

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DPTO. CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA ÓPTICA BASADA EN LA TECNOLOGÍA FSO (FREE SPACE OPTICAL), PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DEL BACKBONE ACTUAL DE LA ESPE CAMPUS SANGOLQUI.**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**POR:**

JONATHAN HUGO LEÓN APOLO  
ROBERTO CARLOS VACA RON

**SANGOLQUÍ, 17 de Diciembre del 2008**

## **CERTIFICACION**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Srs. JONATHAN HUGO LEÓN APOLO Y ROBERTO CARLOS VACA RON como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA.

Sangolquí, 17 de Diciembre de 2008

---

ING. DIEGO MARCILLO

## DEDICATORIA

Mi Tesis dedico con amor y cariño, en primera instancia a mi DIOS, que me dio la oportunidad de vivir, protegiéndome de todo mal, de entregarme una familia maravillosa, y por haberme concedido la petición de mi corazón.

También a mis padres, que supieron brindarme todo el apoyo y el calor humano estando conmigo en todo momento. A mi padre que me enseñaste lo bueno y lo malo de la vida, a darme la fuerza para seguir adelante. A mi madre, que con sus preocupaciones me dio la posibilidad de brillar, y con sus oraciones día tras día, me supo proteger.

A mis hermanas, que a través de consejos me supieron guiar por ser mejor persona.

A mis abuelitos, porque siempre han sido un ejemplo, siendo un estímulo a querer vivir y sacarle todo el provecho a la vida.

Y a toda mi familia por el apoyo, carisma y cariño que siempre me entregan.

Ante esto. MIL GRACIAS.

JONATHAN LEÓN

## DEDICATORIA

Este triunfo se lo debo a los seres más importantes de mi vida, “mis padres” quienes día a día me han engrandecido con su bendición, me han educado y han hecho de mi un hombre de bien, gracias de todo corazón ya que con su sacrificio he podido culminar mi carrera, que Dios les bendiga siempre.

A mi hermana, a mi sobrino y a mi tío, que con su apoyo incondicional me han sabido apoyar en los buenos y malos momentos, a todos ustedes gracias, por brindarme las fuerzas para continuar, en la lucha de emprender mis sueños, e irlos cumpliendo uno por uno.

A mi novia, quien ha compartido mis triunfos, mis alegrías, mis angustias, por ser la persona que me supo respetar en mis decisiones y es un ser especial el cual me apoya incondicionalmente.

Finalmente, a mis familiares y amigos, doy gracias por permitirme compartir de su amistad y apoyo en todo momento.

GRACIAS DE TODO CORAZÓN

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos muy cordialmente a todas las personas quienes nos pudieron colaborar y que invirtieron su tiempo y conocimientos para ayudarnos en el desarrollo de nuestro proyecto de tesis.

A nuestros profesores, Director y Codirector, quienes nos supieron guiar, a través de sus conocimientos y consejos para que el desarrollo de nuestro proyecto sea el correcto.

Nuestros sinceros agradecimientos también a nuestro Coordinador de Carrera, por el apoyo y su entera predisposición para con nuestro proyecto.

