de distribución de Civil (dcivil) se conecta a su nodo superior ubicado la Unidad de Gestión de Información (cugi). La figura 2.7 muestra los puertos libres y no disponibles del switch de distribución.

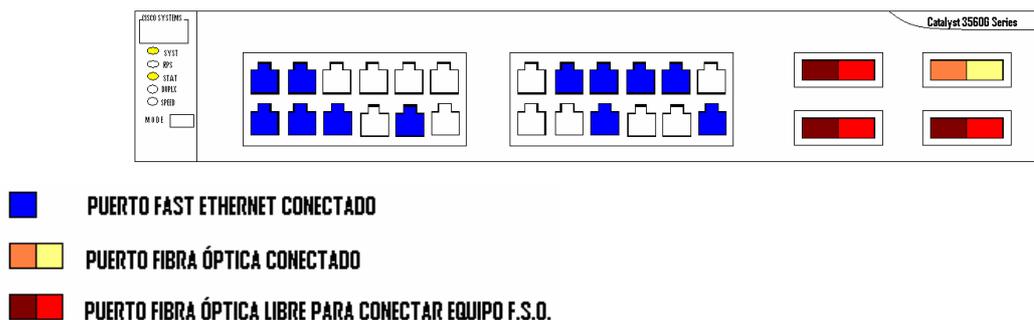


Figura 2.7 Switch de Distribución Civil

#### 2.1.3.1.2.2 Switch de Distribución de la Unidad de Gestión de Información

Este switch de distribución se encuentra en el mismo Rack de comunicaciones del UGI, es decir que queda ubicado dentro del mismo edificio de Administración, que también contiene al switch de Core descrito anteriormente. La figura 2.8 muestra los puertos disponibles de fibra óptica para la conexión con el equipo FSO. Conexión que no se realizará puesto que este switch de distribución tiene como nodo superior el switch de core del ugi, dispositivo que como fue mencionado anteriormente se encuentra ubicado en el mismo rack de comunicaciones del ugi; lo que equivaldría a colocar dos equipos FSO en la terraza del edificio de Administración General juntos uno con otro y apuntándose entre sí.

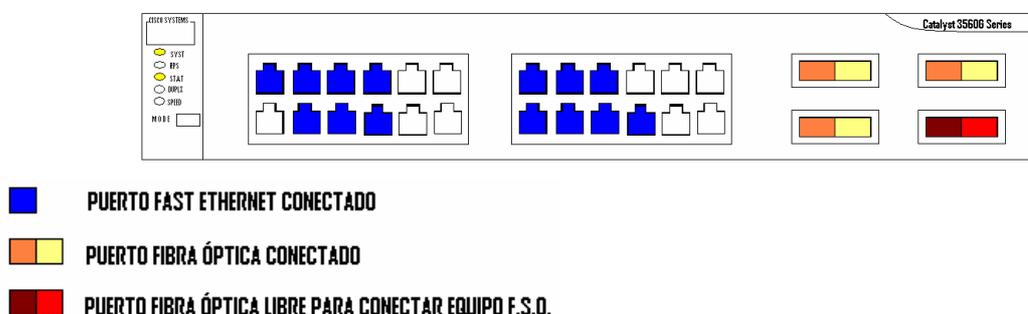


Figura 2.8 Switch de Distribución Unidad de Gestión de la Información

### 2.1.3.1.2.3 Switch de Distribución de Eléctrica

Se conecta hacia el nodo principal del edificio de Eléctrica-Química. Este subnodo de distribución conecta respectivamente a los edificios de: Geología, Laboratorios de Eléctrica y otras dependencias internas del edificio.

El switch se encuentra ubicado en el tercer piso del edificio de Eléctrica antiguo y es de la marca *Cisco Catalyst 3560G* con disponibilidad de puertos de fibra óptica como se puede apreciar en la figura 2.9.

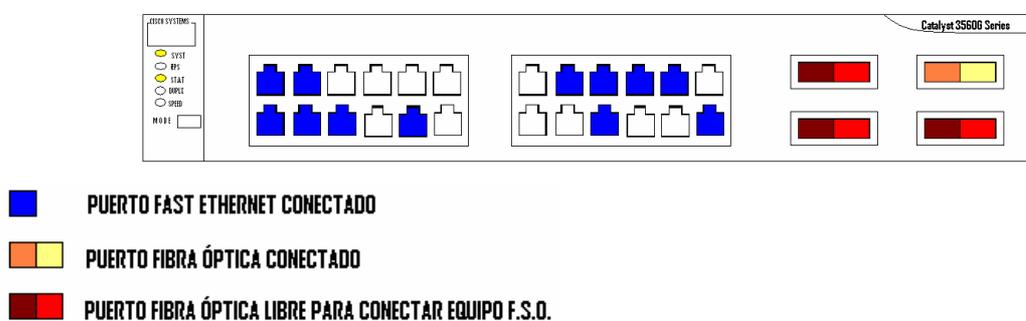


Figura 2.9 Switch de Distribución Eléctrica

### 2.1.3.1.2.4 Switch de Distribución de Mecánica

La facultad de Ingeniería Mecánica se conecta a la polired, a través de su switch de distribución que se encuentra ubicado en el tercer piso del edificio. El dispositivo es del tipo Cisco Catalyst 3560G; este a su vez se conecta con el Ex-ICB y la ESFOT. La figura 2.10 muestra la disponibilidad de los puertos.

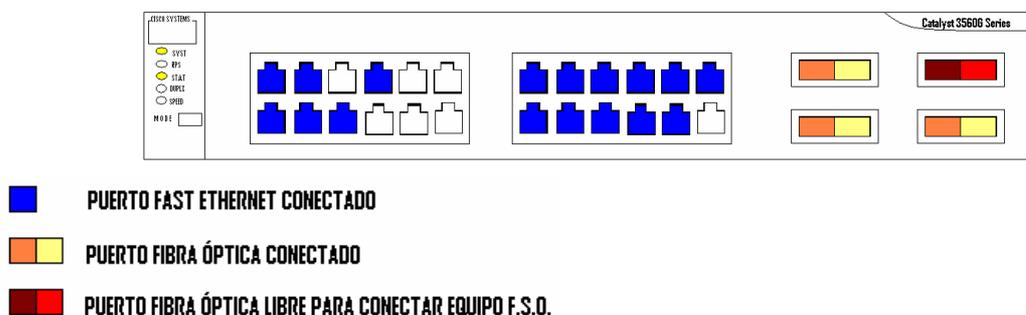
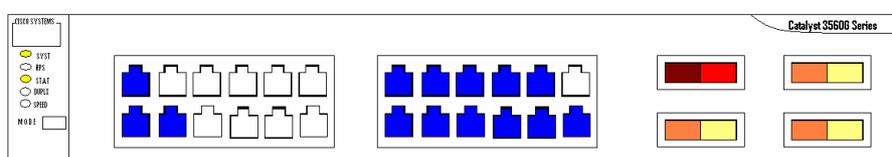


Figura 2.10 Switch de Distribución Mecánica

### 2.1.3.1.2.5 Switch de Distribución de Sistemas

El edificio de Sistemas es otro punto de conexión importante del nivel de distribución en la red del campus. Este *switch de distribución* ubicado en el tercer piso del edificio, a su vez conecta a switches de acceso ubicados en los edificios de Química y en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB). El switch posee disponibilidad de puertos de fibra y es de las mismas características que los otros switches de distribución hasta ahora mencionados, la figura 2.11 muestra el *Cisco Catalyst 3560G* de sistemas.



- PUERTO FAST ETHERNET CONECTADO
- ■ PUERTO FIBRA ÓPTICA CONECTADO
- PUERTO FIBRA ÓPTICA LIBRE PARA CONECTAR EQUIPO F.S.O.

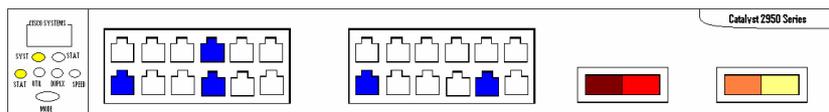
Figura 2.11 Switch de Distribución Sistemas

### 2.1.3.1.3 Switches de Acceso

Los switches de acceso manejan menor cantidad de información, por ello tienen capacidades limitadas y conexión más simple.

Los puntos de red de este nivel, poseen switches de acceso de la misma marca Cisco, pero de modelo Catalyst 2950.

La figura 2.12 muestra el switch Catalyst 2950 del que se dispone en todos los puntos de acceso.



-  **PUERTO FAST ETHERNET CONECTADO**
-  **PUERTO FIBRA ÓPTICA CONECTADO**
-  **PUERTO FIBRA ÓPTICA LIBRE PARA CONECTAR EQUIPO F.S.O.**

*Figura 2.12 Switch de Acceso*

Las ubicaciones de los nodos de acceso en la red de la Escuela Politécnica Nacional son los siguientes:

- Edificio del Ex-ICB (aicb)
- Edificio de Ingeniería Geología Minas y Petróleos (ageología)
- ESFOT (aesfot)
- Edificio de Administración (augi y ciencias)
- Edificio de Eléctrica (afieprof1, afieprof2, afieest1, afieest2, afieest3, afieest4, afielab y alabeléc)
- Edificio de Eléctrica-Química (aquímica)
- DECAB \_ Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (adecab)

Todos estos switches de acceso se conectan a sus respectivos switches de distribución de acuerdo a la figura 2.4 anteriormente mostrada.

## 2.1.4 TRÁFICO DE RED DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Los valores del tráfico fueron obtenidos con la colaboración del personal de la Unidad de Gestión de Información (UGI) quienes nos facilitaron las mediciones de tráfico, realizados en los meses de febrero y noviembre de 2007 con la ayuda del software MRTG (MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER) que permite el monitoreo de tráfico de los enlaces internos.

Los valores del tráfico proporcionados, clasificados para los distintos switches de core, distribución y acceso se pueden observar en detalle en los anexos.

A continuación se muestra un resumen de los valores de tráfico tabulados en las tablas 2.7, 2.8 y 2.9.

Las tablas muestran los valores máximos de tráfico, producto de la suma del tráfico de entrada (Kbits/s) y del tráfico de salida (Kbits/s); los mismos que permiten conocer la máxima tasa de transferencia cursada en la red de la Escuela Politécnica Nacional en las fechas anteriormente citadas.

### 2.1.4.1 Tráfico medido entre los Switches de Core

	ENLACE		TRÁFICO		
			ENTRADA (Kbits/s)	SALIDA (Kbits/s)	TOTAL (Kbits/s)
<b>1</b>	<i>cugi</i>	<i>cquímica</i>	402,8	209	<b>611,8</b>
<b>2</b>	<i>cugi</i>	<i>cquímica</i>	360,2	120	<b>480,2</b>
<b>3</b>	<i>cugi</i>	<i>cquímica</i>	461,7	321,6	<b>783,3</b>

*Tabla 2.7 Tráfico entre los switches de Core*

Los valores presentados en la tabla 2.7 corresponden a las mediciones realizadas en el mes de febrero, mostradas en el anexo, y en las que se observa el valor de 783,3 Kbits/s como el mayor tráfico cursado por uno de los enlaces redundantes del backbone de la Polired.

#### 2.1.4.2 Tráfico medido desde los Switches de Core hacia los Switches de Distribución

ENLACE		TRÁFICO		
		ENTRADA (Kbits/s)	SALIDA (Kbits/s)	TOTAL (Kbits/s)
<i>cugi</i>	<i>dcivil</i>	609,9	107,9	<b>717,8</b>
	<i>dugi</i>	1181,7	127,8	<b>1.309,5</b>
<i>cquímica</i>	<i>deléctrica</i>	1026,2	77,1	<b>1.103,3</b>
	<i>dmecánica</i>	782,5	168,5	<b>951</b>
	<i>dsistemas</i>	1009,9	53,3	<b>1.063,2</b>

*Tabla 2.8 Tráfico entre los switches de Core y Distribución*

El mayor dato de tráfico corresponde al enlace entre el switch de core de la Unidad de Gestión de la Información (*cugi*) y el switch de distribución de la Unidad de Gestión de la Información (*dugi*); para el monitoreo realizado en el mes de noviembre y cuyo valor es de 1.309,5 Kbits/s.

### 2.1.4.3 Tráfico medido desde los Switches de Distribución hacia los Switches de Acceso

ENLACE		TRÁFICO		
		ENTRADA (Kbits/s)	SALIDA (Kbits/s)	TOTAL (Kbits/s)
<i>dugi</i>	<i>aciencias</i>	1,59	126,7	<b>128,29</b>
	<i>augi</i>	46,7	148,5	<b>195,2</b>
<i>deléctrica</i>	<i>ageología</i>	5,42	10,4	<b>15,82</b>
	<i>afieprof1</i>	108,8	67,8	<b>176,6</b>
	<i>afieprof2</i>	3,11	112	<b>115,11</b>
	<i>afieest1</i>	3,57	30	<b>33,57</b>
	<i>afieest2</i>	7,52	78,9	<b>86,42</b>
	<i>afieest3</i>	0,51	4,66	<b>5,17</b>
	<i>alabelec</i>	66	137,9	<b>203,9</b>
<i>dmecánica</i>	<i>aicb</i>	9,75	105,5	<b>115,25</b>
	<i>aesfot</i>	44,2	170,4	<b>214,6</b>
<i>dsistemas</i>	<i>adecab</i>	4,39	46,1	<b>50,49</b>
	<i>aquímica</i>	7,99	65,6	<b>73,59</b>

Tabla 2.9 Tráfico entre los switches de Core y Distribución

De los valores mostrados en la tabla 2.9 se tiene como mayor el correspondiente al enlace entre el switch de distribución de mecánica y el switch de acceso de la esfot, correspondiente a 214,6 Kbits/s.

Los valores presentados serán de gran importancia para el siguiente capítulo ya que servirán de criterio comparativo para equiparar las capacidades permitidas por los enlaces inalámbricos ópticos FSO<sup>21</sup> con los valores de tráfico aquí presentados. Sin embargo, es de notar que el tráfico cursado por la Polired desperdicia la capacidad que permiten los enlaces de fibra óptica, que admiten tasas de transferencia de al menos 1 Gbits/s; por lo que los valores de tráfico no representan ningún impedimento para la implementación de los enlaces inalámbricos ópticos.

#### 2.1.4.4 Tráfico Total de Salida hacia el proveedor de Internet

Por medio del software Colasoft Capsa, se pudo determinar el valor de tráfico de salida al proveedor de Internet de la Escuela Politécnica Nacional; estos datos se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tráfico	Bytes	Promedio Utilización	Promedio bits
Tráfico Total	3,295 Gbytes	0.718%	7,183 Mbits/s
Tráfico enviado de Broadcast	575,697 Kbytes	0.000%	1,197 Kbits/s
Tráfico enviado de Multicast	520 Bytes	0.000%	1,056 bits

*Tabla 2.10 Tráfico de salida al Proveedor de Internet*

Cabe resaltar que en el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos no se contempla ningún enlace con el proveedor de servicios de Internet de la EPN.

<sup>21</sup> Los enlaces Inalámbricos Ópticos FSO tienen capacidades que van de 1 a 2.5 Gbps.

### 2.1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO A NOVIEMBRE DEL 2007

El Observatorio Astronómico se encuentra ubicado en el parque de “La Alameda” en la ciudad de Quito, cuenta con dos plantas en su obra civil; en la planta inferior se encuentra la biblioteca y la administración general.

La planta superior cuenta con torres numeradas del uno al cuatro, para identificarlas entre sí; en estas torres funcionan distintas dependencias del Observatorio.

En la torre 2 del Observatorio se encuentra el cuarto de telecomunicaciones, el mismo que cuenta con la mayor parte de los equipos de conectividad, y por ello constituye el punto principal hacia el cual habrá de realizarse la comunicación inalámbrica óptica con la red de la Escuela Politécnica Nacional.

En el siguiente capítulo orientado al diseño de los enlaces, se retomará este punto y se mostrará la dirección del enlace hacia la torre mencionada. La figura 2.13 muestra la ubicación del Observatorio Astronómico dentro del parque.



Figura 2.13 Vista superior del Observatorio Astronómico de Quito<sup>22</sup>

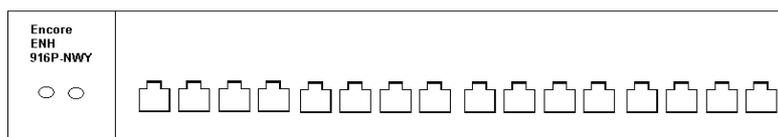
<sup>22</sup> Figura tomada con el software Google Earth versión 2007.

### 2.1.5.1 Infraestructura general de la red del Observatorio Astronómico

La red del Observatorio Astronómico cuenta con switch no administrable encargado de la conectividad de todas las máquinas que forman parte de la red.

Se dispone además de un access point tipo DWL-2100AP marca D-link (ver anexo) que se encarga de brindar conexión inalámbrica a un grupo de máquinas ubicadas en las torres del Observatorio. Las terminales de la parte inferior se encuentran conectadas al switch mencionado por medio de cable UTP cat. 5.

El switch no administrable que se dispone en el Observatorio Astronómico es uno de marca Encore ENH 916P-NWY de 16 puertos. Este switch, es en general de características bastantes simples, que no cuenta con puertos para conexión de fibra óptica, ni permite la inserción de módulos adicionales que cumplan el propósito mencionado. Por ello será necesario reemplazar el switch no administrable con el que cuenta actualmente el Observatorio Astronómico, por un switch administrable del tipo Cisco Catalyst 3560G, que funciona en la red de la Escuela Politécnica Nacional desempeñando funciones del nivel de distribución en el modelo jerárquico.



*Figura 2.14 Switch Encore ENH 916P-NWY*

El switch Cisco Catalyst 3560G que se propone reemplazar al que actualmente dispone el Observatorio Astronómico, añadirá un sexto nivel de distribución en la topología lógica de la red de la Escuela Politécnica Nacional, permitiendo de esta manera que el Observatorio Astronómico sea parte de la Polired, y pueda intercambiar información, recursos, etc. que beneficiará a ambas partes.

La figura 2.15 muestra el nuevo nivel de distribución que se añadirá con la inclusión del Observatorio Astronómico a la red de la EPN.

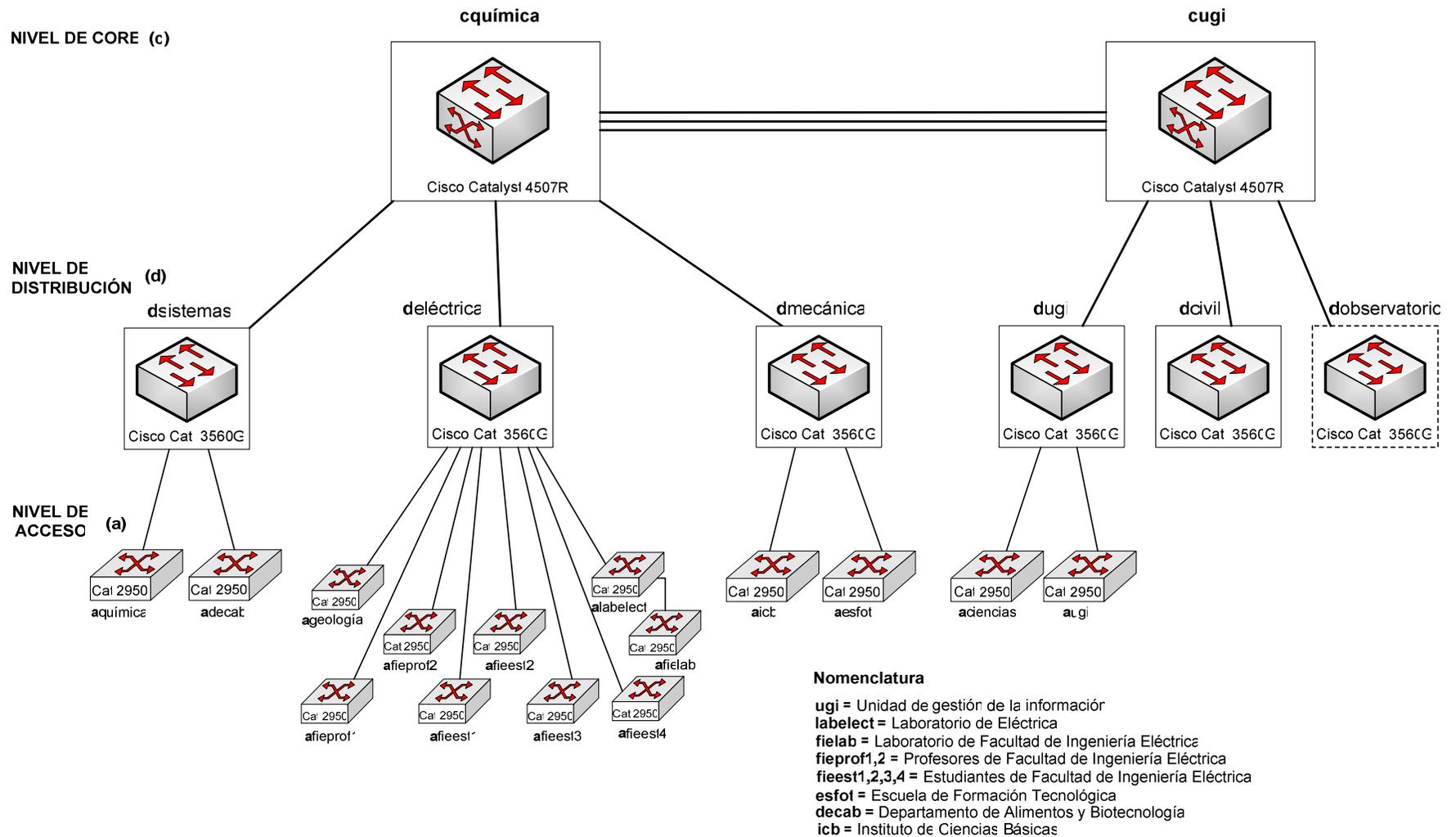


Figura 2.15 Red de la EPN con la inclusión del nivel de distribución en el Observatorio Astronómico

### 2.1.5.2 Conexión general de la red del Observatorio Astronómico

La red del Observatorio Astronómico se encuentra conectada de manera simple puesto que el número de terminales es limitado, la unidad central de conexión la constituye el switch Encore ENH 916P-NWY.

La topología de la red es del tipo estrella, y tiene conectado terminales por medios de transmisión cableados e inalámbricos.

La figura 2.16 muestra el esquema de red del Observatorio Astronómico.

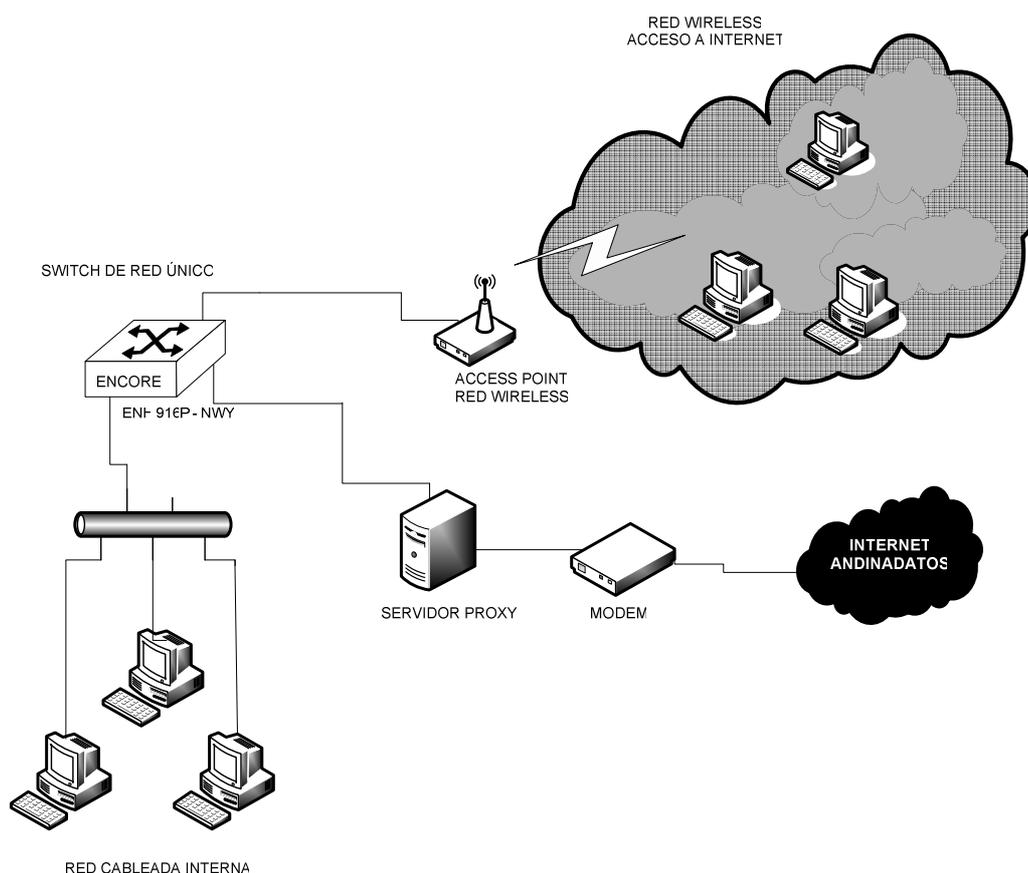


Figura 2.16 Esquema de red del Observatorio Astronómico

El acceso al Internet es brindado por Andinadatos, ISP que ofrece un ancho de banda de 128 Kbits/s.

### 2.1.5.3 Tráfico de la red del Observatorio Astronómico

Los parámetros de tráfico de la red del Observatorio fueron obtenidos con ayuda del personal encargado de esta institución.

El tipo de tráfico que se cursa es principalmente de Internet y de Voz sobre IP (VoIP<sup>23</sup>), que representan la mayor parte del tráfico cursado.

En lo que se refiere a VoIP, el observatorio tiene instalada esta aplicación gracias a la utilización del software libre Asterisk, que fue desarrollado única y exclusivamente bajo Linux. Asterisk es una aplicación “servidor” que permite que terminales “clientes” se conecten a él. Una vez conectados, los usuarios pueden transmitir voz y video en tiempo real utilizando cualquiera de los protocolos y códecs soportados por Asterisk.

También se tiene otras aplicaciones como transferencia de archivos y servicios de impresión que generan muy poco throughput<sup>24</sup>

En la tabla 2.11 se puede observar el resumen de los valores y tipos de tráfico cursados en la red del Observatorio Astronómico.

<b>TRÁFICO MEDIDO EN LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO</b>	
<b>TRÁFICO POR APLICACIÓN</b>	<b>TRÁFICO [Kbits/s]</b>
Tráfico de Internet	19,76
VoIP	64,00
Transferencia de Archivos	2,22
Servicios de Impresión	2,22
<b>TOTAL</b>	<b>88,20</b>

*Tabla 2.11 Tráfico del Observatorio Astronómico*

<sup>23</sup> Voz sobre IP es la comunicación de voz mediante redes IP.

<sup>24</sup> Tasa de datos efectiva cursada en una comunicación.

Como parte del desarrollo de proyectos, en el Observatorio Astronómico se tiene planeado implementar a futuro un sistema de circuito cerrado de video que será utilizado con fines de seguridad.

El personal encargado de este proyecto de seguridad de video tiene estimado un valor de tráfico de 300 Kbits/s que, sumado al valor anterior de tráfico, nos daría un valor máximo de **388,20 Kbits/s**, valor que correspondería al máximo tráfico que se cursaría en un futuro cercano en la red del Observatorio Astronómico y que se muestra en la tabla 2.12.

<b>TRÁFICO MÁXIMO PROYECTADO EN LA RED DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO</b>	
<b>TRÁFICO [Kbits/s]</b>	
Actual	88,20
Proyectado (Video a Futuro)	300,00
<b>TOTAL</b>	<b>388,20</b>

*Tabla 2.12 Tráfico proyectado del Observatorio Astronómico*

Estos son en resumen los datos del tráfico cursado en la red de la Escuela Politécnica Nacional y en la red del Observatorio Astronómico.

Estos datos son de gran importancia para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos usados en la tecnología FSO, ya que marcan la pauta de la capacidad de los enlaces mencionados.

Por mas esta resaltar, que el ancho de banda característico de los enlaces inalámbricos ópticos usados en la tecnología FSO permiten hasta 2,5 Gbits/s. de tráfico cursado; razón por la que no existe inconveniente alguno en la implementación de los enlaces, en cuanto respecta a cumplir la capacidad actual de los enlaces.

## **CAPÍTULO 3.**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se detallará el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos que utilizando la tecnología de espacio libre FSO proporcionaran redundancia para la actual red de la Escuela Politécnica Nacional.

Empezaremos mencionando las consideraciones preliminares para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos, donde presentaremos los datos resumidos del tráfico medido actual y las distancias de los enlaces a diseñarse, parámetros que han sido definidos y detallados en capítulos anteriores.

De la misma manera se describe los distintos tipos de topología de red para escoger el más adecuado para el diseño de los enlaces redundantes inalámbricos ópticos.

Cabe resaltar que mientras se desarrolla y presenta las características del tráfico medido actual, distancia de los enlaces y topología de red a implementar; se concluye cada tópico con la justificación del por que la tecnología FSO es una alternativa válida para realizar los enlaces redundantes de la red de la EPN de acuerdo con las características mencionadas.

Se realiza posteriormente el diseño de los enlaces, donde en un inicio se justifica el número de enlaces inalámbricos ópticos a diseñarse para la red del campus, tomando en cuenta el enlace adicional que deberá diseñarse para conectar a la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico.

Presentamos los cálculos de los distintos parámetros que intervienen en el desarrollo del diseño de los enlaces. De entre estos parámetros destacan las pérdidas por trayectoria en el espacio libre, en donde la atenuación por neblina se constituye en el factor más predominante y atenuante a la hora de realizar enlaces inalámbricos ópticos a grandes distancias.

## 3.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

### 3.1.1 REQUISITOS DE LAS REDES DE ÁREA LOCAL (LAN)

Los enlaces inalámbricos ópticos que brindarán redundancia a la red de la universidad y a la vez permitirán conectarse con el Observatorio Astronómico forman parte de una denominada Red de Área Local, LAN por sus siglas en inglés, ya que la máxima distancia que se debe cubrir en un enlace es de 1.380,01 metros (Distancia medida con la ayuda de un equipo de posicionamiento global GPS<sup>25</sup>, entre el Observatorio Astronómico ubicado en el parque la Alameda y el edificio de Administración General en la Escuela Politécnica Nacional).

Esta distancia se encuentra dentro del rango característico de las redes de Área Local<sup>26</sup>.

En general, para el diseño de redes LAN se deben considerar requisitos, que son únicos para cada organización o escenario, para el caso de la red que conlleva el desarrollo de la presente tesis, debemos tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- Funcionalidad
- Escalabilidad
- Adaptabilidad
- Facilidad de administración

Funcionalidad.- significa como su nombre lo indica que la red debe funcionar, que exista conectividad entre usuarios con tasas de transferencias y confiabilidad razonable.

---

<sup>25</sup> Información técnica del GPS en el anexo.

<sup>26</sup> Rango aproximado característico de las redes:

LAN: 10m - 1Km

MAN: 1Km - 10Km

WAN: >10Km

Escalabilidad.- representa la capacidad de la red para en un futuro permitir sin problema alguno el aumento del tamaño sin que ocurran cambios importantes en el diseño general de la red.

Adaptabilidad.- se debe realizar el diseño de la red considerando el desarrollo científico que día a día se genera alrededor del mundo respecto de las redes, para así no incluir elementos activos o pasivos que pudieran limitar o impedir la implementación de las futuras tecnologías.

Facilidad de administración.- como en cualquier diseño se debe considerar el monitoreo de la red para asegurar un correcto funcionamiento de la red.

Para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos que conectarán los Switches de Core y Distribución de la Escuela Politécnica Nacional, se tiene que considerar parámetros como los siguientes:

- Tráfico medido actual
- Distancias de los enlaces y existencia de línea de vista
- Topología de red

#### **3.1.1.1 Tráfico Medido Actual**

Para diseñar e implementar por primera vez en una organización cualquiera una red de comunicación de datos, se debe indagar que clase de servicios deberá prestar la red, para con estos datos calcular aproximadamente el volumen de información que se cursará en los enlaces; y así determinar el ancho de banda necesario que permita realizar un diseño óptimo que no eleve los costos de implementación y que a la vez satisfaga los requerimientos esperados.

Para el caso de nuestro proyecto de titulación, se cuenta con una red ya implementada en la Escuela Politécnica Nacional (Polired), esta red como fue

mencionada en el capítulo anterior proporciona actualmente la comunicación de las distintas facultades en la universidad.

Por esta razón, el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos constituirá una red inalámbrica de respaldo o redundancia sobre la red cableada actual.

Es así, que considerando el tráfico actual cursado entre las dependencias de la Escuela Politécnica Nacional, valores que se han señalado en el capítulo anterior y que tienen como máximo el valor de 1.309,5 Kbits/s, se debe seleccionar una tecnología de transmisión adecuada que satisfaga este requisito.

*Para el caso del presente proyecto de titulación, la tecnología FSO permite velocidades de transmisión que pueden llegar hasta 2,5 Gbits/s; haciendo a esta una alternativa válida de aplicación para implementar los enlaces entre las dependencias de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico.*

### **3.1.1.2 Distancias de los Enlaces y existencia de Línea de Vista**

Dentro del campus de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico, se realizaron mediciones con ayuda de un equipo de posicionamiento global para calcular distancias con el menor error posible entre los futuros nodos de interconexión inalámbricos ópticos.

Para esto se emplearon las coordenadas geográficas reportadas por el equipo GPS, cuando se tomaron las medidas desde las terrazas de las facultades que dispondrán los equipos FSO para permitir la comunicación inalámbrica óptica.

Los valores tabulados de las coordenadas geográficas, alturas y el nivel de referencia de los edificios a interconectarse, se presentan en la tabla 3.1.

NOMBRE DEL EDIFICIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS [grados° minutos' segundos"]	ALTURA [metros]	NIVEL DE REFERENCIA [metros sobre nivel mar msn]
<b>ELÉCTRICA-QUÍMICA</b>	S 00° 12' 34.8"	37,5	2.803,10
	WO 78° 29' 22.8"		
<b>SISTEMAS</b>	S 00° 12' 37.4"	21,0	2.799,00
	WO 78° 29' 20.5"		
<b>ELÉCTRICA (ANTIGUO)</b>	S 00° 12' 32.7"	16,4	2.803,10
	WO 78° 29' 22.2"		
<b>MECÁNICA</b>	S 00° 12' 34.8"	15,3	2.803,10
	WO 78° 29' 23.1"		
<b>ADMINISTRACIÓN</b> (Centro de Computo)	S 00° 12' 41.9"	41,0	2.801,00
	WO 78° 29' 26.2"		
<b>CIVIL</b>	S 00° 12' 42.6"	28,5	2.807,00
	WO 78° 29' 28.8"		
<b>OBSERVATORIO</b> (PARQUE ALAMEDA)	S 00° 12' 54.2"	12,0	2.818,05
	WO 78° 30' 09.1"		

*Tabla 3.1 Coordenadas Geográficas, Altura y Nivel*

El resumen de los valores de las distancias entre los distintos edificios donde se encuentran los dispositivos de conectividad de la Polired, además de la distancia entre el Observatorio Astronómico y el edificio de Administración General se presentan en la tabla 3.2.

EDIFICIO ORIGEN	EDIFICIO DESTINO	DISTANCIA HORIZONTAL [m]
ELECTRICA-QUÍMICA	SISTEMAS	103,40
	ELÉCTRICA	20,70
	MECÁNICA	22,40
ADMINISTRACIÓN	ELECTRICA-QUÍMICA	253,70
(Centro de Cómputo)	CIVIL	81,70
	OBSERVATORIO	1.380,00
	(Parque Alameda)	
	SWITCH DE CORE	
	SWITCH DE DISTRIBUCIÓN	
	UBICACIÓN EXTERNA	

Tabla 3.2 Valores de Distancias Horizontales

Los valores de las distancias expuestas en la tabla anterior no consideran el nivel topográfico de los edificios, ni las alturas de los mismos. Razón por la que los valores difieren ligeramente de las distancias reales que tendrán que recorrer las señales inalámbricas ópticas de los transmisores y receptores de los equipos FSO.

Determinar las distancias reales que recorrerán las señales inalámbricas ópticas, requirió de cálculos adicionales que consideren los valores de los niveles de referencia topográficos obtenidos del mapa de nivel topográfico<sup>27</sup>, y de las alturas de los edificios.

Los primeros datos fueron proporcionados por la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico, mientras que los segundos se obtuvieron de mediciones realizadas explicadas anteriormente.

<sup>27</sup> El mapa de nivel topográfico proporciona las variaciones del nivel del suelo o terreno.

La figura 3.1 muestra el levantamiento topográfico de la Escuela Politécnica Nacional; en este mapa se aprecian los valores de altura del suelo con referencia al nivel del mar sobre el que se encuentran asentados los edificios de las facultades y departamentos de la EPN.

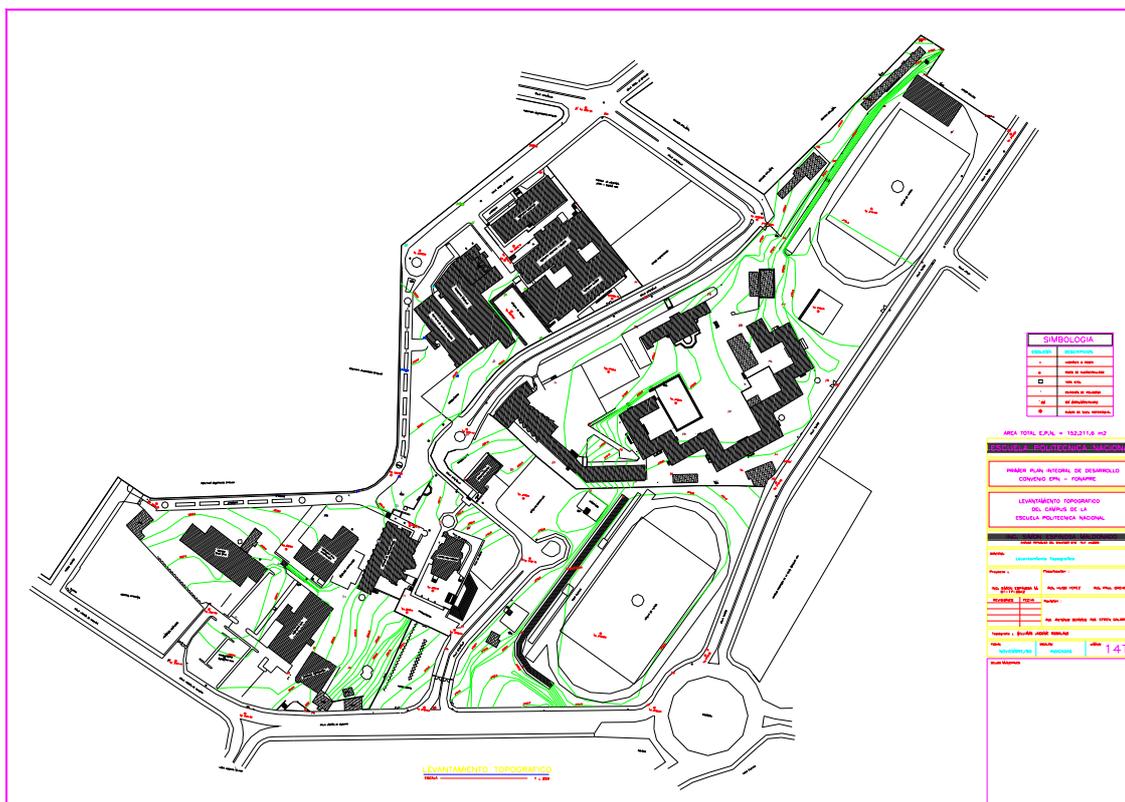


Figura 3.1 Mapa del nivel topográfico de la Escuela Politécnica Nacional<sup>28</sup>

La figura 3.2 muestra de forma esquemática un enlace inalámbrico óptico entre dos sitios. Se muestra detalles como la diferencia de nivel topográfico, las alturas de los edificios, la distancia horizontal y la distancia del enlace.

<sup>28</sup> Fuente EPN. Mapa topográfico ampliado en el ANEXO.

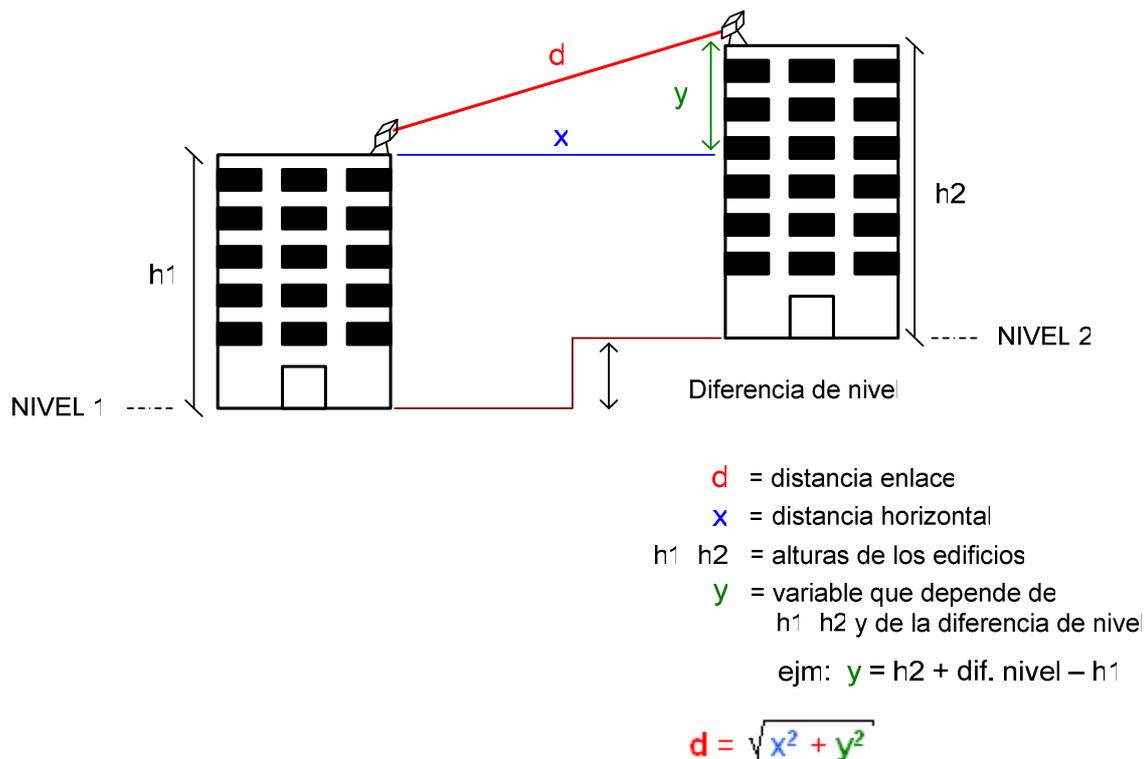


Figura 3.2 Ejemplo de cálculo de las distancias de los enlaces inalámbricos ópticos

La distancia ( $d$ ) es la que el haz lumínico recorrerá para transmitir la información de un sitio a otro. Distancia que será calculada de acuerdo a las consideraciones mostradas en la figura 3.2 y que se detallan posteriormente.

### 3.1.1.2.1 Cálculo de las Distancias de los Enlaces Inalámbricos Ópticos

#### 3.1.1.2.1.1 Enlace Unidad de Gestión de la Información (cugi) y Química (cquímica)

Este enlace de acuerdo a la distribución actual de la red de la Escuela Politécnica Nacional, es el más importante puesto que conecta a los nodos de núcleo (core) de la red, switches que se encuentran en edificio de Administración y Eléctrica-Química respectivamente.

Los equipos FSO para este enlace se tendrán que instalar en las terrazas de los edificios mencionados, sitios que tienen Línea de Vista entre sí<sup>29</sup>, permitiendo el diseño del enlace sin ninguna consideración adicional.

Los datos a consideración para este enlace son:

Edificio de Administración	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	41,00	2.801,00

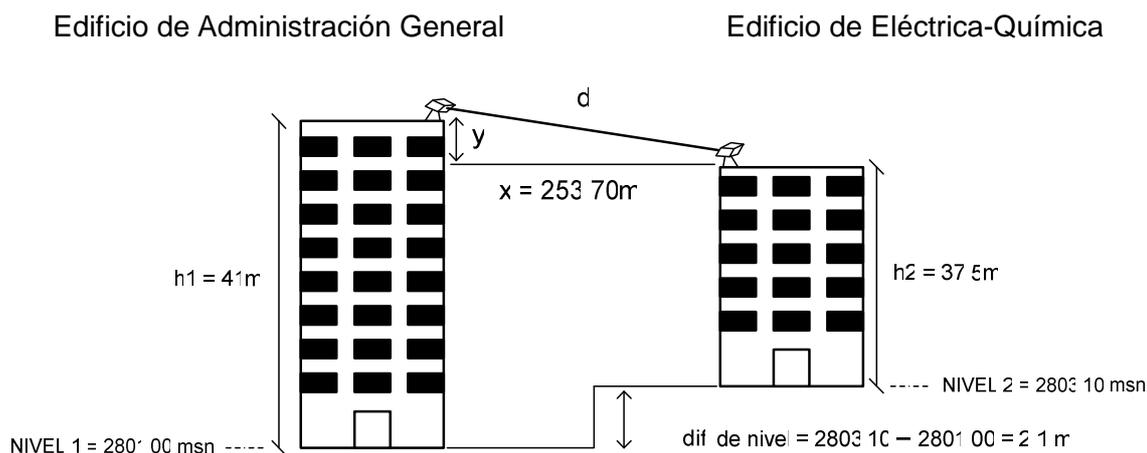
  

Edificio de Eléctrica - Química	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	37,50	2.803,10

DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
253,70

De acuerdo a los datos se tiene un esquema como el siguiente:



Luego:

$$y = h_1 - (h_2 + \text{diferencia nivel})$$

$$y = 41\text{ metros} - (37,5\text{ metros} + 2,1\text{ metros})$$

$$y = 41\text{ metros} - 39,6\text{ metros}$$

$$y = 1,4\text{ metros}$$

<sup>29</sup> La línea de vista entre las terrazas de los edificios de Administración General y Eléctrica-Química se muestra en los anexos.

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(253,7 \text{ metros})^2 + (1,4 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{64.363,69 \text{ metros}^2 + 1,96 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{64.365,65 \text{ metros}^2}$$

$$d = 253,71 \text{ metros}$$

La distancia real del enlace, distancia que tendrá que recorrer el haz óptico, es de **253,71 metros**.

#### 3.1.1.2.1.2 Enlace Unidad de Gestión de la Información (cugi) y Civil (dcivil)

Este enlace tiene como objetivo conectar el switch de core de la unidad de gestión de la información (cugi) con el switch de distribución de civil (dcivil), ubicados en los edificios de Administración General y Civil, respectivamente.

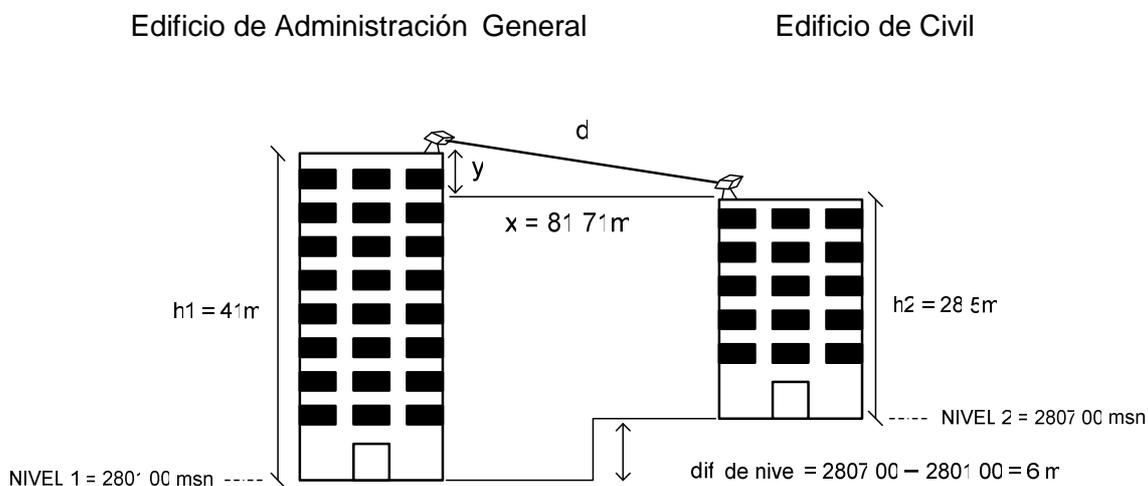
Las terrazas de ambos edificios presenta Línea de Vista entre ambos puntos<sup>30</sup>, permitiendo el diseño del mismo.

Los datos para este enlace son:

<b>Edificio de Administración</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]	DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
	41,00	2.801,00	
<b>Edificio de Civil</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]	
	28,50	2.807,00	
			81,71

<sup>30</sup> La línea de vista entre el edificio de Administración General y el Edificio de Civil se presenta en el anexo.

De acuerdo a los datos se puede visualizar el siguiente esquema:



Luego:

$$y = h1 - (h2 + \text{diferencia nivel})$$

$$y = 41 \text{ metros} - (28,5 \text{ metros} + 6 \text{ metros})$$

$$y = 41 \text{ metros} - 34,5 \text{ metros}$$

$$y = 6,5 \text{ metros}$$

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(81,71 \text{ metros})^2 + (6,5 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{6.676,5241 \text{ metros}^2 + 42,25 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{6.718,7741 \text{ metros}^2}$$

$$d = 81,96 \text{ metros}$$

El haz óptico tendrá que recorrer una distancia real de **81,96 metros**.

### 3.1.1.2.1.3 Enlace Química (cquímica) y Sistemas (dsistemas)

El switch de core de química y el switch de distribución de sistemas, se encuentran en los edificios de eléctrica-química y sistemas, mismos que cuentan con la presencia de Línea de Vista entre ambas terrazas<sup>31</sup>.

Datos a considerar para este enlace:

Edificio de Eléctrica - Química	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	37,50	2.803,10

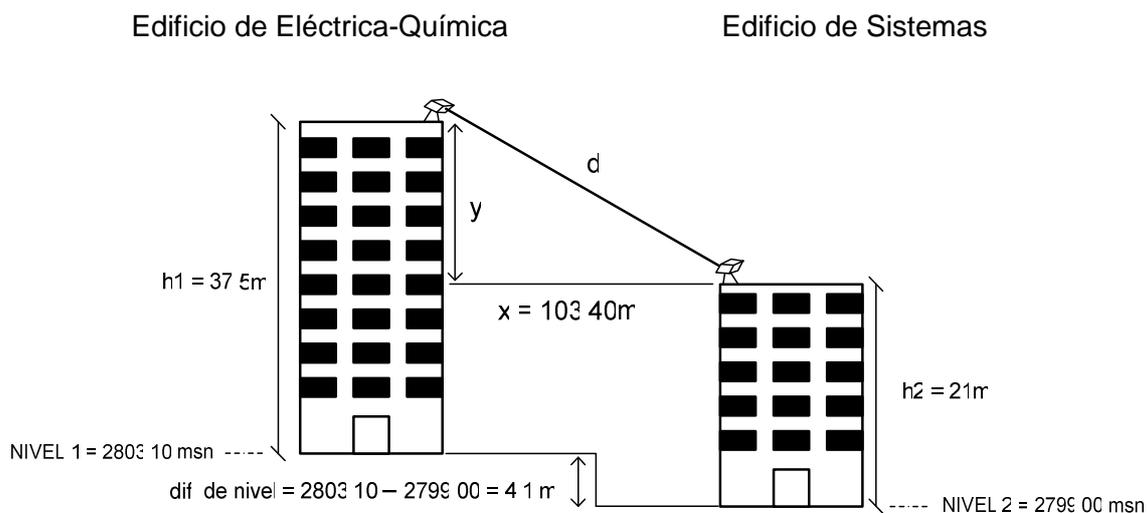
  

Edificio de Sistemas	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	21,00	2.799,00

DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
103,40

De acuerdo a los datos se puede visualizar el siguiente esquema:



Luego:

$$y = h_1 + diferencia\ nivel - h_2$$

$$y = 37,5\ metros + 4,1\ metros - 21\ metros$$

$$y = 20,6\ metros$$

<sup>31</sup> La línea de vista entre el edificio de Eléctrica-Química y el edificio de Sistemas se muestra en el anexo.

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(103,4 \text{ metros})^2 + (20,6 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{10.691,56 \text{ metros}^2 + 424,36 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{11.115,92 \text{ metros}^2}$$

$$d = 105,43 \text{ metros}$$

La distancia real del enlace es **105,43 metros**.

#### 3.1.1.2.1.4 Enlace Química (cquímica) y Eléctrica (deléctrica)

Este enlace pretende conectar el switch de core de química (cquímica) con el switch de distribución de eléctrica (deléctrica). Las terrazas de los edificios que contienen a los switches mencionados presentan Línea de Vista<sup>32</sup>.

Se considera los siguientes datos:

Edificio de Eléctrica - Química	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	37,50	2.803,10

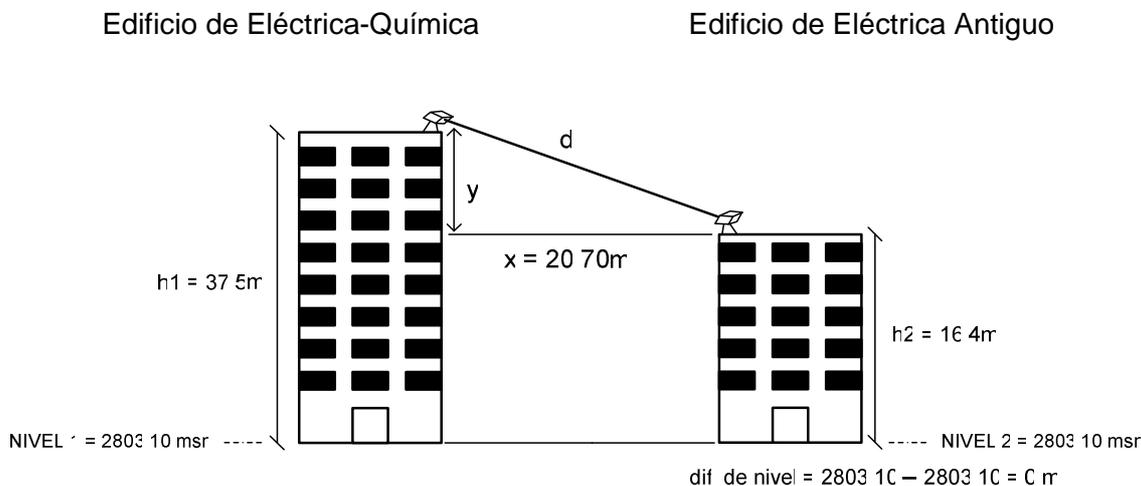
  

Edificio de Eléctrica	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	16,40	2.803,10

DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
20,70

El esquema es el siguiente:



<sup>32</sup> La línea de vista entre los edificios de Eléctrica-Química y Eléctrica antiguo se presenta en el anexo.

Luego:

$$y = h_1 - h_2$$

$$y = 37,5 \text{ metros} - 16,4 \text{ metros}$$

$$y = 21,1 \text{ metros}$$

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(20,7 \text{ metros})^2 + (21,1 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{428,49 \text{ metros}^2 + 445,21 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{873,7 \text{ metros}^2}$$

$$d = 29,56 \text{ metros}$$

La distancia real del enlace, distancia que recorrerá el haz óptico, es **29,56 metros**.

### 3.1.1.2.1.5 Enlace Química (cquímica) y Mecánica (dmecánica)

Se observa Línea de Vista entre las terrazas de los edificios de Eléctrica-Química y Mecánica<sup>33</sup>, sitios que contienen los switches que se pretenden conectar en éste enlace.

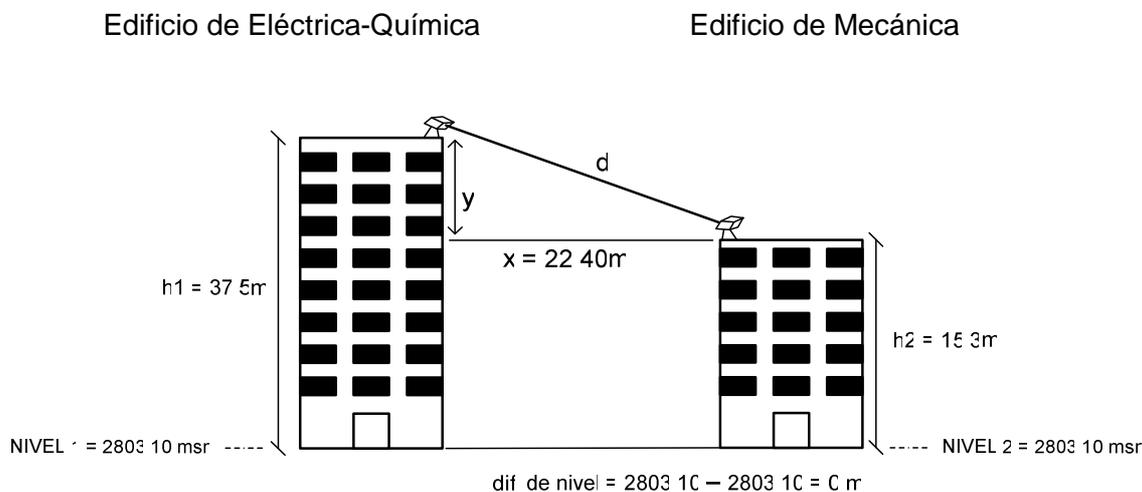
Se tiene los siguientes datos:

<b>Edificio de Eléctrica - Química</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	37,50	2.803,10
<b>Edificio de Mecánica</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	15,30	2.803,10

DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
22,40

<sup>33</sup> Línea de vista que se presenta en el anexo.

De acuerdo a los datos se puede visualizar un gráfico como el siguiente:



Luego:

$$y = h_1 - h_2$$

$$y = 37,5 \text{ metros} - 15,3 \text{ metros}$$

$$y = 22,2 \text{ metros}$$

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(22,4 \text{ metros})^2 + (22,2 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{501,76 \text{ metros}^2 + 492,84 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{994,6 \text{ metros}^2}$$

$$d = 31,54 \text{ metros}$$

El valor de **31,54 metros** es la distancia real del enlace.

### 3.1.1.2.1.6 Enlace Unidad de Gestión de la Información (cugi) y Observatorio Astronómico

Este enlace tiene la particularidad de no presentar línea de vista entre ambos puntos, entendiéndose a un enlace con línea de vista como un camino limpio, sin obstrucciones físicas entre el transmisor y receptor.

Por tal razón se ha procedido a realizar el diseño de este enlace teniendo en cuenta la necesidad de incorporar una torre en el Observatorio Astronómico, para así de esta manera cumplir con el requisito de línea de vista que necesita todo enlace FSO.

En la figura 3.3 gráfico se puede observar la ubicación del Observatorio Astronómico y la del Edificio de Administración General de la EPN.



Figura 3.3 Imagen del Observatorio Astronómico y Edificio de Administración (EPN)<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Fuente software Google Earth 2007.

La altura de la torre y sus dimensiones han sido consideradas bajo la premisa de garantizar línea de vista entre los nodos a interconectarse, y dar un correcto mantenimiento y soporte del equipo FSO.

En la figura 3.4 se puede observar que no existe línea de vista para con el Observatorio Astronómico, teniendo como punto de observación la terraza del edificio de Administración; se puede apreciar la obstrucción de un edificio cercano al parque de la Alameda.

Es por esta razón, que se ha considerado la altura de la torre en relación con la altura del edificio que causa la obstrucción.



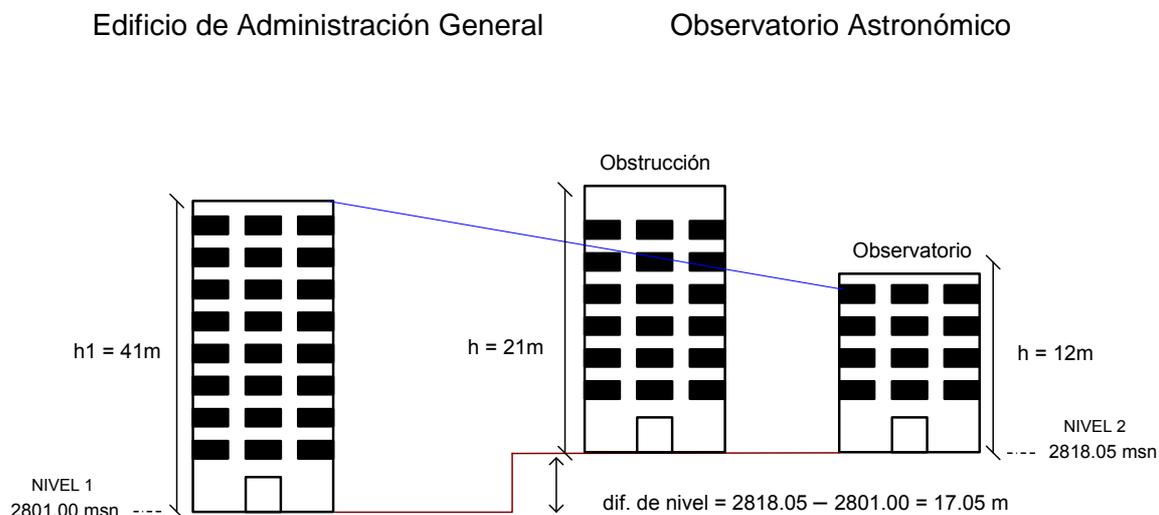
Figura 3.4 Imagen tomada desde la terraza del edificio de Administración General

Los datos son:

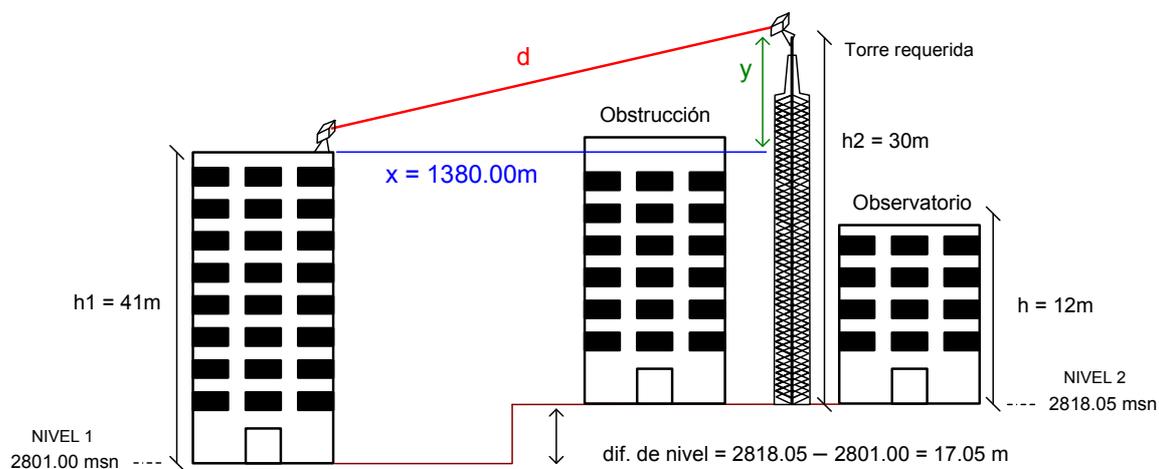
<b>Edificio de Administración</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	41,00	2.801,00
<b>Observatorio Astronómico</b>	ALTURA [m]	NIVEL [msn]
	12,00	2.818,05

DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE EDIFICIOS [m]
1.380,00

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene el siguiente esquema:



La altura del edificio que obstruye la línea de vista entre el edificio de Administración General y el Observatorio Astronómico, y se muestra en la figura 3.4, es de 21 metros (dato proporcionado por el administrador del edificio citado), por esta razón se considera una torre de 30 metros de altura para superar dicha obstrucción. Entonces se realizan los cálculos teniendo en cuenta el nuevo esquema:



Luego:

$$y = h_2 + \text{diferencia nivel} - h_1$$

$$y = 30 \text{ metros} + 17,05 \text{ metros} - 41 \text{ metros}$$

$$y = 6,05 \text{ metros}$$

Y obtenemos:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$d = \sqrt{(1.380 \text{ metros})^2 + (6,05 \text{ metros})^2}$$

$$d = \sqrt{1904.400 \text{ metros}^2 + 36,6025 \text{ metros}^2}$$

$$d = \sqrt{1904.436,6025 \text{ metros}^2}$$

$$d = 1.380,01 \text{ metros}$$

La distancia real del enlace, distancia que recorrerá el haz óptico, es de **1.380,01 metros equivalente a 1,38 kilómetros**.

El valor anterior de distancia, se encuentra del rango permitido en las comunicaciones ópticas de espacio libre (actualmente hasta 5 kilómetros), permitiendo de esta manera un diseño sin serias complicaciones en lo que respecta al rango de las distancias permitidas.

#### *3.1.1.2.1.7 Distancias Reales de los Enlaces Inalámbricos Ópticos*

A manera de resumen, se muestra en la tabla 3.3 los valores de las distancias reales que tendrán que recorrer los haces de los enlaces inalámbricos ópticos dentro de la Escuela Politécnica Nacional y con el Observatorio Astronómico.

ENLACE		DISTANCIA (metros)
cugi	cquímica	253,71
	dcivil	81,96
	dobservatorio	1.380,01
cquímica	dsistemas	105,43
	deléctrica	29,56
	dmecánica	31,54

*Tabla 3.3 Distancias reales de los enlaces*

*De acuerdo a los datos de la tabla anterior, se puede considerar a la tecnología FSO como una alternativa que asegure el establecimiento de los enlaces citados. Esto por que la tecnología FSO permite cubrir sin mucha dificultad las distancias citadas y aún más, teniendo actualmente como límite promedio los 4km.*

*Con excepción del enlace al Observatorio Astronómico, que para presentar línea de vista se ha considerado una torre de 30 metros; todos los enlaces propuestos para el diseño cumplen con dicho requerimiento, haciendo nuevamente a la tecnología FSO una alternativa válida.*

### **3.1.1.3 Topología de Red**

Empezaremos describiendo las distintas topologías de red que se pueden implementar, como las tipo: bus, anillo, estrella, árbol, malla. Cabe mencionar que estas topologías pueden combinarse entre sí para producir una topología híbrida que se ajuste a las necesidades de los usuarios. Las características más representativas de cada una son las siguientes:

### 3.1.1.3.1 Topología de Bus

Consiste en un único cable, “cable backbone”, del que se conectan todos los elementos de la red. Si se produce una ruptura del cable los nodos quedan desconectados. Esta topología permite que todas las estaciones reciban la información que se transmite, una estación transmite y todas las restantes escuchan.



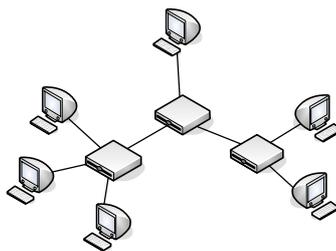
### 3.1.1.3.2 Topología en Anillo

Las estaciones están unidas unas con otras formando un círculo por medio de un cable común. Las señales circulan en un solo sentido alrededor del círculo, regenerándose en cada nodo. Con esta metodología, cada nodo examina la información que es enviada a través del anillo, si la información no está dirigida al nodo que la examina, la pasa al siguiente en el anillo hasta que llegue a su destinatario. La desventaja de esta topología es que si se rompe una conexión, se cae la red completa.



### 3.1.1.3.3 Topología en Árbol

Topología de red en la que los nodos están colocados en forma de árbol, desde una visión topológica. La falla de un nodo no implica la interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.

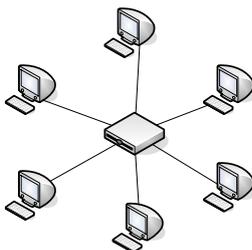


TOPOLOGÍA EN ÁRBOL

#### 3.1.1.3.4 Topología en Estrella

Las estaciones de red se unen en un único punto, normalmente denominado concentrador. La información es dirigida a través del concentrador hacia las estaciones. Esta topología tiene una ventaja al tener un concentrador que monitorea el tráfico y evita las colisiones de la red.

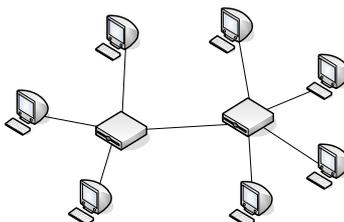
TOPOLOGÍA EN ESTRELLA



#### 3.1.1.3.5 Topología en Estrella Extendida

Es una variación de la topología en Estrella, consiste en tener más de un nodo centralizado al cual se conecten los terminales; para que luego esos nodos de control se conecten entre sí logrando una estrella extendida.

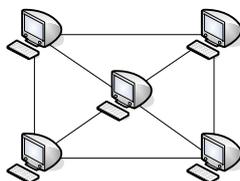
TOPOLOGÍA EN ESTRELLA EXTENDIDA



### 3.1.1.3.6 Topología en Malla

En esta topología cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos, de esta manera es posible llevar la información de un nodo a otro por diferentes caminos.

Si la topología de malla está completamente conectada no puede existir absolutamente ninguna interrupción en la transmisión de la información. Cada elemento de la red tiene sus propias conexiones con todos los demás elementos.



TOPOLOGÍA DE MALLA COMPLETA

### 3.1.1.3.7 Topología Seleccionada

Descritas las características más importantes de las distintas topologías, se procede a seleccionar una de ellas para los enlaces inalámbricos ópticos a diseñarse.

En el capítulo anterior se detalló la topología actual que tiene la red del campus, la misma que es del tipo estrella extendida. Mientras que la red del Observatorio Astronómico no se encuentra conectada por ningún enlace a la Polired.

La elección de una topología física se realiza en base a criterios como la disponibilidad requerida de la red, distribución del tráfico y la disposición física de las instalaciones que se interconectan en la red.

Para el caso de requerir la mayor disponibilidad en una red, se debería implementar una topología tipo malla; la misma que establece varios enlaces entre todos los nodos pero que encarece el costo de implementación.

Para tener una adecuada disponibilidad de red, la jerarquización de los niveles que se obtienen con la aplicación de la topología en estrella o estrella extendida, es la ideal mientras que al mismo tiempo no se encarecen los costos de implementación.

Basados en estos criterios, y considerando que la topología en estrella extendida presenta mayores ventajas respecto a otras para efecto de la transmisión de información en la red del campus, se ha optado por diseñar los enlaces inalámbricos ópticos siguiendo este modelo de conectividad. No obstante a diferencia del actual modelo de red, basado en enlaces de fibra óptica que conectan las distintas facultades, estableciendo niveles jerárquicos de operación, procesamiento y distribución de información entre los switches de core, distribución y acceso; los enlaces inalámbricos ópticos que se diseñan en el presente proyecto de titulación serán únicamente entre los switches de core y los switches de distribución de la red de la Escuela Politécnica Nacional, añadiendo un enlace para con el Observatorio Astronómico donde en este último operará un switch de distribución.

Los enlaces que se pretenden diseñar basados en la tecnología FSO no llegarán hasta el nivel de acceso de la actual topología de red en el campus; por cuanto no se justifica establecer los caminos inalámbricos ópticos entre switches que se encuentran ubicados en el mismo rack de comunicaciones; este es el caso de los enlaces entre los switches de distribución y acceso.

Una vez definido que los enlaces inalámbricos ópticos se realizarán basados en la topología actual de la red de la universidad, se reafirma la premisa que los enlaces FSO a diseñarse proporcionarán redundancia en los caminos físicos para la red de la Escuela Politécnica Nacional, y a la vez permitirán el transporte de información con el Observatorio Astronómico esto con un enlace para con el edificio de Administración.

## **3.1.2 PROPAGACIÓN DE LÍNEA DE VISTA**

### **3.1.2.1 Influencia del medio ambiente en la propagación**

Los enlaces FSO envuelven fenómenos como la transmisión, absorción y dispersión de la luz a través de la atmósfera. La atmósfera interactúa con la luz, debido a la composición de la misma que, en condiciones normales, se compone de una variedad de diferentes moléculas y pequeñas partículas suspendidas denominadas aerosoles.

Los fenómenos ópticos que se consideran son la absorción, dispersión y cintilación; además de prestar atención a la composición de la atmósfera.

#### *3.1.2.1.1 Absorción atmosférica*

Resulta de la interacción entre los fotones de radiación y los átomos o moléculas del medio de transmisión, esta interacción conlleva a la desaparición de los fotones incidentes. La absorción atmosférica no tiene grandes efectos sobre los sistemas FSO.

#### *3.1.2.1.2 Dispersión atmosférica*

Resulta de la interacción de una parte de la luz con los átomos y/o moléculas en el medio de propagación, lo que causa una redistribución angular de parte de la radiación con o sin modificación de la longitud de onda. De esta manera la dispersión atmosférica es función de la longitud de onda de la radiación y del tamaño (diámetro) de las partículas presentes en la atmósfera. Hay dos tipos principales de dispersión atmosférica la dispersión de Rayleigh y dispersión de Mie.

#### *3.1.2.1.2.1 Dispersión Rayleigh*

Ocurre cuando las partículas que provocan la dispersión tienen un diámetro más pequeño que la longitud de onda de la radiación. Este tipo de dispersión es responsable del color azul del cielo.

#### *3.1.2.1.2.2 Dispersión Mie*

Ocurre cuando las partículas que provocan la dispersión tienen el diámetro igual o mayor que la longitud de onda de la radiación. Este tipo es responsable por el color blanco de las nubes.

#### *3.1.2.1.3 Cintilación atmosférica*

Representa las fluctuaciones rápidas y de pequeña escala en el índice de refracción de la atmósfera que ocurre debido a la turbulencia atmosférica.

Como consecuencia, ocurren pequeñas variaciones en los tiempos de llegada de los diversos componentes del frente de onda del haz del láser; el efecto final de la cintilación es una fluctuación temporal de la intensidad del haz del láser en el receptor. Fluctuaciones de intensidad semejantes al “parpadeo” de una estrella.

#### *3.1.2.1.4 Atmósfera de la Tierra*

En FSO es de interés especial la tropósfera<sup>35</sup> porque es ahí donde ocurren la mayoría de fenómenos climáticos.

La propagación de la luz en la troposfera se ve afectada por las siguientes consideraciones:

---

<sup>35</sup> La tropósfera es la primera capa de la atmósfera, llega hasta un límite superior situado a 9km de altura en los polos y los 18km en la línea ecuatorial.

- La composición del gas en la atmósfera
- La presencia de aerosoles<sup>36</sup>
- Lluvia, nieve, granizo
- Polvo, humo, arena

#### *3.1.2.1.4.1 Composición atmosférica*

Los componentes de los gases en la atmósfera se clasifican en dos categorías:

- Componentes con densidad fija, estos tienen una distribución casi uniforme en alturas comprendidas entre los 15 y 20km. Aquí se encuentran el nitrógeno, oxígeno, argón y dióxido de carbono. En la región visible y del infrarrojo, sobre longitudes de onda de 15um el dióxido de carbono es el principal elemento que provoca absorción
- Componentes de densidad variable, son la minoría, y su concentración depende de la ubicación geográfica (latitud, altitud) y de las condiciones ambientales

El vapor de agua es la principal variable que constituye la atmósfera. Su concentración depende de parámetros climáticos y meteorológicos. Mientras su concentración puede llegar al 2% en ambientes a nivel del mar, su presencia es insignificante a altitudes mayores de 20km.

Otra variable importante es el ozono, cuya concentración varía también de acuerdo a la altitud (máximo hasta 25km), latitud y ambiente. Es un factor importante de absorción en la banda del ultravioleta, mientras que en la región del infrarrojo afecta a las longitudes de onda del orden de 0.6um.

---

<sup>36</sup> Los aerosoles son pequeñas partículas sólidas o líquidas de longitud variable suspendidas en el aire.

#### 3.1.2.1.4.2 Aerosoles

Son partículas extremadamente finas (sólidas o líquidas) suspendidas en la atmósfera debido a su tamaño tienen una velocidad de atracción a la tierra muy pequeña. Su tamaño oscila entre 0.01µm y 100µm de diámetro; por la atracción gravitacional, las partículas más grandes (mayor a 0.2µm) se encuentran cerca del suelo.

La niebla es un aerosol líquido, mientras que la arena es un aerosol sólido.

La presencia de aerosoles causa varios disturbios en la propagación de ondas ópticas a medida que su dimensión se acerca a las longitudes de onda de propagación.

*El evento atmosférico que más afecta a los sistemas FSO es la neblina, debido a la relación entre el diámetro de la partículas y la longitud de onda. Esto por que la neblina está constituida por partículas de agua que son tan densas y pequeñas que funcionan como prismas, distorsionando y atenuando la señal óptica.*

### 3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FSO

#### 3.1.3.1 Análisis

Las características de los sistemas FSO serán evaluadas a través del margen del enlace o link margin, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$M_{link} = Pe + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$M_{link}$  es el margen del enlace o link margin

$Pe$  es la potencia de emisión de la señal (dBm)

$Sr$  es la sensibilidad del receptor (dBm)

$Aff_{Geo}$  es la atenuación geométrica del enlace (dB)

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

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

Para garantizar el funcionamiento del sistema, el valor del margen del enlace o link margin no puede ser negativo.

### 3.1.4 DISEÑO DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS ÓPTICOS

Se realizarán en base a la ecuación del margen del enlace descrito anteriormente por ecuación 3.1.

$$M_{link} = Pe + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

A continuación se describen los parámetros inmersos en la ecuación del margen del enlace o link margin.

#### 3.1.4.1 Potencia de emisión de la señal y Sensibilidad del Receptor

Los datos de la potencia de emisión de la señal y la sensibilidad del receptor son proporcionados por el fabricante de los equipos FSO. Para el diseño se ha considerado los datos típicos de los equipos FSO ofertados en el mercado por distintos fabricantes<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Fabricantes de equipos FSO como SONABEAM y LIGHTPOINTE.

Dentro del campus de la Escuela Politécnica Nacional, para los enlaces inalámbricos ópticos entre los switches de core y distribución, se empleará el equipo de la tecnología FSO de marca SONABEAM modelo 1250-M (ver anexos); cuya potencia de emisión y sensibilidad son:

$$Pe = 140mW$$

$$Sr = -20dBm$$

Este equipo es de características multihaz, lo que permite disminuir considerablemente efectos como la dispersión atmosférica, para el caso del modelo 1250-M se tiene 4 haces; lo que resultaría en la siguiente potencia de emisión:

$$Pe = 4 \times 140mW$$

$$Pe = 560mW$$

Para pasar la potencia de emisión de las unidades en miliwatios (mW) a dBm, se aplica la ecuación 3.2.

$$Pe_{dBm} = 10 \times \log(Pe_{mW}) \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Aplicando la ecuación 3.2 se tiene:

$$Pe_{dBm} = 10 \times \log(Pe_{mW})$$

$$Pe_{dBm} = 10 \times \log(560)$$

$$Pe_{dBm} = 10 \times 2,748$$

$$Pe_{dBm} = 27,48 \text{ dBm}$$

Para el enlace inalámbrico óptico entre el edificio de Administración y el Observatorio Astronómico se empleará el equipo de la tecnología FSO de marca SONABEAM modelo 155-M (ver anexos), cuya potencia de emisión y sensibilidad son:

$$Pe = 640mW$$

$$Sr = -31dBm$$

Los equipos FSO que se emplean en el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos dentro de la Escuela Politécnica Nacional y con el Observatorio Astronómico, tienen diferentes características de potencia de emisión y de la sensibilidad de su receptor.

En base a la ecuación 3.2 la potencia de emisión del equipo SONABEAM 155-M es:

$$Pe_{dBm} = 10 \times \log(Pe_{mW})$$

$$Pe_{dBm} = 10 \times \log(640)$$

$$Pe_{dBm} = 10 \times 2,806$$

$$Pe_{dBm} = 28,06 dBm$$

### 3.1.4.2 Atenuación Geométrica

El haz emitido por el transmisor sufrirá divergencia, de esta manera la celda receptora recibirá únicamente una fracción de la energía emitida.

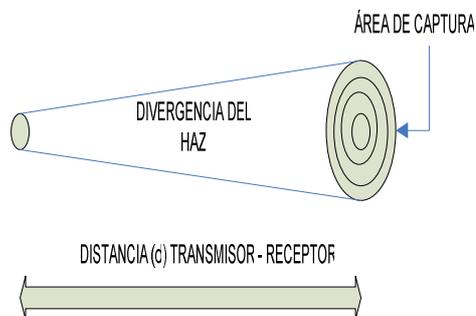


Figura 3.5 Diagrama que muestra la propagación del haz de un láser

La atenuación geométrica se describe de acuerdo a la ecuación 3.3.

$$Aff_{geométrica} = \frac{S_d}{S_{captura}} = \frac{\pi}{4} \frac{(d \cdot \theta)^2}{S_{captura}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

$\theta$  es la divergencia del haz (miliradianes = mrad)

$d$  es la distancia que recorre el haz (metros = m)

$S_{captura}$  es el área de captura del receptor (metros cuadrados =  $m^2$ )

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

La atenuación geométrica en dB se expresa según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 * \log_{10}(Aff_{geométrica}) \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Es así que la atenuación geométrica es función de la divergencia del haz, la distancia y el área de captura.

El valor de la divergencia del haz considerado para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos es 3 miliradianes. Cabe resaltar que este valor ha sido estimado tomando en cuenta que es el máximo posible de acuerdo a las características de los enlaces, esto por que los diseños deben ser siempre realizados tomando en consideración las peores condiciones, para que de esta manera el funcionamiento del sistema diseñado sea óptimo en las condiciones normales de funcionamiento.

El área de captura, dato estándar de los fabricantes de equipos FSO, es de 0,025 metros cuadrados, valor con el que se realizan los cálculos.

Para realizar el cálculo del valor de la atenuación geométrica que representa el enlace inalámbrico óptico entre el switch de core de la unidad de gestión de información y el switch de core de química, se tienen los siguientes datos:

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 253,71 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(253,71m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,76113m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,5793m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{0,45499}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 18,199$$

$$Aff_{geométrica} = 18,2$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(18,2)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times 1,2601$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 12,601 \text{ dB}$$

Basados en el precedente ejemplo de cálculo se calculan los valores de la atenuación geométrica para los enlaces inalámbricos ópticos dentro de los edificios que agrupan los switches de core y switches de distribución en la Escuela Politécnica Nacional; y entre el edificio de Administración General y el Observatorio Astronómico (cálculos que se detallan en los anexos).

Los resultados se muestran en la tabla 3.4.

<b>ENLACE</b>	<b>DISTANCIA (metros)</b>	<b>DIVERGENCIA (radianes)</b>	<b>ÁREA DE CAPTURA (metros cuadrados)</b>	<b>ATENUACIÓN GEOMÉTRICA</b>	<b>ATENUACIÓN GEOMÉTRICA (dB)</b>
<b>cugi - cquímica</b>	253,71	0,003	0,025	18,19983928	<b>12,601</b>
<b>cugi - dcivil</b>	81,96	0,003	0,025	1,899311866	<b>2,786</b>
<b>cquímica - dsistemas</b>	105,43	0,003	0,025	3,142829313	<b>4,973</b>
<b>cquímica - deléctrica</b>	29,56	0,003	0,025	0,24705932	<b>-6,072 ≈ 0</b>
<b>cquímica - dmecánica</b>	31,54	0,003	0,025	0,281265044	<b>-5,509 ≈ 0</b>
<b>cugi - dobservatorio</b>	1.380,01	0,003	0,025	538,4642182	<b>27,312</b>

*Tabla 3.4 Atenuación Geométrica de los Enlaces*

La atenuación geométrica es un factor que limita la distancia del enlace inalámbrico óptico y puede reducir la disponibilidad del sistema, su valor será mayor en relación a cuan menor sea el área del receptor y a la distancia que tendrá que recorrer el haz de información.

Según los datos calculados, y tomando en cuenta un área de captura estándar para los equipos dentro de la Escuela Politécnica Nacional<sup>38</sup>, y otra para el par de equipos que intervengan en el enlace con el Observatorio Astronómico<sup>39</sup>; se observa una mayor atenuación en relación directamente proporcional con la distancia que tendrán que recorrer los haces de los enlaces inalámbricos ópticos. Incluso, este valor llega a ser despreciable en los enlaces referentes al switch de core de química y los switches de distribución de eléctrica y mecánica.

### 3.1.4.3 Atenuación Atmosférica por Niebla

La atenuación atmosférica es descrita por la ley de Beer, la misma que puede ser expresada en función de la transmitancia.

La ley de Beer o ley de Beer-Lambert-Bouguer es una relación empírica que relaciona la absorción de la luz con las propiedades del material atravesado; en resumen, la ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia. Se expresa de acuerdo a la ecuación 3.5.

$$\frac{P(d)}{P(0)} = e^{-\sigma \cdot d} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

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

$P(0)$  es la potencia emitida

$e$  es la relación exponencial

$\sigma$  es el coeficiente de atenuación

$d$  es la distancia que recorre el haz (kilómetros)

---

<sup>38</sup> Los equipos considerados para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos en la Escuela Politécnica Nacional son los SONABEAM 1250-M.

<sup>39</sup> El par de equipos considerados para el diseño del enlace inalámbrico óptico con el Observatorio Astronómico son SONABEAM 155-M.

El valor del coeficiente de absorción varía según el material absorbente y se suele determinar experimentalmente.

La transmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo. La transmitancia óptica se define como la fracción de luz incidente, a una longitud de onda específica que pasa a través de una material; se expresa de acuerdo a la ecuación 3.6.

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

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

Finalmente, se relaciona la ley de Beer y la transmitancia, ecuación 3.5 y 3.6 respectivamente; igualando sus expresiones en la ecuación 3.7.

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} = e^{-\sigma \cdot d} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

La atenuación atmosférica se relaciona con la transmitancia de acuerdo a la ecuación 3.8.

$$A_{ff_{Atm(dB)}} = 10 * \log(1 / \tau(d)) \quad \text{Ecuación 3.8}$$

El coeficiente de atenuación es la suma de cuatro términos, representados en la ecuación 3.9.

$$\sigma = \alpha_m + \alpha_n + \beta_m + \beta_n \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

$\alpha_m$  es el coeficiente de absorción molecular

$\alpha_n$  es el coeficiente de absorción del aerosol

$\beta_m$  es el coeficiente de dispersión de Rayleigh

$\beta_n$  es el coeficiente de dispersión de Mie

El coeficiente de dispersión de Rayleigh,  $\beta_m$ , es el resultado de la interacción de la luz con partículas de tamaño pequeño en relación a la longitud de onda.

El coeficiente de dispersión de Mie,  $\beta_n$ , aparece cuando las partículas incidentes son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la onda transmitida.

Se debe tener en cuenta las siguientes características de los sistemas FSO:

- Las longitudes de onda de interés se encuentran entre 780 nm y 1550 nm
- Los coeficientes de absorción molecular, aerosol y dispersión Rayleigh son despreciables

Resultando entonces que el coeficiente de atenuación es dominado por la dispersión de Mie que, a su vez, está en función de la visibilidad.

Por lo tanto, en las longitudes de onda de interés el coeficiente de atenuación es descrito por la ecuación 3.10.

$$\sigma = \beta_n \quad \text{Ecuación 3.10}$$

La visibilidad es técnicamente definida como la distancia en la cual la intensidad de luz decrece a 2% de su valor inicial. Cualitativamente, la visibilidad es la máxima distancia en la cual aún es posible distinguir un objeto oscuro en el horizonte.

Los valores de visibilidad en relación con las condiciones ambientales que presente una localidad son los siguientes:

CONDICIONES AMBIENTALES	PRECIPITACIÓN		VISIBILIDAD	
		mm/hr		
<i>Niebla muy Espesa</i>			<b>0 metros</b>	
	-----		<b>50 metros</b>	
<i>Niebla Espesa</i>			<b>500 metros</b>	
	-----		<b>600 metros</b>	
	<i>Tormenta</i>	100	<b>770 metros</b>	
	-----		<b>1 kilómetros</b>	
<i>Niebla Moderada</i>	Nieve	<i>Lluvia Fuerte</i>	25	<b>1,9 kilómetros</b>
		-----		<b>2 kilómetros</b>
		<i>Lluvia Moderada</i>	12,5	<b>2,8 kilómetros</b>
		-----		<b>4 kilómetros</b>
				<b>4 kilómetros</b>
<i>Neblina</i>	<i>Lluvia Ligera</i>	2,5	<b>5,9 kilómetros</b>	
	-----		<b>10 kilómetros</b>	
<i>Despejado</i>	<i>Llovizna</i>	0,25	<b>18,1 kilómetros</b>	
	-----		<b>20 kilómetros</b>	
<i>Muy Despejado</i>			<b>23 kilómetros</b>	
			<b>50 kilómetros</b>	
			<b>50 kilómetros</b>	

Tabla 3.5 Valores de Visibilidad

La variación del coeficiente de atenuación con la visibilidad es descrita mediante la ley de Kruse, de acuerdo a la ecuación 3.11.

$$\sigma = \beta_n = \frac{3.912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Con:

$$q = \begin{cases} 1,6 & \text{si } V > 50\text{km} \\ 1,3 & \text{si } 6\text{km} < V < 50\text{km} \\ 0,16*V + 0,34 & \text{si } 1\text{km} < V < 6\text{km} \\ V - 0,5 & \text{si } 0,5\text{km} < V < 1\text{km} \end{cases}$$

Donde:

$V$  es la visibilidad en kilómetros

$\lambda_{nm}$  es la longitud de onda en nanómetros

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

El factor  $q$  que depende de la dispersión de la partícula en el medio es proporcional y referente a ciertos rangos de visibilidad.

El cálculo de la atenuación atmosférica se realiza de acuerdo a las condiciones climáticas típicas de Quito, específicamente en el sector de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico.

Considerando el peor de los escenarios climáticos que pudieran presentarse en Quito, el cual contempla la presencia de una lluvia torrencial y niebla al mismo tiempo, el valor promedio de visibilidad es de 770 metros, según la tabla 3.5 descrita anteriormente.

La longitud de onda a la que operan los equipos FSO en el espacio libre es 1.550 nm.

Considerando la longitud de onda de operación y la visibilidad típica de Quito.

$$\lambda_{nm} = 1.550 \text{ nm}$$

$$V = 770 \text{ m} = 0,77 \text{ km}$$

$$q = V - 0,5 = 0,77 - 0,5 = 0,27$$

Y aplicando la ecuación 3.11, se calcula el coeficiente de atenuación para los enlaces inalámbricos ópticos en las peores condiciones.

$$\sigma = \beta_n = \frac{3,912}{V} \left( \frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q}$$

$$\sigma = \beta_n = \frac{3,912}{0,77} \left( \frac{1550}{550} \right)^{-0,27}$$

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

$$\sigma = \beta_n = 5,0805(0,7559)$$

$$\sigma = \beta_n = 3,84$$

Con este valor se puede emplear la ley de Beer y calcular la transmitancia para el enlace inalámbrico óptico entre el switch de core de la unidad de gestión de información y el switch de core química, a partir de la ecuación 3.7.

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left( \frac{253,71}{1.000} \right)}$$

$$\tau(d) = e^{-0,9742464}$$

$$\tau(d) = 0,377476713$$

Con el valor de la transmitancia, la atenuación atmosférica para el enlace inalámbrico óptico citado se calcula aplicando la ecuación 3.8.

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau(d)}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{0,377476713}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(2,6491)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 0,4231098355$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 4,231098355 \text{ dB}$$

La atenuación atmosférica es gobernada por el fenómeno atmosférico conocido como niebla, que es el de mayor incidencia en los sistemas inalámbricos ópticos de la tecnología FSO; esto debido a las longitudes del diámetro de las partículas que conforman la niebla.

De esta manera se calculan los valores de la atenuación atmosférica producida por la neblina, para los distintos enlaces dentro del campus de la Escuela Politécnica Nacional, y también para con el Observatorio Astronómico; resultados que se muestran en la tabla 3.6.

ENLACE	DISTANCIA (metros)	$\sigma = \beta_n$	TRANSMITANCIA	ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA (dB)
<b>cugi - cquímica</b>	253,71	3,84	0,377476713	<b>4,231098355</b>
<b>cugi - dcivil</b>	81,96	3,84	0,729988572	<b>1,366839388</b>
<b>cquímica - dsistemas</b>	105,43	3,84	0,667076064	<b>1,758246422</b>
<b>cquímica - deléctrica</b>	29,56	3,84	0,892694912	<b>0,492969404</b>
<b>cquímica - dmecánica</b>	31,54	3,84	0,885933312	<b>0,525989682</b>
<b>cugi - dobservatorio</b>	1.380,01	3,84	0,004995397	<b>23,01429995</b>

Tabla 3.6 Atenuación Atmosférica por Niebla

De igual manera, que la atenuación geométrica, la atenuación atmosférica limita la distancia del enlace y puede reducir la disponibilidad del sistema de acuerdo a sus valores. Observamos en los valores de los datos obtenidos en la tabla anterior, que la atenuación atmosférica se incrementa proporcionalmente con la distancia que tiene que recorrer el haz por el medio inalámbrico óptico.

### 3.1.4.4 Pérdidas del Sistema

#### 3.1.4.4.1 Pérdidas de Equipos

Estos valores surgen de factores intrínsecos en los elementos electrónicos que componen los equipos FSO. Esta consideración además del hecho de que con el tiempo todos los equipos electrónicos sufren desgaste y cambio en sus propiedades de funcionamiento; exige que se considere un valor de reserva para adoptar la situación real. El dato de pérdida de un equipo FSO es dado por el fabricante. Se representa de la siguiente manera:

$$\alpha_e = \text{Pérdidas en equipo FSO [dB]}$$

Estos valores se presentan en la tabla 3.7.

ENLACE	ATENUACIÓN EQUIPOS (dB)
cugi - cqímica	1
cugi - dcivil	1
cquímica - dsistemas	1
cquímica - deléctrica	1
cquímica - dmecánica	1
cugi - dobservatorio	1

Tabla 3.7 Pérdidas de Equipo FSO

#### *3.1.4.4.2 Pérdidas en Conectores*

Los conectores son elementos pasivos que unen la fibra óptica con los puertos respectivos en los switches de core y distribución. Estos conectores para fibra óptica pueden ser del tipo FC, SC y ST.

El conector FC “Fiber Connector” es un conector muy robusto utilizado principalmente en telecomunicaciones de larga distancia para aplicaciones de voz.

El conector SC “Subscription Channel” es de encaje directo de tipo “Push Pull”, eliminando así la necesidad de atornillar. Este conector está disponible para fibras multimodo y monomodo.

El conector ST “Straight Tip” dispone de un mecanismo de sujeción en forma de bayoneta que fija la conexión al dar un cuarto de vuelta, disponible en versión multimodo y monomodo.

Los puertos de fibra óptica a donde se acoplaran los conectores se encuentran en la parte posterior de los switches de core y distribución ubicados en los distintos racks de comunicaciones de los edificios que intervienen en el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos.

De acuerdo al levantamiento físico realizado de los elementos activos de la Polired, además de los datasheets consultados de los switches de core y distribución; los conectores que se necesitan son del tipo ST.

Los conectores introducen pérdidas que reducen la potencia de la señal, estas pérdidas se suman de acuerdo al número de conectores presentes en la interconexión de equipos necesarios para lograr la comunicación.

Las pérdidas de conectores, son en general valores bajos y son proporcionados por los fabricantes.

Se representa de la siguiente manera:

$$\alpha_c = \text{Pérdidas en conectores [dB]}$$

Establecer un enlace FSO con los equipos ubicados en las terrazas de los edificios correspondientes requiere de un conector hacia la parte posterior del switch de core o distribución. De esta manera se tiene por enlace dos conectores, lo cual introduce un valor de pérdidas bastante bajo, detallado en la tabla 3.8.