JONATHAN LEÓN

ROBERTO VACA

# TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.1.1 Introducción .....	2
1.1.2 Justificación .....	3
1.1.3 Objetivos .....	3
4.1.1.1 Objetivo General .....	3
4.1.1.2 Objetivos Específicos .....	4
1.1.4 Alcance .....	4
1.1.5 Metodología .....	5
1.1.5.1 Investigación Aplicada .....	5
1.1.5.1.1 Definición .....	5
1.1.5.1.2 Clasificación .....	6
1.1.5.1.3 Análisis de la Investigación Aplicada en la Tecnología .....	9
1.1.6 Herramientas .....	10
<b>2. CAPÍTULO II</b> .....	<b>11</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	11
2.1.1 Principios Fundamentales de las Telecomunicaciones .....	11
2.1.1.1 Introducción .....	11
2.1.1.2 Definición .....	12
2.1.1.3 Elementos de Telecomunicación .....	12
2.1.1.4 Medios de Comunicación .....	13
2.1.1.4.1 Medios guiados .....	14
2.1.1.4.2 Medios no guiados .....	21
2.1.1.5 Modos de Transmisión de Datos .....	22
2.1.1.5.1 Paralelo .....	23
2.1.1.5.2 Serie .....	24
2.1.1.6 Formas de Transmisión de Datos .....	27
2.1.1.6.1 Simplex .....	27
2.1.1.6.2 Half-Duplex .....	28
2.1.1.6.3 Full-Duplex .....	29
2.1.1.7 Conceptos Generales .....	29
2.1.1.7.1 Atenuación .....	29
2.1.1.7.2 Intensidad eléctrica .....	30
2.1.1.7.3 Potencia eléctrica .....	31
2.1.1.7.4 Relación señal / ruido .....	33
2.1.1.7.5 Disponibilidad de una red .....	34
2.1.1.7.6 Ancho de Banda .....	35
2.1.1.7.7 Tasa de Transferencia .....	36
2.1.1.7.8 Sistema de Codificación Digital .....	38
2.1.1.7.9 Longitud de onda .....	39
2.1.1.7.1 Cálculo de la ganancia .....	39
2.1.1.8 Análisis .....	39

2.1.1.9	Proyección en la Actualidad .....	40
2.1.2	Comunicaciones Inalámbricas .....	41
2.1.2.1	Historia.....	41
2.1.2.2	Definición.....	43
2.1.2.3	Tipos.....	45
2.1.2.4	Problemas Asociados.....	49
2.1.2.5	Aplicaciones.....	50
2.1.3	Redes .....	51
2.1.3.1	Redes Cableadas.....	51
2.1.3.1.1	Red de Área Personal (PAN).....	51
2.1.3.1.2	Redes de Área Local (LAN).....	52
2.1.3.1.3	Red de Área Campus (CAN) .....	52
2.1.3.1.4	Redes de Área Extendida (WAN).....	53
2.1.3.1.5	Redes de Área Metropolitana (MAN) .....	55
2.1.3.2	Topología de redes .....	55
2.1.3.2.1	Topología bus .....	55
2.1.3.2.2	Topología estrella.....	56
2.1.3.2.3	Topología anillo.....	57
2.1.3.2.4	Topología malla.....	58
2.1.3.2.5	Topología árbol .....	60
2.1.3.3	Redes Inalámbricas.....	61
2.1.3.3.1	Introducción.....	61
2.1.3.3.2	Definición .....	63
2.1.3.3.3	Tipos.....	64
2.1.3.3.4	Características .....	72
2.1.3.3.5	Ventajas y Desventajas .....	73
2.1.3.3.6	Aplicaciones.....	76
2.1.4	Tecnología FSO (Free Space Optics).....	76
2.1.4.1	Introducción .....	76
2.1.4.2	Historia.....	77
2.1.4.3	Definición.....	78
2.1.4.4	Características .....	79
2.1.4.5	Funcionamiento.....	79
2.1.4.6	Equipos Ópticos Láser .....	80
2.1.4.6.1	Características .....	81
2.1.4.6.2	Enlace Óptico.....	84
2.1.4.6.3	Tipos de Modulación .....	87
2.1.4.6.4	Tipos de transmission.....	88
2.1.4.7	Ventajas y Desventajas .....	89
2.1.4.8	Aplicaciones.....	92
2.1.4.9	Seguridades de redes ópticas .....	97
2.1.5	Herramientas de Diseño y Simulación .....	98
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>99</b>
3.1	DESARROLLO.....	99
3.1.1	Situación Actual del Backbone de la ESPE campus Sangolquí.....	99
3.1.1.1	Análisis de la estructura del Backbone de la ESPE.....	99
3.1.1.1.1	Diseño de la Estructura del Backbone de la ESPE.....	99
3.1.1.1.2	Análisis del Backbone de la ESPE.....	100
3.1.1.2	Rendimiento del Backbone de la ESPE .....	105
3.1.1.3	Gráficas del rendimiento del Backbone actual. ....	107
3.1.2	Estudio de Factibilidad de Implantación de una Red Inalámbrica Óptica .....	110

3.1.2.1	Desarrollo .....	110
3.1.2.2	Resultados Obtenidos .....	115
3.1.2.3	Conclusiones y Recomendaciones .....	131
3.1.3	<b>Análisis y Diseño de la Estructura de la Red Inalámbrica Óptica a Implantar.....</b>	<b>133</b>
3.1.3.1	Distancias entre las Edificaciones de la ESPE .....	134
3.1.3.2	Análisis de la Red Inalámbrica Óptica.....	135
3.1.3.3	Diseño de la Red Inalámbrica Óptica.....	137
3.1.3.4	Análisis Económico .....	139
3.1.4	<b>Instalaciones de Equipos Láser Ópticos.....</b>	<b>143</b>
3.1.4.1	Características .....	143
3.1.4.2	Estructura .....	145
3.1.4.3	Instalación.....	148
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>155</b>
4.1.	<b>SIMULACION DE LA RED INALAMBRICA OPTICA.....</b>	<b>155</b>
4.1.1	Simulación del funcionamiento de la Red Inalámbrica Óptica en la Escuela Politécnica del Ejército. ....	155
4.1.1.1	Parámetros variables de la herramienta.....	155
4.1.1.2	Simulación de la nueva red inalámbrica óptica .....	156
4.1.2	Resultado de los porcentajes de mejora del rendimiento del Backbone actual de la Institución mediante la simulación de la red inalámbrica óptica. ...	164
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>171</b>
5.1	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>171</b>
5.1.1	Conclusiones .....	171
5.1.2	Recomendaciones .....	172
5.1.3	Bibliografía.....	173
	IDENTIFICACION PERSONAL .....	175
	IDENTIFICACION PERSONAL .....	176

## LISTADO DE TABLAS:

<b>Tabla Nº 3.1:</b> Utilización de canal de fibra óptica en el backbone de la ESPE ....	105
<b>Tabla Nº 3.2.-</b> Distribución de la población total .....	113
<b>Tabla Nº 3.3.-</b> Distribución de la Muestra a encuestar.....	114

## LISTADO DE CUADROS:

<b>Cuadro Nº 2.1:</b> Valores de disponibilidad.....	35
<b>Cuadro Nº 2.2:</b> Evolución de las Comunicaciones Inalámbricas .....	41
<b>Cuadro Nº 2.3:</b> Características principales de redes inalámbricas.....	71
<b>Cuadro Nº 3.1</b> Matriz de definición de preguntas .....	111
<b>Cuadro Nº 3.2.-</b> Comparaciones de costos de Equipos Láser Ópticos .....	140
<b>Cuadro Nº 3.3.-</b> Costos de implantación de la nueva red.....	141
<b>Cuadro Nº 3.4.-</b> Costos de implantación de la misma red con fibra óptica.....	142
<b>Cuadro Nº 3.5.-</b> Características del Equipo.....	143
<b>Cuadro Nº 3.6.-</b> Especificaciones de la Parte Trasera del Equipo óptico. ....	147

## LISTADO DE FIGURAS:

<b>Figura 2.1:</b> Elementos de la Telecomunicación.....	13
<b>Figura 2.2:</b> Ejemplo de un cable de par trenzado.....	14
<b>Figura 2.3:</b> Ejemplo de un par trenzado .....	15
<b>Figura 2.4:</b> Ejemplo de un cable de par trenzado no apantallado .....	15
<b>Figura 2.5:</b> Ejemplo de un cable de par trenzado apantallado .....	16
<b>Figura 2.6:</b> Ejemplo de un cable coaxial .....	17
<b>Figura 2.7:</b> Elementos que conforman un cable coaxial.....	17
<b>Figura 2.8:</b> Ejemplo los hilos de un cable de fibra óptica .....	18
<b>Figura 2.9:</b> Estructura de un cable de fibra óptica.....	18
<b>Figura 2.10:</b> Estructura de un cable de fibra óptica multimodo .....	19
<b>Figura 2.11:</b> Estructura de un cable de fibra óptica monomodo .....	20