ENLACE	NO. CONECTORES	ATENUACIÓN POR CONECTOR	ATENUACIÓN CONECTORES (dB)
cugi - cquímica	2	0,5	1
cugi - dcivil	2	0,5	1
cquímica - dsistemas	2	0,5	1
cquímica - deléctrica	2	0,5	1
cquímica - dmecánica	2	0,5	1
cugi - dobservatorio	2	0,5	1

Tabla 3.8 Pérdidas de Conectores

#### 3.1.4.4.3 Pérdidas en Fibra Óptica

Las pérdidas en la fibra óptica son directamente proporcionales con la distancia de la misma. Su valor oscila entre 5 y 10 dB por kilómetro.

Estas pérdidas son despreciables para nuestros enlaces, puesto que los tramos de fibra óptica que se necesitan para la conexión de los equipos FSO y los switches de core o distribución son bastante cortos.

Sus valores se presentan en la tabla 3.9.

ENLACE	ATENUACIÓN FIBRA ÓPTICA (dB)
cugi - cqímica	0
cugi - dcivil	0
cquímica - dsistemas	0
cquímica - deléctrica	0
cquímica - dmecánica	0
cugi - dobservatorio	0

*Tabla 3.9 Pérdidas de Fibra Óptica*

De ahí que para el cálculo del margen del enlace no se consideran las pérdidas correspondientes a los tramos de fibra óptica que conectan los switches de core y switches de distribución con los equipos FSO que implementan los enlaces inalámbricos ópticos.

#### *3.1.4.4.4 Pérdidas por Desalineamiento*

Esta clase de pérdidas se producen por un desalineamiento o desapuntamiento entre los equipos FSO. Cuando las haces no se encuentran perfectamente alineados se genera un margen de pérdida en la recepción de la señal, que se conoce como pérdida por desalineamiento.

El desalineamiento debe ser considerado en el diseño, puesto que existe la posibilidad de que ocurran errores en la instalación o por efectos externos como vientos, golpes, oscilación de la estructura de soporte, etc.

Aunque las pérdidas por desalineamiento no son función de la distancia del enlace, se debe notar que cuanto más alejados entre sí se encuentren los equipos, mayores serán las probabilidades de que se desalineen. Para los enlaces presentados, esto se traduce como un mayor valor de atenuación en el enlace correspondiente entre el edificio de Administración General y el Observatorio Astronómico.

<b>ENLACE</b>	<b>DISTANCIA (metros)</b>	<b>ATENUACIÓN DESALINEAMIENTO (dB)</b>
<b>cugi - cqímica</b>	253,71	1
<b>cugi - dcivil</b>	81,96	1
<b>cquímica - dsistemas</b>	105,43	1
<b>cquímica - deléctrica</b>	29,56	1
<b>cquímica - dmecánica</b>	31,54	1
<b>cugi - dobservatorio</b>	1.380,01	2

*Tabla 3.10 Pérdidas por Desalineamiento*

La tabla 3.10 presenta las pérdidas por desalineamiento; estas son independientes de la distancia del enlace, y tienen más relación con el montaje de los equipos FSO y el error de apuntamiento entre el equipo transmisor y receptor.

#### *3.1.4.4.5 Pérdidas del Sistema*

Las pérdidas del sistema son el resultado de la suma de las pérdidas de los equipos FSO, los conectores de fibra óptica, los tramos de fibra óptica y el desalineamiento en el montaje de los equipos.

Estos valores han sido calculados anteriormente, y se presentan en conjunto en la tabla 3.11.

ENLACE	PÉRDIDAS DE EQUIPOS (dB)	PÉRDIDAS EN CONECTORES (dB)	PÉRDIDAS DE FIBRA ÓPTICA (dB)	PÉRDIDAS POR DESALINEAMIENTO (dB)	PÉRDIDAS DEL SISTEMA (dB)
cugi - cqímica	1	1	0	1	3
cugi - dcivil	1	1	0	1	3
cquímica - dsistemas	1	1	0	1	3
cquímica - deléctrica	1	1	0	1	3
cquímica - dmecánica	1	1	0	1	3
cugi - dobservatorio	1	1	0	2	4

Tabla 3.11 Pérdidas del Sistema

El mayor valor de pérdida se presenta en el enlace con el Observatorio Astronómico, producto de una mayor posibilidad de desalineamiento entre los equipos debido a una mayor distancia de separación entre los mismos.

#### 3.1.4.5 Margen de Enlace o Link Margin

Se calcula en base a la ecuación 3.1 anteriormente mencionada.

$$M_{link} = Pe + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

Para el enlace entre los switches de core (cugi – cquímica) el cálculo del margen de enlace se realiza de acuerdo a los siguientes datos previamente calculados:

$$P_e = 27,48 \text{ dBm}$$

$$S_r = -20 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 12,6 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 4,231 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 3 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = P_e + |S_r| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 27,48 \text{ dBm} + 20 - \text{dBm} - 12,6\text{dB} - 4,231\text{dB} - 3\text{dB}$$

$$M_{link} = 27,65\text{dB}$$

La tabla 3.12 presenta los valores calculados para el resto de enlaces; y en los anexos se presenta el cálculo detallado para cada uno de los enlaces.

	<b>ENLACE 1</b> cugi - cquímica	<b>ENLACE 2</b> cugi - dcivil	<b>ENLACE 3</b> cquímica - dsistemas	<b>ENLACE 4</b> cquímica - deléctrica	<b>ENLACE 5</b> cquímica - dmecánica	<b>ENLACE 6</b> cugi - dobservatorio
<b>DISTANCIA (metros)</b>	253,71	81,96	105,43	29,56	31,54	1.380,01
<b>Potencia de Emisión (dBm)</b>	27,48	27,48	27,48	27,48	27,48	28,06
<b>Sensibilidad (dBm)</b>	-20	-20	-20	-20	-20	-31
<b>Atenuación Geométrica (dB)</b>	12,60	2,79	4,97	0	0	27,31
<b>Atenuación Molecular (dB)</b>	4,231	1,366	1,758	0,4929	0,5259	23,0143
<b>Pérdidas del Sistema (dB)</b>	3	3	3	3	3	4
<b>MARGEN DE ENLACE (dB)</b>	<b>27,65</b>	<b>40,33</b>	<b>37,75</b>	<b>43,99</b>	<b>43,95</b>	<b>4,74</b>

*Tabla 3.12 Margen de Enlace o Link Margin*

Los datos de la tabla 3.12 muestran que los enlaces inalámbricos ópticos son factibles de realizarlos, puesto que el margen del enlace no es negativo.

### 3.1.5 ESQUEMA DE RED PROPUESTO

Una vez realizado el análisis del margen de enlace, tomando en cuenta todas las consideraciones de diseño mencionadas; se puede presentar un esquema físico y lógico de los enlaces inalámbricos ópticos propuestos para la Polired y para el Observatorio Astronómico.

La figura 3.6 muestra la nueva topología física que se implementaría con los enlaces inalámbricos ópticos diseñados dentro de la Escuela Politécnica Nacional, conectando los switches de core y distribución; y el enlace con el Observatorio Astronómico para lo cual se considera la conexión del switch de core de la Unidad de Gestión de la Información (cugi) con un switch propuesto en el diseño para que funcione como un nodo de distribución y adicione la red del Observatorio Astronómico.

En la figura 3.7 aparecen únicamente los enlaces inalámbricos ópticos diseñados, en la misma se detallan los valores de las distancias de espacio libre que tendrán que recorrer los haces infrarrojos y muestran también la jerarquización de los switches de la Polired. Aquí se muestra el incorporado nivel de distribución del Observatorio Astronómico y su conexión con el switch de core del ugi (cugi).

Finalmente, la figura 3.8, muestra el esquema lógico de la red de la EPN; en la que se detallan el cableado actual de fibra óptica y los enlaces inalámbricos ópticos redundantes a nivel de core y distribución. Cabe resaltar, que la topología mostrada incluye la comunicación con el Observatorio Astronómico, que sólo es posible con un enlace FSO que conecte el switch de core del ugi y el switch de distribución del observatorio.

Los valores de las distancias de los enlaces inalámbricos de espacio libre, son los considerados desde las terrazas de los edificios que contienen a los switches de core y distribución anteriormente mencionados.

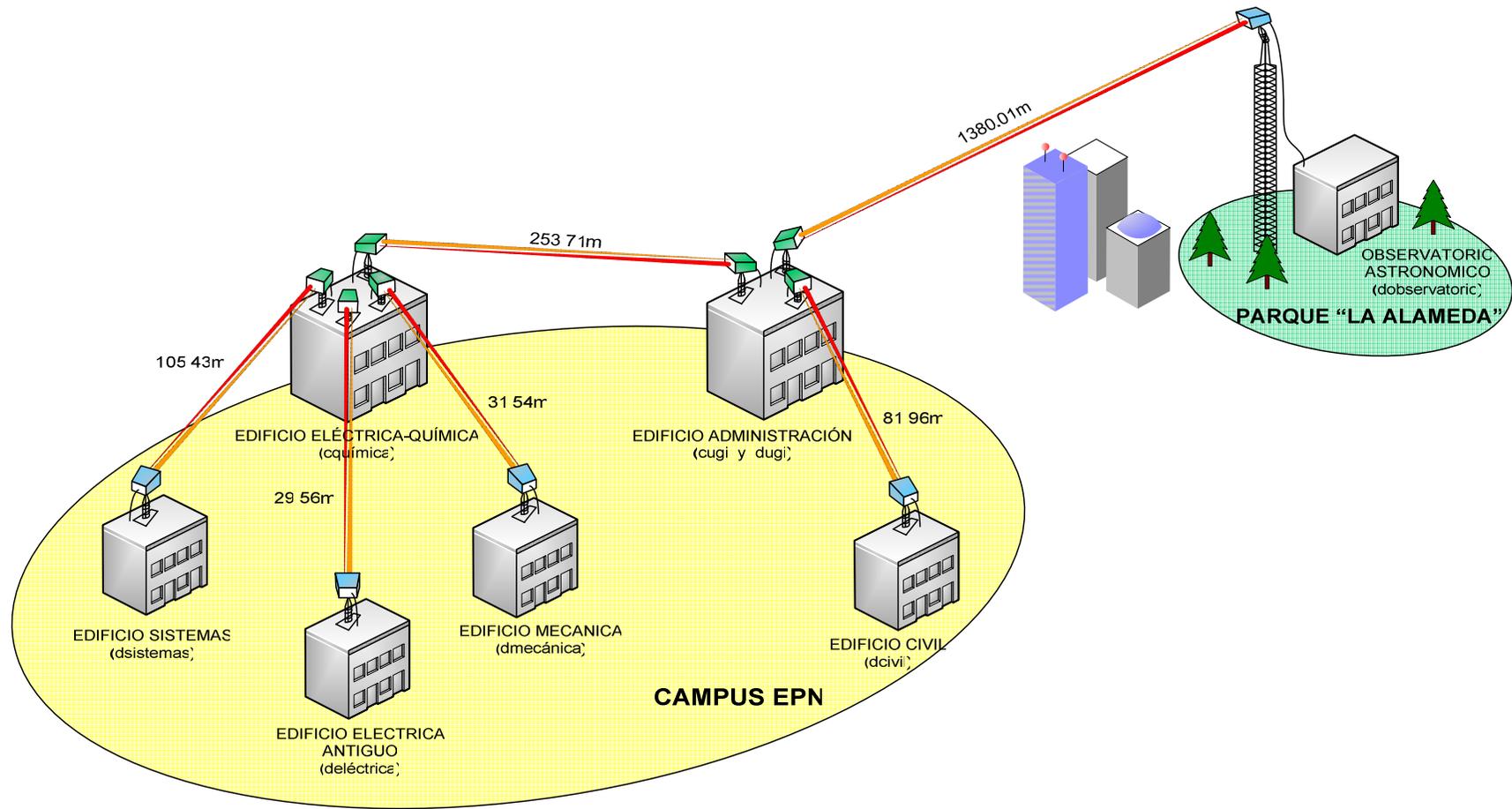


Figura 3.6 Esquema físico de la red propuesta

## Observaciones a la figura 3.6

**CUGI***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 4507R

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Administración General, 1er piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.801,00 msn

*ALTURA*

41 metros

*NOTA:*

Presenta línea de vista con todos los edificios dentro de la Escuela Politécnica Nacional, excepto con el Observatorio Astronómico para lo cual requiere de una torre de altura estimada en 30 metros.

**CQUIMICA***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 4507R

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Eléctrica-Química, 3er piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.803,10 msn

*ALTURA*

37,5 metros

**DELECTRICA***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 3560G

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Eléctrica Antiguo, 2do piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.803,10 msn

*ALTURA*

16,4 metros

**DMECANICA***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 3560G

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Mecánica, 3er piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.803,10 msn

*ALTURA*

15,3 metros

**DSISTEMAS***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 3560G

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Sistemas, 3er piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.799,00 msn

*ALTURA*

21 metros

**DCIVIL***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 3560G

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 1250-M

*UBICACIÓN*

EPN, Edificio de Civil, 3er piso.

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.807,00 msn

*ALTURA*

28,5 metros

**DOBSERVATORIO***EQUIPO INTERNO*

Switch Cisco Catalyst 3560G

*EQUIPO FSO*

FSONA SONABEAM 155-M

*UBICACIÓN*

Observatorio Astronómico, parque de "La Alameda"

*NIVEL DE REFERENCIA*

2.818,05 msn

*ALTURA*

Torre de 30 metros

*NOTA:*

Presenta línea de vista con la inclusión de la torre hacia el edificio de Administración General en la Escuela Politécnica Nacional.

### Enlaces FSO Propuestos

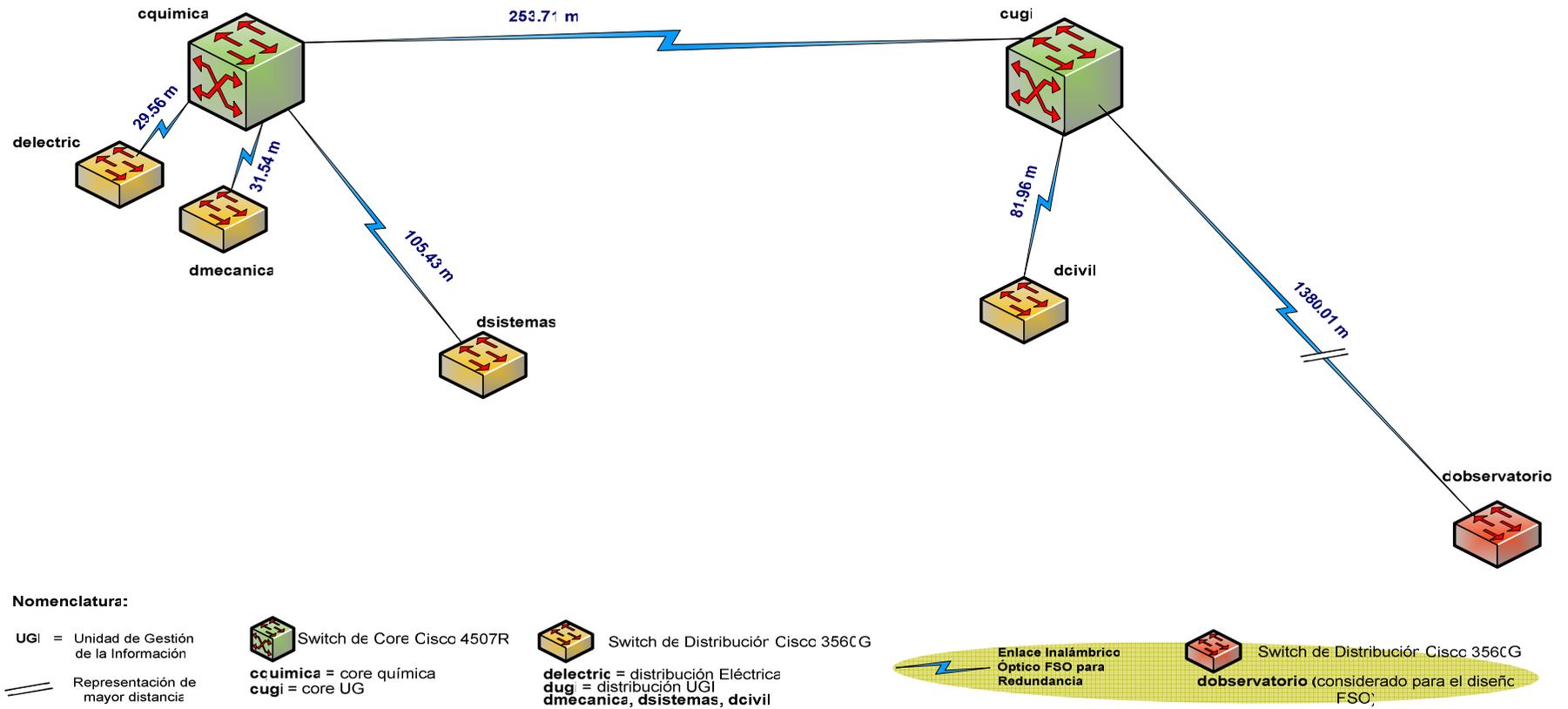


Figura 3.7 Enlaces inalámbricos ópticos propuestos para la EPN y el Observatorio Astronómico

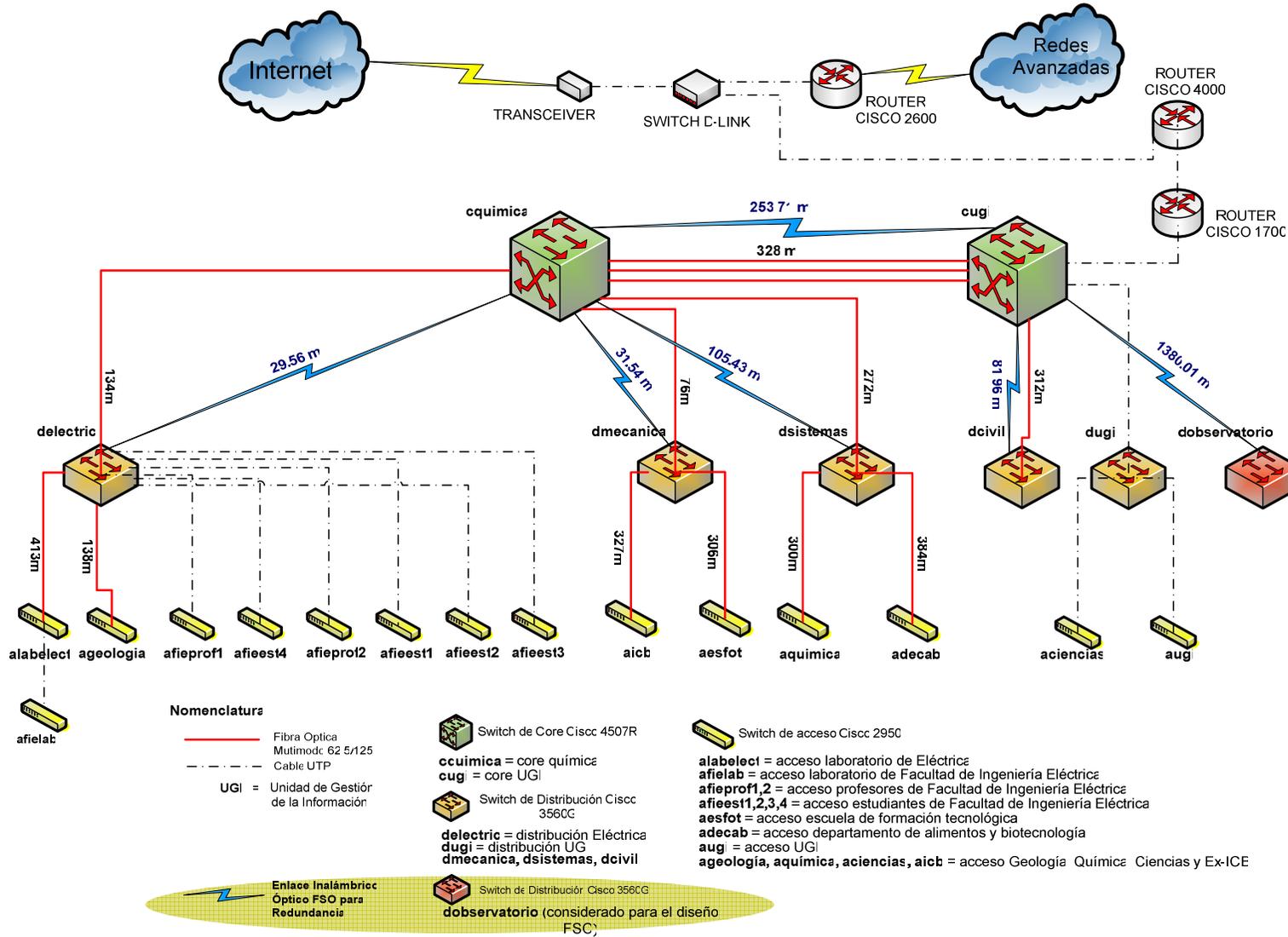


Figura 3.8 Topología lógica que muestra los enlaces redundantes FSO para la red de la EPN y su conexión con el Observatorio Astronómico

## **CAPÍTULO 4.**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo tiene como objetivo aclarar los principios de funcionamiento operativos, técnicos y reglamentarios que usa la tecnología FSO y sus respectivos enlaces inalámbricos ópticos.

Dentro de los principios operativos se detalla el rango, la seguridad, el tiempo de propagación de los datos de los enlaces inalámbricos ópticos y las recomendaciones de implementación.

Respecto a los principios técnicos, se describe el funcionamiento de las topologías redundantes y se realiza la respectiva aclaración sobre la descripción, funcionamiento y uso del protocolo árbol de extensión (spanning tree); protocolo que es característico de los Switches Cisco de Core y Distribución que emplea la Escuela Politécnica Nacional para la transferencia de información actual en la denominada Polired.

Finalmente, los principios reglamentarios de las comunicaciones ópticas de espacio libre, describen el estado actual de la regulación de la tecnología FSO a nivel del máximo organismo internacional de comunicaciones, ITU (Internacional Telecommunications Union – Unión Internacional de Telecomunicaciones). En ella también se hace referencia a la última resolución al respecto de las comunicaciones en el espectro electromagnético sobre los 3000 GHz, transferencia de información referente a la tecnología FSO y sus enlaces inalámbricos ópticos.

## **4.1 CONSIDERACIONES DEL EQUIPAMIENTO PARA LA COMUNICACIÓN DE ESPACIO LIBRE (FSO)**

### **4.1.1 PRINCIPIOS OPERATIVOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE**

Las primeras pruebas de comunicación láser de línea de vista directa fueron llevadas a cabo al comienzo de los años setenta. Sin embargo, esto fue únicamente un experimento de laboratorio, alejado de los requerimientos necesarios para una buena transmisión.

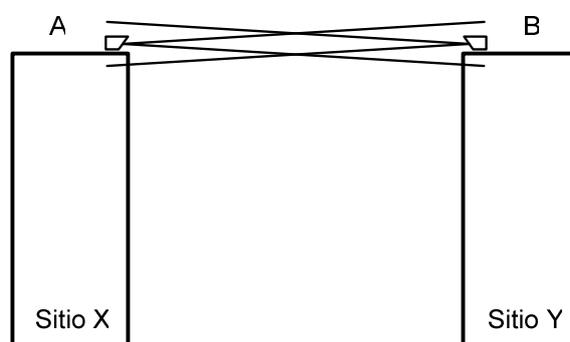
En el campo de las comunicaciones ópticas atmosféricas o enlaces ópticos de espacio libre (FSO), los productos de primera aplicación hicieron su aparición al comienzo de los años ochenta. Los primeros sistemas fueron probados, sin embargo, la calidad de transmisión y la disponibilidad de los enlaces de comunicación no respondían aún a las expectativas de los operadores de telecomunicaciones, y esto se debió principalmente a las siguientes razones:

- La no fiabilidad de los equipos de estos sistemas (FSO) y las condiciones imprecisas de implementación
- Sistemas de enlace de radio satisfactorios que no requerían de licencia para el uso del espectro
- Ningún incentivo de competencia para encontrar soluciones menos costosas en enlaces punto a punto
- Uso masivo de fibra óptica

Al término de los años noventa, una nueva ola de productos fue propuesta y los mercados de telecomunicaciones se hicieron más competitivos; las soluciones técnicas de comunicación mediante óptica de espacio libre fueron examinadas para determinar en que segmento del mercado de comunicación digital podría ser considerada esta tecnología.

Básicamente, el principio de la transmisión láser está basado en la transmisión de un haz divergente en línea de vista, mostrado en la figura 4.1.

El equipo del sitio "X" envía información digital hacia el sitio "Y" por medio de un láser modulado, este haz es deliberadamente divergente con el objetivo de reducir los problemas por pérdida de desalineamiento; entonces una parte del frente de onda es recogida por el diodo de recepción del equipo B situado en el sitio "Y". Esta operación también se lleva a cabo en la dirección opuesta, de "Y" hacia "X".



*Figura 4.1 Diagrama de un enlace punto a punto de óptica de espacio libre*

Específicamente el equipo de comunicación óptica de espacio libre, usa la modulación del haz láser para intercambiar datos binarios en dos direcciones (Full-duplex) por intermedio de un acoplamiento emisor/receptor (Diodo Láser/ Diodo Pin) en cada extremo.

Cada pieza del equipo de comunicación óptica de espacio libre consta de varios módulos, entre los que se encuentran:

Para transmisión:

- El módulo de transmisión óptica que contiene el láser
- El filtrado y amplificación de la señal eléctrica digital
- El interfaz de conexión: eléctrico u óptico para enviar y recibir datos numéricos
- El módulo de conversión eléctrico/óptico (en caso de interfaz óptico)



#### **4.1.1.1 Parámetros principales**

Los principales parámetros que deben ser tomados en cuenta en la definición de enlaces ópticos son el rango, la seguridad, el tiempo de propagación de los datos y las recomendaciones de implementación.

##### *4.1.1.1.1 Rango*

Este varía de acuerdo a las características de los equipos, los cuales pueden cubrir desde unas pocas decenas de metros hasta kilómetros. Ciertos fabricantes proporcionan un rango máximo, otros especifican el rango típico para varias condiciones del tiempo, y otro proponen un rango recomendado; estos valores deben ser tomados como órdenes de magnitud, y no como valores absolutos.

Las características de los equipos utilizados en el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos descritos en el capítulo anterior se encuentran en el anexo, pero vale la pena recalcar que los rangos de cobertura de dichos equipos se encuentran dentro del margen especificado por el fabricante.

##### *4.1.1.1.2 Seguridad*

La seguridad es sin duda alguna un factor importante que se debe tomar en cuenta dentro de las características de los enlaces inalámbricos ópticos. Los parámetros que definen la categoría de un láser son la longitud de onda de la señal, la potencia y la forma del haz.

##### *4.1.1.1.2.1 Peligros del láser*

Cualquier láser puede presentar daños al hombre, tanto a nivel ocular como a nivel cutáneo.

Los efectos cutáneos no se consideran en la tecnología FSO porque los niveles de energía de los equipos FSO no presentan un riesgo significativo para la piel.

Sin embargo, el ojo humano es muy sensible a la radiación infrarroja y de ahí los cuidados respecto a los efectos oculares. Los factores más importantes que se deben tomar en cuenta para evaluar los riesgos son: la longitud de onda de la señal, la potencia manejada, y la forma del haz.

La tabla 4.1 detalla algunos efectos para tres rangos de longitud de onda de interés.

Longitud de Onda	550-700 nm	700-1000 nm	1500-1800 nm
Emisión	Visible-rojo	Infrarrojo cercano IR-A	Infrarrojo lejano IR-B
Efectos Cutáneos	Efectos no significantes		
Efectos Oculares	Porcentaje de transmisión y absorción de la señal láser		
Transmisión	90%	50%	0%
Absorción	<i>Retina</i> <sup>40</sup> : 90%	<i>Córnea</i> <sup>41</sup> : 0% <i>Humor vítreo</i> <sup>42</sup> : 50%	<i>Córnea</i> : 90% <i>Humor acuoso</i> <sup>43</sup> : 10%
Efectos en el ojo (para umbrales que exceden MPE <sup>44</sup> )	<i>Retina</i> : calentamiento, quemaduras, lesiones limitadas pero irreversibles.	<i>Retina</i> : calentamiento, quemaduras, lesiones limitadas pero irreversibles.  <i>Lente cristalino</i> : lesiones potenciales	<i>Córnea</i> : Opacamiento potencial

Tabla 4.1 Efectos de los láseres semiconductores estándar sobre la piel y los ojos

<sup>40</sup> La retina es una de las tres membranas del segmento posterior del ojo cuya misión es transformar el estímulo luminoso en estímulo nervioso. Se extiende desde el nervio óptico hasta la pupila.

<sup>41</sup> La córnea es la parte anterior de la esclerótica (cubierta externa y consistente del ojo), su estructura es transparente.

<sup>42</sup> El humor vítreo es un líquido gelatinoso y transparente que rellena el espacio entre la retina y el cristalino (cumple la función de amortiguar ante posibles traumas).

<sup>43</sup> El humor acuoso es un líquido claro que fluye por la córnea, el iris y el cristalino.

<sup>44</sup> MPE = Máxima exposición permisible

Los siguientes parámetros nos permiten clasificar y cuantificar el riesgo:

- **Categorías o clases**, éstas definen el riesgo y nivel de potencia, una descripción obligatoria para cualquier producto láser
- **AEL (Límite Accesible de Emisión – Accesible Limits Emission)**, una categoría que corresponde con la potencia que es emitida por el aparato láser
- **MPE (Máxima Exposición Permisible - Maximum Permissible Exposure)**, un factor de riesgo que aplica sobre el nivel de radiación láser al cual una persona puede ser expuesto sin efectos nocivos o de cambios adversos biológicos sobre los ojos o la piel

#### *4.1.1.1.2.2 Concepto de Categorías*

El estándar EN 60825-1 definido por la Comisión Electrotécnica Internacional clasifica los láseres en 7 clases. Cada clase se define de acuerdo a los valores de potencia emitida por el láser y la tolerancia del usuario, es decir los límites accesibles de emisión AEL.

Estas clases son usadas para determinar el nivel de riesgo de la radiación láser, en función de calcular o chequear la atenuación necesaria para evitar sufrir daño; su clasificación se muestra en la tabla 4.2.

Categoría o clase	Riesgos asociados
<b>1M</b>	Dispositivo de baja potencia que emite radiación a una longitud de onda en la banda de 302.5-4000 nm. Incluyendo visión con el uso de instrumentos ópticos (binoculares, microscopios)
<b>1</b>	Dispositivo de baja potencia que emite radiación a una longitud de onda en la banda de 302.5-4000 nm. Se exceptúa la visión utilizando instrumentos ópticos
<b>2M (IIM)</b>	Dispositivo de baja potencia que emite radiación visible (en la banda de 400-700 nm). La protección ocular normalmente está asegurada por las defensas reflejas, incluyendo el cierre del párpado. El reflejo de párpado provee protección efectiva bajo muchas condiciones incluyendo el uso de instrumentos ópticos
<b>2 (II)</b>	Dispositivo de baja potencia que emite radiación visible (en la banda de 400-700 nm). La protección ocular es igual que en el caso anterior por reflejo de párpado, exceptuando el uso de instrumentos ópticos (binoculares, microscopios)
<b>3R (IIIR)</b>	Dispositivo de potencia promedio que emite radiación en la banda de 302.5-4000 nm. La visión directa es potencialmente peligrosa
<b>3B (IIIB)</b>	Dispositivo de potencia promedio que emite radiación en la banda de 302.5-4000 nm. La visión directa del haz es siempre peligrosa
<b>4 (IV)</b>	Dispositivo de alta potencia Siempre hay daño del ojo y de la piel, existe riesgo de fuego

*Tabla 4.2 Clasificación de los láseres*

#### *4.1.1.1.2.3 Límites de Emisión Accesible (AEL)*

El AEL representa la potencia emitida por el equipo láser, su valor se expresa en vatios, el valor AEL de un aparato óptico, permite clasificarlo.

Los valores de AEL y las categorías asociadas, se presentan en la tabla 4.3, y pueden ser calculados para sistemas basados en su potencia óptica emitida y condiciones normales de operación.

Clase o categoría	Longitud de onda = 850 nm	Longitud de onda = 1550 nm
1	P < -6,6 dBm P < 0,22 mW	P < 10 dBm P < 10 mW
2	<i>Rango de operación 400-700 nm</i>	
	P < -6,6 dBm P < 0,22 mW	P < 10 dBm P < 10 mW
3R	-6,6 dBm < P < 3,4 dBm 0,22 mW < P < 2,2 mW	10 dBm < P < 17 dBm 10 mW < P < 50 mW
3B	3,4 dBm < P < 27 dBm 2,2 mW < P < 500 mW	17 dBm < P < 27 dBm 50 mW < P < 500 mW
4	P > 27 dBm P > 500 mW	P > 27 dBm P > 500 mW

Tabla 4.3 Clasificación de Límites de emisión accesible en watt y dBm

#### 4.1.1.1.2.4 Máxima Exposición Permisible (MPE)

Para asegurar la protección de la piel o los ojos se han definido valores límites de exposición para la personas. Estos límites corresponden a las condiciones bajo las cuales el ojo o la piel humana pueden ser expuestos sin sufrir lesiones.

La máxima exposición permitida se expresa en  $Wm^{-2}$ . Ellos son usados para determinar el nivel de riesgo de la radiación láser. Dichos valores no deben ser considerados como valores límites precisos entre seguridad y niveles dañinos; y sus valores se presentan en la tabla 4.4.

Duración de la Exposición (segundos)	1	2	4	10	100	1.000	10.000
MPE ( $Wm^{-2}$ ) a 850 nm	36	30	25	20	11	6,5	3,6
MPE ( $Wm^{-2}$ ) a 1.550 nm	5.600	3.300	1.900	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 4.4 Valores MPE en ( $Wm^{-2}$ ) del ojo (córnea) de acuerdo a la duración de exposición (en segundos) y longitud de onda

El MPE es mayor para exposiciones de duración breves que para altos tiempos de exposición, esto quiere decir que para cortas duraciones de exposición la tolerancia será mayor. El MPE a nivel de córnea es mucho mayor a 1550 nm que a 850 nm; esto es relacionado a la radiación láser de absorción al nivel de varios componentes del ojo.

#### *4.1.1.1.3 Tiempo de propagación*

El tiempo de propagación de la información que permiten los enlaces inalámbricos ópticos proporcionados por los equipos FSO, es una característica importante y merecedora de mencionar.

Se debe tomar en cuenta que la mayoría de equipos FSO es transparente al protocolo de transmisión, así ninguna acción se lleva a cabo sobre el contenido o la naturaleza de los datos, evitando retardos y ofreciendo tiempos de propagación cortos.

Los parámetros a ser tomados en cuenta en el cálculo del tiempo de propagación de la señal son los siguientes:

- Tiempo de procesamiento electrónico de equipos FSO (equipos de emisión y recepción)
- Tiempo de propagación de la luz en la atmósfera entre equipos de transmisión y recepción.

El tiempo de propagación de la luz en la atmósfera, se puede definir en relación con la distancia recorrida por el haz, de acuerdo a la ecuación 4.1.

$$t_p = \frac{d}{v_c} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

$t_p =$  tiempo de propagación de la luz

$d =$  distancia que recorre la luz

$v_c =$  velocidad de la luz  $= 3 \times 10^8$  metros/segundo

Tomando como referencia el desplazamiento en un metro de un haz luminoso, se tendría de acuerdo a la ecuación 4.1:

$$t_p = \frac{d}{v_c}$$

$$t_p = \frac{1m}{3 \times 10^8 \frac{m}{seg}}$$

$$t_p = 3 \times 10^{-9} seg$$

De esta manera, el tiempo total de propagación de la señal luminosa, será la suma de los tiempos de propagación de la luz y del tiempo de procesamiento electrónico de los equipos. Todo lo cual se muestra en la ecuación 4.2.

$$t_t = t_p + t_{pe} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

$t_t =$  tiempo total de propagación

$t_p =$  tiempo de propagación de la luz

$t_{pe} =$  tiempo de procesamiento electrónico

#### 4.1.1.1.3.1 Tiempo de propagación de los enlaces inalámbricos ópticos

El tiempo de procesamiento electrónico, primer parámetro a consideración, es uno que viene dado por los fabricantes de los equipos de comunicación óptica en espacio libre FSO.

Este tiempo de procesamiento electrónico para un equipo FSO, es en general el siguiente:

$$t_{pe} = 3 \times 10^{-7} \text{ s}$$

Al tratarse de enlaces inalámbricos ópticos que requieren el uso de dos equipos, uno para transmisión y otro para recepción de las señales; el tiempo de procesamiento electrónico de los equipos FSO se duplica. Obteniendo el siguiente valor:

$$t_{pe} = 3 \times 10^{-7} \text{ s} \times 2$$

$$t_{pe} = 6 \times 10^{-7} \text{ s}$$

El otro parámetro a considerar es el tiempo de propagación de la luz en la atmósfera, el mismo que se obtiene de acuerdo a la ecuación 4.1.

Para el enlace correspondiente al switch de core del ugi y el switch de core de química, se tiene como valor de tiempo de propagación de la luz, de acuerdo a la ecuación 4.1:

$$t_p = \frac{d}{v_c}$$

$$t_p = \frac{253.71 \text{ m}}{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}$$

$$t_p = 8.457 \times 10^{-7} \text{ seg}$$

Aplicando la ecuación 4.2, el tiempo de propagación total para el enlace mencionado es:

$$t_t = t_{pe} + t_p$$

$$t_t = 6 \times 10^{-7} \text{ seg} + 8.457 \times 10^{-7} \text{ seg}$$

$$t_t = 1.45 \times 10^{-6} \text{ seg}$$

$$t_t = 1.45 \text{ useg}$$

A continuación se calcula los tiempos de propagación de las señales inalámbricas ópticas de los enlaces diseñados dentro de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico; valores que se muestran en la tabla 4.5.

Nº	ENLACES	Distancia (m)	Tiempo de procesamiento electrónico equipos FSO (seg)	Tiempo de propagación de la luz en la atmósfera (seg)	Tiempo total de propagación (seg)	Tiempo Total de propagación (useg)
1	cugi - cqímica	253,71	6,00E-07	8,457E-07	1,45E-06	1,45
2	cugi - dcivil	81,96	6,00E-07	2,732E-07	8,73E-07	0,873
3	cqímica - dsistemas	105,43	6,00E-07	3,51433E-07	9,51E-07	0,951
4	cqímica - deléctrica	29,56	6,00E-07	9,85333E-08	6,99E-07	0,699
5	cqímica - dmecánica	31,54	6,00E-07	1,05133E-07	7,05E-07	0,705
6	cugi - dobservatorio	1.380,01	6,00E-07	4,60003E-06	5,20E-06	5,2

Tabla 4.5 Tiempo de propagación de las señales

Con los datos calculados y presentados en la tabla anterior, se puede concluir que los tiempos de propagación son muy cortos, del orden de los microsegundos; haciendo de los enlaces diseñados muy rápidos y casi imperceptibles a su retardo.

#### 4.1.1.1.4 Recomendaciones de implementación

Los equipos FSO que, permiten la transmisión recepción de las señales inalámbricas ópticas, deben tener como cualquier equipo de comunicaciones unas consideraciones básicas para su implementación (montaje).

De manera general, el equipo FSO tiene necesidades similares de implementación que los equipos usados en los sistemas de radio. Entre ellas podemos mencionar:

- Instalación en puntos altos (como edificios o torres)
- Presencia de línea de vista, sin obstáculos en la trayectoria presente o futura
- El tiempo de instalación es inferior a un día por enlace

Sin embargo, debido a la tecnología utilizada y los requisitos de seguridad relacionados con los equipos tipo láser, algunas consideraciones de la implementación deben ser tomadas en cuenta al momento de la instalación.

La figura 4.3 muestra un enlace inalámbrico óptico y las recomendaciones a tomar en cuenta en el momento de la implementación de los enlaces inalámbricos ópticos.

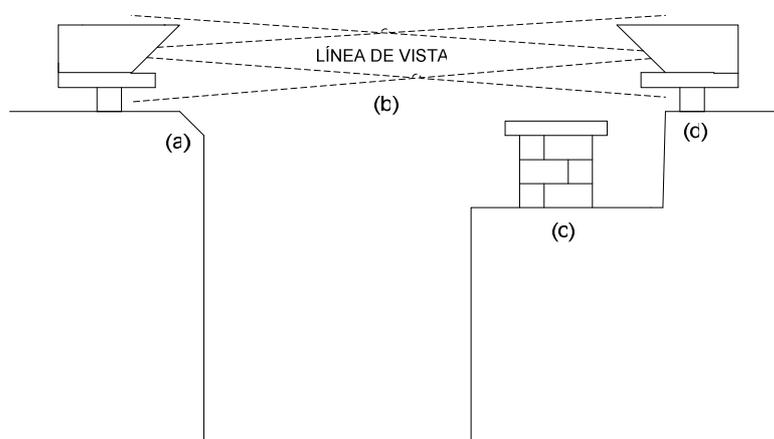


Figura 4.3 Enlace Inalámbrico Óptico

- (a) Se debe evitar la proximidad de calor y superficies reflectantes de luz, las cuales pueden crear interferencia
- (b) La presencia de línea de vista es necesaria
- (c) Evitar chimeneas que emitan humo o vapor de agua en el trayecto de las señales inalámbricas ópticas
- (d) Escoger un lugar seguro, rígido para el montaje de los equipos FSO

Los equipos deben tener una alineación muy precisa de ser necesaria la baja divergencia de un haz de láser transmitido.

El acoplamiento de un enlace óptico es caracterizado por el alineamiento entre el transmisor y receptor, ya que el enlace puede ser perturbado por vibraciones naturales, como vientos.

El instalador del sistema de comunicación debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Fijar el material en un soporte rígido o en un muro con capacidad de carga, para que sea sometido lo menos posible a vibraciones o choques (por ejemplo, fuera de los bordes de las paredes y los lados de las paredes)
- Evitar la alineación directa de los lentes ópticos con los rayos del sol
- Evitar la proximidad de elementos que puedan causar turbulencia atmosférica (como chimeneas y superficies reflectantes)

## **4.1.2 PRINCIPIOS TÉCNICOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE**

### **4.1.2.1 Topologías Redundantes**

Es deseable disponer un tiempo continuo de actividad en las redes, se torna ideal un tiempo de actividad del 100%, y aunque en la práctica esto resulta bastante difícil, se procura alcanzar un tiempo de actividad referencial denominado de cinco nueves o del 99,999%.

Tener la mayor disponibilidad en una red implica contar con equipos y diseños totalmente confiables y tolerantes a las fallas. De esta manera las redes podrán sobreponerse rápidamente de cualquier tipo de falla que se pueda presentar en el funcionamiento de equipos y administración de las redes. Esta característica se denomina Redundancia.

Uno de los objetivos de las topologías redundantes es eliminar las interrupciones del servicio de la red que se puedan presentar por un único punto de falla.

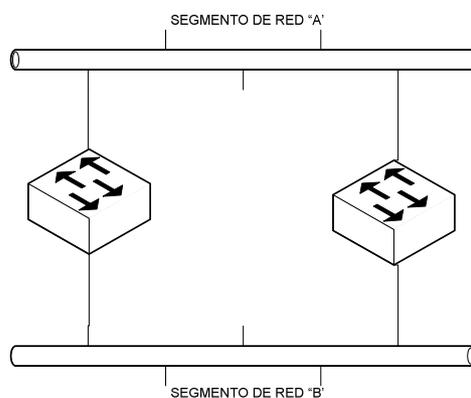
Otro, y el que para la presente tesis tiene particularidad importancia, es el de proveer un medio físico alternativo para el intercambio de la información. Es así que la redundancia que se presentará con el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos es en el medio de transmisión.

El medio físico de transmisión alterna al que se hace referencia es el espacio libre, puesto que como anteriormente se ha mencionado la tecnología de propagación inalámbrica óptica, FSO, transmite y recibe información por el mencionado medio.

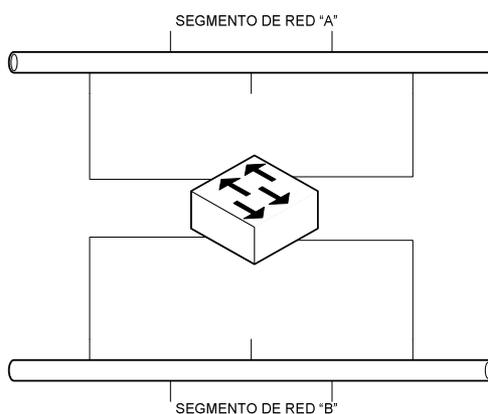
La redundancia que se implemente en la red de la Escuela Politécnica Nacional con la implementación de los enlaces inalámbricos ópticos FSO, proporcionarán mayor confiabilidad en el funcionamiento de la red. Así, si la ruta bidireccional de intercambio de información de la Polired, que actualmente es la fibra óptica, falla;

el enlace inalámbrico óptico será el camino redundante que permitirá la continuidad del funcionamiento de la Polired y adicionalmente permitirá establecer un enlace inalámbrico óptico con el Observatorio Astronómico de Quito ubicado en el parque la Alameda.

Las redes que tienen rutas o dispositivos redundantes permiten un mayor tiempo de actividad de la misma. Así si una ruta o un dispositivo fallan, la ruta o el dispositivo redundante pueden asumir las tareas ejecutadas por la ruta o el dispositivo que ha fallado. Las figuras 4.4 y 4.5 muestran esquemas de topologías con dispositivos y rutas redundantes.



*Figura 4.4 Topología con dispositivos redundantes*



*Figura 4.5 Topología con rutas redundantes*

Si un switch falla, el tráfico puede continuar fluyendo desde el segmento de red “A” al segmento de red “B” a través del otro switch. Para el caso de que un medio de transmisión falle, la información podrá ser transmitida desde ambos segmentos de red a través del otro medio de transmisión.

Los switches aprenden las direcciones MAC<sup>45</sup> de los dispositivos en sus puertos de modo que los datos se puedan enviar correctamente al destino. Esto lo realizan al iniciar su funcionamiento cuando los switches inundan tramas hacia destinos desconocidos hasta aprender las direcciones MAC de los mismos.

También se puede inundar con broadcasts y multicasts, lo que puede provocar que una topología conmutada redundante genere tormentas de broadcasts, copias de múltiples tramas y problemas de inestabilidad en la tabla de direcciones MAC.

Una red basada en switches, puentes o medios de transmisión alternos presentarán enlaces redundantes para superar la falla de un solo enlace. Estas conexiones introducen loops físicos en la red, loops que se crean de modo que si un enlace falla, otro enlace puede hacerse cargo de la función de enviar tráfico.

Si un switch desconoce el destino del tráfico, inunda el tráfico desde todos los puertos salvo el puerto que recibió el tráfico; las tramas de broadcast y multicast también se envían por inundación desde todos los puertos, salvo el puerto que recibió el tráfico; este tráfico puede quedar atrapado en un loop. En el encabezado de capa 2, no hay ningún valor de Tiempo de existencia (TTL).

Si una trama se envía a una topología con loops de switches de capa 2, puede circular por el loop indefinidamente. En la capa 3, el TTL decrece y el paquete se descarta cuando el TTL llega a 0.

---

<sup>45</sup> Dirección MAC es un conjunto de 16 números que identifican un dispositivo en particular.

#### 4.1.2.2 Árbol de Extensión (Spanning Tree)

Las topologías redundantes generan una incertidumbre en su aplicación, ya que una topología física que contiene lazos (loops) de conmutación mejora la confiabilidad, y a la vez puede desperdiciar ancho de banda e inutilizar la red.

La solución para este dilema consiste en permitir lazos físicos, pero crear una topología lógica sin lazos.

La figura 4.6 muestra una topología lógica, donde el tráfico destinado al servidor conectado al switch A desde cualquier estación de trabajo conectada al switch D viajará a través del switch C y el switch B; esto ocurre incluso si hay una conexión física directa entre el switch D y el switch A. La topología lógica sin lazos que se ha creado se denomina árbol, formando una topología lógica en estrella o en estrella extendida.

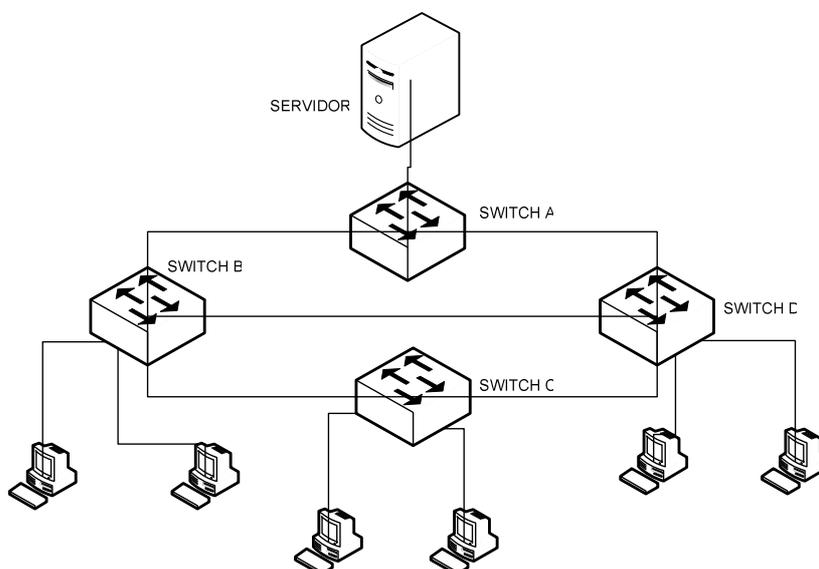


Figura 4.6 Árbol de Extensión - Spanning Tree

Esta topología es el árbol de extensión de la red (Spanning Tree), considerada de esta manera ya que todos los dispositivos de la red se pueden alcanzar. El algoritmo que se utiliza para crear esta topología lógica sin lazos es el algoritmo del árbol de extensión de la red.

#### 4.1.2.2.1 Protocolo Árbol de Extensión - Spanning-Tree

Los puentes y switches Ethernet pueden implementar el protocolo Árbol de Extensión IEEE 802.1d y usar el algoritmo spanning tree para desarrollar una red de ruta más corta sin lazos (loops).

La ruta más corta se basa en los costos de los enlaces acumulativos, y éstos a su vez se basan en la velocidad del enlace, esta relación se muestra en la tabla 4.6.

Velocidad de enlace	Costo
10 Gbits/s	2
1 Gbits/s	4
100 Mbits/s	19
10 Mbits/s	100

Tabla 4.6 Costos-Velocidad enlace

El Protocolo Árbol de Extensión tiene las siguientes características:

- Desarrolla una topología que tiene una ruta para llegar a todos los nodos de la red
- Establece un nodo raíz denominado puente raíz, a partir del cual se origina el árbol
- Los enlaces redundantes que no forma parte del árbol de primero la ruta más corta se bloquean, lo que posibilita desarrollar una topología sin lazos
- Las tramas de datos que se reciben en enlaces que están bloqueados se descartan

Los switches envían mensajes denominados unidades de datos del protocolo puente (BPDU) para permitir la creación de una topología lógica sin lazos. Las BPDU se siguen recibiendo en los puertos que están bloqueados, para garantizar que si una ruta o un dispositivo activo falla, se puede calcular un nuevo spanning tree.

Dado que el protocolo Árbol de Extensión considera la falla de los dispositivos activos de la red para su puesta en práctica, los enlaces inalámbricos ópticos no contemplan el uso de este protocolo; esto porque el diseño de los enlaces redundantes FSO entre los switches de core y distribución no sugieren la necesidad de disponer de otros switches de core y distribución por cada enlace inalámbrico óptico diseñado.

Esto es debido a que los enlaces inalámbricos ópticos diseñados proponen el uso de los puertos libres de fibra óptica que se tienen en los actuales dispositivos de la red de la Escuela Politécnica Nacional, dispositivos que fueron detallados en el segundo capítulo y anexos. A excepción por supuesto, de la necesidad de adquirir un switch de distribución para el Observatorio Astronómico con el afán de establecer el enlace inalámbrico óptico con el edificio de administración.

De esta manera, los enlaces inalámbricos ópticos se vuelven enlaces redundantes o de backup, como fueron descritos en capítulos anteriores.

### **4.1.3 PRINCIPIOS REGULATORIOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE**

#### **4.1.3.1 La organización de regulación de actividades en radio comunicaciones**

La ITU, cuya sede esta en Ginebra (Suiza), es una organización internacional dentro del sistema de Naciones Unidas donde los gobiernos y el sector privado normalizar las redes y servicios de las telecomunicaciones globales.

La ITU está estructurada en 3 distintos sectores:

- ITU-D: Desarrollo
- ITU-T: Estandarización
- ITU-R: Radiocomunicaciones

La ITU-R maneja todo el trabajo respecto a las radiocomunicaciones, en especial el uso del espectro radioeléctrico. La revisión de las atribuciones del plan de frecuencias y la división del espectro se lleva a cabo durante la Conferencia Mundial de Radio, WRC (World Radio Conferences – Conferencias Mundiales de Radio), la cual se realiza al final de cada ciclo de operación de las Comisiones de estudio de la ITU-R.

La WRC se celebra aproximadamente cada 3 años, para desarrollar, adoptar y revisar el RR (Reglamento de Radiocomunicaciones). La WRC decide la atribución de las bandas de frecuencia para varios servicios de radiocomunicaciones como son fijo, móvil, radiodifusión, satélite, sistemas de posicionamiento global, investigación espacial, vigilancia del medio ambiente, y la radioastronomía.

Cada país debe ajustarse a estas bandas de frecuencias y a las condiciones fijadas por la ITU.

#### **4.1.3.2 Regulación de equipos FSO**

Tomando en cuenta el artículo 1.5 del Reglamento de Radiocomunicaciones, éste define a las ondas de radio u ondas hertzianas como: *“ondas electromagnéticas cuyas frecuencias son actualmente menores a 3.000 GHz y que se propagan en el espacio sin una guía artificial”*.

Las longitudes de onda usadas en la transmisión de los equipos FSO no están actualmente cubiertas por las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones, las cuales limitan frecuencias menores a 3.000 GHz.

De hecho los equipos FSO normalmente funciona en el rango de frecuencias entre 150 y 500 THz.

Esta es la razón por la que no existe legislación, gestión y atribución en esta parte del espectro, resultando consecuentemente de ausencia de impuestos o gastos relacionados con las atribuciones de licencias.

Sin embargo, esto fue notado en la Conferencia de Plenipotenciarios de la ITU<sup>46</sup> en el 2002, observando que las técnicas de radiocomunicación permiten utilizar a las ondas electromagnéticas sin guía artificial sobre los 3.000 GHz; definiendo así una nueva resolución para el uso del espectro sobre los 3.000 GHz (Resolución 118, Marrakech, 2002<sup>47</sup>).

Esta resolución considerando que el UIT-R va a emprender estudios sobre la utilización del espectro hasta 3.000 GHz, contempla las siguientes recomendaciones:

- A petición de la asamblea de radiocomunicaciones se solicita el “estudiar en el marco del programa de trabajo ¿Qué posibilidad e importancia tiene la inclusión en el Reglamento de Radiocomunicaciones de las bandas de frecuencias por encima de 3.000 GHz?
- Autorizar al próximo WRC incluir en su agenda los puntos relativos a las frecuencias mas altas que 3.000 GHz e introducir las si es necesario las disposiciones concernientes a estas frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones

La entrada en vigor del nuevo reglamento dependerá de los cambios consecuentes en el anexo 1.005 de la convención de la próxima conferencia plenipotenciaria.

---

<sup>46</sup> La Conferencia de Plenipotenciarios de la ITU es el organismo de más alto rango dentro de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU.

<sup>47</sup> Ver anexo

## 4.1.4 SEGURIDAD EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN EN LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DE ESPACIO LIBRE

### 4.1.4.1 Confidencialidad de los datos transmitidos

La comunicación óptica de espacio libre es un sistema más robusto en lo que respecta a la seguridad de la información que circula por el medio de transmisión (para los sistemas FSO el aire) en comparación con otros sistemas de comunicación.

Esto se produce debido a que el haz que emite un equipo FSO es estrecho, generalmente presentan valores picos de 3 miliradianes, mismos que mantienen al haz transmitido en el objetivo o equipo receptor, eliminando las posibles intrusiones y garantizando la seguridad de la información. En la figura 4.7 se representa la estrechez del haz proyectado.

Debido a que las potencias usadas son bajas, los fotones que se esparcen en el trayecto son débiles y no permiten detección de la información.

El haz también es invisible al ojo humano, lo que permite disimular el enlace y evitar posibles atentados en la transmisión de la información.

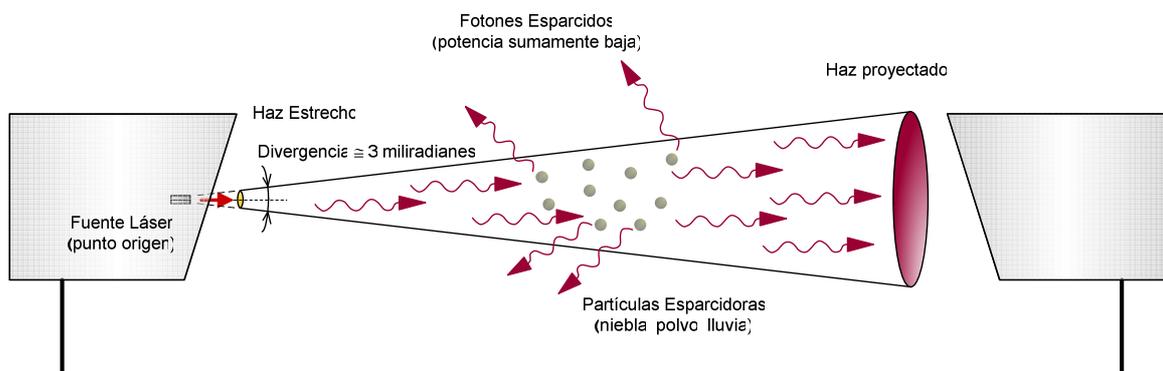


Figura 4.7 Divergencia estrecha del haz

La mayoría de fabricantes de los equipos FSO usan la modulación de amplitud del tipo “On/Off Keying” para la transmisión de datos por láser, el protocolo de transmisión es transparente como se ha indicado en capítulos anteriores; pero la posibilidad de que un “intruso” manipule la información es muy limitada.

A parte de cualquier acción directa que afecte la integridad física del equipo de transmisión o recepción FSO, solo existen tres maneras conocidas de que un “intruso” pueda capturar o manipular los datos transmitidos.

1. Usando el mismo equipo FSO, del mismo fabricante, para receptar y decodificar los datos
2. Interceptando una parte del haz (que como se ha mencionado es muy direccional), y capturar datos con suficiente energía para poder procesarlos. La figura 4.8 muestra las alternativas de interceptar un haz inalámbrico óptico
  - Entre los dos sitios, caso (a), para obtener los datos transmitidos desde el equipo FSO “X” al equipo FSO “Y”, con la dificultad adicional de evitar que se corte el haz
  - Detrás del equipo FSO “X”, caso (b), para interceptar la transmisión de datos proveniente del equipo FSO “Y”, a sabiendas de que la atenuación señal se incrementa conforme uno se aleja de la fuente
  - O, ubicándose enfrente del equipo FSO “Y” para interceptar las transmisiones del equipo FSO “X”; con la dificultad adicional de tener libre acceso a las instalaciones donde se ubican los equipos FSO
3. Finalmente, la última dificultad consiste en conocer el protocolo transmitido, para poder interpretar la información que pueda ser interceptada.

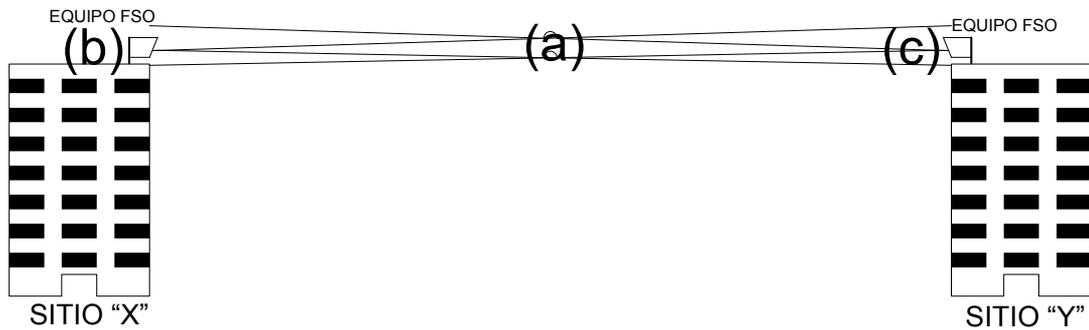


Figura 4.8 Diagrama de un enlace punto a punto de óptica de espacio libre

#### 4.1.4.2 Técnicas de Confidencialidad

La confidencialidad de la comunicación entre dos sitios, se asegura solo si una tercera persona o un detector no especificado no pueden capturar la información transmitida entre ambos puntos. Para ello se puede utilizar técnicas de codificación.

##### 4.1.4.2.1 Criptografía

La Criptografía que literalmente se traduce como el arte de esconder un texto, se guía por el siguiente principio: un transmisor, "X", codifica un mensaje destinado a un receptor "Y" con ayuda de una clave "key". El resultado es un mensaje codificado que se envía al destinatario. Éste, usando la clave "key" decodifica el mensaje para poder manipularlo. La confidencialidad entre "X" y "Y" es garantizada sólo si una tercera persona desconoce la clave "key" de decodificación.

#### *4.1.4.2.2 Criptografía Cuántica*

La criptografía cuántica es la única técnica de codificación que garantiza la inviolabilidad de las comunicaciones. Esta basada en el intercambio de un fotón entre sus correspondientes transmisores y receptores.

La criptografía cuántica usa el principio de incertidumbre de Heisenberg, el que menciona que las características de los estados cuánticos no pueden ser medidos simultáneamente: quien quiera medir una, modifica las otras.

La propiedad de la mecánica cuántica que garantiza la seguridad en la transmisión de la clave “key”, es un teorema que no puede ser reproducido. No es posible copiar un desconocido estado cuántico (un “espía” no puede copiar un qubit<sup>48</sup>).

De esta manera, un transmisor puede distribuir la clave cuántica de codificación (QKD Quantum Key Distribution), por la información codificada en un estado de polarización de un simple fotón.

La transmisión cuántica en espacio libre es perfecta si los impulsos lumínicos son realizados con un único fotón, enviados uno por uno, y con la condición de que el transmisor “X” conozca el estado de polarización. Manejar un único fotón es posible si se cuenta con fuentes y detectores de un único fotón.

---

<sup>48</sup> Un bit de información es codificado sobre un estado de polarización de un simple fotón (qubit), pero la información puede ser leída sólo si el estado de polarización inicial en el cual fue codificado es conocido.

#### 4.1.4.3 Modulación On/Off Keying

También conocida como modulación por encendido y apagado, la modulación On/Off Keying (OOK) es un tipo de modulación que pertenece a la modulación ASK<sup>49</sup> binaria o de dos estados.

La modulación OOK se puede generar multiplicando la portadora con una señal modulante unipolar. Una señal OOK se caracteriza por asignar una portadora presente (ON) para los datos 1L y asignar una portadora ausente (OFF) para los datos 0L<sup>50</sup>.

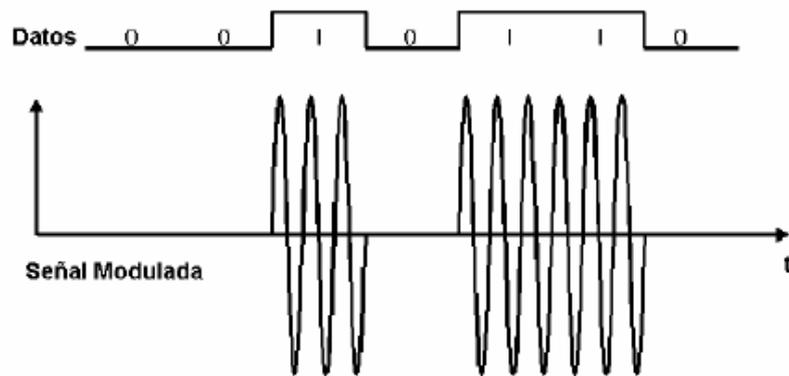


Figura 4.9 Modulación ON/OFF Keying

---

<sup>49</sup> La modulación ASK (Amplitude Shift Keying) es una técnica que para transmitir información varía la amplitud de la señal portadora (señal por la que viaja la información) de acuerdo a la señal modulante (la información como tal).

<sup>50</sup> Apuntes del folleto de Comunicación Digital.

## **CAPITULO 5**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se expondrán los valores de costos estimados del diseño de la Red Inalámbrica de Óptica de Espacio Libre, que ha sido diseñada para dar redundancia a la red de la Escuela Politécnica Nacional y dar conectividad hacia la Red del Observatorio Astronómico.

Se mencionarán los implementos, equipos y demás requerimientos necesarios para el diseño de los enlaces, presentando los costos individuales, para luego obtener los valores totales de la Red.

Las informaciones presentadas han sido obtenidas de fuentes internas como es el caso del UGI (EPN), y de información de proveedores que se encuentran en el Internet.

Los equipos más costosos como se verá son precisamente los de tecnología FSO que se requieren para conectar los enlaces, también, aunque un poco menos costosa resulta la torre necesaria en el Observatorio y finalmente los equipos adicionales.

## 5.1 COSTOS

### 5.1.1 COSTO DE INSTALACIÓN DE LA TORRE NECESARIA EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO

Como se mencionó en el capítulo de diseño, no existe línea de vista entre la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico ubicado en el Parque “La Alameda”, por esta razón se hace necesario incorporar una torre que permita hacer posible la línea de vista entre ambos puntos.

En el lado del campus de la EPN debe existir línea de vista específicamente con el edificio de Administración, sitio que se ha escogido porque tiene buena altura y gran rango visual hacia el observatorio, y, además aquí se encuentra la Unidad de Gestión de la Información (UGI) que posee el Switch de Core que agrupa las conexiones de la parte Sur del campus; lo cual facilitaría la conexión directa de los equipos involucrados en el enlace.

A continuación se detallan en las tablas 5.1 y 5.2 las características sobre el tipo de torre que se debería instalar y sus costos. Estos datos fueron proporcionados por una de las empresas<sup>51</sup> que se encuentra en el mercado.

<b>Altura de la Torre</b>	30 metros
<b>Número de Secciones</b>	5
<b>Tipo de Material de Fabricación</b>	Tubo de 2 1/2" y de 2" Perfil L 50 x 3 mm, Perfil L 40 x 3 mm., Acero 1 1/2", Acero 5/8", Bridas, Perfil U 50 x 3 mm., Perfil L 25 x 3 mm., Pernería, Pintura, Soldadura, Galvanizado.

*Tabla 5.1 Características de la Torre*

<sup>51</sup> Empresa VIMACO S.A.

Valor de la Torre (incluyendo la base de concreto)	\$8.400
Valor de la Instalación	\$2.025
<b>Valor Total</b>	<b>\$10.425</b>

*Tabla 5.2 Valor de la Torre*

## 5.1.2 EQUIPOS DE CONECTIVIDAD

### 5.1.2.1 Equipo Switch Cisco Catalyst 3560G

El Switch Cisco Catalyst 3560G, es un dispositivo de conmutación de alta capacidad de procesamiento, administrable y de gran aceptación en el mercado.

La adquisición de este equipo resulta necesaria puesto que en la red del Observatorio Astronómico únicamente se cuenta con un switch no administrable que no posee puertos de conexión por fibra; por lo tanto por medio del equipo recomendado se puede lograr la conexión de ambas redes.

Se ha escogido la marca Cisco por tratarse de una empresa con reconocimiento internacional que garantiza el funcionamiento de sus dispositivos; además que es la marca dominante en cuanto a los dispositivos de conmutación de la Polired que permitiría sin ningún inconveniente el acoplamiento entre la red de la EPN y la red del Observatorio Astronómico.

Es importante acotar que el considerarse un switch Cisco permite mantener una homogeneidad en el modelo de funcionamiento jerárquico que se encuentra implementado en la Polired.

El switch recomendado para la implementación, desempeñaría las funciones de un nivel de distribución, mismas que han sido detalladas en capítulos anteriores; la tabla 5.3 muestra las características del switch Cisco Catalyst 3560G.

### Switch Cisco Catalyst 3560G-48PS SMI



Equipo / Características	Cantidad	Valor Total
Switch (conmutador) Marca: Cisco Modelo: Catalyst 3560G	1	<b>\$5.379,96</b>
48 puertos: - Ethernet, - Fast Ethernet, - Gigabit Ethernet - 10Base -T - 100Base -TX - 1000Base -T + 4 x SFP (vacías) - 1U WS-C3560G-48PS-S		

*Tabla 5.3 Valor del Conmutador*

#### 5.1.2.2 Equipos de Óptica de Espacio Libre (FSO)

Los precios de los equipos FSO, son variables en función de los fabricantes y de las características de los mismos.

Para el diseño de los enlaces, se han seleccionado los equipos que proporcionen el mejor desempeño y que provean el rango de alcance necesario entre los nodos analizados.

Se han considerado equipos FSO de una marca comercial<sup>52</sup>, y sus características de operación se muestran con detalle en los anexos.

<sup>52</sup> Equipos marca FSONA, uno de los fabricantes líderes en tecnología FSO.

### 5.1.2.2.1 Equipos FSO para el establecimiento de los enlaces dentro del campus de la EPN

Para el establecimiento de los enlaces internos dentro del campus de la EPN, se ha seleccionado a los equipos FSO de la marca FSONA modelo SONABEAM 1250 – M.

Los enlaces inalámbricos ópticos dentro de la universidad son 5, según el diseño desarrollado en capítulos anteriores, razón por la que se considera el costo de 10 equipos FSO para los enlaces mencionados.

La tabla 5.4 detalla las características y el precio del equipo FSO mencionado.

<b>Equipo/ Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Cabecera FSO</b> Marca: FSONA Modelo: SONABEAM 1250-M  Longitud de onda de espacio libre: 1.550 nm Capacidad: 1,4 Gbits/s Alcance: 1.700 m Número de haces: 4	10	\$5.314,40	\$53.144,00
<b>Valor Total</b>			<b>\$53.144,00</b>

*Tabla 5.4 Valores de Equipos FSO para conexión dentro de la EPN*

Como se puede apreciar, el equipo recomendado cumple con los requerimientos de ancho de banda y distancia de los enlaces inalámbricos ópticos diseñados dentro del campus de la EPN; valores correspondientes a 1.309,5 Kbits/s en lo que respecta a la capacidad de transmisión y de 253,71 metros respecto a la máxima distancia a cubrir.

#### 5.1.2.2.2 Equipos FSO para el establecimiento de la conexión con el Observatorio Astronómico

El enlace con el Observatorio Astronómico es el más crítico y de cuidado por la distancia que se tiene que cubrir. Por esta razón se han seleccionado los equipos más adecuados para cubrir este importante requerimiento.

Los equipos recomendados para este enlace, pertenecen también a la marca FSONA pero modelo SONABEAM 155 – M, cuyas características y precio se detalla en la tabla 5.5.

Para este enlace se utilizarán 2 equipos FSO, uno en el lado del Observatorio y otro al lado de la Escuela Politécnica Nacional.

<b>Equipo/ Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
Cabecera FSO Marca: FSONA Modelo: SONABEAM 155-M  Longitud de onda de espacio libre: 1.550 nm Capacidad: 155 Mbits/s Alcance: 2.900 m Número de haces: 1	2	\$5.250,10	\$10.500,20
<b>Valor Total</b>			<b>\$10.500,20</b>

*Tabla 5.5 Valores de Equipos FSO para conexión con el Observatorio*

La capacidad que se debe garantizar para la red del Observatorio Astronómico es de 388,2 Kbits/s; y la distancia que se debe cubrir con el enlace es de 1.380,01 metros; ambos requerimientos que el equipo FSO recomendado cumple sin problema alguno.

### 5.1.2.2.3 Valores totales de equipos FSO

Valores que se muestran en la tabla 5.6 y corresponden a la suma de los equipos FSO para los enlaces dentro del campus de la EPN y con el Observatorio Astronómico.

Equipos FSO	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Cabecera FSONA	10	\$5.314,40	\$53.144,00
Cabecera FSONA	2	\$5.250,10	\$10.500,20
<b>Valor Total</b>			<b>\$63.644,20</b>

Tabla 5.6 Valores Totales de Equipos FSO

### 5.1.2.3 Conectores y Fibra Óptica

#### 5.1.2.3.1 Conectores

Los conectores que se requieren para realizar la conexión de los equipos FSO con los switches de core y distribución son conectores de fibra óptica del tipo ST.

Estos conectores se insertan en cada extremo del segmento de fibra que es necesario para conectar por un lado el equipo de óptica de espacio libre (FSO) ubicado en la terraza y por el otro el equipo conmutador (switch) ubicado en el rack de comunicaciones de cada edificio. La figura 5.1 muestra un esquema de los conectores.

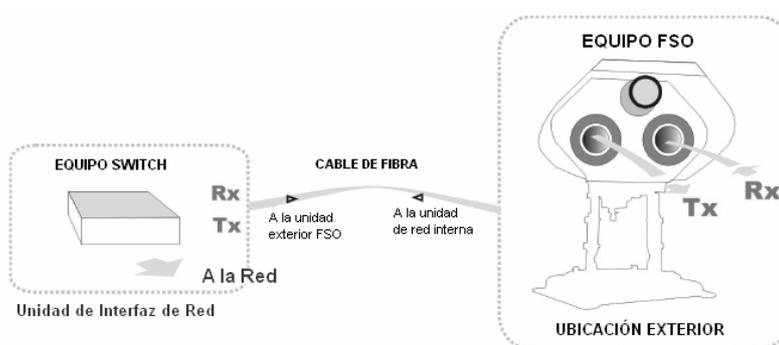


Figura 5.1 Conectores de equipos FSO

En total se tiene 4 conectores por cada enlace (2 en cada extremo) que corresponden a los conectores que se ubican en la parte posterior del switch.

Los valores correspondientes a los costos de los conectores se muestran en la tabla 5.7.

<b>Conector Tipo ST _Plástico</b>		<b>Cantidad por ubicación (Tx/RX)</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	
<b>ENLACES</b>	1	<b>cugi - cquímica</b>	4	\$2,04	\$8,16
	2	<b>cugi - dcivil</b>	4	\$2,04	\$8,16
	3	<b>cquímica - dsistemas</b>	4	\$2,04	\$8,16
	4	<b>cquímica - deléctrica</b>	4	\$2,04	\$8,16
	5	<b>cquímica - dmecánica</b>	4	\$2,04	\$8,16
	6	<b>cugi - dobservatorio</b>	4	\$2,04	\$8,16
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>\$48,96</b>	

*Tabla 5.7 Valores de Conectores*

#### *5.1.2.3.2 Segmentos de Fibra Óptica*

Los segmentos de fibra óptica que se requieren para la conexión son relativamente cortos en comparación con los grandes tramos que se tienden normalmente para una conexión común de fibra por tierra o aire.

Los segmentos comprenden una distancia aproximada equivalente al tamaño del edificio en el cual serán colocados los equipos FSO. Como ya se mencionó anteriormente, deben recorrer la distancia que va desde la terraza hasta el rack de comunicaciones que en general se ubica en el tercer piso de la mayoría de edificios considerados.

Como cada enlace es independiente, por enlace se requiere: un par de equipos FSO, y un par de segmentos de fibra (una fibra en cada edificio).

Los segmentos de fibra se considerarán de un mismo valor en función de redondear al valor más alto requerido, el cual es de 50 metros, éste ha sido determinado en función del edificio de mayor altura, el cual es el de Administración con 41 metros.

Si se considera que la fibra seguirá una trayectoria más o menos recta desde la terraza hasta el rack, y, si se añade un valor de holgura de 10m adicionales, entonces tendremos un valor de recorrido de hasta 50m.

La fibra óptica que se utilizará es del tipo Multimodo externa de 6 hilos, 62.5/125 um, cuyo costo se detalla en la tabla 5.8.

<b>Fibra Óptica Multimodo 6 hilos MM</b>		<b>Cantidad (m)</b>	<b>Valor por metro</b>	<b>Valor Total</b>	
<b>ENLACES</b>	1	<b>cugi - química</b>	100	\$3,20	\$320
	2	<b>cugi - dcivil</b>	100	\$3,20	\$320
	3	<b>cquímica - dsistemas</b>	100	\$3,20	\$320
	4	<b>cquímica - deléctrica</b>	100	\$3,20	\$320
	5	<b>cquímica - dmecánica</b>	100	\$3,20	\$320
	6	<b>cugi - dobservatorio</b>	100	\$3,20	\$320
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>\$1.920,00</b>	

*Tabla 5.8 Valores de Segmentos de Fibra Óptica*

### 5.1.3 LICENCIAS

Como se ha venido explicando la tecnología FSO trabaja en una banda no licenciada, es decir que no requiere del pago de concesiones o licencias por el uso del espectro. Esta ventaja le permite al sistema operar libremente y reducir los costos de operación frente a otras alternativas inalámbricas.

## **5.1.4 COSTO DE SOLUCIÓN DE LOS ENLACES FSO (ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE)**

### **5.1.4.1 Costos de los Enlaces FSO en la Escuela Politécnica Nacional**

Para el caso de los enlaces de Óptica de Espacio Libre (FSO), no se requieren cables de fibra óptica entre los puntos de conexión puesto que la tecnología es inalámbrica y aplica como medio físico el aire.

Esta situación permite lograr una serie de ventajas técnicas y económicas, entre ellas cabe recordar algunas ya mencionadas:

- Se logra un ahorro en material y mano de obra
- Se instala los equipos con gran simplicidad técnica
- El despliegue y funcionamiento del sistema es inmediato
- Se logra acceder a lugares difíciles de una manera simple siempre que exista línea de vista

Los enlaces que se han propuesto para el diseño de redundancia de la Polired, en el presente proyecto de titulación, son:

- 1) cugi – cqímica (Core UGI, Core Química)
- 2) cugi – dcivil (Core UGI, Distribución Civil)
- 3) cqímica – dsistemas
- 4) cqímica – deléctrica
- 5) cqímica – dmecánica
- 6) cugi – dobservatorio

A continuación se detalla, en la tabla 5.9, el costo de la implementación de uno de los enlaces FSO, que han sido diseñados para la conexión entre los edificios de la Escuela Politécnica Nacional.

Se ha escogido para el ejemplo el enlace de mayor tráfico de datos que tiene la red de la Escuela, este es el enlace cugi-cquímica, ya que entre estos edificios se cursa el tráfico medular entre switches de Core que unen la zona norte y sur del campus.

Ítems	Cantidad	Unidad	Características	Valor Unitario	Valor Total
1	2	Unidades	Equipos FSO "FSONA"	\$5.314,40	\$10.628,80
2	4	Unidades	Conectores ST	\$2,04	\$8,16
3	100	Metros	Fibra Óptica MM de 4 hilos	\$3,20	\$320,00
<b>Total</b>					<b>\$10.956,96</b>

*Tabla 5.9 Valor Total del enlace cugi – cquímica*

Para el resto de enlaces, los costos son equivalentes puesto que se emplean el mismo tipo de equipos FSO, cantidades aproximadas de cable de fibra óptica y la misma cantidad de conectores; por esta razón se asumen costos equivalentes para el resto de enlaces dentro de la EPN.

Por tal motivo se puede tomar el valor de uno de los enlaces y multiplicarlo por el total del número de enlaces que se han diseñado.

Número de Enlaces en la EPN	Valor por enlace	Valor Total
5	<b>\$10.956,96</b>	\$54.784,80
<b>Total</b>		<b>\$54.784,80</b>

*Tabla 5.10 Valor Total de los enlaces FSO en la EPN*

### 5.1.4.2 Costo del Enlace FSO entre la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico

El enlace que se propuso en el diseño entre la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio es el enlace crítico en el diseño de toda la red puesto que cubre una gran distancia (1.380,01 metros).

Los costos de este enlace por lo tanto son mayores pues incorporan la implementación de la torre y además la adquisición de un equipo Switch.

A continuación se detalla en la tabla 5.11 el costo de la implementación del enlace FSO, que se diseñó para la conexión entre la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico.

Ítems	Cantidad	Unidad	Características	Valor Unitario	Valor Total
1	2	Unidades	Equipos FSO	\$5.250,10	\$10.500,20
2	4	Unidades	Conectores St	\$2,04	\$8,16
3	100	Metros	Fibra Óptica MM de 4 hilos	\$3,20	\$320,00
Subtotal Enlace FSO					\$10.828,36
4	1	Unidades	Equipo Switch	\$5.379,96	\$5.379,96
5	1		Torre 30m.	\$10.425,00	\$10.425,00
<b>Total</b>					<b>\$26.633,32</b>

*Tabla 5.11 Valor Total del enlace cugi (Administración) - Observatorio*

En este ejemplo la mano de obra no se ha incluido en los gastos del enlace por cuanto será incorporada en el cálculo final del costo aproximado de la red.

Cabe notar que el equipo Switch que se incorpora en la tabla de costos se requiere exclusivamente para el enlace del Observatorio con la EPN, por ello el precio del enlace se ha incrementado, el enlace por si sólo costaría \$10.828,36 y con el equipo Switch llega a \$16.208,32, además si se suma el valor de la torre obtenemos un costo elevado para este enlace de \$26.633,32.

### 5.1.4.3 Costos Totales de la Red Inalámbrica de Óptica de Espacio Libre (FSO)

El costo total aproximado de la implementación de la red FSO, objeto del presente diseño, considera los costos del conjunto de enlaces que involucran básicamente los equipos, conectores y fibra óptica, adicionalmente se debe considerar la mano de obra e instalación.

La tabla 5.12 resume los costos totales estimados para los enlaces inalámbricos ópticos diseñados en la presente tesis.

<b>Enlaces FSO</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
Escuela Politécnica Nacional	5	\$10.956,96	\$54.784,80
Administración – Observatorio	1	\$26.633,32	\$26.633,32
<b>Subtotal</b>			<b>\$81.418,12</b>
Mano de Obra e instalación (2%)			\$1.628,36
<b>Valor Total</b>			<b>\$83.046,48</b>

*Tabla 5.12 Valor Total de la Red FSO*

La mano de obra e instalación se ha considerado como en un valor del 2% del subtotal del proyecto.

## 5.1.5 COSTOS DE SOLUCIÓN POR FIBRA ÓPTICA

### 5.1.5.1 Costos de Enlaces de Fibra Óptica en la Escuela Politécnica Nacional

La solución por Fibra Óptica es la que se tiene actualmente en la red de la Escuela Politécnica Nacional. Su implementación requirió de una fuerte inversión para lograr establecer las conexiones existentes.

Para aproximarnos al valor del costo de la red cableada de fibra óptica de la Escuela Politécnica Nacional, analizaremos el costo de implementación de un anillo de fibra óptica para el campus de la EPN

De acuerdo a la información proporcionada por el centro de cómputo ubicado en la Unidad de Gestión de la Información (UGI), se presenta en la tabla 5.13 el costo de inversión para el montaje de un anillo de fibra óptica que abarque las comunicaciones del campus de la EPN.

Item	Descripción	Cant.	Unid.	V/Unit.	Total
1	Fibra óptica MM 12 hilos armada loose tube G.652	4000	m	4,20	16.800,00
2	Instalación de fibra óptica de 12 hilos (alambrado y etiquetación)	4000	m	1,00	4.000,00
3	Etiquetación, alambrado de ductos, tapones, guías, etc.	4000	m	0,55	2.200,00
4	ODF de 24 puertos ST MM (inc. Bandejas de empalmes, protectores térmicos, material adicional para fusión) marca TYCO AMP	15	u	295,00	4.425,00
5	ODF de 48 puertos ST MM (inc. Bandejas de empalmes, protectores térmicos, material adicional para fusión) marca Alemana FIS	4	u	295,00	1.180,00
6	Pigtail MM SC 2m (habilitación de todos los extremos)	360	u	15,00	5.400,00
7	Fusiones Pigtail en bandeja dentro de ODF (inc. protectores)	360	u	20,00	7.200,00
8	Patch cord duplex MM G652 SC-SC o SC-ST o ST-LC (para habilitación de servicios)	30	u	33,00	990,00
9	Medición y certificación de fibra con OTDR y POWER METER de última tecnología	360	u	15,00	5.400,00
10	Manga de empalme reforzada 3M; 12, 24, 48 hilos (inc. protectores, montaje y fusiones)	3	u	350,00	1.050,00
11	Memoria técnica, planos, identificación y etiquetación	1	u	3.000,00	3.000,00
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>51.645,00</b>
Item	OBRA CIVIL	Cant.	Unid.	V/Unit.	Total
	<b>Pozos de Revisión y Paso</b>				
1	Excavación manual de un canal de 0,40 m de ancho y 0,80 m de profundidad desde el pozo utilizado por Andinatel hasta entrada a cada edificio	1	m <sup>2</sup>	5,50	5,50
2	Materiales varios para adecuación de pozo	1	m <sup>2</sup>	75,00	75,00
3	Materiales y mano de obra para construir pozos de paso (o cajas de paso)	1	u	170,00	170,00
4	Provisión e instalación de triducto PVC de 3", materiales y mano de obra para adecuaciones	1	m	12,50	12,50
	** Se encuentra detallado el valor unitario de la construcción de 1 pozo de paso y revisión			<b>SUBTOTAL</b>	263,00
	Número de Pozos de Revisión y Paso necesarios	<b>30</b>		<b>TOTAL</b>	<b>7.890,00</b>

*Tabla 5.13 Valor de Anillo de Fibra Óptica propuesto para la EPN*

### 5.1.5.2 Costo de Enlace con Fibra Óptica con el Observatorio Astronómico

A continuación se presenta una tabla que muestra los costos de una propuesta de cableado de fibra hecha a la EPN, por la empresa **F.O.S. Ecuador Cia. Ltda.** en Febrero del 2007. La oferta presenta los costos detallados para la implementación de un enlace de Fibra entre los edificios de Administración y el Observatorio astronómico.

Estos datos fueron proporcionados por el UGI (Unidad de Gestión de la Información) de la Escuela Politécnica Nacional.

Esto nos proporciona una idea del costo que representa tender un enlace de fibra óptica y así poder tener un criterio de comparación frente a la propuesta de óptica de espacio libre (sin fibras). El enlace corresponde a una instalación de fibra óptica por los postes de alumbrado público. (Aquí no se considera la implementación de torre alguna o la adquisición de un switch, detalles que si se consideran en la solución FSO propuesta en el presente trabajo de titulación)

La tabla 5.14 detalla la oferta realizada por la empresa, para el enlace entre la EPN y el Observatorio Astronómico.

Ítems	Cantidad	Unidad	Características	P. Unitario	Montaje y Desmontaje	P. Total
1	2900	m	Cable de fibra óptica 12 hilos MM	<b>\$4,20</b>	\$1,00	\$15.080,00
2	50	P	Herrajes nacionales	\$4,50		\$225,00
3	50	P	Abrazaderas para poste	\$4,50		\$225,00
4	1	U	ODF 6 puertos ST MM completo	\$249,84	\$25,00	\$274,84
5	12	U	Fusiones de FO	\$18,00		\$216,00
6	12	U	Manguitos protectores de fusión	\$1,80		\$21,60
7	12	U	Certificaciones y mediciones de FO	\$18,00		\$216,00
8	1	V	Material menudo	\$770,00		\$770,00
<b>Total</b>						<b>\$17.028,44</b>

*Tabla 5.14 Oferta de la empresa F.O.S. Ecuador Cia. Ltda. para la EPN, para la instalación del enlace por fibra óptica EPN-O. ASTRONÓMICO*

### 5.1.5.3 Costos Totales de Solución por Fibra Óptica

Para aproximarnos al valor del costo de la red cableada de fibra óptica de la Escuela Politécnica Nacional, tomaremos los valores de costo de las propuestas de implementación del anillo de de fibra óptica y del enlace con fibra del Observatorio Astronómico. Dichos valores se muestran en la tabla 5.15, el mismo que es el valor total estimado de la solución alternativa por fibra óptica.

<b>CABLEADO DE FIBRA EN LA EPN Y HACIA EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO</b>	<b>Valor Total</b>
Anillo de Fibra de la EPN	51.645,00
Pozos de Revisión y Paso	7.890,00
Enlace Administración-Observatorio	17.028,44
<b>TOTAL</b>	<b>\$76.563,44</b>

*Tabla 5.15 Valor de Solución por Fibra Óptica para la EPN y el Observatorio*

Observamos que el costo de una red de fibra óptica para la EPN esta en un valor aproximado de **\$77.000**. De estos valores podemos establecer un criterio de comparación, para analizar los resultados obtenidos de la red FSO que se ha diseñado en el presente trabajo.

### 5.1.5.4 Comparación de Costos entre las Soluciones Inalámbrica Óptica FSO y la Solución Cableada de Fibra Óptica.

La tecnología FSO tiene costos comparables con los de sistemas cableados como la Fibra Óptica, en los cálculos obtenidos se obtuvo un valor de **\$83.046,48** para FSO frente a **\$76.563,44** para fibra óptica, aunque la tecnología FSO resulto un poco mas costosa, tiene muchas ventajas con respecto a las facilidades de implementación, montaje, y pagos por derechos de paso, arriendos de postes y licencias por uso del espectro.