<b>Figura 2.12:</b> Componentes de la fibra óptica.....	20
<b>Figura 2.13:</b> Transmisión en Paralelo .....	23
<b>Figura 2.14:</b> Transmisión en Serie .....	24
<b>Figura 2.15:</b> Transmisión Asíncrona .....	25
<b>Figura 2.16:</b> Transmisión Síncrona .....	26
<b>Figura 2.17:</b> Ejemplo de una forma de transmisión simplex .....	28
<b>Figura 2.18:</b> Ejemplo de una forma de transmisión half-duplex .....	28
<b>Figura 2.19:</b> Ejemplo de una forma de transmisión full-duplex .....	29
<b>Figura 2.20:</b> Señal binaria NRZ .....	38
<b>Figura 2.21:</b> Señal binaria RZ .....	38
<b>Figura 2.22:</b> Antena Direccional .....	44
<b>Figura 2.23:</b> Antena Omnidireccional .....	44
<b>Figura 2.25:</b> Comunicación mediante ondas de radio .....	46
<b>Figura 2.26:</b> Comunicación mediante microondas terrestres .....	46
<b>Figura 2.27:</b> Comunicación mediante infrarrojos .....	47
<b>Figura 2.28:</b> Ejemplo de una comunicación láser.....	49
<b>Figura 2.29:</b> Ejemplo de una red PAN .....	51
<b>Figura 2.30:</b> Ejemplo de una Red LAN.....	52
<b>Figura 2.31:</b> Ejemplo de una Red CAN .....	53
<b>Figura 2.32</b> Ejemplo de una Red WAN .....	54
<b>Figura 2.33</b> Ejemplo de una Red MAN.....	55
<b>Figura 2.34:</b> Ejemplo de una red en topología bus.....	56
<b>Figura 2.35:</b> Ejemplo de una red utilizando la topología estrella .....	57
<b>Figura 2.36:</b> Ejemplo de una red utilizando una topología anillo .....	58
<b>Figura 2.37:</b> Ejemplo de una red utilizando una topología malla .....	60
<b>Figura 2.38:</b> Ejemplo de una red utilizando una topología árbol .....	61
<b>Figura 2.39:</b> Diseño de un Red Inalámbrica.....	62
<b>Figura 2.40:</b> Estándares Inalámbricos.....	63
<b>Figura 2.41:</b> Red Inalámbrica de Área Personal .....	65
<b>Figura 2.42:</b> Red Inalámbrica de Área Local.....	66
<b>Figura 2.43:</b> Red Inalámbrica de Área Metropolitana.....	68
<b>Figura 2.44:</b> Generación de las Tecnologías de WWAN.....	70
<b>Figura 2.45:</b> Red Inalámbrica de Área Extendida.....	71