## CAPITULO 6

### 6.1 CONCLUSIONES

- Las comunicaciones ópticas aparecieron y han sido utilizadas desde hace muchos siglos atrás, y su desarrollo e implementación se han demorado producto del descubrimiento de otras técnicas de transmisión que han sido explotadas e implementadas mayormente como la electricidad por cobre y la fibra óptica
- El descubrimiento del láser, la baja atenuación de la fibra óptica y la emisión de los láseres semiconductores; permitieron en un principio desarrollar la comunicación a través de la fibra óptica y luego la comunicación de haces de luz por el espacio libre
- El uso de sistemas de luz para la transmisión de datos ha logrado grandes capacidades de transmisión de ancho de banda y rápidas velocidades de propagación de los haces de información, claro ejemplo de ello ha sido la fibra óptica
- Los sistemas de comunicación inalámbrica óptica (FSO) son sistemas similares a los de la fibra óptica, que aprovechan la transmisión de fotones para enviar datos pero lo hacen a través del aire sin el uso de cables
- Los sistemas FSO resultan atractivos y aptos para ser considerados como alternativas para ser aplicados en las soluciones de última milla y redes de redundancia

- La capacidad de transmisión de un sistema FSO actualmente es de hasta 2,5 Gbits/s, lo cual lo convierte en un sistema de gran ancho de banda que puede soportar fácilmente fuertes tasas de transferencia de datos, pudiéndose desempeñar como soporte secundario de una red o también como conexión principal de una red (backbone)
- Un sistema FSO es de fácil implementación, característica que se traduce en una alternativa de rápido despliegue para una red de backbone
- Los enlaces de fibra óptica dentro de la Polired están subutilizados, con esto se quiere decir que los valores de tráfico cursado por los enlaces internos de la red están muy por debajo de la capacidad permitida en la fibra óptica
- Los enlaces inalámbricos ópticos diseñados en el presente proyecto de titulación, actuarán como un camino redundante para su par de fibra óptica, permitiendo la conexión de los dos switches de core con sus respectivos switches de distribución
- Además, se establecerá un enlace de óptica de espacio libre con el Observatorio Astronómico; que permitirá el intercambio de recursos entre la red de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio
- Las distancias que puede cubrir un enlace FSO están en el rango desde varios metros hasta pocos kilómetros, rango de operación que es relativo y depende de los equipos de transmisión y recepción así como los fenómenos climáticos presentes en el medio de transmisión
- En el caso del presente trabajo, la mínima distancia que se cubre es de 29,56 metros referente a la distancia de espacio libre entre las terrazas de los edificios de Eléctrica – Química y Eléctrica antiguo

- La mayor distancia de espacio libre que se debe cubrir es la que distancia la terraza del edificio de Administración General en el campus de la Escuela Politécnica Nacional con una torre en el Observatorio Astronómico situado en el parque la Alameda, esta distancia es 1.380,01 metros
- La banda de operación de las comunicaciones ópticas de espacio libre corresponde a la denominada óptica, aproximadamente, desde los 50 nm (ultravioleta) hasta 100  $\mu$ m (región del infrarrojo). Este rango coincide con las longitudes de onda usadas en las comunicaciones por fibra óptica
- Los equipos FSO emplean para la transmisión en espacio libre, longitudes de onda que van de los 700 nm hasta los 1500 nm, lo cual significa que el sistema FSO es de alta frecuencia y supera a otros tales como las microondas que operan sobre los 40 GHz
- Las frecuencias por los equipos FSO empleados en el diseño del presente proyecto de titulación (SONABEAM Serie: 1250-M y 155-M) usan para la transmisión en espacio libre valores de frecuencias del orden de los Terahertz ( $10^{12}$ Hz). Una longitud de onda de 850 nm corresponde a una frecuencia de 353 THz; mientras que la de 1550 nm alcanza los 193 THz
- Cuando el ojo humano es expuesto en forma directa a luz infrarroja intensa manifiesta diferentes tipos de daño, que dependen de la longitud de onda y potencia de la señal recibida. La seguridad ocular está garantizada en los equipos FSO, que cumplen con normas internacionales para emitir potencias a longitudes de onda seguras que no causen daños sobre los ojos o la piel
- La tecnología FSO no requiere de licencia o pago de impuesto alguno por el uso de frecuencias del espectro electromagnético a un organismo regulatorio de las telecomunicaciones

- La ITU -T, en la actualidad no contempla ninguna regulación con respecto al uso de los sistemas FSO, sin embargo, se están realizando estudios dentro de los grupos de trabajos que participan en las WRC (World Radio Conferences – Conferencias Mundiales de Radio) para contemplar una posible regulación en el uso del espectro electromagnético sobre los 3.000 GHz
- La seguridad de la información transmitida por el aire (medio de transmisión en los sistemas inalámbricos ópticos), es excelente, ya que los haces de transmisión son muy estrechos (típicamente mucho menores que 0,5 grados) a diferencia de los haces que presentan los enlaces de microondas cuyos valores están entre los 5 y 25 grados
- Los valores de divergencia que se producen se encuentran dentro del rango entre 1 y 3 miliradianes, lo que supone un aumento del diámetro del haz de aproximadamente 1 mm/m, lo cual significa que a una distancia de 1 km, el haz se abrirá entre 1 m y 3 m respectivamente
- El diámetro pequeño del haz, que típicamente es sólo de unos metros, es una de las razones por la que es difícil de interceptar los datos en el camino de comunicación de un sistema inalámbrico óptico basado en FSO.
- Para interceptar la información el “intruso” debería conocer el origen exacto del transmisor inalámbrico óptico, o en su caso conocer el sitio de localización del receptor inalámbrico óptico del láser infrarrojo, para así poder interceptar el rayo sólo dentro de un ángulo muy estrecho de propagación
- Más difícil aún es que el “intruso” tenga acceso libre y tranquilo a las instalaciones donde se ubique el transmisor y receptor inalámbrico óptico y poder instalar el equipo electrónico de interceptación sin ser observado

- La interceptación directa de un haz inalámbrico óptico entre dos sitios remotos de red es prácticamente imposible, debido al hecho que el haz de transmisión es invisible y que cualquier esfuerzo por bloquear el haz tendría que ocurrir cerca de los puntos terminales del equipo inalámbrico óptico
- El principal problema del medio de transmisión en las comunicaciones inalámbricas ópticas de espacio libre es la neblina, la misma que debido a su consistencia (pequeñas gotas de agua de diámetro similar a la longitud de onda de la señal enviada), puede atenuar la potencia de la señal y dificultar la comunicación
- En el presente proyecto de tesis se ha considerado este factor como el más importante y se lo ha introducido en el cálculo del margen del enlace o link margin)
- El máximo valor de atenuación por neblina (atenuación molecular) corresponde a 23,0143 dB para el enlace propuesto entre los edificios del Observatorio Astronómico y Administración General, este valor de atenuación molecular es directamente proporcional con la distancia que recorre el enlace mencionado
- Por lo tanto, los valores de atenuación molecular producto de la neblina, se incrementan de acuerdo a la distancia que recorren los enlaces inalámbricos ópticos; y están en relación del coeficiente de dispersión, el mismo que depende de las condiciones climáticas del sector en el que se quiera establecer el sistema FSO
- La presente tesis, consideró el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos, en las peores condiciones ambientales que se puedan presentar, estas son la posibilidad de tener lluvia torrencial y niebla densa al mismo tiempo, lo que permitiría una visibilidad de hasta 770 metros. Estas condiciones no son típicas en Quito

- Los enlaces inalámbricos ópticos diseñados, tendrán un adecuado funcionamiento incluso con la presencia de lluvia fuerte, niebla moderada y nieve (condiciones que para Quito no son comunes y se las considera extremas), ya que la visibilidad es de aproximadamente 1,9 kilómetros para los enlaces inalámbricos ópticos en las condiciones mencionadas
- Las pérdidas correspondientes a las atenuaciones moleculares por neblina, llegan a valores entre 4,23 dB hasta 23,01 dB
- Los otros valores considerables de pérdidas corresponden a las atenuaciones geométricas, relacionadas las mismas con la distancia del enlace, divergencia del haz y área de captura del receptor
- Los enlaces del sistema FSO que se diseñan en la presente tesis, consideran la máxima divergencia del haz (3 miliradianes) y el área de captura estándar de los equipos FSO (0,025 metros cuadrados). Estos datos producen valores de atenuación geométrica entre 0 dB y 27,31 dB, correspondientes a los enlaces de menor distancia (cquímica – deléctrica y química – dmecánica) y mayor distancia (cugi – dobservatorio) respectivamente
- Los otros valores de pérdidas (correspondientes a las pérdidas en conectores, equipos FSO, fibra óptica y desalineamiento) son pequeños valores y no afectan de manera sensible la disponibilidad de los enlaces diseñados
- El margen de enlace o link margin, valor que permite conocer si un enlace es factible de realizar, para la presente tesis fluctúa entre 43,99 dB y 4,74 dB
- El link margin de 4,74 dB es el crítico, y corresponde al enlace diseñado con el Observatorio Astronómico

- Una característica importante de los sistemas FSO es que la transparencia de protocolo, es decir que puede enviar cualquier tipo de trama independientemente del protocolo que manejen; esta facilidad logra que la tecnología FSO se acople a los equipos de red existentes sin necesidad de realizar cambios en los equipos instalados, o en los protocolos usados para la información
- La topología actual de la red de la EPN es de estrella extendida, a esta misma topología se ha adoptado los enlaces inalámbricos ópticos; con esto se puede usar los elementos activos de la Polired (switches de core y distribución) para el funcionamiento del sistema FSO
- La red cableada de la Escuela Politécnica Nacional sigue un esquema jerárquico de tres niveles (core, distribución y acceso); en el presente diseño se ha seguido dicho esquema emulando los enlaces de modo que se pueda obtener una red de redundancia con enlaces FSO
- Los enlaces inalámbricos ópticos se han diseñado entre los niveles de core y distribución, esto por cuanto no se justifica establecer enlaces hasta el nivel de acceso por consideraciones físicas y técnicas, que tiene que ver con que varios switches de acceso se encuentren dentro de un mismo edificio o que el tráfico que cursan no sea representativo
- La conexión entre la Polired y la red del Observatorio Astronómico, requiere de una torre de 30 metros de altura que proporcione la línea de vista necesaria entre el edificio de Administración General (que en su 1er piso tiene el funcionamiento de la Unidad de Gestión de la Información que administra el cugi) y el Observatorio
- A nivel lógico, la red del Observatorio Astronómico necesita contar con un dispositivo de conmutación que se rija a la actual jerarquización de la Polired; se ha visto conveniente la adquisición de un switch Cisco Catalyst 3560G para que desempeñe las funciones de un nivel de distribución

- El costo resultante de la red FSO es comparable con el costo de implementación de una red de fibra óptica, si bien los equipos FSO son moderadamente costosos, presentan grandes ventajas por la facilidad de instalación y acceso en ubicaciones difíciles
- Los enlaces redundantes para la Polired (conexión entre switches de core y switches de distribución) y el enlace adicional para con el Observatorio Astronómico (contemplando la inclusión de una torre de 30 metros y un switch de distribución Cisco Catalyst 3560G) tienen un costo total aproximado de \$ 83.046,48 incluido el costo de instalación y mano de obra
- Este valor se ha comparado con una propuesta presentada al UGI para el diseño de un anillo de fibra óptica para la red de la EPN, y la conexión con el Observatorio Astronómico por fibra óptica tendida por los postes de alumbrado público; valor aproximado de \$ 76.563,44
- La diferencia en costos entre la solución propuesta por los enlaces FSO y la presentada al UGI por fibra óptica es de \$ 6.483,04. Cantidad que no representa un valor considerable, razón por la que la diferencia de costo no presenta una desventaja para los enlaces inalámbricos ópticos presentados en el presente trabajo de titulación, ya que esta propuesta considera los costos de implementación de una torre y la adquisición adicional de un switch de distribución marca Cisco.
- Por supuesto, no hay que olvidar que la solución de un anillo de fibra óptica redundante para la EPN, y la interconexión con el Observatorio Astronómico por medio de un tendido de fibra óptica a través del uso de los postes de alumbrado público; no contempla el costo adicional del pago de permisos para el uso de los postes mencionados, ni tampoco la adquisición de elementos activos adicionales de conmutación como el switch de distribución marca Cisco modelo 3560G

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Estimular a los compañeros de las carreras de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes de la Información a la investigación de nuevas tecnologías de transmisión de datos como es la comunicación óptica de espacio libre FSO
- Se puede plantear un nuevo proyecto de titulación relacionado con el trabajo presentado en este documento, con el fin de analizar con detalle la disponibilidad de los enlaces inalámbricos ópticos en las distintas épocas del año en el sector de la Escuela Politécnica Nacional y el parque de la Alameda
- También puede ser de consideración para los compañeros un proyecto de titulación referente a la tecnología FSO como solución a los problemas que presentan distintas tecnologías de Última Milla
- La tecnología inalámbrica óptica presentada en este trabajo no solo puede ser aplicada para el campo presentado en este proyecto de titulación; sino que puede converger con otros métodos para transmisión para ampliar la cobertura de un servicio
- Los enlaces inalámbricos ópticos, no sólo pueden ser vistos como alternativa de implementación para grandes empresas o instituciones; sino que pueden ser aplicados con éxito para interconectar redes de uso personal dentro de espacios pequeños como casas u oficinas
- Se recomienda la investigación de aplicaciones de la óptica de espacio libre para otras aplicaciones como son las de radar óptico, establecimiento de enlaces telefónicos remotos e incluso la difusión de información entre ciudades

- La aplicación de la tecnología FSO, puede realizarse en nuestro país al igual que en el resto del mundo, sin ningún impedimento legal de regulación ya que se transmite en un espectro no licenciado
- Es importante recordar que la tecnología se desarrolla día a día, permitiendo un mejor funcionamiento de los enlaces FSO aún bajo condiciones climáticas adversas, esto con ayuda de mejores dispositivos transmisores – receptores de señal
- A los profesores de la Facultad de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes de la Información para que motiven a los estudiantes desde el inicio de la carrera la investigación de nuevas tecnologías de información; esto con el establecimiento de horas de consulta e intercambio de información e inquietudes mediante debates dentro y fuera del horario de hora clase
- A la Escuela Politécnica Nacional para que apoye líneas de investigación relacionadas a las tecnologías de transmisión de la señal a través de distintos medios
- También la EPN puede patrocinar o realizar conferencias y congresos sobre este tema, y otros de importancia para el desarrollo de adicional del estudiantado; que estimulen la investigación de los compañeros estudiantes

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **Libros**

José Antonio MARTÍN PEREDA, "SISTEMAS Y REDES ÓPTICAS DE COMUNICACIONES", Pearson Prentice Hall, Madrid, 2004.

José MARTÍN SANZ, "COMUNICACIONES ÓPTICAS", Paraninfo, Madrid, 1996, páginas 9 – 12.

Olivier BOUCHET, Hervé SIZUN, Christian BOISROBERT, Frédérique DE FORNEL, Pierre-Noel FAVENNEC, "FREE SPACE OPTICS: PROPAGATION AND COMMUNICATION", ISTE, Gran Bretaña y Estados Unidos, 2006.

Heinz WILLEBRAND, Baksheesh GHUMAN, "FREE SPACE OPTICS: ENABLING OPTICAL CONNECTIVITY IN TOYDAY'S NETWORKS", Sams Publishing, Estados Unidos, 2002.

### **Folleto y Apuntes**

Ingeniero Fabián Corral, "APUNTES DE LA MATERIA DE COMUNICACIONES ÓPTICAS", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2006.

Ingeniera Soledad Jiménez, "FOLLETO Y APUNTES DE LA MATERIA DE COMUNICACIÓN DIGITAL", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2006.

Ingeniero Pablo Hidalgo, "FOLLETO Y APUNTES DE LA MATERIA DE TELEMÁTICA", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2006.

Ingeniero Iván Bernal, "FOLLETO Y APUNTES DE LA MATERIA DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2006.

## **Páginas WEB**

<http://www.itu.int/home/index-es.html>

<http://www.itu.int/publications/default.aspx?lang=s&&>

<http://www.mrv.com/product/MRV-OS-OA2000>

<http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=126395>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/default.cfm>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/DualPathArchWP.pdf>

[http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/LightPointe\\_WP\\_](http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/LightPointe_WP_)

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-enterprise.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-healthcare.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-engineering.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-voip.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-telcobypass.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-video.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-disaster.pdf>

<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/lpointe-brief-security.pdf>

[http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/LightPointe\\_WP\\_FS\\_O2.0.pdf](http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/materials/pdf/LightPointe_WP_FS_O2.0.pdf)

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

<http://www.lightpointe.com/fso/default.cfm>

<http://www.lightpointe.com/products/enterprise.cfm>

[http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/FlightStrata155E\\_G.pdf](http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/FlightStrata155E_G.pdf)

[http://www.lightpointe.com/products/fs\\_g.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fs_g.cfm)

[http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS\\_FlightStrata\\_HD.pdf](http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS_FlightStrata_HD.pdf)  
[http://www.lightpointe.com/products/fl\\_100.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fl_100.cfm)  
[http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/FlightLite100\\_100E.pdf](http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/FlightLite100_100E.pdf)  
[http://www.lightpointe.com/products/fl\\_100e.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fl_100e.cfm)  
[http://www.lightpointe.com/products/fl\\_g.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fl_g.cfm)  
[http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS\\_FlightLite\\_155\\_G.pdf](http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS_FlightLite_155_G.pdf)  
<http://www.lightpointe.com/products/carrierclass.cfm>  
[http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS\\_FlightStrata.pdf](http://www.lightpointe.com/downloads/datasheets/DS_FlightStrata.pdf)  
[http://www.lightpointe.com/products/fs\\_g\\_carrier.cfm](http://www.lightpointe.com/products/fs_g_carrier.cfm)  
<http://www.lightpointe.com/downloads/appbriefs/lpointe-brief-hdtv.pdf>  
<http://www.lightpointe.com/downloads/appbriefs/lpointe-brief-mobilewireless.pdf>  
<http://www.deas.harvard.edu/hbbcl/fsoc.html>  
[http://www.pavdata.com/index.php?select\\_lang=es](http://www.pavdata.com/index.php?select_lang=es)  
<http://www.triohmtec.com/fsotecnologia.shtml>  
<http://www.padtec.com.br/esp/news/primesysFso.php>  
[http://www.ukravtomatika.com.ua/en/doc/155\\_m.pdf](http://www.ukravtomatika.com.ua/en/doc/155_m.pdf)  
<http://www.fsona.com/product.php?sec=safety>  
<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/030841>  
<http://www.techfurb.com/>  
<http://www.techfurb.com/Quote.htm>

# ANEXOS

# ANEXO CÁLCULOS

# ATENUACIÓN GEOMÉTRICA

## ENLACE CUGI – DCIVIL

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 81,96 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(81,96m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,24588m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,06045m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{0,04748}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 1,899$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(1,899)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times 0,2786$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 2,786 \text{ dB}$$

## ENLACE QUÍMICA – DSISTEMAS

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 105,43 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(105,43m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,31629m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,100039m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{0,07857}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 3,1428$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(3,1428)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times 0,4973$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 4,973 \text{ dB}$$

## ENLACE CQUÍMICA – DELÉCTRICA

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 29,56 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(29,56m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,08868m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,00786m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{0,00617}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 0,247$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(0,247)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times (-0,6072)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = -6,072 dB$$

## ENLACE CQUÍMICA – DMECÁNICA

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 31,54 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(31,54m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,09462m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(0,00895m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{0,00703}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 0,2812$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(0,2812)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times (-0,5509)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = -5,509 dB$$

## ENLACE CUGI – DOBSERVATORIO

*Divergencia = 0,003 radianes = 3 miliradianes*

*Distancia = 1.380,01 metros*

*Área de Captura = 0,025 metros al cuadrado*

Aplicando la ecuación 3.3.

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

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

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(1.380,01m * 0,003rad)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(4,14003m)^2}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(17,1398m^2)}{0,025m^2}$$

$$Aff_{geométrica} = \frac{13,4616}{0,025}$$

$$Aff_{geométrica} = 538,4642$$

Expresado en dB según la ecuación 3.4.

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(Aff_{geométrica})$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times \log_{10}(538,4642)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 10 \times (2,7312)$$

$$Aff_{Geo(dB)} = 27,312 \text{ dB}$$

# ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA

## ENLACE CUGI – DCIVIL

A partir de la ecuación 3.7

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left(\frac{81,96}{1.000}\right)}$$

$$\tau(d) = e^{-0,3147}$$

$$\tau(d) = 0,729988572$$

La atenuación atmosférica se calcula aplicando la ecuación 3.8

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau(d)}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{0,729988572}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(1,3698844)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 0,1366839388$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 1,366839388 \text{ dB}$$

## ENLACE QUÍMICA – DSISTEMAS

A partir de la ecuación 3.7

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left( \frac{105,43}{1.000} \right)}$$

$$\tau(d) = e^{-0,4048512}$$

$$\tau(d) = 0,667076064$$

La atenuación atmosférica se calcula aplicando la ecuación 3.8

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log \left( \frac{1}{0,667076064} \right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(1,499079421)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 0,1758246422$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 1,758246422 \text{ dB}$$

## ENLACE QUÍMICA – DELÉCTRICA

A partir de la ecuación 3.7

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left(\frac{29,56}{1.000}\right)}$$

$$\tau(d) = e^{-0,1135104}$$

$$\tau(d) = 0,892694912$$

La atenuación atmosférica se calcula aplicando la ecuación 3.8

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau(d)}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{0,892694912}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(1,1202035)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 0,0492969404$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 0,492969404 \text{ dB}$$

## ENLACE CQUÍMICA – DMECÁNICA

A partir de la ecuación 3.7

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left(\frac{31,54}{1.000}\right)}$$

$$\tau(d) = e^{-0,1211136}$$

$$\tau(d) = 0,885933312$$

La atenuación atmosférica se calcula aplicando la ecuación 3.8

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau(d)}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log\left(\frac{1}{0,885933312}\right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(1,12875313)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 0,0525989682$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 0,525989682 \text{ dB}$$

## ENLACE CUGI – DOBSERVATORIO

A partir de la ecuación 3.7

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

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

$$\tau(d) = e^{-3,84 \times \left( \frac{1.380,01}{1.000} \right)}$$

$$\tau(d) = e^{-5,2992384}$$

$$\tau(d) = 0,004995397$$

La atenuación atmosférica se calcula aplicando la ecuación 3.8

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log \left( \frac{1}{\tau(d)} \right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log \left( \frac{1}{0,004995397} \right)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times \log(200,184289)$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 10 \times 2,301429995$$

$$Aff_{Atm(dB)} = 23,01429995 \text{ dB}$$

## MARGEN DE ENLACE O LINK MARGIN

### ENLACE CUGI – DCIVIL

$$P_e = 27,48 \text{ dBm}$$

$$S_r = -20 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 2,79 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 1,366 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 3 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = P_e + |S_r| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 27,48 \text{ dBm} + 20 - \text{dBm} - 2,79 \text{ dB} - 1,366 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$M_{link} = 40,33 \text{ dB}$$

### ENLACE CQUÍMICA – DSISTEMAS

$$P_e = 27,48 \text{ dBm}$$

$$S_r = -20 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 4,97 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 1,758 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 3 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = P_e + |S_r| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 27,48 \text{ dBm} + 20 - \text{dBm} - 4,97 \text{ dB} - 1,758 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$M_{link} = 37,75 \text{ dB}$$

## ENLACE CQUÍMICA – DELÉCTRICA

$$Pe = 27,48 \text{ dBm}$$

$$Sr = -20 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 0 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 0,4929 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 3 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = Pe + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 27,48 \text{ dBm} + 20 - \text{dBm} - 0 \text{ dB} - 0,4929 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$M_{link} = 43,99 \text{ dB}$$

## ENLACE CQUÍMICA – DMECÁNICA

$$Pe = 27,48 \text{ dBm}$$

$$Sr = -20 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 0 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 0,5259 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 3 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = Pe + |Sr| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 27,48 \text{ dBm} + 20 - \text{dBm} - 0 \text{ dB} - 0,5259 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$M_{link} = 43,95 \text{ dB}$$

## ENLACE CUGI – DOBSERVATORIO

$$P_e = 28,06 \text{ dBm}$$

$$S_r = -31 \text{ dBm}$$

$$Aff_{Geo} = 27,31 \text{ dB}$$

$$Aff_{Atm} = 23,01 \text{ dB}$$

$$P_{Sist} = 4 \text{ dB}$$

Entonces de acuerdo a la ecuación 3.1

$$M_{link} = P_e + |S_r| - Aff_{Geo} - Aff_{Atm} - P_{Sist}$$

$$M_{link} = 28,06 \text{ dBm} + 31 \text{ dBm} - 27,31 \text{ dB} - 23,01 \text{ dB} - 4 \text{ dB}$$

$$M_{link} = 4,74 \text{ dB}$$

# ANEXO EQUIPOS 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.



## RUGGED AND ROBUST

At fSONA, 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.



## M SERIES



	SONAbeam 1250-M	SONAbeam 165-M
Transmission rates	100 - 1448 Mbps (datarate transparent and relocked)	31 - 180 Mbps (datarate transparent and relocked)
Transmission standards	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, 270 Mbps, 1064 Mbps, Fast/Gig Ethernet	OC-3/STM-1, Fast Ethernet
Range: 3 dB/km (clear air)	400 m to 5300 m (1310 ft to 3.3 mi)	300 m to 6400 m (980 ft to 4.0 mi)
10 dB/km (extreme rain)	400 m to 2325 m (1310 ft to 1.4 mi)	300 m to 2675 m (980 ft to 1.7 mi)
Laser output power	560 mW peak (4 x 140 mW)	640 mW peak (4 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	20 cm (8 in) diameter, effective clear	20 cm (8 in) diameter, effective clear
	SONAbeam 82-M	SONAbeam 81-M
Transmission rates	100 - 715 Mbps (datarate transparent and relocked)	10 - 68 Mbps (datarate transparent and relocked)
Transmission standards	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, 270 Mbps, Fast Ethernet	E3, DS3, OC-1/STM-0
Range: 3 dB/km (clear air)	400 m to 5400 m (1310 ft to 3.4 mi)	300 m to 7700 m (980 ft to 4.8 mi)
10 dB/km (extreme rain)	400 m to 2360 m (1310 ft to 1.5 mi)	300 m to 3125 m (980 ft to 1.0 mi)
Laser output power	560 mW (4 x 140 mW)	640 mW peak (4 x 160 mW)
Fiber xmtr output power	-11 dBm (min), -3 dBm (max)	-15 dBm (min) to -8 dBm (max)
Fiber rxvr input power	-20 dBm (min), -3 dBm (max)	-31 dBm (min) to -8 dBm (max)
Receive aperture	20 cm (8 in) diameter, effective clear	20 cm (8 in) diameter, effective clear
FIBER-OPTIC INTERFACE		
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)	
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, IP86 + NEMA-4 rated	
Dimensions (W*H*D)	Centimeters: 41 x 41 x 46; Inches: 16 x 16 x 18	
Weight - kg (lbs)	Head: 20 kg (44 lbs); PCA: 8 kg (17 lbs); Yoke: 9 kg (17 lbs)	
Input voltage	-48v DC nominal, Operational range (-40v to -57v)	
Optional AC	External AC supply available: 85-260 VAC (60/60 Hz)	
Power consumption	Transceiver: 55 watts, max; Heaters: 200 watts, max	
CARRIER-CLASS RELIABILITY AND DURABILITY		
Heating	Internal, to 30°C (86°F), prevents optics fogging, snow/sleet accumulation	
Laser cooling	Active solid state cooling to 36°C (96°F), even in desert conditions	
Redundant transmitters	4 independent lasers, drivers, coolers & cooler controllers	
Power supply	Carrier-grade, 2 million hour MTBF for DC	
Structure	Cast aluminum housing, yoke & mount	
Adaptive power control	Adjusts laser power to changing weather conditions	



S SERIES



E SERIES

	<b>carrier-class 1250-4</b>	<b>carrier-class 1250-8</b>
Transmission rates	100 - 1448 Mbps (datarate transparent and relocked)	31 - 180 Mbps (datarate transparent and relocked)
Transmission standards	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, 270 Mbps, 1064 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	280 mW (2 x 140 mW)	320 mW (2 x 160 mW)
Fiber xmtr output power	-11 dBm (min), -3 dBm (max)	-15 dBm (min), -8 dBm (max)
Fiber rcvr 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>carrier-class 122-4</b>	
Transmission rates	100 - 715 Mbps (datarate transparent and relocked)	
Transmission standards	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, 270 Mbps, Fast Ethernet	
Range: 3 dB/km (clear air)	100 m to 3800 m (330 ft to 2.4 mi)	
10 dB/km (extreme rain)	100 m to 1720 m (330 ft to 1.1 mi)	
Laser output power	280 mW (2 x 140 mW)	
Fiber xmtr output power	-11 dBm (min), -3 dBm (max)	
Fiber rcvr input power	-20 dBm (min), -3 dBm (max)	
Receive aperture	10 cm (4 in) diameter, effective clear	
FIBER-OPTIC INTERFACE		
Interface type	SM or MM fiber, SC terminated	
Fiber xmtr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)	
Fiber rcvr 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 rated	
Dimensions (W*H*D)	Centimeters: 40 x 40 x 38; Inches: 1.6 x 1.6 x 1.5	
Weight - kg (lbs)	Head: 17 kg (37 lbs); Mount: 6 kg (13 lbs)	
Input voltage	95-280 VAC (50/60 Hz)	
Power consumption	Transceiver: 40 watts, max; Heaters: 200 watts, max	
CARRIER-CLASS RELIABILITY AND DURABILITY		
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	

	<b>carrier-class 1250-E</b>	<b>carrier-class 122-E</b>
Transmission rates	31 - 180 Mbps (datarate transparent or relocked)	10 - 68 Mbps (datarate transparent or relocked)
Transmission standards	E3, DS3, OC-1/STM-0, OC-3/STM-1, Fast Ethernet	E3, DS3, OC-1/STM-0, Ethernet 10baseT
Range: 3 dB/km (clear air)	50 m to 3300 m (160 ft to 2.1 mi)	50 m to 3850 m (160 ft to 2.3 mi)
10 dB/km (extreme rain)	50 m to 1620 m (160 ft to 1.0 mi)	50 m to 1820 m (160 ft to 1.1 mi)
Laser output power	100 mW peak (2 x 50mW)	100 mW peak (2 x 50mW)
Receive aperture	10 cm (4 in) diameter	10 cm (4 in) diameter
MULTI-MODE FIBER-OPTIC INTERFACE CARD		
Data physical interface	Multi-mode fiber, SC terminated	Multi-mode fiber, SC terminated
Fiber xmtr output power	-20 dBm (min), -14 dBm (max)	-20 dBm (min), -14 dBm (max)
Fiber rcvr input power	-30 dBm (min), -14 dBm (max)	-30 dBm (min), -14 dBm (max)
3R clock & data recovery (CDR)	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux
SINGLE-MODE FIBER-OPTIC INTERFACE CARD		
Data physical interface	Single-mode fiber, SC terminated	Single-mode fiber, SC terminated
Fiber xmtr output power	-15 dBm (min), -8 dBm (max)	-15 dBm (min), -8 dBm (max)
Fiber rcvr input power	-31 dBm (min), -8 dBm (max)	-31 dBm (min), -8 dBm (max)
3R clock & data recovery (CDR)	User selectable, bypass for rate-transparency or mux	User selectable, bypass for rate-transparency or mux
FIBER-OPTIC INTERFACE		
Interface type	SM or MM fiber, SC terminated	
Fiber xmtr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)	
Fiber rcvr wavelength	1310 nm nominal (1280 nm to 1335 nm)	
MECHANICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL		
Operating temperature	-30°C to 50°C (-22°F to -122°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: 25 x 33 x 48; Inches: 1.0 x 1.3 x 1.9	
Weight - kg (lbs)	Head: 10 kg (22 lbs)	
Input voltage	22-57 VDC or 100-200 VAC	
Power consumption	Transceiver and heater: 30 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 - >560,000 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 - Pat 15 / ICES - 003 UL 60950 / CSA 60950	EN 55024 - immunity EN 60950 (CB scheme)

**CORPORATE HEADQUARTERS**  
**fSONA Systems Ltd.**  
 1750 Tysons Blvd, Suite 240  
 McLean, VA 22102 USA  
 Tel 703 917 4007  
 Fax 703 917 4009

**WEST COAST OFFICE**  
**fSONA Systems Corp.**  
 11120 Horseshoe Way, Suite 140  
 Richmond, BC V7A 5H7 Canada  
 Tel 604 273 6333  
 Fax 604 273 6351

**INTERNET**  
 Web [www.fsona.com](http://www.fsona.com)  
 Email [info@fsona.com](mailto:info@fsona.com)

**TOLL-FREE**  
 US/Canada 877 463 7662  
 International 877 (2) 463 7662



**INTERNET**  
 Web [www.fsona.com](http://www.fsona.com)  
 Email [sales@fsona.com](mailto:sales@fsona.com)

**TOLL-FREE**  
 US/Canada 877 463 7662  
 International 877 (2) 463 7662



fSONA's Authorized Reseller:

ANEXO  
EQUIPOS DE CONMUTACIÓN



Data Sheet

## Cisco Catalyst 4500 Series Switches

Cisco Catalyst 4500 Series switches integrate resiliency for advanced control of converged networks of voice, video, and data traffic.

### OVERVIEW

Cisco® Catalyst® 4500 Series switches (Figure 1) integrate nonblocking Layer 2–4 switching with optimal control, helping enable business resilience for enterprises, small and medium-sized businesses (SMBs), and Metro Ethernet customers deploying business-critical applications. The Cisco Catalyst 4500 Series extends control to the network edge with intelligent network services, including sophisticated quality of service (QoS), predictable performance, advanced security, and comprehensive management. It delivers advanced control with integrated resiliency. Integrated resiliency in both hardware and software minimizes network downtime, helping to ensure workforce productivity, profitability, and customer success. The modular architecture, media flexibility, and expandability of the Cisco Catalyst 4500 Series extends deployment life while reducing the cost of ownership by minimizing recurring operational expenses and improving return on investment (ROI).

Figure 1. Cisco Catalyst 4500 Series Switches



### CONVERGENCE

In today's highly competitive business environment, a converged network plays a critical role in helping an organization gain a competitive advantage through increased productivity, organizational flexibility, and reduced operational costs. Integration of data, voice, and video on a single (IP-based) network requires a switching infrastructure that can distinguish each traffic type and manage it according to its unique requirements. The Cisco Catalyst 4500 Series provides a switching infrastructure that, when combined with Cisco IOS® Software, can deliver advanced functions and control.

### OPTIMAL CONTROL

The Cisco Catalyst 4500 Series provides the network infrastructure for all applications that will be integrated to solve business problems. Extending intelligent network services with integrated resiliency leads to control of all traffic types with minimal downtime. The Cisco Catalyst 4500 Series delivers this control with the following:

- **Integrated resiliency**—Network downtime is minimized with redundant supervisor engine (subsecond failover) capability (Cisco Catalyst 4507R and Catalyst 4510R switches), software-based fault tolerance, redundant fans, and 1+1 power-supply redundancy across the Cisco Catalyst 4500

All contents are Copyright © 1992–2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved. Important Notices and Privacy Statement.  
Page 1 of 12

Series. Integrated Power over Ethernet (PoE) in all Cisco Catalyst 4500 Series chassis simplifies network design and limits the number of points of failure in an IP telephony implementation.

- **Sophisticated QoS**—Integrated QoS and traffic-management capabilities based on Layer 2–4 classify and prioritize mission-critical and time-sensitive traffic based on 32,000 QoS policy entries. The Cisco Catalyst 4500 Series can shape and rate-limit bandwidth-intensive traffic with mechanisms such as input and output policers based on host, network, and application information.
- **Predictable performance**—The Cisco Catalyst 4500 Series offers up to a 102-million packets per second (mpps) wire-speed forwarding rate in hardware for Layer 2–4 traffic. Switching performance is independent of the number of route entries or advanced Layer 3 services enabled.
- **Advanced security**—Support for Cisco patented Layer 2 security features prevents security breaches from rogue servers as well as “man in the middle” attacks where passwords and data may be intercepted. Layer 2–4 filtering and policing are also supported to mitigate the traffic initiated from malicious network attackers.
- **Comprehensive management**—The Cisco Catalyst 4500 Series offers Web-based management for the configuration and control of all ports, allowing central management of critical network characteristics such as availability and responsiveness.

### SCALABLE ARCHITECTURE

Convergence lowers the overall cost of network ownership and simplifies administration and maintenance through the elimination of separate voice, video, and data infrastructures. The modular architecture of the Cisco Catalyst 4500 Series provides the scalability and flexibility to eliminate the need for multiplatform deployments, minimizing maintenance expenses. To further extend customers' network-equipment deployment cycles, the Cisco Catalyst 4500 Series offers the following features:

- **Backward compatibility of line cards**—Customers are given the flexibility to upgrade line cards with the existing deployed chassis to higher-speed interfaces without changing the complete chassis, postponing the need for additional capital expenditures.
- **Extra room for future features**—The Cisco Catalyst 4500 Series architecture was designed with generous amounts of hardware resources to support future features applicable to your network needs. With a simple Cisco IOS Software upgrade, you can receive the benefits of many hardware-enabled features without the need for a complete chassis upgrade.

### CISCO CATALYST 4500 SERIES

The Cisco Catalyst 4500 Series includes four chassis options: Cisco Catalyst 4510R (10 slots), Catalyst 4507R (7 slots), Catalyst 4506 (6 slots), and Catalyst 4503 (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 Series line cards and supervisor engines, the Cisco Catalyst 4500 Series extends its window of deployment in converged networks.

### CISCO CATALYST 4500 SERIES BENEFITS

The Cisco Catalyst 4500 Series provides advanced, high-performance solutions for enterprise LAN access, small backbone networks, Layer 3 distribution points, and integrated SMB and branch-office solutions. Benefits include the following:

- **Performance**—Delivering advanced switching solutions that scale bandwidth as ports are added, the Cisco Catalyst 4500 Series is powered by leading-edge, application-specific integrated circuit (ASIC) technology that offers wire-speed Layer 2–3 10/100 or gigabit switching. Providing modular supervisor flexibility with complete line-card compatibility, Layer 2 switching can scale up to 136 Gbps, 102 mpps. Based on Cisco Express Forwarding, Layer 3–4 switching can also scale up to 136 Gbps, 102 mpps.
- **Port density**—The Cisco Catalyst 4500 Series meets network-element connectivity requirements of up to 388 Ethernet ports in a chassis. The Catalyst 4500 Series supports the industry's highest-density 10/100/1000 autosensing, autonegotiating Gigabit Ethernet from the network edge directly to desktop computers. Optional 10 Gigabit Ethernet uplink ports help enable high-density Gigabit Ethernet-to-the-desk deployments and switch-to-switch applications. The hot-swappable, modular, easy-to-use switching solution of the Catalyst 4500 Series reduces complexity and easily supports the changing desktop environments of today's networks.
- **Supervisor-engine redundancy**—The Cisco Catalyst 4507R and 4510R switches support 1+1 supervisor-engine redundancy for integrated resiliency. Redundant supervisor engines help minimize network downtime, facilitating business continuance and increasing employee productivity. Nonstop Forwarding with Stateful Switchover (NSF/SSO) offers continuous packet forwarding during supervisor engine switchover.

© 2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.  
Important notices, privacy statements, and trademarks of Cisco Systems, Inc. can be found on [cisco.com](http://cisco.com).  
Page 2 of 13

Information is fully synchronized between supervisors to allow the standby supervisor to immediately take over in subsecond time if the primary fails. NSF/SSO dramatically improves the network reliability and availability in a Layer 2 or Layer 3 environment. NSF/SSO is essential for business-critical applications such as voice over IP (VoIP). As a result, VoIP calls are not dropped.

- **Power over Ethernet (PoE)**—The Cisco Catalyst 4500 Series supports the 802.3af standard for PoE on 10/100 or 10/100/1000 ports, allowing customers to support telephones, wireless base stations, video cameras, and other appliances. PoE makes it possible to place devices in unique locations without having to provide new outlets and costly electrical circuits. Moreover, PoE allows businesses to isolate critical devices on a single power system—so the entire system can be supported by uninterruptible power supply (UPS) backup.

All new Cisco Catalyst PoE line cards can support 15.4 watts (W) of power per port simultaneously. Not only do the cards support the IEEE standard, including the optional power classifications, but the Cisco prestandard power implementation is also supported to help ensure backward compatibility with existing Cisco powered devices. The cards are compatible with any Cisco Catalyst 4500 Series chassis and supervisor engine. Most importantly, the Cisco Catalyst 4500 Series has the power supplies and accessories to support 15.4W per port on every port simultaneously in any fully loaded chassis.

- **Advanced security**—Enabling security features such as 802.1x, access control lists (ACLs), Secure Shell (SSH) Protocol, port security, Dynamic ARP Inspection (DAI), IP Source Guard, Control Plane Policing, 802.1x Inaccessible Authentication Bypass, 802.1x Unidirectional Controlled Port, MAC Authentication Bypass, and private virtual LANs (PVLANs) on the Cisco Catalyst 4500 Series enhances control and flexibility in the network. By enabling these features selectively or collectively, a network administrator can prevent unauthorized access to servers or applications, allow different people to use the same PC with different permissions, prevent network intruders from stealing usernames and passwords to access switches, or prevent a deliberate or accidental broadcast storm.
- **Cisco IOS Software network services**—Cisco Catalyst 4500 Series switches provide mature enterprise Layer 2–3 features capable of enhancing corporate networks. These features meet the advanced networking demands of medium-sized and large enterprise businesses because they have been improved based on years of customer feedback.
- **Consistent software architecture**—Because of the consistent Cisco Catalyst software and user interfaces, you can take advantage of your knowledge base and continue to grow your infrastructure using a combination of Cisco Catalyst 2950, Catalyst 3550, Catalyst 3560, Catalyst 3750, Catalyst 4500, and Catalyst 6500 series switches.
- **Investment protection**—The flexible modular architecture of the Cisco Catalyst 4500 Series provides cost-effective interface upgrades for LAN access or the branch-office network. Customers deploying the Cisco Catalyst 4503 and Catalyst 4506 switches with older supervisor engines who want higher performance and enhanced features can easily upgrade to the Cisco Catalyst 4500 Series Supervisor Engine II-Plus, II-Plus-TS, II-Plus-10GE, IV, V or V-10GE. Compatible spares between the Catalyst 4500 Series, Catalyst 4003, and Catalyst 4006 chassis provides commonality of power supplies and switching line cards, lowering the overall deployment, migration, and support costs.
- **Functionally transparent line cards**—Cisco Catalyst 4500 Series systems can easily upgrade all system ports to higher-layer switching functions by simply adding a new supervisor engine. Higher-layer functional enhancements are possible on all system ports without replacing existing line cards and wiring, unlike conventional switching products where complete equipment upgrades are typical during migration. This architectural advantage extends the useful deployment life of Cisco Catalyst 4500 Series line cards.
- **Gigabit to the desktop**—The Cisco Catalyst 4500 Series already provides numerous 1000-Mbps desktop and server switching solutions. The scope of its gigabit solutions is easily extended to the desktop, with 48- and 24-port triple-speed autosensing and autonegotiating 10/100/1000BASE-T line cards for the Catalyst 4500 Series. The triple-speed 48- and 24-port modules, with autosensing technology, provide LAN investment protection by allowing Fast Ethernet desktops to migrate to Gigabit Ethernet in the future without replacing the line cards.

The Catalyst 4500 Series Supervisor Engine V-10GE provides two wire-speed 10 Gigabit Ethernet uplinks that are optimized for 10/100/1000BASE-T-to-the-desktop aggregation.

- **Hardware-based multicast**—Protocol Independent Multicast (PIM), dense and sparse mode, Internet Group Management Protocol (IGMP), and Cisco Group Management Protocol support standards-based and Cisco technology-enhanced efficient multimedia networking without compromising performance.
- **Manageability**—The Cisco Catalyst 4500 Series is supported by the Cisco Works product line, which provides innovative tools to centrally manage critical network characteristics such as availability, responsiveness, resilience, and security for the intelligent-switching infrastructure. A common modular QoS command-line interface (CLI) simplifies the creation of policy traffic maps and delivers a consistent interface across

large and small Cisco Catalyst switches. Network operations are enhanced with flexible Web-, GUI-, and CLI-based management alternatives. Best of all, behind every Cisco Catalyst 4500 Series Switch are Cisco service and support solutions.

- **Cisco NetFlow Services**—The Cisco NetFlow Services Card for the Supervisor Engine IV and V support statistics capture in hardware for flow-based and VLAN-based statistics monitoring. This data can be exported, collected, and analyzed for virus detection and mitigation, network-traffic accounting, usage-based network billing, network planning, network monitoring, and data-mining capabilities for both service provider and enterprise customers. Note: NetFlow support on the Supervisor Engine V-10GE is built into the hardware and does not require the NetFlow Services Card.
- **Bandwidth protection for mission-critical applications**—When deploying the Cisco Catalyst 4500 Series Supervisor Engine, there is no degradation of forwarding performance with QoS or security features enabled; the Catalyst 4500 Series platform continues to forward at full line rate.
- **Fiber to the desktop**—The Cisco Catalyst 4500 Series 100BASE-X line cards offer the security and resiliency features of fiber-optic cable plants, making them ideal for networks with distance limitations, intrusion vulnerabilities, or RF interference. Enterprise customers or government agencies that process confidential information or offer e-commerce will appreciate the security benefits of these line cards.

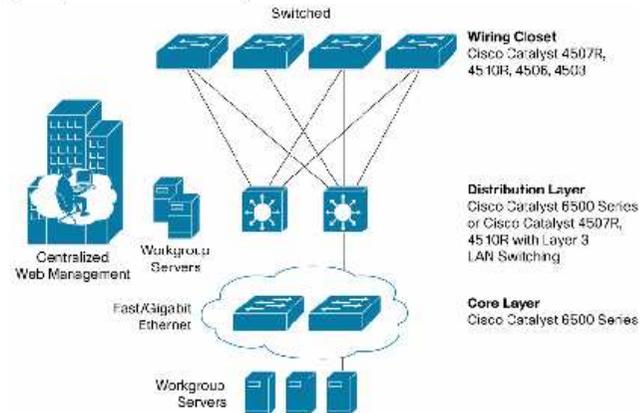
## APPLICATIONS

### Multilayer Switched Enterprise Network with Ethernet Backbone

Today's leading-edge network designs use a combination of Layer 2 and 3 services in the LAN (Cisco Catalyst 4500 Series) and Layer 3 routing in the distribution and core-network layers (Catalyst 4500 or Catalyst 6500 series). The Catalyst 4500 Series supports IP-only routing in hardware (Internetwork Packet Exchange [IPX] protocol and AppleTalk in software) with the Catalyst 4500 Series Supervisor Engines, and can be deployed in low-density distribution points in the enterprise network (Figure 2).

The distribution-layer Cisco Catalyst 4500 Series switches use the Cisco Express Forwarding routing engine, capable of scaling up to 136 Gbps at 102 mpps (on the Catalyst 4500 Series Supervisor Engine V-10GE). This helps enable millions of packets-per-second throughput of Layer 3 switching performed in hardware, with no penalty for header-prefix lengths.

Figure 2. Large Enterprise Network with Cisco Catalyst 4500 Series Switches



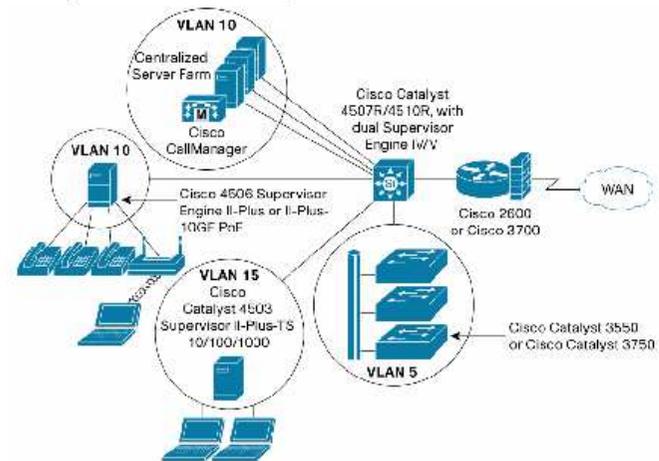
Cisco Catalyst enterprise solution advantages include the following:

- VLAN trunking maximizes uplink usage
- ASIC-based Layer 3 performance equals Layer 2 performance
- Mature Hot Standby Router Protocol (HSRP) provides Layer 3 redundancy
- Cisco UplinkFast, IEEE 802.3s, and IEEE 802.3w in the LAN provide Layer 2 resilience
- Traffic differentiation and service agreements benefit from the rich multilayer QoS—including policing (ingress and egress), classification, shaping, sharing, marking, and advanced scheduling—implemented in hardware with advanced parallel pipeline processing.

**Medium-Sized Enterprise and Enterprise Branch-Office Applications**

Cisco Systems® also offers a medium-sized enterprise design alternative with the Cisco Catalyst 4500 Supervisor IV, V, and V-10GE, meeting the needs of value-conscious customers seeking a flexible and scalable LAN solution (Figure 3). Optimized for LAN access for medium-sized enterprises or for education customers, the supervisor engines provide the performance and features to manage network applications now and in the future. They deliver nonblocking Layer 2–4 services to power resilient, intelligent multilayer switching solutions for converged data, voice, and video networks.

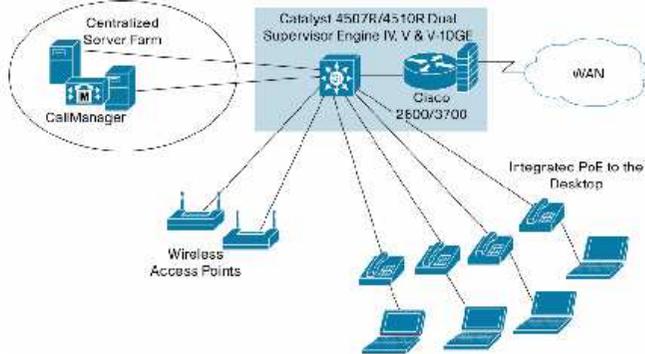
Figure 3. Cisco Catalyst Solution for Medium-Sized Enterprise



**Small or Medium-Sized Enterprise and Branch-Office Applications**

The Cisco Catalyst 4500 Series provides an ideal branch-office solution capable of meeting the needs of both small and large operations, as well as small-enterprise applications. The Cisco Catalyst 4500 Supervisor Engine IV adds enhanced Layer 3 switching capabilities and gigabit wire-speed performance, allowing for deployment in a branch-office backbone network. Cisco IOS Software provides stable interconnection between other switches and WAN routers. Figure 4 shows a separate LAN switch and WAN router working together as a branch-office solution.

**Figure 4.** Small-Enterprise and Branch-Office Applications



**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>Chassis</b>		
Modular 3-, 6-, 7-, and 10-slot Cisco Catalyst 4500 Series chassis	Supports supervisor engine (up to two on the Cisco Catalyst 4507R and Catalyst 4510R), power supplies with integrated PoE.	Provides a common architecture with advanced integrated resiliency that can be standardized for campuswide intranet needs.
Nonstop Forwarding (NSF) with Stateful Switchover (SSO)	Provides dual supervisor engines with subsecond failover. Layer 2 sessions remain up. Layer 3 forwarding continues during a routing event.	Ensures supervisor engine switchover is seamless to users in a Layer 2/3 environment, and Nonstop traffic forwarding including mission critical applications and IP voice calls.
SSO-Aware Hot Standby Router Protocol (HSRP)	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.
Fault-tolerant, load-sharing power supplies	Support 1 or 2 power supplies.	Increases reliability using multiple power supplies in a fault-tolerant configuration.
Hot-swappable power supplies and switching modules	Enable hot insertion and extraction for changes and maintenance any time without bringing down your system.	Increases reliability by reducing downtime.
Flexible switching modules-standards-based, autosensing, and autonegotiating	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.

Features	Functions and Description	Benefits
100 Gbps capacity backplane (Cisco Catalyst 4506 and Catalyst 4507R)	Provides enough capacity to forward wire-rate, nonblocking 75 mpps.	Meets the worst-case throughput demands of a fully populated system with all interfaces operating at wire speed (nonblocking fabric requires Cisco Catalyst supervisor engines II-Plus, II-Plus-10GE, IV, V, or V-10GE).
135 Gbps capacity backplane (Cisco Catalyst 4510R)	Provides enough capacity to forward wire-rate, nonblocking 102 mpps, and supports up to 8 switching modules.	Nonblocking, high-density application.
Integrated Cisco IOS Software enhanced Layer 3 switching (Cisco Catalyst 4000/4500 supervisor engines IV and V)	Provides ASIC-based IP routing 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.
Multilayer QoS	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.
Ingress and egress policing	Identifies packets at entrance and can reclassify and remark at exit on a per-port and per-VLAN basis.	Provides granular traffic control by user-defined traffic classifications to help ensure QoS policy.
Control Plane Policing	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.
Cisco traffic integration	Integrates voice, video, and data into 1 campus infrastructure.	Lowers cost of ownership; improves productivity, investment protection, scalability, and performance.
Integrated PoE	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 outside uninterruptible power supply (UPS).
Dynamic Trunking Protocol and 802.1Q	Dynamically configures trunk ports between Cisco Catalyst switches.	Minimizes VLAN trunk configuration, maximizes ready-to-use capabilities.
Load balancing via Spanning Tree priority on parallel Layer 2 trunks	Assigns Spanning Tree priority on a per-VLAN basis.	Provides increased throughput and redundancy between Cisco Catalyst 4500 Series switches.
Multicast switching	Provides hardware-based multicasting replication.	Provides standards-based multicasting with a forwarding performance that is line rate.
Multilayer switching	Supports Layer 2 (MAC), Layer 3 (IP address), and Layer 4 (TCP/UDP port) switching.	Provides desktop switching and integrated enhanced routing functions (Cisco Catalyst 4000/4500 supervisor engines IV, V, and V-10GE) in the LAN, or as a small-enterprise backbone solution.