<b>Figura 2.46:</b> Velocidades y Coberturas de las Redes Inalámbricas .....	72
<b>Figura 2.47:</b> Ejemplo de la primera transmisión inalámbrica.....	77
<b>Figura 2.48:</b> Ejemplo de una red FSO.....	78
<b>Figura 2.49:</b> Estructura de un equipo FSO, transmisor y receptor .....	80
<b>Figura 2.50:</b> Esquema de un Sistema de Comunicación Óptico .....	85
<b>Figura 2.51:</b> Estructura de un tipo de transmisión directa con FSO .....	89
<b>Figura 2.52:</b> Estructura de un tipo de transmisión indirecta con FSO .....	89
<b>Figura 2.53:</b> Aplicación de una red FSO en una interconexión empresarial .....	92
<b>Figura 2.54:</b> Aplicación de una red FSO en un ISP.....	93
<b>Figura 2.55:</b> Aplicación de una red FSO en una red metropolitana.....	94
<b>Figura 2.56:</b> Aplicación de una red FSO en una red de telecomunicaciones .....	95
<b>Figura 2.57:</b> Aplicación de una red celular aplicando FSO .....	96
<b>Figura 2.58:</b> Aplicación de una red FSO en una red celular.....	97
<b>Figura 3.1:</b> Diseño del backbone de la ESPE .....	99
<b>Figura 3.2:</b> Gráfica del monitoreo realizado para la biblioteca. ....	107
<b>Figura 3.3:</b> Gráfica del monitoreo realizado para la UTICS.....	108
<b>Figura 3.4:</b> Gráfica del monitoreo realizado para el DCC.....	109
<b>Figura 3.5:</b> Representación de la Muestra en porcentaje.....	115
<b>Figura 3.6:</b> Estadística de la velocidad de transferencia.....	116
<b>Figura 3.7:</b> Calificación del servicio de la red.....	117
<b>Figura 3.8:</b> Implantación de una nueva red.....	118
<b>Figura 3.9:</b> Consideración del servicio de Internet .....	119
<b>Figura 3.10:</b> Satisfacción con los servicios de la red.....	120
<b>Figura 3.11:</b> Conveniencia del servicio de la red.....	121
<b>Figura 3.12:</b> Indicadores del funcionamiento de la red.....	122
<b>Figura 3.13:</b> Estadísticas de la Velocidad de transferencia.....	123
<b>Figura 3.14:</b> Calificación del servicio de la red.....	124
<b>Figura 3.15:</b> Implantación de una nueva red.....	125
<b>Figura 3.16:</b> Consideración del servicio de Internet .....	126
<b>Figura 3.17:</b> Satisfacción con los servicios de la red.....	127
<b>Figura 3.18:</b> Conveniencia del servicio de la red.....	128
<b>Figura 3.19:</b> Tipos de transmisión .....	129
<b>Figura 3.20:</b> Lugares donde se desearía el servicio de Internet .....	130

<b>Figura 3.21:</b> Estructura arquitectónica de la ESPE, según sus distancias .....	134
<b>Figura 3.22:</b> Especificación de distancias entre edificios de la ESPE .....	137
<b>Figura 3.23:</b> Especificación de distancias entre edificios de la ESPE .....	138
<b>Figura 3.24:</b> Esquema de conexión equipo ópticos.....	139
<b>Figura 3.25:</b> TereScope 5000/G.....	144
<b>Figura 3.26:</b> Parte frontal .....	145
<b>Figura 3.27:</b> Parte trasera .....	146
<b>Figura 3.28:</b> Montaje óptimo.....	149
<b>Figura 3.29:</b> Montaje no recomendable <sup>1</sup> .....	149
<b>Figura 3.30:</b> Montaje inaceptable .....	150
<b>Figura 3.31:</b> Vista 1 <sup>1</sup> .....	150
<b>Figura 3.32:</b> Vista 2 <sup>1</sup> .....	150
<b>Figura 3.33:</b> Vista 3 <sup>1</sup> .....	151
<b>Figura 3.34:</b> Vista 4 <sup>1</sup> .....	151
<b>Figura 3.35:</b> Vista 5 <sup>1</sup> .....	151
<b>Figura 3.36:</b> Vista 6 <sup>1</sup> .....	151
<b>Figura 3.37:</b> Plato para soporte.....	152
<b>Figura 3.38:</b> Dispositivo de alineamiento .....	152
<b>Figura 3.39:</b> Kit de herramientas .....	153
<b>Figura 3.40:</b> Montaje del transmisor.....	153
<b>Figura 3.41:</b> Alineamiento de las cámaras TS 5000.....	154
<b>Figura 4.1:</b> Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	155
<b>Figura 4.1:</b> Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	157
<b>Figura 4.2:</b> Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	159
<b>Figura 4.3:</b> Parámetros del equipo transmisor óptico.....	160
<b>Figura 4.4:</b> Parámetros del componente FSO.....	161
<b>Figura 4.5:</b> Parámetros del equipo receptor óptico .....	162
<b>Figura 4.6:</b> Parámetros del generador Gaussiano de pulsos ópticos.....	163
<b>Figura 4.7:</b> Parámetros del componente de recuperación de datos.....	163
<b>Figura 4.8:</b> Parámetros del componente de fibra multimodo.....	164
<b>Figura 4.9:</b> Resultado del medidor óptico.....	165
<b>Figura 4.10:</b> Resultados obtenidos por el analizador óptico de espectros .....	165
<b>Figura 4.11:</b> Resultados obtenidos por el BER (10 dB/km) .....	166