Features	Functions and Description	Benefits
Full Simple Network Management Protocol (SNMP) management (for Ethernet MIB, MIB II, VTP, and system extensions)	Allows the Cisco Catalyst 4500 Series to be managed from any SNMP-based management station.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eases management from installed network management platforms.</li> <li>Extends VLAN configuration to SNMP management software.</li> </ul>
MAC Authentication Bypass	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. Enhances Cisco NAC Layer 2 802.1x.	Provides network access to agentless devices without 802.1x supplicant capabilities.
MAC Address Notification	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.
802.1x for Identity-Based Network Services	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.
802.1x Inaccessible Authentication Bypass	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.
802.1x Unidirectional Controlled Port	Allows the Wake-on-LAN (WoL) magic packets to reach a workstation attached to an unauthorized 802.1x switch port.	Expands the WoL operations to workstations attached to 802.1x switch port.
ACL	Restricts users to designated areas of the network, blocking unauthorized access to all other applications and information.	Prevents unauthorized access to servers and applications; allows designated users to access specified servers.
Private VLAN	Prevents users from seeing traffic generated by someone else on the same switch.	Helps to ensure privacy for users on the same switch.
Private VLAN Promiscuous Trunk	Extends the promiscuous port to an 802.1Q trunk port, carrying multiple primary VLANs.	Offers different services or content on different primary VLAN to isolated subscribers.
Secure Copy Protocol (SCP)	Provides a secure and authenticated way to transfer files between switch and a network management station.	Secures transfer of switch configurations and images.
Password-Protected Administration Interface	Requires password for local or remote access using Telnet or SSH.	Provides protection from unauthorized configuration changes.
Local (in-band) management	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.
Remote (out-of-band) management through SNMP sets or Telnet (client) connection	Accessible through any switched interface.	Manages Cisco Catalyst 4500 Series switches from anywhere in the network.
Management console	CLI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provides easy-to-use ASCII text interface that requires no special applications.</li> <li>Takes advantage of support staff's Cisco Catalyst knowledge.</li> </ul>

Features	Functions and Description	Benefits
Onboard Flash memory for Trivial File Transfer Protocol (TFTP) download and upload of operating software	Remotely downloads new revisions of an operating system without hardware changes.	Reduces cost of administering software upgrades by providing centralized network-management capability.
Removable Compact Flash memory on supervisor engines	Allows Cisco IOS Software images and configuration-setting storage.	Supports centralized corporate administration with easy distribution of configuration and software standards across the enterprise.
Onboard hardware diagnostics and LEDs	The status LED on each module shows successful completion and minor and major failures of power-up diagnostics; link-good LEDs show the status of any interface; and switch-load LEDs show backplane usage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Confirms module operation and helps enable easy visual inspection.</li> <li>Improves access to switched-network usage.</li> <li>Continues mature and proven Cisco Catalyst switch interfaces pioneered in earlier Cisco products.</li> </ul>
<b>Switch Management Applications</b>		
CiscoWorks Portfolio	Provides a comprehensive set of functions aimed at monitoring, troubleshooting, and configuring intelligent-switching infrastructures.	Offers superior, efficient management of the Cisco Catalyst 4500 Series for increased security and control.
CiscoView Application	Provides an intuitive GUI that supports chassis physical view, configuration, performance monitoring, and minor troubleshooting.	Simplifies switched-networking management; the integrated management solution provides the user with one tool for determining system status.



**Corporate Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: 408 526-4000  
800 553-VETS (6387)  
Fax: 408 526-4100

**European Headquarters**  
Cisco Systems International BV  
Haarlerbergpark  
Haarlerbergweg 13-19  
1101 CH Amsterdam  
The Netherlands  
[www-europe.cisco.com](http://www-europe.cisco.com)  
Tel: 31 0 20 357 1000  
Fax: 31 0 20 357 1100

**Americas Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: 408 526-7660  
Fax: 408 527-0883

**Asia Pacific Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
168 Robinson Road  
#28-01 Capital Tower  
Singapore 068912  
Singapore  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: +65 6317 7777  
Fax: +65 6317 7799

Cisco Systems has more than 200 offices in the following countries and regions. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).

Argentina • Australia • Austria • Belgium • Brazil • Bulgaria • Canada • Chile • China PRC • Colombia • Costa Rica • Croatia • Cyprus  
Czech Republic • Denmark • Dubai, UAE • Finland • France • Germany • Greece • Hong Kong SAR • Hungary • India • Indonesia • Ireland • Israel  
Italy • Japan • Korea • Luxembourg • Malaysia • Mexico • The Netherlands • New Zealand • Norway • Peru • Philippines • Poland • Portugal  
Puerto Rico • Romania • Russia • Saudi Arabia • Scotland • Singapore • Slovakia • Slovenia • South Africa • Spain • Sweden • Switzerland • Taiwan  
Thailand • Turkey • Ukraine • United Kingdom • United States • Venezuela • Vietnam • Zimbabwe

Copyright © 2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved. CCSP, CCVP, the Cisco Square Bridge logo, Follow Me Browsing, and StackWise are trademarks of Cisco Systems, Inc.; Changing the Way We Work, Live, Play, and Learn, and Kinetic Study are service marks of Cisco Systems, Inc.; and Access Registrar, Aironet, BPK, Catalyst, CCDA, CCEP, CCEI, CCEP, CCNA, CCNP, Cisco, the Cisco Certified Internetwork Expert logo, Cisco IOS, Cisco Press, Cisco Systems, Cisco Systems Capital, the Cisco Systems logo, Cisco Unity, Enterprise/Solver, EtherChannel, EtherFast, EtherSwitch, Fast Step, FemtoShare, GigaDrive, GigaStack, HomeLink, Internet Quotient, IOS, IPTV, IQ Expertise, the IQ logo, IQ Net Readiness Scorecard, LightStream, Linksys, MeetingPlace, MOX, the Networkers logo, Networking Academy, Network Registrar, Packet, PIX, Post-Routing, Pre-Routing, ProConnect, RouteMX, ScriptShare, SlideCast, SMARTnet, The Fastest Way to Increase Your Internet Quotient, and TransPath are registered trademarks of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the United States and certain other countries.

All other trademarks mentioned in this document or Website are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (8901R)

Printed in the USA

078-340153-00 00/06

© 2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.  
Important notices, privacy statements, and trademarks of Cisco Systems, Inc. can be found on [cisco.com](http://cisco.com).  
Page 13 of 13



## Cisco Catalyst 3560 Series Switches

### Product Overview

The Cisco® Catalyst® 3560 Series is a line of fixed-configuration, enterprise-class switches that include IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet (PoE) functionality in Fast Ethernet and Gigabit Ethernet configurations. The Cisco Catalyst 3560 is an ideal access layer switch for small enterprise LAN access or branch-office environments, combining both 10/100/1000 and PoE configurations for maximum productivity and investment protection while enabling the deployment of new applications such as IP telephony, wireless access, video surveillance, building management systems, and remote video kiosks. Customers can deploy networkwide intelligent services—such as advanced quality of service (QoS), rate limiting, access control lists (ACLs), multicast management, and high-performance IP routing—while maintaining the simplicity of traditional LAN switching. Available for the Cisco Catalyst 3560 Series at no charge, the Cisco Network Assistant is a centralized management application that simplifies the administration tasks for Cisco switches, routers, and wireless access points. Cisco Network Assistant provides configuration wizards that greatly simplify the implementation of converged networks and intelligent network services.

The Cisco Catalyst 3560 is part of a larger and more scalable family of Cisco Catalyst switches that includes the Cisco Catalyst 3560-E Series switches, the Cisco Catalyst 3750 and 3750-E Series switches with Cisco StackWise™ technology, and the Cisco Catalyst 4500 and Catalyst 6500 modular switches. United by Cisco IOS® Software, the entire family offers industry-leading availability, integrated security, optimized delivery, and manageability.

### Configurations

The Cisco Catalyst 3560 Series comprises the following switches (refer to Figure 1):

Figure 1. Cisco Catalyst 3560 Switches



- Cisco Catalyst 3560-8PC: 8 Ethernet 10/100 ports with PoE and 1 dual-purpose 10/100/1000 and SFP port; compact form factor with no fan
- Cisco Catalyst 3560-24TS: 24 Ethernet 10/100 ports and 2 Small Form-Factor Pluggable (SFP)-based Gigabit Ethernet ports; 1 rack unit (RU)
- Cisco Catalyst 3560-48TS: 48 Ethernet 10/100 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU

- Cisco Catalyst 3560-24PS: 24 Ethernet 10/100 ports with PoE and 2 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1 RU
- Cisco Catalyst 3560-48PS: 48 Ethernet 10/100 ports with PoE and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU
- Cisco Catalyst 3560G-24TS: 24 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU
- Cisco Catalyst 3560G-48TS: 48 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU
- Cisco Catalyst 3560G-24PS: 24 Ethernet 10/100/1000 ports with PoE and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU
- Cisco Catalyst 3560G-48PS: 48 Ethernet 10/100/1000 ports with PoE and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports; 1RU

The Cisco Catalyst 3560 Series can be purchased with the IP Base or IP Services licenses pre-installed. The IP Base license (formerly called the Standard Multilayer Image, or SMI) offers advanced QoS, rate limiting, ACLs, and basic static and Routing Information Protocol (RIP) routing functions. The IP Services license (formerly called the Enhanced Multilayer Image, or EMI) provides a richer set of enterprise-class features, including advanced hardware-based IP unicast and IP Multicast routing as well as policy-based routing (PBR). The Advanced IP Services license, although not available as a pre-installed option, upgrades Cisco Catalyst 3560 Series switches to include IPv6 routing and IPv6 ACL support. Upgrade licenses are available to upgrade a switch from the IP Base license to the IP Services license or Advanced IP Services license as well as from the IP Services license to the Advanced IP Service license.

The SFP-based GE ports accommodate a range of SFP transceivers, including the Cisco 1000BASE-T, 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 1000BASE-ZX, and CWDM SFP transceivers. These ports also support the Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable for establishing a low cost Gigabit Ethernet point-to-point connection.

### Power over Ethernet

The Cisco Catalyst 3560 Series can provide a lower total cost of ownership (TCO) for deployments that incorporate Cisco IP phones, Cisco Aironet® wireless LAN (WLAN) access points, or any IEEE 802.3af-compliant end device. PoE removes the need for wall power to each PoE-enabled device and eliminates the cost for additional electrical cabling that would otherwise be necessary in IP phone and WLAN deployments. The Cisco Catalyst 3560 8-port PoE and 24-port PoE configurations can support 8 and 24 simultaneous full-powered PoE ports at 15.4W for maximum powered-device support. Taking advantage of Cisco Catalyst Intelligent Power Management, the 48-port PoE configurations can deliver the necessary power to support 24 ports at 15.4W, 48 ports at 7.7W, or any combination in between. Maximum power availability for a converged voice and data network is attainable when a Cisco Catalyst 3560 switch is combined with the Cisco RPS 2300 Redundant Power System for transparent protection against internal power supply failures and an uninterruptible power supply (UPS) system to safeguard against power outages.

### Gigabit Ethernet

At speeds of 1000 Mbps, Gigabit Ethernet provides the bandwidth to meet new and evolving network demands, alleviate bottlenecks, and boost performance while increasing the return on existing infrastructure investments. Today's workers are placing higher demands on networks, running multiple, concurrent applications. For example, a worker joins a team conference call

through an IP videoconference, sends a 10-MB spreadsheet to meeting participants, broadcasts the latest marketing video for the team to evaluate, and queries the customer-relationship-management database for the latest real-time feedback. Meanwhile, a multigigabyte system backup starts in the background and the latest virus updates are delivered to the client. The Cisco Catalyst 3560 provides a means to intelligently scale the network beyond 100 Mbps over existing Category 5 copper cabling and simultaneously support PoE for maximum productivity and investment protection.

#### Intelligence in the Network

Networks of today are evolving to address four new developments at the network edge:

- Increase in desktop computing power
- Introduction of bandwidth-intensive applications
- Expansion of highly sensitive data on the network
- Presence of multiple device types, such as IP phones, WLAN access points, and IP video cameras

These new demands are contending for resources with many existing mission-critical applications. As a result, IT professionals must view the edge of the network as critical to effectively manage the delivery of information and applications.

As companies increasingly rely on networks as the strategic business infrastructure, it is more important than ever to ensure their high availability, security, scalability, and control. By adding Cisco intelligent functions for LAN access, customers can now deploy networkwide intelligent services that consistently address these requirements from the desktop to the core and through the WAN.

With Cisco Catalyst Intelligent Ethernet switches, Cisco Systems® helps enable companies to realize the full benefits of adding intelligent services into their networks. Deployment of capabilities that make the network infrastructure highly available to accommodate time-critical needs, scalable to accommodate growth, secure enough to protect confidential information, and capable of differentiating and controlling traffic flows is critical to further optimizing network operations.

#### Enhanced Security

With the wide range of security features that the Cisco Catalyst 3560 Series offers, businesses can protect important information, keep unauthorized people off the network, guard privacy, and maintain uninterrupted operation.

Cisco Identity Based Networking Services (IBNS) provides authentication, access control, and security policy administration to secure network connectivity and resources. Cisco IBNS in the Cisco Catalyst 3560 Series prevents unauthorized access and helps ensure that users get only their designated privileges. It provides the ability to dynamically administer granular levels of network access. Using the 802.1x standard and the Cisco Access Control Server (ACS), users can be assigned a VLAN or an ACL upon authentication, regardless of where they connect to the network. This setup allows IT departments to enable strong security policies without compromising user mobility and with minimal administrative overhead.

To guard against denial-of-service and other attacks, ACLs can be used to restrict access to sensitive portions of the network by denying packets based on source and destination MAC

addresses, IP addresses, or TCP/UDP ports. ACL lookups are done in hardware, so forwarding performance is not compromised when implementing ACL-based security.

Port security can be used to limit access on an Ethernet port based on the MAC address of the device to which it is connected. It also can be used to limit the total number of devices plugged into a switch port, thereby protecting the switch from a MAC flooding attack as well as reducing the risks of rogue wireless access points or hubs.

With Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) snooping, DHCP spoofing can be thwarted by allowing only DHCP requests (but not responses) from untrusted user-facing ports. Additionally, the DHCP Interface Tracker (Option 82) helps enable granular control over IP address assignment by augmenting a host IP address request with the switch port ID. Building further on the DHCP snooping capabilities, IP address spoofing can be thwarted using Dynamic ARP Inspection and IP Source Guard.

The MAC Address Notification feature can be used to monitor the network and track users by sending an alert to a management station so that network administrators know when and where users entered the network. The Private VLAN feature isolates ports on a switch, helping ensure that traffic travels directly from the entry point to the aggregation device through a virtual path and cannot be directed to another port.

Secure Shell (SSH) Protocol Version 2, Kerberos, and Simple Network Management Protocol Version 3 (SNMPv3) encrypt administrative and network-management information, protecting the network from tampering or eavesdropping. TACACS+ or RADIUS authentication enables centralized access control of switches and restricts unauthorized users from altering the configurations. Alternatively, a local username and password database can be configured on the switch itself. Fifteen levels of authorization on the switch console and two levels on the Web-based management interface provide the ability to give different levels of configuration capabilities to different administrators.

#### Availability and Scalability

The Cisco Catalyst 3560 Series is equipped with a robust set of features that allow for network scalability and higher availability through IP routing as well as a complete suite of Spanning Tree Protocol enhancements aimed to maximize availability in a Layer 2 network.

The Cisco Catalyst 3560 switches deliver high-performance, hardware-based IP routing. The Cisco Express Forwarding-based routing architecture allows for increased scalability and performance. This architecture allows for very high-speed lookups while also ensuring the stability and scalability necessary to meet the needs of future requirements. In addition to dynamic IP unicast routing, the Cisco Catalyst 3560 Series is perfectly equipped for networks requiring multicast support. Protocol Independent Multicast (PIM) and Internet Group Management Protocol (IGMP) snooping in hardware make the Cisco Catalyst 3560 Series switches ideal for intensive multicast environments.

Implementing routed uplinks to the core improves network availability by enabling faster failover protection and simplifying the Spanning Tree Protocol algorithm by terminating all Spanning Tree Protocol instances at the aggregator switch. If one of the uplinks fails, quicker failover to the redundant uplink can be achieved with a scalable routing protocol such as Open Shortest Path First (OSPF) or Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) rather than relying on standard Spanning Tree Protocol convergence. Redirection of a packet after a link failure using a routing protocol results in faster failover than a solution that uses Layer 2 spanning-tree

enhancements. Additionally, routed uplinks allow better bandwidth use by implementing equal cost routing (ECR) on the uplinks to perform load balancing. Routed uplinks optimize the utility of uplinks out of the LAN Access by eliminating unnecessary broadcast data flows into the network backbone.

The Cisco Catalyst 3560 also offers dramatic bandwidth savings as a wiring-closet switch in a multicast environment. Using routed uplinks to the network core eliminates the requirement to transmit multiple streams of the same multicast from the upstream content servers to LAN access switches. For example, if three users are assigned to three separate VLANs and they all want to view multicast ABC, then three streams of multicast ABC must be transmitted from the upstream router to the wiring-closet switch—assuming the wiring-closet switch is not capable of routed uplinks. Deploying IP routing to the core with Cisco Catalyst 3560 switches allows users to create a scalable, multicast-rich network. The Cisco Advanced IP Services license offers IPv6 routing and IPv6 ACL support, including support for dual IP stack (Simultaneous IPv4 and IPv6) forwarding. IPv6 protocol support includes RIP next generation (RIPng), OSPFv3, and static routes. IPv6 management and MLD Snooping are supported on all three Cisco Catalyst 3560 software images.

Enhancements to the standard Spanning Tree Protocol, such as Per-VLAN Spanning Tree Plus (PVST+), Uplink Fast, and PortFast, maximize network uptime. PVST+ allows for Layer 2 load sharing on redundant links to efficiently use the extra capacity inherent in a redundant design. Uplink Fast, PortFast, and BackboneFast all greatly reduce the standard 30- to 60-second Spanning Tree Protocol convergence time. Loop guard and bridge-protocol-data-unit (BPDU) guard provide Spanning Tree Protocol loop avoidance.

#### Advanced QoS

The Cisco Catalyst 3560 offers superior multilayer, granular QoS features to help ensure that network traffic is classified and prioritized, and that congestion is avoided in the best possible manner. Configuration of QoS is greatly simplified through automatic QoS (Auto QoS), a feature that detects Cisco IP phones and automatically configures the switch for the appropriate classification and egress queuing. This optimizes traffic prioritization and network availability without the challenge of a complex configuration.

The Cisco Catalyst 3560 can classify, reclassify, police, mark, queue, and schedule incoming packets, and can queue and schedule packets at egress. Packet classification allows the network elements to discriminate between various traffic flows and enforce policies based on Layer 2 and Layer 3 QoS fields.

To implement QoS, the Cisco Catalyst 3560 Series Switch first identifies traffic flows or packet groups, and classifies or reclassifies these groups using the Differentiated Services Code Point (DSCP) field or the 802.1p Class of Service (CoS) field. Classification and reclassification can be based on criteria as specific as the source or destination IP address, source or destination MAC address, or the Layer 4 TCP or UDP port. At the ingress, the Cisco Catalyst 3560 also polices to determine whether a packet is in or out of profile, marks to change the classification label, passes through or drops out of profile packets, and queues packets based on classification. Control- and data-plane ACLs are supported on all ports to help ensure proper treatment on a per-packet basis.

The Cisco Catalyst 3560 supports four egress queues per port, allowing the network administrator to be more discriminating and specific in assigning priorities for the various applications on the LAN. At egress, the switch performs scheduling and congestion control. Scheduling is an algorithm or process that determines the order in which the queues are processed. The Cisco Catalyst 3560

Series Switch supports shaped round robin (SRR) and strict priority queuing. The SRR algorithm helps ensure differential prioritization.

These QoS features allow network administrators to prioritize mission-critical and bandwidth-intensive traffic, such as enterprise resource planning (ERP) (Oracle, etc.), voice (IP telephony traffic), and computer-aided design (CAD) or computer-aided manufacturing (CAM) over less-time-sensitive applications such as FTP or e-mail. For example, it would be highly undesirable to have a large file download destined to one port on a wiring-closet switch and have quality implications such as increased latency in voice traffic destined to another port on this switch. This condition is avoided by ensuring that voice traffic is properly classified and prioritized throughout the network. Other applications, such as Web browsing, can be treated as low priority and handled on a best-effort basis.

The Cisco Catalyst 3560 Series can perform rate limiting through its support of the Cisco Committed Information Rate (CIR) function. Through CIR, bandwidth can be guaranteed in increments as low as 8 kbps. Bandwidth can be allocated based on several criteria, including MAC source address, MAC destination address, IP source address, IP destination address, and TCP or UDP port number. Bandwidth allocation is essential when network environments require service-level agreements or when it is necessary for the network manager to control the bandwidth given to certain users.

#### Management

The new Cisco Express Setup feature simplifies the initial configuration of a switch. Users now have the option to set up the switch through a Web browser, eliminating the need for more complex terminal-emulation programs and knowledge of the command-line interface (CLI). Cisco Express Setup reduces the cost of deployment by helping less-skilled personnel quickly and simply set up switches.

Cisco Network Assistant is a PC-based network-management application optimized for LANs of small and medium-sized businesses with up to 250 users. Cisco Network Assistant offers centralized management of Cisco switches, routers, and WLAN access points. It supports a wide range of Cisco Catalyst intelligent switches from Cisco Catalyst 2950 through Cisco Catalyst 4508. Through a user-friendly GUI, users can configure and manage a wide array of switch functions and start the device manager of Cisco routers and Cisco wireless access points. A few mouse clicks enable the Cisco recommended security, availability, and QoS features without the need to consult a detailed design guide. The Security wizard automatically restricts unauthorized access to servers with sensitive data. Smartports and wizards save hours of time for network administrators, eliminate human errors, and help ensure that the configuration of the switch is optimized for these applications. Available at no cost, Cisco Network Assistant can be downloaded from Cisco.com.

In addition to the Cisco Network Assistant, the Cisco Catalyst 3560 Series switches provide for extensive management using SNMP network-management platforms such as CiscoWorks LAN Management Solution (LMS). LMS is a suite of powerful management tools that simplify the configuration, administration, monitoring, and troubleshooting of Cisco networks. It integrates these capabilities into a world-class solution for improving the accuracy and efficiency of your operations staff, while increasing the overall availability of your network. LMS supports over 400 different device types providing:

- Network discovery, topology views, end-station tracking, and VLAN management
- Real-time network fault analysis with easy-to-deploy device specific best-practice templates

- Hardware and software inventory management, centralized configuration tools, and syslog monitoring
- Network response time and availability monitoring and tracking
- Real-time device, link, and port traffic management, analysis, and reporting

#### Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable

The Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable (see Figure 2) provides for a low-cost point-to-point Gigabit Ethernet connection between Cisco Catalyst 3560 switches. The 50cm cable is an alternative to using SFP transceivers when interconnecting Cisco Catalyst 3560 switches through their SFP ports over a short distance.

Figure 2. Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable



Table 1 gives the features and benefits of the Cisco Catalyst 3560 Series. Table 2 gives the hardware specifications, and Table 3 gives the power specifications. Table 4 lists the management and standards support, and Table 5 provides the safety and compliance information.

Table 1. Features and Benefits of Cisco Catalyst 3560 Series

Feature	Benefit
<b>Ease of Use and Deployment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco Express Setup simplifies initial configuration with a Web browser, eliminating the need for more complex terminal emulation programs and CLI knowledge.</li> <li>• IEEE 802.3af and Cisco prestandard PoE support comes with automatic discovery to detect a Cisco prestandard or IEEE 802.3af endpoint and provide the necessary power without any user configuration.</li> <li>• DHCP autoconfiguration of multiple switches through a boot server eases switch deployment.</li> <li>• Automatic QoS (Auto QoS) simplifies QoS configuration in voice-over-IP (VoIP) networks by issuing interface and global switch commands to detect Cisco IP phones, classify traffic, and enable egress queue configuration.</li> <li>• Autosensing on each 10/100 port detects the speed of the attached device and automatically configures the port for 10- or 100-Mbps operation, easing switch deployment in mixed 10- and 100-Mbps environments.</li> <li>• Autonegotiating on all ports automatically selects half- or full-duplex transmission mode to optimize bandwidth.</li> <li>• Dynamic Trunking Protocol (DTP) helps enable dynamic trunk configuration across all switch ports.</li> <li>• Port Aggregation Protocol (PAgP) automates the creation of Cisco Fast EtherChannel® groups or Gigabit EtherChannel groups to link to another switch, router, or server.</li> <li>• Link Aggregation Control Protocol (LACP) allows the creation of Ethernet channeling with devices that conform to IEEE 802.3ad. This feature is similar to Cisco EtherChannel technology and PAgP.</li> <li>• DHCP Server enables a convenient deployment option for the assignment of IP addresses in networks that do not have a dedicated DHCP server.</li> <li>• DHCP Relay allows a DHCP relay agent to broadcast DHCP requests to the network DHCP server.</li> </ul>

- IEEE 802.3-compliant 100BASE-SX, 100BASE-LX/LH, 100BASE-ZX, 100BASE-T, and coarse wavelength-division multiplexing (CWDM) physical interface support through a field-replaceable SFP module provides unprecedented flexibility in switch deployment.
- Support for the Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable facilitates a low-cost, point-to-point gigabit connection between Cisco Catalyst 3560 Series switches.
- The default configuration stored in Flash memory ensures that the switch can be quickly connected to the network and can pass traffic with minimal user intervention.
- Automatic medium-dependent interface crossover (Auto-MDIX) automatically adjusts transmit and receive pairs if an incorrect cable type (crossover or straight-through) is installed on a 10/100 port.
- Time Domain Reflectometry (TDR) to diagnose and resolve cabling problems on copper Ethernet 10/100/1000 ports.

#### Availability and Scalability

##### Superior Redundancy for Fault Backup

- Cisco Uplink Fast and BackboneFast technologies help ensure quick failover recovery, enhancing overall network stability and reliability.
- IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) provides rapid spanning-tree convergence independent of spanning-tree timers and the benefit of distributed processing.
- Per-VLAN Rapid Spanning Tree Plus (PVRST+) allows rapid spanning-tree reconvergence on a per-VLAN spanning-tree basis, without requiring the implementation of spanning-tree instances.
- Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP) is supported to create redundant, fail-safe routing topologies.
- Command-switch redundancy enabled in Cisco Network Assistant software allows designation of a backup command switch that takes over cluster-management functions if the primary command switch fails.
- Unidirectional Link Detection Protocol (UDLD) and Aggressive UDLD allow unidirectional links to be detected and disabled to avoid problems such as spanning-tree loops.
- Switch port autorecovery (errdisable) automatically attempts to reenable a link that is disabled because of a network error.
- Cisco RPS 2300 support provides superior internal power-source redundancy, resulting in improved fault tolerance and network uptime.
- Equal cost routing (ECR) provides load balancing and redundancy.
- Bandwidth aggregation up to 8 Gbps through Cisco Gigabit EtherChannel technology and up to 800 Mbps through Cisco Fast EtherChannel technology enhances fault tolerance and offers higher-speed aggregated bandwidth between switches and to routers and individual servers.

##### High-Performance IP Routing

- Cisco Express Forwarding hardware routing architecture delivers extremely high-performance IP routing.
- Basic IP unicast routing protocols (static, RIPv1, and RIPv2) are supported for small-network routing applications.
- IPv6 unicast routing capability (static, RIP, and OSPF protocols) forwards IPv6 traffic through configured interfaces (requires the Advanced IP Services license).
- Advanced IP unicast routing protocols (OSPF, Interior Gateway Routing Protocol (IGRP), EIGRP, and Border Gateway Protocol (BGP)) are supported for load balancing and constructing scalable LANs. The IP Services license is required.
- Policy-Based Routing (PBR) allows superior control by enabling flow redirection regardless of the routing protocol configured. The IP Services license is required.
- Inter-VLAN IP routing provides for full Layer 3 routing between two or more VLANs.
- Protocol Independent Multicast (PIM) for IP Multicast routing is supported, including PIM sparse mode (PIM-SM), PIM dense mode (PIM-DM), and PIM sparse-dense mode. The IP Services license is required.
- Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP) tunneling interconnects two multicast-enabled networks across nonmulticast networks. The IP Services license is required.
- Fallback bridging forwards non-IP traffic between two or more VLANs. The IP Services license is required.

<b>Integrated Cisco IOS Software Features for Bandwidth Optimization</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Per-port broadcast, multicast, and unicast storm control prevents faulty end stations from degrading overall systems performance.</li> <li>IEEE 802.1d Spanning Tree Protocol support for redundant backbone connections and loop-free networks simplifies network configuration and improves fault tolerance.</li> <li>PVST+ allows for Layer 2 load sharing on redundant links to efficiently use the extra capacity inherent in a redundant design.</li> <li>IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP) allows a spanning-tree instance per VLAN, enabling Layer 2 load sharing on redundant links.</li> <li>ECR provides load balancing and redundancy.</li> <li>VPN routing/forwarding (VRF)-Lite enables a service provider to support two or more VPNs with overlapping IP addresses.</li> <li>Local Proxy Address Resolution Protocol (ARP) works in conjunction with Private VLAN Edge to minimize broadcasts and maximize available bandwidth.</li> <li>VLAN1 minimization allows VLAN1 to be disabled on any individual VLAN trunk link.</li> <li>VLAN Trunking Protocol (VTP) pruning limits bandwidth consumption on VTP trunks by flooding broadcast traffic only on trunk links required to reach the destination devices.</li> <li>Internet Group Management Protocol v3 (IGMP) Snooping for IPv4 and IPv6 MLD v1 and v2 Snooping provide fast client joins and leaves of multicast streams and limits bandwidth-intensive video traffic to only the requestors.</li> <li>IGMP filtering provides multicast authentication by filtering out nonsubscribers and limits the number of concurrent multicast streams available per port.</li> <li>Multicast VLAN registration (MVR) continuously sends multicast streams in a multicast VLAN while isolating the streams from subscriber VLANs for bandwidth and security reasons.</li> </ul>
<b>QoS and Control</b>	
<b>Advanced QoS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standard 802.1p CoS and DSCP field classification are provided, using marking and reclassification on a per-packet basis by source and destination IP address, source and destination MAC address, or Layer 4 TCP or UDP port number.</li> <li>Cisco control- and data-plane QoS ACLs on all ports help ensure proper marking on a per-packet basis.</li> <li>Four egress queues per port enable differentiated management of up to four traffic types across the stack.</li> <li>SRR scheduling ensures differential prioritization of packet flows by intelligently servicing the ingress and egress queues.</li> <li>Weighted tail drop (WTD) provides congestion avoidance at the ingress and egress queues before a disruption occurs.</li> <li>Strict priority queuing guarantees that the highest-priority packets are serviced ahead of all other traffic.</li> <li>There is no performance penalty for highly granular QoS functions.</li> </ul>
<b>Granular Rate Limiting</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The Cisco Committed Information Rate (CIR) function guarantees bandwidth in increments as low as 8 kbps.</li> <li>Rate limiting is provided based on source and destination IP address, source and destination MAC address, Layer 4 TCP and UDP information, or any combination of these fields, using QoS ACLs (IP ACLs or MAC ACLs), class maps, and policy maps.</li> <li>Asynchronous data flows upstream and downstream from the end station or on the uplink are easily managed using ingress policing and egress shaping.</li> <li>Up to 64 aggregate or individual policers are available per Fast Ethernet or Gigabit Ethernet port.</li> </ul>
<b>Security</b>	
<b>Networkwide Security Features</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.1x allows dynamic, port-based security, providing user authentication.</li> <li>IEEE 802.1x with VLAN assignment allows a dynamic VLAN assignment for a specific user regardless of where the user is connected.</li> <li>IEEE 802.1x with voice VLAN permits an IP phone to access the voice VLAN irrespective of the authorized or unauthorized state of the port.</li> <li>IEEE 802.1x and port security are provided to authenticate the port and manage network access for all MAC addresses, including those of the client.</li> <li>IEEE 802.1x with an ACL assignment allows for specific identity-based security policies regardless of where the user is connected.</li> <li>IEEE 802.1x with Guest VLAN allows guests without 802.1x clients to have limited network access on the guest VLAN.</li> <li>Web authentication for non-802.1x clients allows non-802.1x clients to use an SSL-based browser for authentication.</li> <li>Multi-Domain Authentication allows an IP phone and a PC to authenticate on the same switch port while placing them on appropriate voice and data VLAN.</li> <li>MAC Auth Bypass (MAB) for voice allows third-party IP phones without an 802.1x supplicant to get authenticated using their MAC address.</li> <li>Cisco security VLAN ACLs (VACLs) on all VLANs prevent unauthorized data flows from being bridged within VLANs.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco standard and extended IP security router ACLs (RADLs) define security policies on routed interfaces for control- and data-plane traffic.</li> <li>Port-based ACLs (PACLs) for Layer 2 interfaces allow application of security policies on individual switch ports.</li> <li>Unicast MAC filtering prevents the forwarding of any type of packet with a matching MAC address.</li> <li>Unknown unicast and multicast port blocking allows tight control by filtering packets that the switch has not already learned how to forward.</li> <li>SSHv2, Kerberos, and SNMPv3 provide network security by encrypting administrator traffic during Telnet and SNMP sessions. SSHv2, Kerberos, and the cryptographic version of SNMPv3 require a special cryptographic software image because of U.S. export restrictions.</li> <li>Private VLAN Edge provides security and isolation between switch ports, helping ensure that users cannot snoop on other users' traffic.</li> <li>Private VLANs restrict traffic between hosts in a common segment by segregating traffic at Layer 2, turning a broadcast segment into a nonbroadcast multi-access-like segment.</li> <li>Bi-directional data support on the Switched Port Analyzer (SPAN) port allows the Cisco Secure Intrusion Detection System (IDS) to take action when an intruder is detected.</li> <li>TACACS+ and RADIUS authentication enable centralized control of the switch and restrict unauthorized users from altering the configuration.</li> <li>MAC address notification allows administrators to be notified of users added to or removed from the network.</li> <li>Dynamic ARP Inspection (DAI) helps ensure user integrity by preventing malicious users from exploiting the insecure nature of the ARP protocol.</li> <li>DHCP snooping allows administrators to ensure consistent mapping of IP to MAC addresses. This can be used to prevent attacks that attempt to poison the DHCP binding database, and to rate limit the amount of DHCP traffic that enters a switch port.</li> <li>IP source guard prevents a malicious user from spoofing or taking over another user's IP address by creating a binding table between the client's IP and MAC address, port, and VLAN.</li> <li>DHCP Interface Tracker (Option 82) augments a host IP address request with the switch port ID.</li> <li>Port security secures the access to an access or trunk port based on MAC address.</li> <li>After a specific timeframe, the aging feature removes the MAC address from the switch to allow another device to connect to the same port.</li> <li>Trusted Boundary provides the ability to trust the QoS priority settings if an IP phone is present and to disable the trust setting if the IP phone is removed, thereby preventing a malicious user from overriding prioritization policies in the network.</li> <li>Multi-level security on console access prevents unauthorized users from altering the switch configuration.</li> <li>The user-selectable address-learning mode simplifies configuration and enhances security.</li> <li>BPDUs Guard shuts down Spanning Tree Protocol PortFast-enabled interfaces when BPDUs are received to avoid accidental topology loops.</li> <li>Spanning-Tree Root Guard (STRG) prevents edge devices not in the network administrator's control from becoming Spanning Tree Protocol root nodes.</li> <li>IGMP filtering provides multicast authentication by filtering out nonsubscribers and limits the number of concurrent multicast streams available per port.</li> </ul>
<b>Manageability</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dynamic VLAN assignment is supported through implementation of VLAN Membership Policy Server (VMPS) client functions to provide flexibility in assigning ports to VLANs. Dynamic VLAN helps enable the fast assignment of IP addresses.</li> <li>Cisco Network Assistant software security wizards ease the deployment of security features for restricting user access to a server as well as to a portion of or the entire network.</li> <li>Two thousand access control entries (ACEs) are supported.</li> </ul>

<b>Superior Manageability</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco IOS CLI support provides a common user interface and command set with all Cisco routers and Cisco Catalyst desktop switches.</li> <li>• Cisco Discovery Protocol version 2 (CDPv2) allows the Cisco Catalyst 3560 Series Switch to negotiate a more granular power setting when connecting to a Cisco powered device, such as IP phones or access points, than what is provided by IEEE classification.</li> <li>• The PoE MiB provides proactive visibility into power usage and allows customers to set different power level thresholds.</li> <li>• Switching Database Manager templates for access, routing, and VLAN deployment scenarios allow the administrator to easily maximize memory allocation to the desired features based on deployment-specific requirements.</li> <li>• Generic On-Line Diagnostic (GOLD) checks the health of hardware components and verifies proper operation of the system data and control plane at run time and boot time.</li> <li>• VLAN trunks can be created from any port, using either standards-based 802.1Q tagging or the Cisco Inter-Switch Link (ISL) VLAN architecture.</li> <li>• Up to 1024 VLANs per switch or stack and up to 128 spanning-tree instances per switch are supported.</li> <li>• Four thousand VLAN IDs are supported.</li> <li>• Voice VLAN simplifies telephony installations by keeping voice traffic on a separate VLAN for easier administration and troubleshooting.</li> <li>• Cisco VTP supports dynamic VLANs and dynamic trunk configuration across all switches.</li> <li>• Cisco Group Management Protocol server functions help enable a switch to serve as the Cisco Group Management Protocol router for client switches. The IP Services license is required.</li> <li>• IGMPv3 snooping provides fast client joins and leaves of multicast streams and limits bandwidth-intensive video traffic to only the requestors.</li> <li>• Remote SPAN (RSPAN) allows administrators to remotely monitor ports in a Layer 2 switch network from any other switch in the same network.</li> <li>• For enhanced traffic management, monitoring, and analysis, the Embedded Remote Monitoring (RMON) software agent supports four RMON groups (history, statistics, alarms, and events).</li> <li>• Layer 2 Traceroute eases troubleshooting by identifying the physical path that a packet takes from source to destination.</li> <li>• All nine RMON groups are supported through a SPAN port, which permits traffic monitoring of a single port, a group of ports, or the entire stack from a single network analyzer or RMON probe.</li> <li>• Domain Name System (DNS) provides IP address resolution with user-defined device names.</li> <li>• Trivial File Transfer Protocol (TFTP) reduces the cost of administering software upgrades by downloading from a centralized location.</li> <li>• Network Timing Protocol (NTP) provides an accurate and consistent timestamp to all intranet switches.</li> <li>• Multifunction LEDs per port for port status, half-duplex and full-duplex mode, and 10BASE-T, 100BASE-TX, and 1000BASE-T indication as well as switch-level status LEDs for system, redundant power supply, and bandwidth use provide a comprehensive and convenient visual management system.</li> </ul>
<b>Cisco Network Assistant Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco Network Assistant is a free, Windows-based application that simplifies the administration of networks of up to 250 users. It supports a wide range of Cisco Catalyst Intelligent switches from Cisco Catalyst 2950 through Cisco Catalyst 4506. With Cisco Network Assistant, users can manage Cisco Catalyst switches plus launch the device managers of Cisco Integrated Services Routers (ISRs) and Cisco Alomnet WLAN access points.</li> <li>• The easy-to-use graphical interface provides both a topology map and front-panel view of the cluster and stacks.</li> <li>• Cisco AVVID (Architecture for Voice, Video and Integrated Data) wizards need just a few user inputs to automatically configure the switch to optimally handle different types of traffic: voice, video, multicast, and high-priority data.</li> <li>• A security wizard is provided to restrict unauthorized access to applications, servers, and networks.</li> <li>• Upgrading the Cisco IOS Software on Cisco Catalyst switches is a simple matter of pointing and clicking, with one-click upgrades.</li> <li>• Cisco Network Assistant supports multilayer feature configurations such as routing protocols, ACLs, and QoS parameters.</li> <li>• Multidevice and multiboot configuration capabilities allow administrators to save time by configuring features across multiple switches and ports simultaneously.</li> <li>• The user-personalized interface allows modification of polling intervals, table views, and other settings.</li> <li>• Alarm notification provides automated e-mail notification of network errors and alarm thresholds.</li> </ul>

<b>Cisco Express Setup</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco Express Setup simplifies initial configuration of a switch through a Web browser, eliminating the need for more complex terminal emulation programs and CLI knowledge.</li> <li>• The Web interface helps less-skilled personnel quickly and simply set up switches, thereby reducing the cost of deployment.</li> </ul>
<b>CiscoWorks Support</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CiscoWorks network-management software provides management capabilities on a per-port and per-switch basis, providing a common management interface for Cisco routers, switches, and hubs.</li> <li>• SNMP v1, v2c, and v3 and Telet interface support delivers comprehensive in-band management, and a CLI-based management console provides detailed out-of-band management.</li> <li>• Cisco Discovery Protocol Versions 1 and 2 help enable a CiscoWorks network-management station for automatic switch discovery.</li> <li>• The CiscoWorks LAN Management Solution supports the Cisco Catalyst 3560 Series.</li> </ul>

Table 2. Cisco Catalyst 3560 Series Switch Hardware

Description	Specification
<b>Performance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 32 Gbps forwarding bandwidth</li> <li>• Forwarding rate based on 64-byte packets: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 38.7 Mpps (Cisco Catalyst 3560G-48TS, Catalyst 3560G-48PS, Catalyst 3560G-24TS, and Catalyst 3560G-24PS);</li> <li>• 13.1 Mpps (Cisco Catalyst 3560-48TS and Catalyst 3560-48PS);</li> <li>• 6.5 Mpps (Cisco Catalyst 3560-24TS and Catalyst 3560-24PS);</li> <li>• 2.7 Mpps (Cisco Catalyst 3560-8PC)</li> </ul> </li> <li>• 128 MB DRAM</li> <li>• 32 MB Flash memory (Cisco Catalyst 3560G-24TS, Catalyst 3560G-24PS, Catalyst 3560G-48TS, Catalyst 3560G-48PS, Catalyst 3560-24TS, Catalyst 3560-48TS, and Catalyst 3560-8PC).</li> <li>• 16-MB Flash memory (Cisco Catalyst 3560-48PS and Catalyst 3560-24PS)</li> <li>• Configurable up to 12,000 MAC addresses</li> <li>• Configurable up to 11,000 unicast routes</li> <li>• Configurable up to 1000 IGMP groups and multicast routes</li> <li>• Configurable maximum transmission unit (MTU) of up to 9000 bytes, with a maximum Ethernet frame size of 9018 bytes (Jumbo frames), for bridging on Gigabit Ethernet ports, and up to 1546 bytes for bridging of Multiprotocol Label Switching (MPLS) tagged frames on 10/100 ports</li> </ul>
<b>Connectors and Cabling</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10BASE-T ports: RJ-45 connectors, two-pair Category 3, 4, or 5 unshielded twisted-pair (UTP) cabling</li> <li>• 10BASE-T PoE ports: RJ-45 connectors, two-pair Category 3, 4, or 5 UTP cabling (power pins 1,2 (negative) and 3,6 (positive))</li> <li>• 100BASE-TX ports: RJ-45 connectors, two-pair Category 5 UTP cabling</li> <li>• 100BASE-TX PoE ports: RJ-45 connectors, two-pair Category 5 UTP cabling, power on pins 1,2 (negative) and 3,6 (positive)</li> <li>• 1000BASE-T ports: RJ-45 connectors, four-pair Category 5 UTP cabling</li> <li>• 1000BASE-T SFP-based ports: RJ-45 connectors, four-pair Category 5 UTP cabling</li> <li>• 1000BASE-SX, -LX/LH, -ZX, and CWDM SFP-based ports: LC fiber connectors (single/multimode fiber)</li> <li>• Cisco Catalyst 3560 SFP Interconnect Cable: two-pair shielded cabling, 50 cm</li> <li>• Management console port: RJ-45-to-DB-9 cable for PC connections; for terminal connections, use RJ-45-to-DB-25 female data-terminal-equipment (DTE) adaptor (can be ordered separately from Cisco; part number ACS-DBU-ASYN=)</li> </ul>

<b>Power Connectors</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Customers can provide power to a switch by using either the internal power supply or the Cisco RPS 2300. The connectors are located at the back of the switch.</li> <li>Note: The Cisco Catalyst 3560-8PC does not have an RPS port.</li> <li>Internal-Power-Supply Connector <ul style="list-style-type: none"> <li>The internal power supply is an autoranging unit.</li> <li>The internal power supply supports input voltages between 100 and 240 VAC.</li> <li>Use the supplied AC power cord to connect the AC power connector to an AC power outlet.</li> </ul> </li> <li>Cisco RPS Connector <ul style="list-style-type: none"> <li>The connector offers connection for an optional Cisco RPS 2300 that uses AC input and supplies DC output to the switch.</li> <li>The connector supports up to six external network devices and provides power to two failed devices at a time.</li> <li>The connector automatically senses when the internal power supply of a connected device fails and provides power to the failed device, preventing loss of network traffic.</li> <li>Only the Cisco RPS 2300 (model PWR-RPS2300) should be attached to the redundant power-supply receptacle.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Indicators</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Per-port status LEDs: Link integrity, disabled, activity, speed, full-duplex indicators, PoE applied, PoE error, and PoE disabled indicators</li> <li>System-status LEDs: System, RPS, link status, link duplex, link speed, and PoE indicators</li> </ul>
<b>Dimensions (H x W x D)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco Catalyst 3560-8PC: 1.73 x 10.6 x 9.1 in. (4.4 x 27 x 23 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24TS: 1.73 x 17.5 x 11.8 in. (4.4 x 44.5 x 30.1 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48TS: 1.73 x 17.5 x 11.8 in. (4.4 x 44.5 x 30.1 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24PS: 1.73 x 17.5 x 11.8 in. (4.4 x 44.5 x 30.1 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48PS: 1.73 x 17.5 x 14.9 in. (4.4 x 44.5 x 37.8 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24TS: 1.73 x 17.5 x 14.9 in. (4.4 x 44.5 x 37.8 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48TS: 1.73 x 17.5 x 16.1 in. (4.4 x 44.5 x 40.9 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24PS: 1.73 x 17.5 x 14.9 in. (4.4 x 44.5 x 37.8 cm)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48PS: 1.73 x 17.5 x 16.1 in. (4.4 x 44.5 x 40.9 cm)</li> </ul>
<b>Weight</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco Catalyst 3560-8PC: 6 lb (2.3 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24TS: 8.5 lb (3.9 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48TS: 9.1 lb (4.1 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24PS: 11.3 lb (5.1 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48PS: 13.2 lb (6.0 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24TS: 12 lb (5.4 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24PS: 13.5 lb (6.1 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48TS: 14.0 lb (6.4 kg)</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48PS: 15.5 lb (7.0 kg)</li> </ul>
<b>Environmental Ranges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operating temperature: 32 to 113°F (0 to 45°C)</li> <li>Storage temperature: -13 to 168°F (-25 to 70°C)</li> <li>Operating relative humidity: 10 to 85% (noncondensing)</li> <li>Operating altitude: Up to 10,000 ft (3049m)</li> <li>Storage altitude: Up to 15,000 ft (4573m)</li> </ul>
<b>Acoustic Noise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO 7779: bystander position operating at an ambient temperature of 25°C</li> <li>Cisco Catalyst 3560-8PC: 0 dBA (no fan)</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24TS: 42 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48TS: 42 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24PS: 42 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48PS: 42 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24TS: 42 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48TS: 48 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24PS: 38-44 dBA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48PS: 52-58 dBA</li> </ul>

<b>Mean Time Between Failure (MTBF)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco Catalyst 3560-8PC: 367,666 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24TS: 326,100 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48TS: 260,900 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24PS: 224,100 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48PS: 173,500 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24TS: 230,700 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24PS: 196,300 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48TS: 173,400 hours</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48PS: 147,000 hours</li> </ul>
---	--

Table 3. Power Specifications for Cisco Catalyst 3560 Series Switch

Description	Specification
<b>Maximum Power Consumption</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>304W (Cisco Catalyst 3560-8PC)</li> <li>Dissipated power: 80W, 273 BTUs per hour</li> <li>PoE: 124W</li> <li>45W (Cisco Catalyst 3560-24TS)</li> <li>485W (Cisco Catalyst 3560-24PS)</li> <li>Dissipated power: 115W, 393 BTUs per hour</li> <li>PoE: 370W</li> <li>65W (Cisco Catalyst 3560-48TS)</li> <li>630W (Cisco Catalyst 3560-48PS)</li> <li>Dissipated power: 160W, 546 BTUs per hour</li> <li>PoE: 370W</li> <li>100W (Cisco Catalyst 3560G-24TS)</li> <li>540W (Cisco Catalyst 3560G-24PS)</li> <li>Dissipated power: 170W, 534 BTUs per hour</li> <li>PoE: 370W</li> <li>160W (Cisco Catalyst 3560G-48TS)</li> <li>690W (Cisco Catalyst 3560G-48PS)</li> <li>Dissipated power: 220W, 690 BTUs per hour</li> <li>PoE: 370W</li> </ul>
<b>AC Input Voltage and Current</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100-240 VAC (autoranging), 2.5-1.3A, 50-60 Hz (Cisco Catalyst 3560-8PC)</li> <li>100-240 VAC (autoranging), 450-190mA, 50-60 Hz (Cisco Catalyst 3560-24TS)</li> <li>100-240 VAC (autoranging), 650-270mA, 50-60 Hz (Cisco Catalyst 3560-48TS)</li> <li>100-240 VAC (autoranging), 5.5-2.8A, 50-60 Hz (Cisco Catalyst 3560-24PS and Catalyst 3560-48PS)</li> <li>100-240 VAC (autoranging), 3.0-1.5A, 50-60Hz (Cisco Catalyst 3560G-24TS and Catalyst 3560G-48TS)</li> <li>100-240 VAC (autoranging), 8.0-4.0A, 50-60Hz (Cisco Catalyst 3560G-24PS and Catalyst 3560G-48PS)</li> </ul>
<b>Power Rating</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco Catalyst 3560-8PC: 0.2 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24TS: 0.075 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48TS: 0.110 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-24PS: 0.485 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560-48PS: 0.630 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24TS: 0.10 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48TS: 0.16 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-24PS: 0.52 kVA</li> <li>Cisco Catalyst 3560G-48PS: 0.66 kVA</li> </ul>
<b>DC Input Voltages (RPS Input)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-12V at 5A (Cisco Catalyst 3560-24TS and Catalyst 3560-48TS); 7.5A (Cisco Catalyst 3560-24PS and Catalyst 3560-48PS); 10.5A (Cisco Catalyst 3560G-24TS); 17.5A (Cisco Catalyst 3560G-48TS); 14A (Cisco Catalyst 3560G-24PS and Catalyst 3560G-48PS)</li> <li>-48V at 7.8A (PoE switches)</li> </ul>
<b>PoE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximum power supplied per port: 15.4W</li> <li>Total power dedicated to PoE: 370W</li> <li>Total power dedicated to PoE: 124W (Cisco Catalyst 3560-8PC)</li> </ul>

Table 4. Management and Standards Support for Cisco Catalyst 3560 Series Switch

Description	Specification
<b>Management</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BRIDGE-MIB</li> <li>• CISCO-CDP-MIB</li> <li>• CISCO-CLUSTER-MIB</li> <li>• CISCO-CONFIG-MAN-MIB</li> <li>• CISCO-ENTITY-FRU-CONTROL-MIB</li> <li>• CISCO-ENVMON-MIB</li> <li>• CISCO-FLASH-MIB</li> <li>• CISCO-FTP-CLIENT-MIB</li> <li>• CISCO-HSRP-MIB</li> <li>• CISCO-HSRP-EXT-MIB</li> <li>• CISCO-IGMP-FILTER-MIB</li> <li>• CISCO-IMAGE-MIB</li> <li>• CISCO-IP-STAT-MIB</li> <li>• CISCO-L2L3-INTERFACE-CONFIG-MIB</li> <li>• CISCO-MAC-NOTIFICATION-MIB</li> <li>• CISCO-MEMORY-POOL-MIB</li> <li>• CISCO-PAGP-MIB</li> <li>• CISCO-PING-MIB</li> <li>• CISCO-PROCESS-MIB</li> <li>• CISCO-RTTMON-MIB</li> <li>• CISCO-STP-EXTENSIONS-MIB</li> <li>• CISCO-SYSLOG-MIB</li> <li>• CISCO-TCP-MIB</li> <li>• CISCO-VLAN-FTABLE-RELATIONSHIP-MIB</li> <li>• CISCO-VLAN-MEMBERSHIP-MIB</li> </ul>
<b>Standards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.1s</li> <li>• IEEE 802.1w</li> <li>• IEEE 802.1x</li> <li>• IEEE 802.3ad</li> <li>• IEEE 802.3af</li> <li>• IEEE 802.3x full duplex on 10BASE-T, 100BASE-TX, and 1000BASE-T ports</li> <li>• IEEE 802.1D Spanning Tree Protocol</li> <li>• IEEE 802.1p CoS Prioritization</li> <li>• IEEE 802.1Q VLAN</li> <li>• IEEE 802.3 10BASE-T specification</li> <li>• IEEE 802.3u 100BASE-TX specification</li> <li>• IEEE 802.3ab 1000BASE-T specification</li> <li>• IEEE 802.3z 1000BASE-X specification</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CISCO-VTP-MIB</li> <li>• ENTITY-MIB</li> <li>• ETHERLIKE-MIB</li> <li>• IF-MIB</li> <li>• IGMP-MIB</li> <li>• IPROUTE-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-CHASSIS-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-FLASH-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-INTERFACES-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-IP-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-SYS-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-TCP-MIB</li> <li>• OLD-CISCO-TS-MIB</li> <li>• OSPF-MIB (RFC 1253)</li> <li>• PIM-MIB</li> <li>• RFC1213-MIB</li> <li>• RFC1253-MIB</li> <li>• RMON-MIB</li> <li>• RMON2-MIB</li> <li>• SNMP-FRAMEWORK-MIB</li> <li>• SNMP-MPD-MIB</li> <li>• SNMP-NOTIFICATION-MIB</li> <li>• SNMP-TARGET-MIB</li> <li>• SNMPV2-MIB</li> <li>• TCP-MIB</li> <li>• UDP-MIB</li> </ul>

Table 5. Safety and Compliance

Description	Specification
<b>Safety Certifications</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UL 60950-1, First Edition</li> <li>• CUL to CAN/CSA 22.2 No. 60950-1, First Edition</li> <li>• TUV/GS to EN 60950-1, First Edition</li> <li>• CB to IEC 60950-1 with all country deviations</li> <li>• AS/NZS 60950-1, First Edition</li> <li>• NOM (through partners and distributors)</li> <li>• CE Marking</li> </ul>
<b>Electromagnetic Emissions Certifications</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FCC Part 15 Class A</li> <li>• EN 55022 Class A (CISPR22)</li> <li>• EN 55024 (CISPR24)</li> <li>• AS/NZS CISPR22 Class A</li> <li>• CE</li> <li>• CNS 13438 Class A</li> <li>• MIC</li> <li>• GOST</li> <li>• China EMC Certifications</li> </ul>
<b>Telex</b>	Common Language Equipment Identifier (CLEI) code
<b>Warranty</b>	Limited lifetime warranty

#### Service and Support

Cisco Systems is committed to minimizing TCO. The company offers a portfolio of technical support services to help ensure that its products operate efficiently, remain highly available, and benefit from the most up-to-date system software. The services and support programs described in Table 6 are available as part of the Cisco Desktop Switching Service and Support solution, and are available directly from Cisco and through resellers.

Table 6. Cisco Services and Support Programs

Service and Support	Features	Benefits	
<b>Advanced Services</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco Total Implementation Solutions (TIS), available direct from Cisco</li> <li>• Cisco Packaged TIS, available through resellers</li> <li>• Cisco SMARTnet® and SMARTnet Onsite support, available direct from Cisco</li> <li>• Cisco Packaged SMARTnet support program, available through resellers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project management</li> <li>• Site survey, configuration, and deployment</li> <li>• Installation, test, and cutover</li> <li>• Training</li> <li>• Major moves, adds, and changes</li> <li>• Design review and product staging</li> <li>• Access to software updates 24 hours</li> <li>• Web access to technical repositories</li> <li>• Telephone support through the Cisco Technical Assistance Center (TAC)</li> <li>• Advance Replacement of hardware parts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supplements existing staff</li> <li>• Helps ensure that functions meet needs</li> <li>• Mitigates risk</li> <li>• Helps enable proactive or expedited issue resolution</li> <li>• Lowers TCO by taking advantage of Cisco expertise and knowledge</li> <li>• Minimizes network downtime</li> </ul>

#### Ordering Information

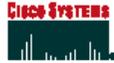
Table 7 gives ordering information for the Cisco Catalyst 3560 Series switches.

Table 7. Ordering Information for Cisco Catalyst 3560 Series Switches

Part Numbers	Description
W3-C3660-8PC-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>8 Ethernet 10/100 ports and 1 dual-purpose 10/100/1000 and SFP port</li> <li>Compact form-factor with no fan</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660-24TS-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100 ports and 2 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660-24TS-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100 ports and 2 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660-48TS-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660-48TS-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660-24P3-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100 ports and 2 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660-24P3-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100 ports and 2 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660-48P3-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660-48P3-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>

W3-C3660G-24TS-	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-24TS-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-48TS-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-48TS-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-24P3-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-24P3-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-48P3-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Base license (formerly SMI) installed</li> <li>Basic RIP and static routing, upgradeable to full dynamic IP routing</li> </ul>
W3-C3660G-48P3-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 Ethernet 10/100/1000 ports and 4 SFP-based Gigabit Ethernet ports</li> <li>1RU fixed-configuration, multilayer switch</li> <li>Enterprise-class intelligent services delivered to the network edge</li> <li>IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet</li> <li>IP Services license (formerly EMI) installed</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
CD-3660G-EMI-	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP Services License (formerly EMI) upgrade kit for IP Base versions of the Cisco Catalyst 3560G-24TS, Catalyst 3560G-24P3, Catalyst 3560G-48TS and Catalyst 3560G-48P3</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
CD-3660-EMI-	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP Services License (formerly EMI) upgrade kit for IP Base versions of the Cisco Catalyst 3560-24P3, Catalyst 3560-48P3, Catalyst 3560-24TS, Catalyst 3560-48TS, and Catalyst 3560-8PC</li> <li>Advanced IP routing</li> </ul>
3660-AI3K8-LIC-B	IP Base (formerly SMI) to Advanced IP Services License for FE models
3660-AI3K8-LIC-S	IP Services (formerly EMI) to Advanced IP Services License for FE models
3660G-AI3K8-LIC-B	IP Base (formerly SMI) to Advanced IP Services License for GE models
3660G-AI3K8-LIC-S	IP Services (formerly EMI) to Advanced IP Services License for GE models
PWR-RP3200	Cisco RPS 2300 with one connector cable
RCKMNT-1RU-	Spare rack-mount kit for the Cisco Catalyst 3560





## Cisco Catalyst 2950 Series Intelligent Ethernet Switches for Metro Access (Enhanced Image)

### Product Overview

The Cisco Catalyst® 2950 Series Intelligent Ethernet switches is an affordable line of fixed-configuration Fast Ethernet and Gigabit Ethernet switches that extend intelligence to the metro access edge, enabling service breadth, availability, security, and manageability. Key components of the Cisco Metro Ethernet Switching portfolio, these switches are ideal for service providers looking to deliver profitable Ethernet services to the residential and small-office, home-office (SOHO) market. Featuring advanced rate limiting, voice virtual LAN (VLAN) support, and multicast management, these switches enable a variety of residential metro services such as Internet access, voice over IP (VoIP), and broadcast video.

The Cisco Catalyst 2950 Series Intelligent Ethernet switches consists of the following devices—which are only available with the Enhanced Image (EI) software for the Cisco Catalyst 2950 Series:

- Cisco Catalyst 2950G-48 Switch—48 10/100 ports and 2 gigabit interface converter (GBIC)-based Gigabit Ethernet ports
- Cisco Catalyst 2950G-24 Switch—24 10/100 ports and 2 GBIC ports
- Cisco Catalyst 2950G-24-DC Switch—24 10/100 ports, 2 GBIC ports, and DC power

- Cisco Catalyst 2950G-12 Switch—12 10/100 ports and 2 GBIC ports
- Cisco Catalyst 2950T-24 Switch—24 10/100 ports and 2 fixed 10/100/1000BaseT uplink ports
- Cisco Catalyst 2950C-24 Switch—24 10/100 ports and 2 fixed 100BaseFX uplink ports
- Catalyst 2950ST-24-LRE—24 LRE and 2 Gigabit Ethernet ports (user can select either 10BaseT/100BaseTX/1000BaseT Ethernet Ports or Small Form Factor Pluggable (SFP) Transceivers)
- Catalyst 2950ST-8-LRE—8 LRE and 2 Gigabit Ethernet ports (user can select either 10BaseT/100BaseTX/1000BaseT Ethernet Ports or Small Form Factor Pluggable (SFP) Transceivers)

The two built-in Gigabit Ethernet ports on the Cisco Catalyst 2950G-12, 2950G-24, and 2950G-48 accommodate a range of GBIC transceivers, including the Cisco Course Wave Division Multiplexing (CWDM) GBIC Solution, Cisco GigaStack® GBIC, 1000BaseSX, 1000BaseLX/LH, 1000BaseZX and 1000BaseT GBICs. The dual GBIC-based Gigabit Ethernet implementation provides customers with tremendous deployment flexibility—allowing them increased availability with the redundant uplinks. High levels of resiliency can also be implemented by deploying dual redundant Gigabit Ethernet uplinks, UplinkFast and

Per-VLAN Spanning Tree Plus (PVST+) for uplink load balancing. This Gigabit Ethernet flexibility makes the Cisco Catalyst 2950 Series switches an ideal metro access edge complement to the Cisco 7600 Series Internet Router and Cisco Catalyst 6500 Series of metro Ethernet switches.

### Intelligence at the Metro Access Edge: Enabling Profitable Ethernet Services

Service providers that address the residential and SOHO market face the continual challenge of offering compelling value-added services.

Although alternative broadband technologies such as DSL can offer bandwidth at speeds ranging up to 1.5 Mbps, the monthly subscriber fees for such speeds can be out of reach for most users. As a result, compelling high-quality services such as high-speed Internet access, VoIP, or broadcast video are often not viable propositions over these technologies. However, in the metro, service providers are discovering that high-performance, Ethernet access over fiber-optic networks can easily provide cost-effective bandwidth of 10 to 100 Mbps. By taking advantage of the simplicity and cost benefits of Ethernet, revenue growth via voice, video, and data services becomes a reality. When considering the deployment of Ethernet services, service providers must consider the following issues:

- Building cost-effective, highly available, scalable metro Ethernet networks
- Providing profitable new services while reducing operational and capital costs
- Having the network flexibility to move up market to enterprise and small and medium-sized business services

These issues are especially relevant at the metro access edge. As service providers look to provide profitable Ethernet services such as high-speed Internet access, voice, and video, Cisco intelligent functionality such as advanced quality of service (QoS), granular rate limiting, and multicast management are essential in the provider's customer-located equipment. In addition, availability and security concerns at the access edge are addressed with intelligent features such as subsecond Spanning Tree Protocol (STP) convergence and 802.1x support. With Cisco Catalyst 2950 Series Intelligent Ethernet switches, Cisco delivers the ideal balance of affordability and intelligence, enabling profitable Ethernet service breadth, availability, security and manageability.

Most important, the Cisco Catalyst 2950 Series is a key component of the Cisco Metro Ethernet Switching portfolio. As such, service providers are assured that they can offer a range of residential and commercial services over the same network. For regional metro, metro aggregation, and metro access, Cisco Metro Ethernet Switching enables service providers to deliver profitable, comprehensive Ethernet services. With the effective integration of existing WAN services such as Frame Relay and ATM, Cisco Metro Ethernet Switching offers an unmatched breadth of service delivery mechanisms. Cisco also helps service providers minimize total cost of ownership for new services with its extensive automated operations support. Through technology leadership, financial stability, and a commitment to customer support, Cisco ensures service success from "start to scale."

### Service Breadth Through Advanced Quality of Service, Rate Limiting, and Voice/Multicast Features

To achieve profitability, service providers that serve the residential and SOHO markets must offer value-added services such as voice and video in addition to basic high-speed Internet connectivity to increase revenue per subscriber. But these services are compelling only when service quality matches that of competing voice and video offerings.



The Cisco Catalyst 2950 Series offers superior and highly granular QoS to ensure that network traffic is classified and prioritized, and that congestion is avoided in the best possible manner. The Cisco Catalyst 2950 Series can classify, reclassify, police (determine if the packet is in or out of predetermined profiles and affect actions on the packet), and mark or drop the incoming packets before the packet is placed in the shared buffer. Packet classification allows the network elements to discriminate between various traffic flows and enforce policies based on Layer 2 and Layer 3 QoS fields.

To implement QoS, first, the Cisco Catalyst 2950 Series switches identify traffic flows, or packet groups, and classify or reclassify these groups using either the Differentiated Services Code Point (DSCP) field or the 802.1p class-of-service (CoS) field, or both. Classification and reclassification can be based on criteria as specific as the source/destination IP address, source/destination Media Access Control (MAC) address, or the Layer 4 Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol (TCP/UDP) port. At the ingress, the Cisco Catalyst 2950 Series can also perform policing and marking of the packet.

After the packet goes through classification, policing, and marking, it is then assigned to the appropriate queue before exiting the switch. The Cisco Catalyst 2950 Series supports four egress (outgoing port) queues per port, which allows the service provider to be more discriminating and specific in assigning priorities for the various applications. At the egress, the switch performs Weighted Round Robin (WRR) or strict priority scheduling to determine the order in which the queues are processed. The WRR queuing algorithm ensures that the lower-priority packets are not entirely starved for bandwidth and are serviced without compromising the priority settings administered by the network manager. Strict priority scheduling ensures that the highest-priority packets are always serviced first, ahead of all other traffic.

In terms of rate limiting, the Cisco Catalyst 2950 Series is capable of allocating bandwidth based on several criteria, including MAC source address, MAC destination address, IP source address, IP destination address, and TCP/UDP port number. Bandwidth allocation is essential in network environments requiring service-level agreements (SLAs), or when it is necessary for the network manager to control the bandwidth given to certain subscribers. The Cisco Catalyst 2950 Series supports up to 6 policers per Fast Ethernet port and up to 60 policers on a Gigabit Ethernet port. Traffic policing can be done in 1-Mbps increments on Fast Ethernet ports and 8-Mbps increments on Gigabit Ethernet ports, giving the network manager very granular control of network bandwidth.

In addition, the Cisco Catalyst 2950 Series provides key voice and video service features with voice VLAN (auxiliary VLAN) for VoIP services and hardware-based Internet Group Management Protocol (IGMP) snooping, allowing the switch to "listen in" on the IGMP conversation between hosts and routers. When a switch hears an IGMP join request from a host for a given multicast group, the switch adds the host port number to the Group Destination Address (GDA) list for that group. And, when the switch hears an IGMP leave request, it removes the host port from the list. Together with the superior QoS and rate-limiting features mentioned previously, service providers can build a flexible network with the Cisco Catalyst 2950 Series to provide voice, video, and data services all in one network architecture.

#### **Service Availability through Resiliency Enhancements and Network Redundancy**

The Cisco Catalyst 2950 Series provides a rich set of resiliency enhancement features to ensure quick failover recovery and create a high-availability network. The IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree standard allows the service provider to achieve subsecond spanning tree convergence times to maximize network stability and reliability. The



IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree standard can be deployed in conjunction with 802.1w to improve the scalability of the STP by grouping VLANs into spanning tree instances, as well as to provide backward compatibility to devices running the 802.1D STP.

In addition, service providers can enable Bridge Protocol Data Unit (BPDU) guard and Spanning Tree Root Guard (STRG) to enhance the reliability of their networks. BPDU guard allows the service provider to shut down STP PortFast-enabled interfaces to avoid receiving BPDUs from their customers' networks. STRG prevents customer devices outside of the service provider's network from becoming STP root nodes.

The Cisco Catalyst 2950 Series enables the service provider to construct a highly redundant network. PVST+ allows the service provider to implement Layer 2 load-sharing on redundant links, efficiently utilizing the extra capacity inherent in a redundant design. Service providers can also utilize Cisco EtherChannel® technology to aggregate up to 4 Gbps through Gigabit EtherChannel technology and up to 1.6 Gbps through Fast EtherChannel technology. The Cisco EtherChannel technology enhances fault tolerance and offers higher-speed aggregated bandwidth between switches and to routers.

In addition to resiliency and network redundancy advantages, the Cisco Catalyst 2950 Series enables metro network scalability at the access edge through its support of Cisco CWDM GBIC Solution. This solution allows service providers to scale their bandwidth without deploying additional fiber. The service provider can scale up to eight gigabits of bandwidth on a pair of single-mode fibers at distances up to 120 km. With the support for Cisco CWDM GBICs on the Cisco Catalyst 2950 Series, service providers can aggregate multiple Cisco Catalyst 2950 Series switches to easily upgrade network bandwidth with existing fiber infrastructure.

Metro network scalability is also enhanced by the Cisco Catalyst 2950 Series support of 4096 VLAN IDs and 256 active VLANs per switch.

#### **Service Security Through Cisco Access Control Parameters and Enhanced Security Features**

The Cisco Catalyst 2950 Series offers enhanced data security through the use of access control parameters (ACPs). By denying packets based on source and destination MAC addresses, IP addresses, or TCP/UDP ports, users can be restricted from sensitive portions of the network. Also, because all ACP lookups are done in hardware, forwarding performance is not compromised when implementing ACP-based security in the network.

Service providers can also implement higher levels of data security by supporting private VLAN edge. This feature provides security and isolation between ports on a switch, ensuring that traffic travels directly from its entry point to the aggregation device through a virtual path and cannot be directed to a different port. Local Proxy Address Resolution Protocol (ARP) works in conjunction with private VLAN edge to minimize broadcasts and maximize available bandwidth.

With the Cisco Catalyst 2950 Series, service providers can implement high levels of console security. Multilevel access security on the switch console and the Web-based management interface prevents unauthorized users from accessing or altering switch configuration. Terminal Access Controller Access Control System (TACACS+) authentication enables centralized access control of the switch and restricts unauthorized users from altering the configuration.

Service providers are also able to enhance their network security by adding 802.1x port-based authentication for authenticating individual customers, and port security with MAC address aging for limiting the concurrent MAC addresses allowed per port.



### Service Management Through Cisco IE 2100 Series and SNMP

The Cisco Catalyst 2950 Series provides outstanding service management capabilities via Cisco IE 2100 Series Intelligence Engine support and Simple Network Management Protocol (SNMP). Service providers will be able to integrate the Cisco Catalyst 2950 Series seamlessly into their operations support systems (OSSs) and enable improved flow-through provisioning.

The Cisco IE 2100 Series network device allows service providers to effectively manage a network of Cisco IOS® devices, including the Cisco Catalyst 2950 Series. It is a completely self-contained unit that includes a task-oriented Web graphical user interface (GUI), a programmable extensible markup language (XML) interface, configuration template management, and an embedded repository. Network operators can use the Web GUI to quickly turn existing Cisco IOS command-line interface (CLI) configuration files into reusable templates. The Cisco IE 2100 Series supports easy integration into existing customer OSS/business support system (BSS) and provisioning systems via its external repository support and the event-based Cisco IOS XML interface that effectively “workflow-enables” Cisco device deployment.

Service providers also can manage the Cisco Catalyst 2950 Series using SNMP version 2 and version 3, and the Telnet interface for comprehensive in-band management. A CLI-based management console provides detailed out-of-band management.

A comprehensive set of Management Information Bases (MIBs) is provided for the service provider to collect traffic information on the Cisco Catalyst 2950 Series for various billing methods.

Figure 1  
Cisco Catalyst 2950 Series Intelligent Ethernet Switches



### Product Features and Benefits

Feature	Benefit
<b>Service Breadth</b>	
Advanced QoS	<ul style="list-style-type: none"> <li>This feature enables end-to-end QoS in the network by extending the QoS trust boundary to the edge of the network.</li> <li>The switches support configuring QoS ACPs on all ports to ensure proper policing and marking on a per-packet basis using ACPs. Up to four ACPs per switch are supported in configuring either QoS ACPs or security filters.</li> </ul>
	<p>QoS Classification Support at Ingress</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The switches support QoS classification of incoming packets for QoS flows based on Layer 2, Layer 3, and Layer 4 fields.</li> <li>The following Layer 2 fields or a combination can be used for classifying incoming packets to define QoS flows: source MAC address, destination MAC address, 16-bit EtherType.</li> <li>The following Layer 3 and 4 fields or a combination can be used to classify incoming packets to define QoS flows: source IP address, destination IP address, TCP source or destination port number, UDP source or destination port number.</li> </ul>
	<p>QoS Metering/Policing at Ingress</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Support for metering/policing of incoming packets restricts incoming traffic flows to a certain rate.</li> <li>The switches support up to 6 policers per Fast Ethernet port, and 60 policers on a Gigabit Ethernet port.</li> <li>The switches offer granularity of traffic flows at 1 Mbps on Fast Ethernet ports, and 8 Mbps on Gigabit Ethernet ports.</li> </ul> <p>QoS Marking at Ingress</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The switches support marking/remarking packets based on state of policers/meters.</li> <li>The switches support marking/remarking based on the following mappings: from DSCP to 802.1p, and 802.1p to DSCP.</li> <li>The switches support 14 well-known and widely used DSCP values.</li> <li>The switches support classifying or reclassifying packets based on default DSCP per port.</li> <li>The switches support classifying or reclassifying frames based on default 802.1p value per port.</li> <li>The switches support 802.1p override at ingress.</li> </ul>



Feature	Benefit
<b>Service Breadth</b>	
Advanced QoS (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>QoS Scheduling Support at Egress</li> <li>Four queues per egress port are supported in hardware.</li> <li>The WRR queuing algorithm ensures that low-priority queues are not starved.</li> <li>Strict-priority queue configuration ensures that time-sensitive applications such as voice always follow an expedited path through the switch fabric.</li> </ul>
Granular rate limiting	<ul style="list-style-type: none"> <li>The switch supports up to 6 policers per Fast Ethernet port and up to 60 policers on a Gigabit Ethernet port.</li> <li>The switch offers granularity of traffic flows at 1 Mbps on Fast Ethernet ports and 8 Mbps on Gigabit Ethernet ports.</li> <li>The switch offers the ability to limit data flows based on MAC source/destination address, IP source/destination address, TCP/UDP port numbers, or any combination of these fields.</li> <li>The switch offers the ability to manage data flows asynchronously upstream and downstream from the end station or on the uplink.</li> </ul>
Voice and video services	<ul style="list-style-type: none"> <li>The IGMP snooping feature allows the switch to "listen in" on the IGMP conversation between hosts and routers. When a switch hears an IGMP join request from a host for a given multicast group, the switch adds the host port number to the GDA list for that group. And, when the switch hears an IGMP leave request, it removes the host port from the list.</li> <li>Multicast VLAN registration (MVR) continuously sends multicast streams in a multicast VLAN while isolating the streams from subscriber VLANs for bandwidth and security reasons.</li> <li>IGMP filtering provides the control of the set of multicast groups to which a user on a switch port can belong.</li> <li>Voice VLAN (auxiliary VLAN) support for VoIP application allows the creation</li> </ul>
Resiliency and reliability	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) takes advantage of point-to-point wiring and provides rapid convergence of the spanning tree independent of spanning-tree timers. Reconfiguration of the spanning tree can occur in less than one second, a feature that is critical for networks carrying delay-sensitive traffic such as voice and video.</li> <li>IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree (MSTP), which uses RSTP for rapid convergence, enables VLANs to be grouped into a spanning-tree instance, with each instance having a spanning-tree topology independent of other spanning-tree instances. This architecture provides for multiple forwarding paths for data traffic, enables load balancing, and reduces the number of spanning-tree instances required to support a large number of VLANs.</li> <li>Cisco UplinkFast/BackboneFast technologies ensure quick failover recovery, enhancing overall network stability and reliability.</li> </ul>



Feature	Benefit
<b>Service Breadth</b>	
Resiliency and reliability (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco CrossStack UplinkFast (CSUF) technology provides increased redundancy and network resiliency through fast spanning-tree convergence (less than two seconds) across a stack of switches using Cisco GigaStack GBICs in an independent stack backplane cascaded configuration.</li> <li>Redundant stacking connections provide support for a redundant loopback connection for top and bottom switches in an independent stack backplane cascaded configuration.</li> <li>BPDU guard shuts down STP PortFast-enabled interfaces when BPDUs are received to avoid accidental spanning tree topology changes.</li> <li>STRG prevents edge devices not in the network administrator's control from becoming STP root nodes.</li> <li>Command switch redundancy enabled in the Cisco Cluster Management Suite (CMS) Software allows customers to designate a backup command switch that takes over cluster management functions if the primary command switch fails.</li> <li>Unidirectional link detection (UDLD) detects and disables unidirectional links on fiber-optic interfaces caused by incorrect fiber-optic wiring or port faults. Aggressive UDLD allows precautionary disabling of port on bidirectional links.</li> <li>Per-port broadcast, multicast, and unicast storm control prevents faulty end stations from degrading overall systems performance.</li> <li>Support for Cisco's optional RPS 300 Redundant Power System provides superior internal power source redundancy for up to six Cisco networking devices, resulting in improved fault tolerance and network uptime.</li> </ul>
Redundancy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bandwidth aggregation up to 4 Gbps through Cisco Gigabit EtherChannel technology and up to 1.6 Gbps through Cisco Fast EtherChannel technology enhances fault tolerance and offers higher-speed aggregated bandwidth between switches, to routers and individual servers.</li> <li>IEEE 802.1D STP support for redundant backbones connections and loop-free networks simplifies network configuration and improves fault tolerance.</li> <li>PVST+ allows for Layer 2 load sharing on redundant links to efficiently utilize the extra capacity inherent in a redundant design.</li> <li>VLAN Trunking Protocol (VTP) pruning limits bandwidth consumption on VTP trunks by flooding broadcast traffic only on trunk links required to reach the destination devices.</li> </ul>
Scalability	<ul style="list-style-type: none"> <li>CWDM GBIC solution support allows for the scaling of bandwidth without deploying additional fiber. It provides scalability of up to eight Gigabits of bandwidth on a pair of single-mode fibers to reach distances up to 100-120 km.</li> <li>Support for up to 4096 VLAN IDs with 250 active VLANs per switch, and up to 64 spanning tree instances per switch.</li> </ul>



Feature	Benefit
<b>Service Security</b>	
Network-wide security features	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filtering of incoming traffic flows based on Layer 2, Layer 3, or Layer 4 ACPs prevents unauthorized data flows. Up to four ACPs are supported in configuring either QoS or security filters.</li> <li>The following Layer 2 ACPs or a combination can be used for security classification of incoming packets: source MAC address, destination MAC address, and 16-bit EtherType.</li> <li>The following Layer 3 and Layer 4 fields or a combination can be used for security classification of incoming packets: source IP address, destination IP address, TCP source or destination port number, UDP source, or destination port number.</li> <li>Private VLAN edge provides security and isolation between ports on a switch, ensuring that voice traffic travels directly from its entry point to the aggregation device through a virtual path and cannot be directed to a different port.</li> <li>IEEE 802.1x for dynamic port-based security.</li> <li>Support for "secure ports" prevents unauthorized stations from accessing the switch by restricting the number of concurrent MAC addresses allowed to access the port. Up to 132 addresses can be configured per port.</li> <li>STRG prevents edge devices not in the network administrator's control from becoming STP root nodes.</li> <li>The STP PortFast/ BPDU guard feature disables access ports with STP PortFast enabled upon reception of a BPDU, and increases network reliability, manageability, and security.</li> <li>Multilevel security on console access prevents unauthorized users from altering the switch configuration.</li> <li>TACACS+ and Remote Access Dial-In User Service (RADIUS) authentication enables centralized control of the switch and restricts unauthorized users from altering the configuration.</li> </ul>
<b>Service Management</b>	
Superior manageability	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cisco IE 2100 support for flow, through provisioning and integration with OSS applications via programmatic interfaces.</li> <li>SNMP v1, v2c, v3, and Telnet interface support delivers comprehensive in-band management, and a CLI-based management console provides detailed out-of-band management.</li> <li>Manageable through CiscoWorks network management software on a per-port and per-switch basis providing a common management interface for Cisco routers, switches, and hubs.</li> <li>Comprehensive MIBs enable the service provider to collect traffic information on the Cisco Catalyst 2950 Series for various billing methods.</li> </ul>



Feature	Benefit
<b>Service Management</b>	
Superior manageability (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>An embedded Remote Monitoring (RMON) software agent supports four RMON groups (history, statistics, alarms, and events) for enhanced traffic management, monitoring, and analysis.</li> <li>The switch supports all nine RMON groups through the use of a Cisco SwitchProbe<sup>®</sup> Analyzer (Switched Port Analyzer [SPAN]) port, permitting traffic monitoring of a single port, a group of ports, or the entire switch from a single network analyzer or RMON probe.</li> <li>RSPAN (Remote SPAN) allows network administrators to remotely monitor ports in a Layer 2 switch network from any other switch in the same network.</li> <li>The Domain Name System (DNS) provides IP address resolution with user-defined device names.</li> <li>Trivial File Transfer Protocol (TFTP) reduces the cost of administering software upgrades by downloading from a centralized location.</li> <li>Network Timing Protocol (NTP) provides an accurate and consistent timestamp to all switches within the intranet.</li> <li>Multifunction LEDs per port for port status, half-duplex/full-duplex, 10BaseT/100BaseTX/1000BaseT indication, as well as switch-level status LEDs for system, redundant power supply, and bandwidth utilization provide a comprehensive and convenient visual management system.</li> </ul>
Ease of use and ease of deployment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autoconfiguration eases deployment of switches in the network by automatically configuring multiple switches across a network via a boot server.</li> <li>Autosensing on each non-GBIC port detects the speed of the attached device and automatically configures the port for 10-, 100-, or 1000-Mbps operation, easing the deployment of the switch in mixed 10, 100, and 1000BaseT environments.</li> <li>Autonegotiating on all ports automatically selects half- or full-duplex transmission mode to optimize bandwidth.</li> <li>Cisco Discovery Protocol Versions 1 and 2 enable a CiscoWorks network management station to automatically discover the switch in a network topology.</li> <li>Cisco VTP supports dynamic VLANs and dynamic trunk configuration across all switches.</li> <li>Support for dynamic VLAN assignment through implementation of VLAN Membership Policy Server (VMPS) client functionality provides flexibility in assigning ports to VLANs.</li> <li>Dynamic Trunking Protocol (DTP) enables dynamic trunk configuration across all ports in the switch.</li> <li>Port Aggregation Protocol (PAgP) automates the creation of Cisco Fast EtherChannel or Gigabit EtherChannel groups, enabling linking to another switch, router, or server.</li> <li>IEEE 802.3z-compliant 1000BaseSX, 1000BaseLX/LH, 1000BaseZX, and 1000BaseT physical interface support through a field-replaceable GBIC module provides customers unprecedented flexibility in switch deployment.</li> </ul>



Feature	Benefit
<b>Service Management</b>	
Ease of use and ease of deployment (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>The default configuration stored in Flash memory ensures that the switch can be quickly connected to the network and can pass traffic with minimal user intervention.</li> <li>The switches support nonstandard Ethernet frame sizes (mini-giants) up to 1542 bytes (configurations with GBIC ports only).</li> </ul>

#### Product Specifications

(See separate Cisco Catalyst 2950 LRE data sheet for Catalyst 2950ST-24-LRE and Catalyst 2950ST-8-LRE product specifications)

Feature	Description
Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>13.6-Gbps switching fabric</li> <li>6.8-Gbps maximum forwarding bandwidth</li> <li>Forwarding rates based on 64-byte packets</li> <li>Cisco Catalyst 2950G-48: 10.1-Mpps wire-speed forwarding rate</li> <li>Cisco Catalyst 2950G-24 and 2950G-24-DC: 6.6-Mpps wire-speed forwarding rate</li> <li>Cisco Catalyst 2950G-12: 4.8-Mpps wire-speed forwarding rate</li> <li>Cisco Catalyst 2950T-24: 6.6-Mpps wire-speed forwarding rate</li> <li>Cisco Catalyst 2950C-24: 3.9-Mpps wire-speed forwarding rate</li> <li>32-MB maximum packet buffer shared by all ports</li> <li>16-MB DRAM and 8-MB Flash memory</li> <li>Configurable up to 8000 MAC addresses</li> <li>Configurable maximum transmission unit (MTU) of up to 1530 bytes (Cisco Catalyst 2950G)</li> </ul>
Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>BRIDGE-MIB</li> <li>CISCO-CDP-MIB</li> <li>CISCO-CLUSTER-MIB</li> <li>CISCO-CONFIG-MAN-MIB</li> <li>CISCO-FLASH-MIB</li> <li>CISCO-IMAGE-MIB</li> <li>CISCO-MAC-NOTIFICATION-MIB</li> <li>CISCO-MEMORY-POOL-MIB</li> <li>CISCO-PAGR-MIB</li> <li>CISCO-PING-MIB</li> <li>CISCO-PROCESS-MIB</li> <li>CISCO-PRODUCTS-MIB</li> <li>CISCO-RTTMON-MIB</li> <li>CISCO-STACKMAKER-MIB</li> <li>CISCO-STPEXTENSIONS-MIB</li> </ul>



Feature	Description
Management (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>CISCO-SYSLOG-MIB</li> <li>CISCO-TCP-MIB</li> <li>CISCO-VLAN-MEMBERSHIP-MIB</li> <li>CISCO-VTP-MIB</li> <li>ENTITY-MIB</li> <li>IANAIfType-MIB</li> <li>IF-MIB (RFC 1573)</li> <li>OLD-CISCO-CHASSIS-MIB</li> <li>OLD-CISCO-CPU-MIB</li> <li>OLD-CISCO-INTERFACES-MIB</li> <li>OLD-CISCO-IP-MIB</li> <li>OLD-CISCO-MEMORY-MIB</li> <li>OLD-CISCO-SYSTEM-MIB</li> <li>OLD-CISCO-TCP-MIB</li> <li>OLD-CISCO-TS-MIB</li> <li>CISCO-PAGR-MIB</li> <li>CISCO-UULD-MIB</li> <li>RFC1213-MIB (MIB-II)</li> <li>RFC1398-MIB (ETHERNET-MIB)</li> <li>RMON-MIB (RFC 1757)</li> <li>RS-232-MIB</li> <li>SNMPv2-MIB</li> <li>SNMPv2-SMI</li> <li>SNMPv2-TC</li> <li>TCP-MIB</li> <li>UDR-MIB</li> </ul>
Standards	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.1x support</li> <li>IEEE 802.1w</li> <li>IEEE 802.1s</li> <li>IEEE 802.3x full duplex on 10BaseT, 100BaseTX, and 1000BaseT ports</li> <li>IEEE 802.1D STP</li> <li>IEEE 802.1p class-of-service (CoS) prioritization</li> <li>IEEE 802.1Q VLAN</li> <li>IEEE 802.3 10BaseT specification</li> <li>IEEE 802.3u 100BaseTX specification</li> <li>IEEE 802.3ab 1000BaseT specification</li> <li>IEEE 802.3z 1000BaseX specification</li> </ul>



Feature	Description														
Standards (continued)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1000BaseX (GBIC)</li> <li>1000BaseSX</li> <li>1000BaseLXLH</li> <li>1000BaseZX</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1470 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1490 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1510 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1530 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1550 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1570 nm</li> <li>1000BaseE-CWDM GBIC 1590 nm</li> <li>1000Base-CWDM GBIC 1610 nm</li> <li>RMON I and II standards</li> <li>SNMPv1, SNMPv2c, and SNMPv3</li> </ul>														
Year 2000 (Y2K) compliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Y2K compliant</li> </ul>														
Connectors and cabling	<ul style="list-style-type: none"> <li>10BaseT ports: RJ-45 connectors; two-pair Category 3, 4, or 5 unshielded twisted-pair (UTP) cabling</li> <li>100BaseTX ports: RJ-45 connectors; two-pair Category 5 UTP cabling</li> <li>1000BaseT ports: RJ-45 connectors; two-pair Category 5 UTP cabling</li> <li>1000BaseFX ports: MTRJ connectors, 50/125 or 62.5/125 micron multimode fiber-optic cabling</li> <li>1000BaseSX, -LXLH, -ZX GBIC-based ports: SC fiber connectors, single-mode or multimode fiber</li> <li>Cisco GigaStack GBIC ports: copper-based Cisco GigaStack cabling</li> <li>Management console port: 8-pin RJ-45 connector, RJ-45-to-RJ-45 rollover cable with RJ-45-to-DB9 adapter for PC connections; for terminal connections, use RJ-45-to-DB25 female data-terminal-equipment (DTE) adapter (can be ordered separately from Cisco, part number ACS-DSBUASYN=)</li> </ul>														
MTRJ patch cables for Cisco Catalyst 2950C-24 Switch	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type of Cable</th> <th>Cisco Part Number</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-meter, MTRJ-to-SC multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-SC-MM-1M</td> </tr> <tr> <td>3-meter, MTRJ-to-SC multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-SC-MM-3M</td> </tr> <tr> <td>5-meter, MTRJ-to-SC multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-SC-MM-5M</td> </tr> <tr> <td>1-meter, MTRJ-to-ST multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-ST-MM-1M</td> </tr> <tr> <td>3-meter, MTRJ-to-ST multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-ST-MM-3M</td> </tr> <tr> <td>5-meter, MTRJ-to-ST multimode cable</td> <td>CAB-MTRJ-ST-MM-5M</td> </tr> </tbody> </table>	Type of Cable	Cisco Part Number	1-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-1M	3-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-3M	5-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-5M	1-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-1M	3-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-3M	5-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-5M
Type of Cable	Cisco Part Number														
1-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-1M														
3-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-3M														
5-meter, MTRJ-to-SC multimode cable	CAB-MTRJ-SC-MM-5M														
1-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-1M														
3-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-3M														
5-meter, MTRJ-to-ST multimode cable	CAB-MTRJ-ST-MM-5M														



Feature	Description
Power connectors	<p>Customers can provide power to a switch by using either the internal power supply or the Cisco RPS 300. The connectors are located at the back of the switch.</p> <p><b>Internal Power Supply Connector</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The internal power supply is an auto-ranging unit.</li> <li>The internal power supply supports input voltages between 100 and 240 VAC.</li> <li>Use the supplied AC power cord to connect the AC power connector to an AC power outlet.</li> </ul> <p><b>Cisco RPS Connector</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The connector offers connection for an optional Cisco RPS 300 that uses AC input and supplies DC output to the switch.</li> <li>The connector offers a 300-watt redundant power system that can support six external network devices and provides power to one failed device at a time.</li> <li>The connector automatically senses when the internal power supply of a connected device fails and provides power to the failed device, preventing loss of network traffic.</li> <li>When the internal power supply has been brought up or replaced, the Cisco RPS 300 automatically stops powering the device.</li> <li>Attach only the Cisco RPS 300 (model PWR300-AC-RPS-N1) to the redundant power supply receptacles.</li> </ul>
Indicators	<ul style="list-style-type: none"> <li>Per-port status LEDs: link integrity, disabled, activity, speed, and full-duplex indications</li> <li>System status LEDs: system, RPS, and bandwidth utilization indications</li> </ul>
Dimensions and weight (H x W x D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.72 x 17.5 x 9.52 in. (4.36 x 44.5 x 24.18 cm) (Cisco Catalyst 2950T-24, 2950C-24, 2950G-12, 2950G-24, and 2950G-24-DC)</li> <li>1.72 x 17.5 x 13 in. (4.36 x 44.5 x 33.02 cm) (Cisco Catalyst 2950G-48)</li> <li>1.0 rack-unit high</li> <li>6.5 lb. (3.0 kg) (Cisco Catalyst 2950T-24, 2950C-24, 2950G-12, 2950G-24, and 2950G-24-DC)</li> <li>10 lb. (4.5 kg) (Cisco Catalyst 2950G-48)</li> </ul>
Environmental ranges	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operating temperature: 32 to 113 F (0 to 45 C)</li> <li>Storage temperature: -13 to 158 F (-25 to 70 C)</li> <li>Operating relative humidity: 10 to 85% (noncondensing)</li> <li>Operating altitude: Up to 10,000 ft. (3000m)</li> <li>Storage altitude: Up to 15,000 ft. (4500m)</li> <li>Not intended for use on top of desktops or in open office environments</li> </ul>
Power requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Power consumption: 30W maximum, 102 BTUs per hour (Cisco Catalyst 2950T-24, 2950C-24, 2950G-12, 2950G-24, and 2950G-24-DC)</li> <li>Power consumption: 45W maximum, 154 BTUs per hour (Cisco Catalyst 2950G-48)</li> <li>AC input voltage/frequency: 100 to 127/200 to 240 VAC (autoranging), 50 to 60 Hz</li> <li>DC input voltages <ul style="list-style-type: none"> <li>RPS input: +12V @ 4.5 A</li> <li>DC input for 2950G-24-DC: -36 to -72 VDC @ 1A</li> </ul> </li> </ul>



Feature	Description
Mean time between failure (MTBF) – Predicted	<ul style="list-style-type: none"> <li>482,776 hours (Cisco Catalyst 2950G-12)</li> <li>468,884 hours (Cisco Catalyst 2950G-24)</li> <li>479,086 hours (Cisco Catalyst 2950G-24-DC)</li> <li>159,026 hours (Cisco Catalyst 2950G-48)</li> <li>297,144 hours (Cisco Catalyst 2950T-24)</li> <li>268,292 hours (Cisco Catalyst 2950C-24)</li> </ul>
Fiber-port specifications for Cisco Catalyst 2950C-24 Switch	<b>Fiber-port power levels:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Optical transmitter wavelength: 1300 nanometers</li> <li>Optical receiver sensibility: -14 dBm2</li> <li>Optical transmitter power: -19 to -14 dBm</li> <li>Transmit: -19 to -14 dBm</li> </ul>
<b>Regulatory Agency Approvals</b>	
Safety certifications	<ul style="list-style-type: none"> <li>UL 1950/CSA 22.2 No. 950</li> <li>IEC 950-EN 60950</li> <li>AS/NZS 3260, TSO01</li> <li>CE Marking</li> </ul>
Electromagnetic emissions certifications	<ul style="list-style-type: none"> <li>FCC Part 15 Class A</li> <li>EN 55022: 1998 Class A (CISPR22 Class A)</li> <li>EN 55024: 1998 (CISPR24)</li> <li>VCCI Class A</li> <li>AS/NZS 3548 Class A</li> <li>CE Marking</li> <li>CNS 13438</li> <li>BSMI Class A</li> <li>MIC</li> </ul>
NEBS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bellcore</li> <li>GR-1089-CORE</li> <li>GR-63-CORE</li> <li>SR-3580 Level 3</li> </ul>
Warranty	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limited lifetime warranty</li> </ul>



### Service and Support

The services and support programs described in the table below are available as part of the Cisco Desktop Switching Service and Support solution, and are available directly from Cisco and through resellers

Service and Support	Features	Benefits
<b>Cisco Advanced Services</b>		
Cisco Total Implementation Solutions (TIS)—available direct from Cisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>Project management</li> <li>Site survey, configuration deployment</li> <li>Installation, test, and cutover</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supplements existing staff</li> <li>Ensures functionality meets needs</li> <li>Mitigates risk</li> </ul>
Packaged Total Implementation Solutions (Packaged TIS)—available through resellers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Training</li> <li>Major moves, adds, changes</li> <li>Design review and product staging</li> </ul>	
<b>Technical Support Services</b>		
Cisco SMARTnet™ and SMARTnot Onsite Support (OS)—available direct from Cisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>24x7 access to software updates</li> <li>Web access to technical repositories</li> <li>Telephone support through the Cisco Technical Assistance Center (TAC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enables proactive or expedited issue resolution</li> <li>Lowers cost of ownership by utilizing Cisco expertise and knowledge</li> </ul>
Packaged SMARTnet—available through resellers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advance replacement of hardware parts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimizes network downtime</li> </ul>

### Ordering Information

Model numbers	Configuration
WS-C2950G-48-EI	<ul style="list-style-type: none"> <li>48 10/100 ports + 2 1000BaseX ports</li> <li>Enhanced Software Image (EI) installed</li> </ul>
WS-C2950G-24-EI	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 10/100 ports + 2 1000BaseX ports</li> <li>EI installed</li> </ul>
WS-C2950G-24-EI-DC	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 10/100 ports + 2 1000BaseX ports, DC power</li> <li>EI installed</li> </ul>
WS-C2950G-12-EI	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 10/100 ports + 2 1000BaseX ports</li> <li>EI installed</li> </ul>
WS-C2950T-24	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 10/100 ports + 2 1000BaseT ports</li> <li>EI installed</li> </ul>
WS-C2950C-24	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 10/100 ports + 2 100BaseFX ports</li> <li>EI installed</li> </ul>
WS-C2950ST-24-LRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>24 LRE ports + 2 10BaseT/100BaseTX/1000BaseT Ethernet ports + 2 Small Form Factor Pluggable (SFP) Transceivers (two of four uplink ports active at one time)</li> <li>EI Installed</li> </ul>
WS-C2950ST-8-LRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>8 LRE ports + 2 10BaseT/100BaseTX/1000BaseT Ethernet ports + 2 Small Form Factor Pluggable (SFP) Transceivers (two of four uplink ports active at one time)</li> <li>EI Installed</li> </ul>

**For More Information on Cisco Products, Contact:**

- United States and Canada: 800 553-NETS (6387)
- Europe: 32 2 778 4242
- Australia: 612 9935 4107
- Other: 408 526-7209
- World Wide Web URL: <http://www.cisco.com>



**Corporate Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: 408 526-4000  
800 553-NETS (6387)  
Fax: 408 526-4100

**European Headquarters**  
Cisco Systems International BV  
Haarlerbergpark  
Haarlerbergweg 13-19  
1101 CH Amsterdam  
The Netherlands  
[www.europe.cisco.com](http://www.europe.cisco.com)  
Tel: 31 0 20 357 1000  
Fax: 31 0 20 357 1100

**Americas Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: 408 526 7660  
Fax: 408 527-0883

**Asia Pacific Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
Capital Tower  
165 Robinson Road  
#22-01 to #29-01  
Singapore 068912  
[www.cisco.com](http://www.cisco.com)  
Tel: +65 317 7777  
Fax: +65 317 7799

Cisco Systems has more than 200 offices in the following countries and regions. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Web site at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices)

Argentina • Australia • Austria • Belgium • Brazil • Bulgaria • Canada • Chile • China PRC • Colombia • Costa Rica • Croatia  
Czech Republic • Denmark • Dubai, UAE • Finland • France • Germany • Greece • Hong Kong SAR • Hungary • India • Indonesia • Ireland  
Israel • Italy • Japan • Korea • Luxembourg • Malaysia • Mexico • The Netherlands • New Zealand • Norway • Peru • Philippines • Poland  
Portugal • Puerto Rico • Romania • Russia • Saudi Arabia • Scotland • Singapore • Slovakia • Slovenia • South Africa • Spain • Sweden  
Switzerland • Taiwan • Thailand • Turkey • Ukraine • United Kingdom • United States • Venezuela • Vietnam • Zimbabwe

All contents are Copyright © 1992-2002, Cisco Systems, Inc. All rights reserved. Catalyst, Cisco, Cisco IOS, Cisco Systems, and the Cisco Systems logo are registered trademarks of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the U.S. and certain other countries.  
All other trademarks mentioned in this document or Web site are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company.  
(02068) LW9993 0002

# ANEXO EQUIPO GPS

# GPS Map 76



Esta unidad cuenta con una antena interna helicoidal para obtener una excelente recepción con una precisión de 3 a 16 Mt.

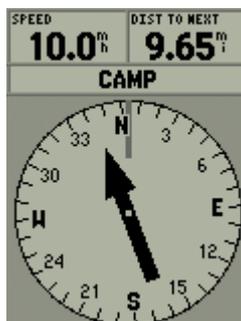
El GPS Map 76 cuenta con ocho megabites de memoria interna para grabar data de la línea de CD Map Source de Garmin. En el equipo vienen pre-grabados desde fábrica información de ciudades, líneas costeras, lagos, ríos, y las ayudas náuticas comunes tales como, faros, boyas, señales de sonido y radio faros diurnos. También contiene información de data de las mareas.

Los ocho megabites disponibles pueden ser utilizados para grabar información adicional de la línea Map Source de Garmin. Preparado para recibir las inclemencias del tiempo debido a su caja a prueba de agua y la amplitud de pantalla para visualizar fácilmente la información, el GPS MAP 76 es una importante ayuda para sus travesías en mar, lago o río. En caso de caída al agua el equipo flota para su rápida recuperación.

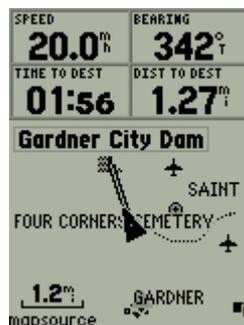
**Incluye cable para PC serial**

## Pantallas

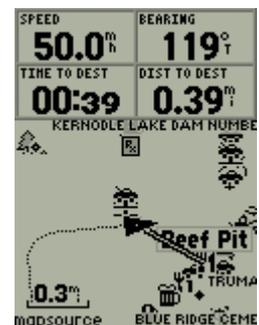
**Compás**



**Mapa**



**Mapa**



## Data Sheet

	<b>GPS 76 Map</b>
Satelites	12 canales
Numero de Waypoints	500
Memoria Interna	8 MB
Nº de rutas / Nº de waypoints por rutas	50/50
Database o Cartografía	Database marino
Opcion de mapas adicionales	Puntos de interes en Mapsource
Duración de baterias	16 HR (2 AA)
Tamaño pantalla (pulgadas)	2.2 x 1.6
Pantalla	4 Niveles de Grises LCD
Pixeles	240 x 180
Antenna	Interna
Modo TracBack	Si
Puntos de Tracklog	2048
Peso	7.7 oz.
Alarma Audible	Si
Resistencia al Agua	IPX7 (sumergible en 1 metro durante 30 min.)
Tamaño Unidad (Pulgadas)	6.2 x 2.7 x 1.4
joystick con 5 posiciones	No
Luz de pantalla	Niveles Simples
Conector Para Antena Externa	Si
Captación De WAAS	Si
Compas Electronico Interno	No
Altímetro Barométrico Interno	No
Caza / pesca (calculador)	Si
Aproximación de Waypoints	Si
Predicción de mareas	Si
Rango De Voltage	10 - 40
Iconos de Waypoints	Si

**ANEXO**  
**LÍNEA DE VISTA**



*Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Eléctrica-Química*



*Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Eléctrica-Química*



*Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Eléctrica-Química*



Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Eléctrica-Química



Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Administración



Foto de línea de vista, tomada desde la terraza del Edificio de Administración

ANEXO  
MEDICIÓN DE TRÁFICO

# Tráfico entre los Switches de Core

## Análisis de tráfico puerto GE3/3 conexión cquimica - cugi

System: cquimica.epn.edu.ec in

Maintainer:

Description: GigabitEthernet1/2

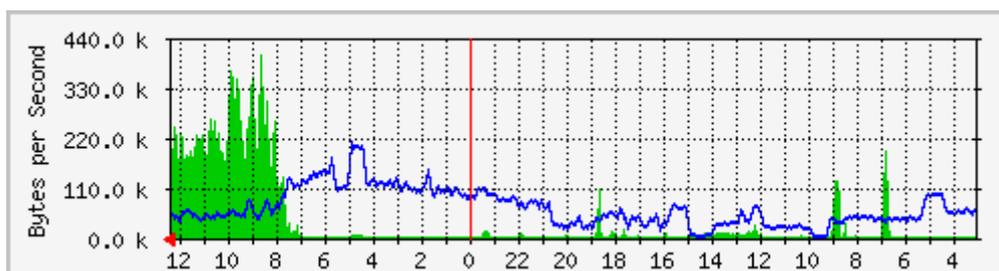
ifType: ethernetCsmacd (6)

ifName: Gi1/2

Max Speed: 125.0 MBytes/s

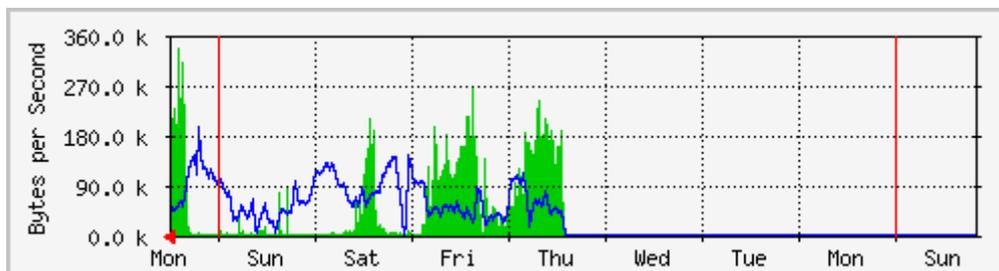
The statistics were last updated **Monday, 12 February 2007 at 12:26**, at which time 'cquimica.epn.edu.ec' had been up for **23 days, 1:30:25**.

### `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	402.8 kB/s (0.3%)	39.4 kB/s (0.0%)	171.9 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	209.0 kB/s (0.2%)	64.3 kB/s (0.1%)	55.4 kB/s (0.0%)

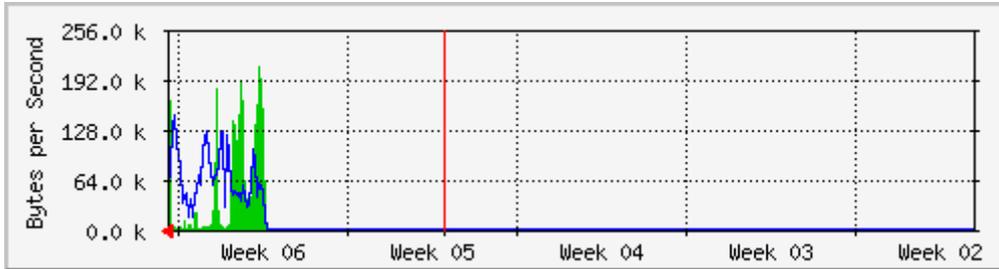
### `Weekly' Graph (30 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	336.9 kB/s (0.3%)	63.4 kB/s (0.1%)	195.8 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	192.7 kB/s (0.2%)	67.1 kB/s (0.1%)	53.1 kB/s (0.0%)

---

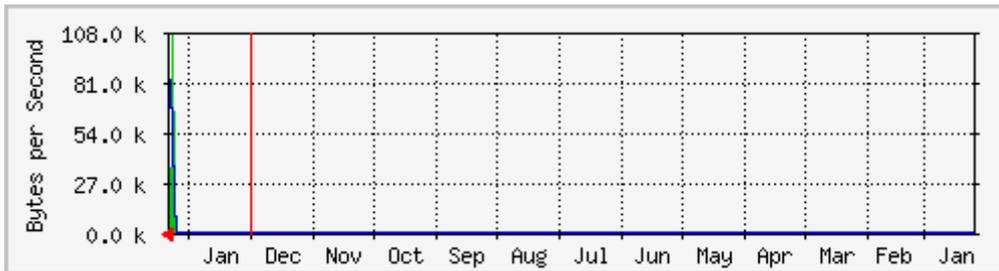
## 'Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	253.1 kB/s (0.2%)	61.3 kB/s (0.0%)	253.1 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	143.9 kB/s (0.1%)	66.6 kB/s (0.1%)	52.2 kB/s (0.0%)

---

## 'Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	106.9 kB/s (0.1%)	53.5 kB/s (0.0%)	7465.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	82.1 kB/s (0.1%)	52.9 kB/s (0.0%)	59.6 kB/s (0.0%)

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

# Análisis de tráfico puerto GE3/1 conexión cquimica - cugi

System: cquimica.epn.edu.ec in

Maintainer:

Description: GigabitEthernet3/1 enlace-cquimicag3/1-cugig3/1

ifType: ethernetCsmacd (6)

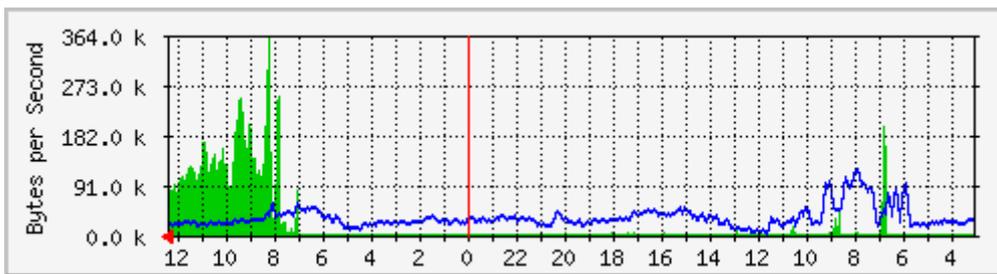
ifName: Gi3/1

Max Speed: 125.0 MBytes/s

---

The statistics were last updated **Monday, 12 February 2007 at 12:26**, at which time 'cquimica.epn.edu.ec' had been up for **23 days, 1:30:25**.

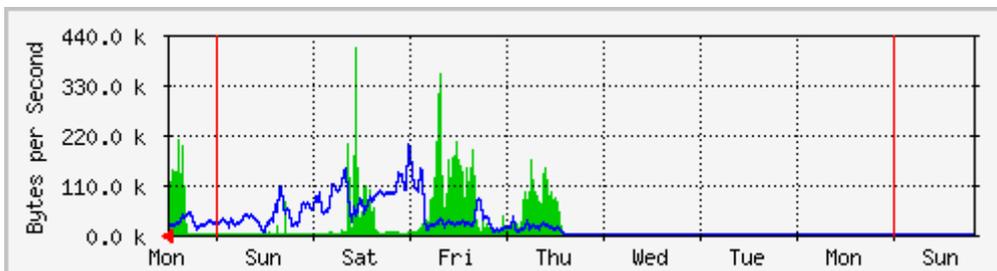
## 'Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	360.2 kB/s (0.3%)	23.4 kB/s (0.0%)	106.3 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	120.0 kB/s (0.1%)	30.9 kB/s (0.0%)	20.6 kB/s (0.0%)

---

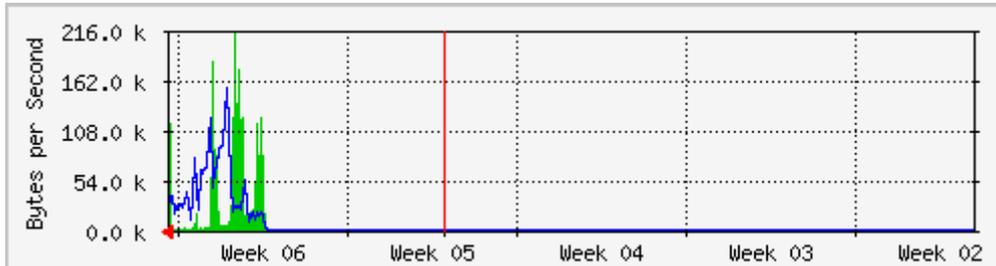
## 'Weekly' Graph (30 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	412.1 kB/s (0.3%)	47.3 kB/s (0.0%)	107.2 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	195.5 kB/s (0.2%)	45.4 kB/s (0.0%)	20.8 kB/s (0.0%)

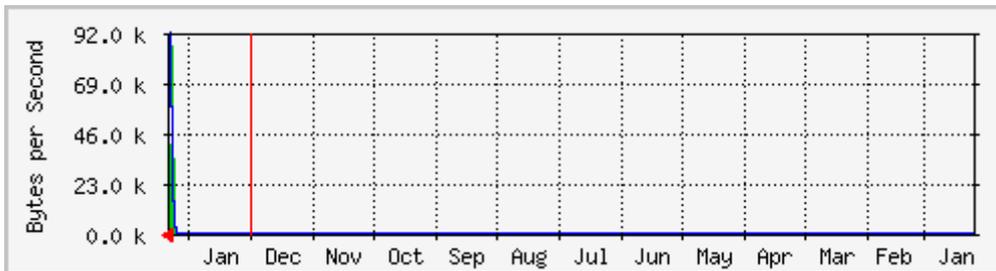
---

## `Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	214.4 kB/s (0.2%)	46.2 kB/s (0.0%)	157.5 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	152.9 kB/s (0.1%)	45.2 kB/s (0.0%)	21.9 kB/s (0.0%)

## `Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	86.1 kB/s (0.1%)	41.3 kB/s (0.0%)	3901.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	91.5 kB/s (0.1%)	41.7 kB/s (0.0%)	45.7 kB/s (0.0%)

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungl.com>](mailto:dlr@bungl.com)

# Análisis de tráfico Puerto GE3/2 conexión cquimica - cugi

System: cquimica.epn.edu.ec in

Maintainer:

Description: GigabitEthernet3/2 enlace-cquimicag3/2-cugig3/2

ifType: ethernetCsmacd (6)

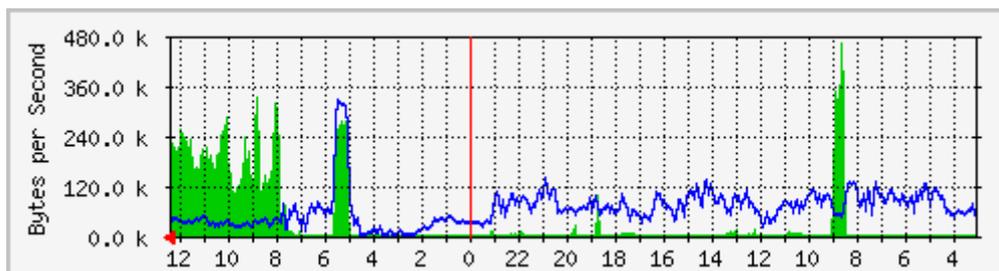
ifName: Gi3/2

Max Speed: 125.0 MBytes/s

---

The statistics were last updated **Monday, 12 February 2007 at 12:26**, at which time 'cquimica.epn.edu.ec' had been up for **23 days, 1:30:25**.

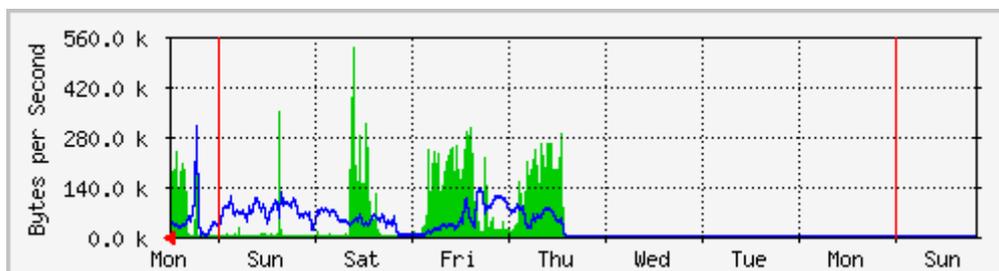
## `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	461.7 kB/s (0.4%)	40.9 kB/s (0.0%)	246.2 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	321.6 kB/s (0.3%)	63.2 kB/s (0.1%)	43.8 kB/s (0.0%)

---

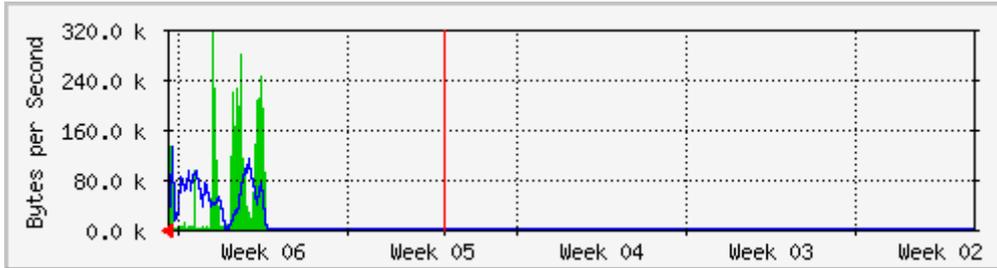
## `Weekly' Graph (30 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	528.5 kB/s (0.4%)	82.7 kB/s (0.1%)	235.6 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	305.6 kB/s (0.2%)	53.4 kB/s (0.0%)	32.3 kB/s (0.0%)

---

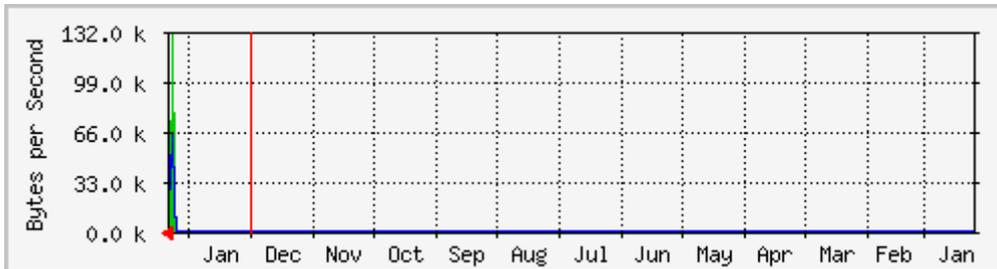
## `Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	316.9 kB/s (0.3%)	80.6 kB/s (0.1%)	183.5 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	128.2 kB/s (0.1%)	53.0 kB/s (0.0%)	27.8 kB/s (0.0%)

---

## `Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	131.4 kB/s (0.1%)	73.8 kB/s (0.1%)	11.5 kB/s (0.0%)
<b>Out</b>	70.8 kB/s (0.1%)	45.5 kB/s (0.0%)	70.8 kB/s (0.1%)

---

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

---

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungl.com>](mailto:dlr@bungl.com)

# Tráfico entre los Switches de Core y Distribución

## Análisis de tráfico puerto GE 0/27 conexión cugi - dcivil

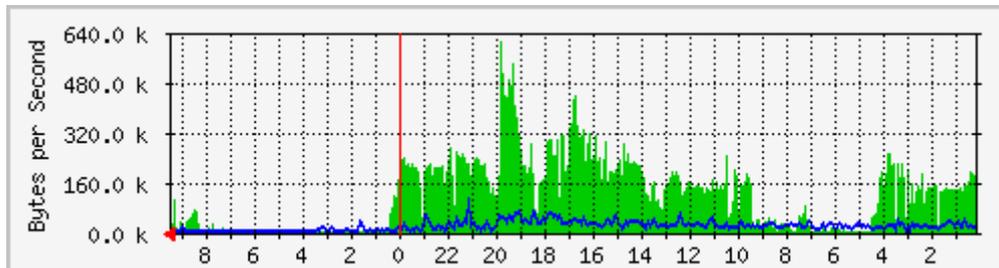
Description: GigabitEthernet0/27 enlace-dcivilg0/27-cugig3/3

Max Speed: 125.0 MBytes/s

---

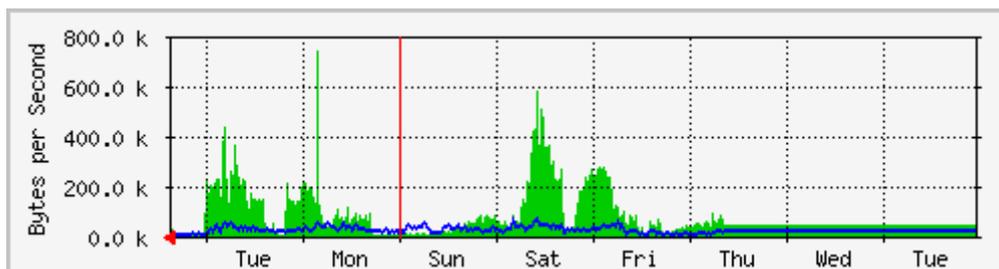
The statistics were last updated **Wednesday, 21 November 2007 at 9:34**, at which time '**dcivil.epn.edu.ec**' had been up for **19 days, 18:29:32**.

### `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
In	609.9 kB/s (0.5%)	117.0 kB/s (0.1%)	21.4 kB/s (0.0%)
Out	107.9 kB/s (0.1%)	18.7 kB/s (0.0%)	1154.0 B/s (0.0%)

### `Weekly' Graph (30 Minute Average)

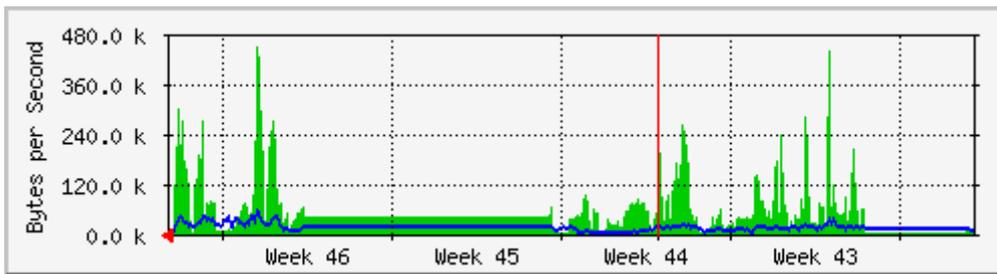


	Max	Average	Current
In	738.8 kB/s (0.6%)	82.1 kB/s (0.1%)	33.9 kB/s (0.0%)

**Out** 69.3 kB/s (0.1%) 21.6 kB/s (0.0%) 5141.0 B/s (0.0%)

---

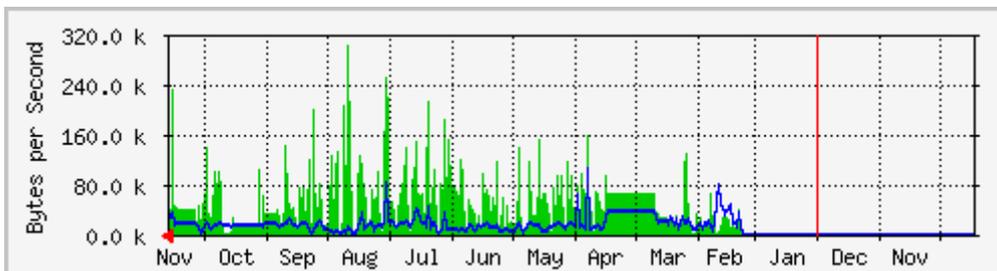
### `Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	447.4 kB/s (0.4%)	55.3 kB/s (0.0%)	191.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	55.4 kB/s (0.0%)	15.5 kB/s (0.0%)	231.0 B/s (0.0%)

---

### `Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	301.3 kB/s (0.2%)	56.6 kB/s (0.0%)	38.7 kB/s (0.0%)
<b>Out</b>	104.9 kB/s (0.1%)	17.1 kB/s (0.0%)	27.7 kB/s (0.0%)

---

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

---

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungj.com>](mailto:dlr@bungj.com)

## Análisis de tráfico puerto GE 0/24 cugi - dugi

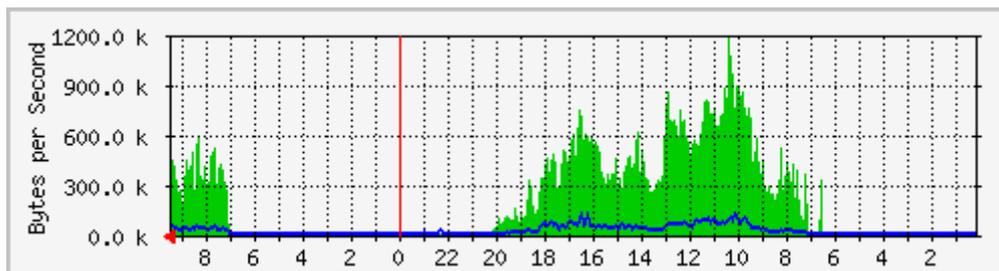
Description: GigabitEthernet0/24 enlace-DUGIg0/24-cugig4/24

Max Speed: 125.0 MBytes/s

---

The statistics were last updated **Wednesday, 21 November 2007 at 9:34**, at which time '**dugi.epn.edu.ec**' had been up for **7 days, 23:18:55**.

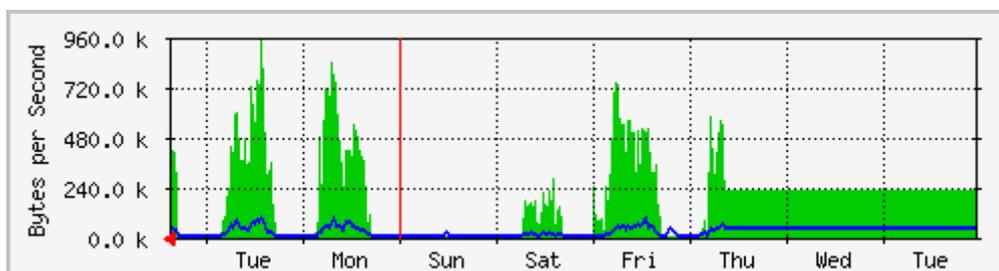
### `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	1181.7 kB/s (0.9%)	209.4 kB/s (0.2%)	565.1 kB/s (0.5%)
<b>Out</b>	127.8 kB/s (0.1%)	22.3 kB/s (0.0%)	68.0 kB/s (0.1%)

---

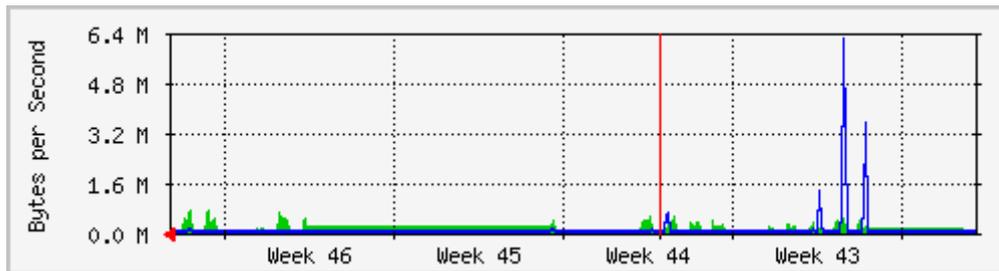
### `Weekly' Graph (30 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	949.2 kB/s (0.8%)	184.8 kB/s (0.1%)	380.5 kB/s (0.3%)
<b>Out</b>	95.5 kB/s (0.1%)	25.1 kB/s (0.0%)	35.6 kB/s (0.0%)

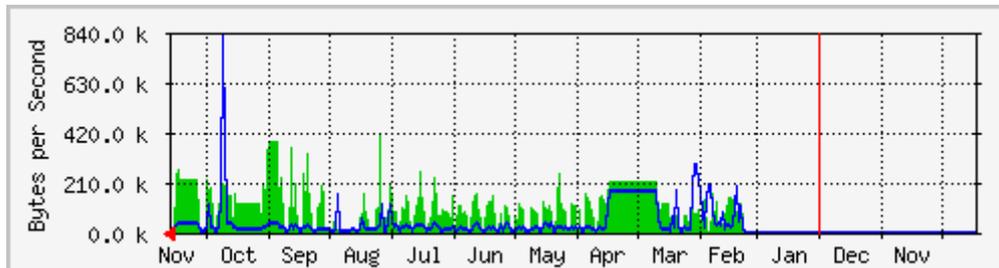
---

## `Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	748.1 kB/s (0.6%)	157.9 kB/s (0.1%)	2233.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	6184.2 kB/s (4.9%)	67.2 kB/s (0.1%)	1123.0 B/s (0.0%)

## `Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	409.0 kB/s (0.3%)	113.3 kB/s (0.1%)	238.7 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	816.9 kB/s (0.7%)	44.7 kB/s (0.0%)	23.9 kB/s (0.0%)

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungl.com>](mailto:dlr@bungl.com)

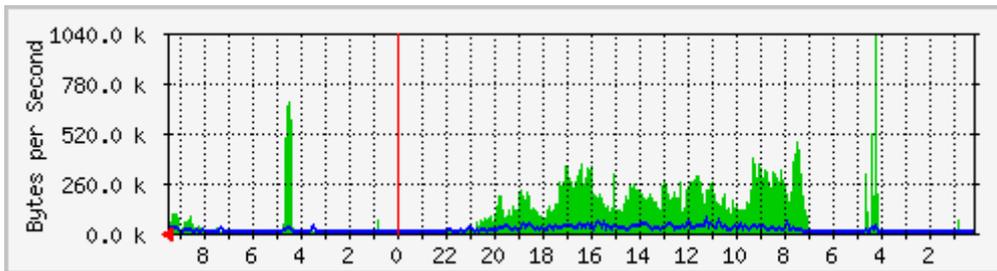
# Análisis de tráfico puerto 10125 conexión cquimica - delectric

Description: GigabitEthernet0/25 enlace-delectricg0/25-cquimicag3/4

Max Speed: 125.0 MBytes/s

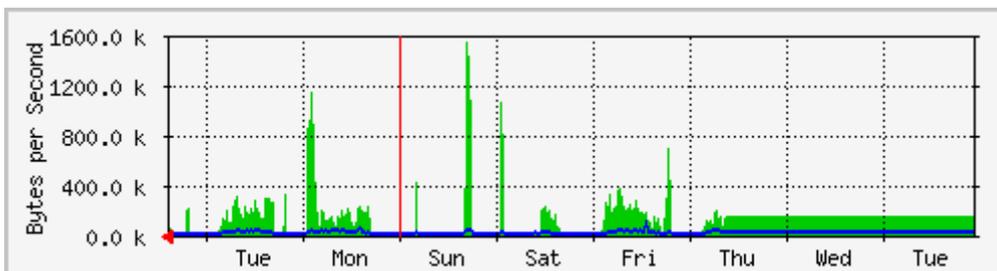
The statistics were last updated **Wednesday, 21 November 2007 at 9:35**, at which time '**delectric.epn.edu.ec**' had been up for **13 days, 21:31:15**.

## `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	1026.2 kB/s (0.8%)	97.8 kB/s (0.1%)	64.1 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	77.1 kB/s (0.1%)	14.7 kB/s (0.0%)	22.3 kB/s (0.0%)

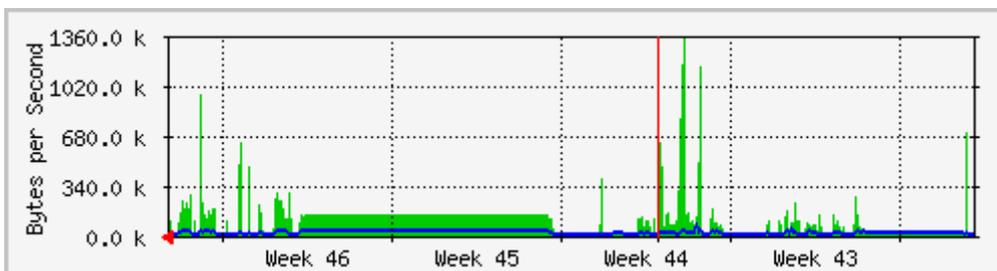
## `Weekly' Graph (30 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	1539.2 kB/s (1.2%)	126.2 kB/s (0.1%)	81.9 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	104.6 kB/s (0.1%)	19.4 kB/s (0.0%)	21.9 kB/s (0.0%)

---

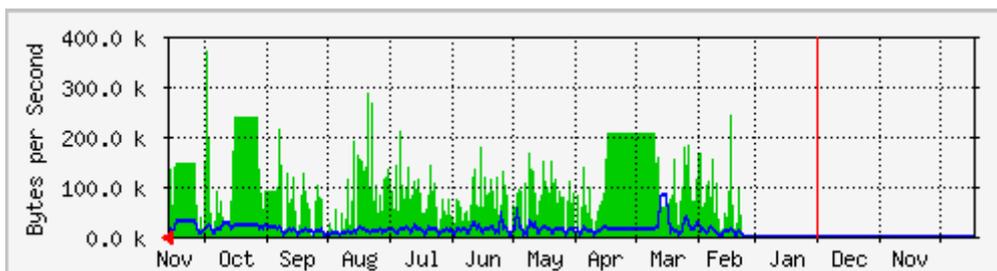
## 'Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	1351.2 kB/s (1.1%)	101.8 kB/s (0.1%)	1297.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	70.1 kB/s (0.1%)	19.7 kB/s (0.0%)	2503.0 B/s (0.0%)

---

## 'Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	368.3 kB/s (0.3%)	100.0 kB/s (0.1%)	88.3 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	83.9 kB/s (0.1%)	14.4 kB/s (0.0%)	17.3 kB/s (0.0%)

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

---

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

*Tobias Oetiker* <[tobi@oetiker.ch](mailto:tobi@oetiker.ch)>  
and *Dave Rand* <[dlr@bungie.com](mailto:dlr@bungie.com)>

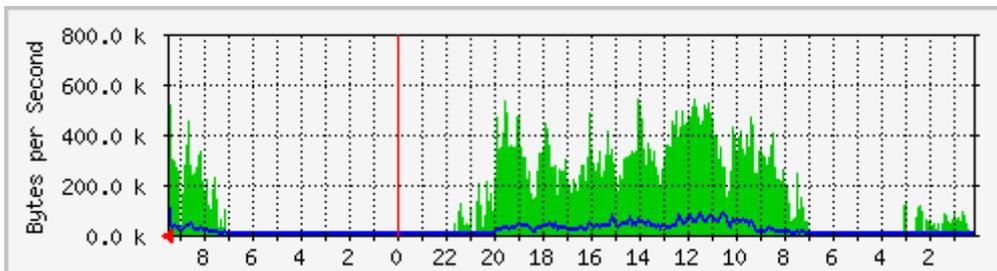
# Análisis de tráfico puerto GE 0/25 conexión cquimica - dmecanica

Description: GigabitEthernet0/25 enlace-dmecanicag0/25-cquimicag3/5

Max Speed: 125.0 MBytes/s

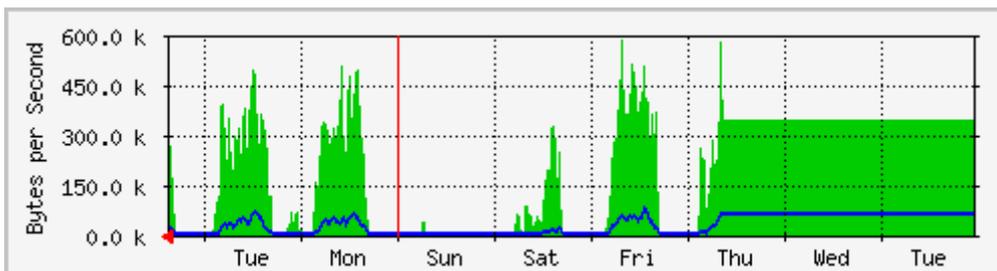
The statistics were last updated **Wednesday, 21 November 2007 at 9:34**, at which time 'dmecanica.epn.edu.ec' had been up for **0:02:58**.

## `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
In	782.5 kB/s (0.6%)	150.1 kB/s (0.1%)	782.5 kB/s (0.6%)
Out	168.5 kB/s (0.1%)	16.2 kB/s (0.0%)	168.5 kB/s (0.1%)

## `Weekly' Graph (30 Minute Average)

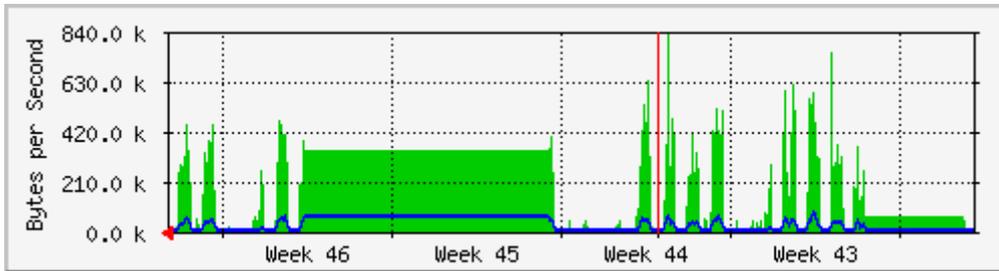


	Max	Average	Current
In	587.4 kB/s (0.5%)	191.1 kB/s (0.2%)	259.1 kB/s (0.2%)

**Out** 79.8 kB/s (0.1%) 28.2 kB/s (0.0%) 29.7 kB/s (0.0%)

---

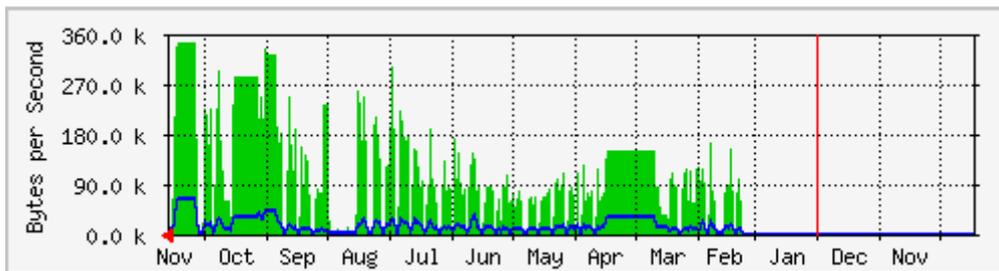
### `Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	836.2 kB/s (0.7%)	186.5 kB/s (0.1%)	472.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	79.9 kB/s (0.1%)	27.1 kB/s (0.0%)	145.0 B/s (0.0%)

---

### `Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	344.0 kB/s (0.3%)	113.3 kB/s (0.1%)	167.4 kB/s (0.1%)
<b>Out</b>	62.0 kB/s (0.0%)	15.0 kB/s (0.0%)	19.2 kB/s (0.0%)

---

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

---

[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungl.com>](mailto:dlr@bungl.com)

## Análisis de tráfico puerto GE 0/28 conexión cquimica - dsistemas

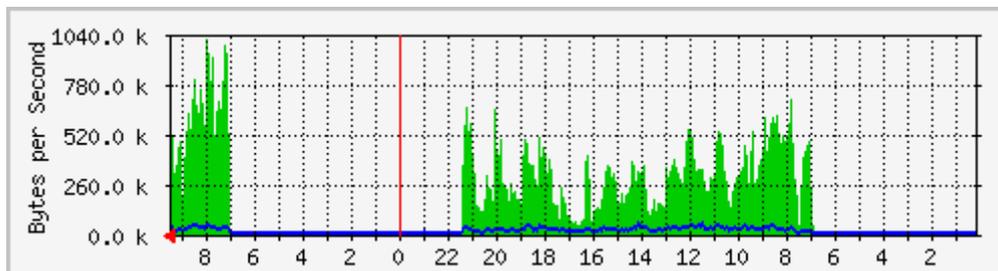
Description: GigabitEthernet0/28 enlace-dsistemasg0/28-cquimicag3/3

Max Speed: 125.0 MBytes/s

---

The statistics were last updated **Wednesday, 21 November 2007 at 9:34**, at which time '**dsistemas.epn.edu.ec**' had been up for **32 days, 21:51:20**.

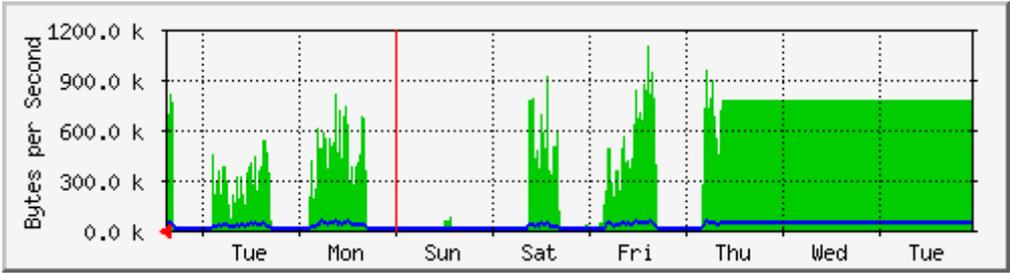
### `Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	1009.9 kB/s (0.8%)	184.8 kB/s (0.1%)	640.7 kB/s (0.5%)
<b>Out</b>	53.3 kB/s (0.0%)	14.4 kB/s (0.0%)	43.1 kB/s (0.0%)

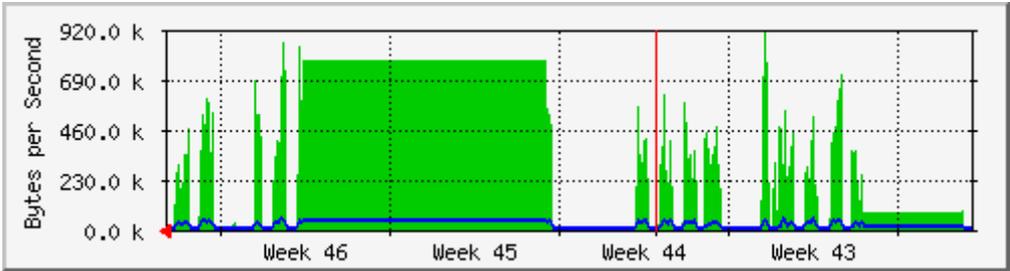
---

### `Weekly' Graph (30 Minute Average)



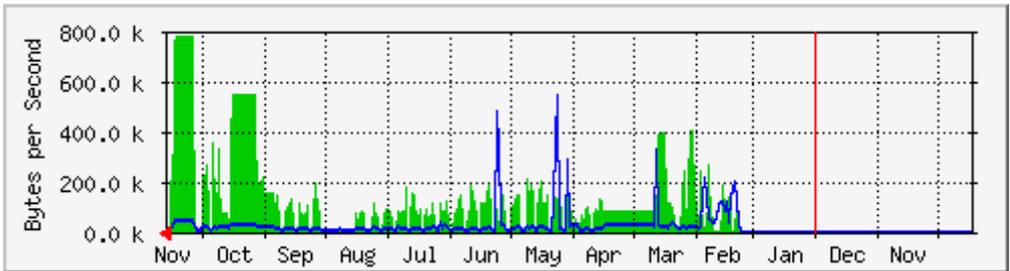
	Max	Average	Current
<b>In</b>	1100.0 kB/s (0.9%)	382.2 kB/s (0.3%)	502.4 kB/s (0.4%)
<b>Out</b>	52.2 kB/s (0.0%)	23.3 kB/s (0.0%)	31.4 kB/s (0.0%)

### 'Monthly' Graph (2 Hour Average)



	Max	Average	Current
<b>In</b>	911.5 kB/s (0.7%)	343.4 kB/s (0.3%)	1817.0 B/s (0.0%)
<b>Out</b>	47.4 kB/s (0.0%)	22.8 kB/s (0.0%)	694.0 B/s (0.0%)

### 'Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
--	-----	---------	---------

<b>In</b>	777.1 kB/s (0.6%)	143.4 kB/s (0.1%)	258.1 kB/s (0.2%)
<b>Out</b>	539.1 kB/s (0.4%)	29.2 kB/s (0.0%)	19.0 kB/s (0.0%)

---

**GREEN ###** Incoming Traffic in Bytes per Second

**BLUE ###** Outgoing Traffic in Bytes per Second

---

**MRTG** MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER

2.14.7

*[Tobias Oetiker <tobi@oetiker.ch>](mailto:tobi@oetiker.ch)  
and [Dave Rand <dlr@bungj.com>](mailto:dlr@bungj.com)*

# ANEXO REGULACIÓN

## 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.

# ANEXO

## MAPA TOPOGRÁFICO EPN

---

<sup>1</sup> La entrada en vigor de la nueva reglamentación depende de los cambios consiguientes que la próxima Conferencia de Plenipotenciarios efectúe en el número 1005 del Convenio.





SIMBOLOGIA	
ESQUEMA	DESCRIPCION
+	HIDRANTE O POSTE
o	POZO DE ALCANFILLADO
□	TAMA ETEL
•	ESTACION DE POLIGONO
BM	BM (BENEFICIACION)
+	PUNTO DE NIVEL REFERENCIAL

AREA TOTAL E.P.N. = 152,211.6 m2

PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION

PRIMER PLAN INTEGRAL DE DESARROLLO  
CONVENIO EPN - FONAPRE

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO  
DEL CAMPUS DE LA  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ING. SIMON ESPINOSA M. (PROYECTISTA)  
AV. LA REPUBLICA DEL SALVADOR #13 TEL: #2200

CONTENIDO:  
Levantamiento Topografico

Proyecto :	Fijación :
ING. SIMON ESPINOSA M. 01-17-3642	ING. HUGO YEPEZ    ING. PAUL GACHET

REVISIONES	FECHA	Revisión :
		ING. ANTONIO BENEÑO    ING. EFREN GALARRAGA

Topógrafo : WILLIAMS JACOME ROBALINO

FECHA:	ESCALA:	LAMA:
NOVIEMBRE/90	INDICADAS	14T

SELLOS MANUALES:

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO  
ESCALA 1 : 250

Ing.  
Ing.

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO Y FACTIBILIDAD DE UNA RED INALÁMBRICA ÓPTICA  
UTILIZANDO TECNOLOGÍA FSO PARA LA COMUNICACIÓN  
ENTRE LOS EDIFICIOS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA  
NACIONAL Y EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CHRISTIAN ANDRÉS CUENCA PAUTA  
JULIO CÉSAR PALACIO PACHECO**

**DIRECTOR: INGENIERO FABIÁN CORRAL**

**Quito, Marzo 2008**

**CUENCA PAUTA CHRISTIAN ANDRÉS  
PALACIO PACHECO JULIO CÉSAR**

**Marzo, 2008**