<b>Figura 4.12:</b> Resultados obtenidos por el BER (30 dB/km) .....	166
<b>Figura 4.13:</b> Resultados obtenidos por el BER (50 dB/km) .....	166
<b>Figura 4.14:</b> Resultados obtenidos por el BER (80 dB/km) .....	166
<b>Figura 4.15:</b> Resultados obtenidos por el BER (50 dB/km) .....	167

---

## RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto, constituye un estudio de factibilidad y Simulación de una red inalámbrica óptica, con la finalidad de mejorar el rendimiento del backbone actual de la ESPE. En virtud de que en la ESPE existen lugares donde los servicios de la red, no están disponibles, se ha visto la necesidad de solucionar estos inconvenientes.

El referido proyecto se desarrolló en dos etapas principalmente, en la primera, se efectúa un estudio de factibilidad por medio de encuestas, las cuales sirven para determinar los lugares donde se requieren los servicios de la red. Teniendo la ubicación de estos lugares, se efectúa el diseño de la nueva red inalámbrica óptica. En la segunda etapa, es la simulación, la cual a través de una herramienta simuladora, permite tomar resultados de rendimiento de lo que sería la implementación de la nueva red inalámbrica óptica.

Con estos resultados, se tendrán bases para estimar el rendimiento de la nueva red inalámbrica óptica, lo que permitirá realizar conclusiones y tomar decisiones, a cerca de los beneficios que brindara esta red, si en un futuro se hiciese la implementación física.

---

# 1. CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

### 1.1.1 Introducción

En la actualidad, a medida que la tecnología avanza; se han ido desarrollando diferentes maneras de transmitir información, razón por la cual la tendencia de los usuarios es utilizar una red que ofrezca una velocidad de transmisión de datos alta, para los clientes finales, con costos bajos de implementación.

Una de las soluciones ante esta demanda, es implementar tecnología inalámbrica ya que sirve como solución idónea en los casos en los que no se puede recurrir a una red cableada o para satisfacer las necesidades de gran movilidad, esto implica minimizar costos en cuanto cableado se refiere.

Hoy en día existen diferentes tipos de enlaces inalámbricos como radiofrecuencias, rayos infrarrojos, rayos láser, satélites y microondas.

En el presente estudio nos enfocamos en el análisis de las redes inalámbricas de exteriores (grandes distancias), específicamente en una nueva tecnología que ha surgido, a través de enlaces ópticos mediante la utilización de equipos láser.

Esta tecnología láser llamada también FSO (Free Space Optical) proporciona una transmisión Wireless punto a punto, infrarroja, láser, diseñada para interconectar dos puntos que tengan una línea de visión directa entre ellos, para cubrir las necesidades de conexión de última milla, con una velocidad hasta de 2.5 Gbps.

---

### **1.1.2 Justificación**

Hasta el presente año (2008), en el Ecuador no se han implementado las nuevas tecnologías en cuanto a redes inalámbricas se refiere, algunas de éstas son: Redes Inalámbricas utilizando Fibra Óptica (Wireless Optical), Redes Inalámbricas con tecnología Láser (Free Space Optical).

Debido a que en la Institución existen áreas que no están consideradas en la cobertura de la red actual, tanto cableada como inalámbrica; se contempla la importancia de este proyecto, ya que se requiere que exista parámetros de redundancia, calidad de servicio y disponibilidad en las áreas establecidas las cuales se desea integrar al backbone de la Institución.

Siendo este un proyecto de gran utilidad, y sobre todo innovador; enfocándonos principalmente en las necesidades institucionales, por mantener una comunicación continua; en lo que a envío y recepción de información se refiere.

### **1.1.3 Objetivos**

#### **4.1.1.1 Objetivo General**

Realizar un estudio de factibilidad y simulación de una Red Inalámbrica Óptica, para la ESPE Campus Sangolquí, que permita mejorar parámetros de redundancia, calidad de servicio y disponibilidad de acuerdo con las normas técnicas nacionales e internacionales, entre los nodos que conforman el backbone de la institución, mediante la utilización de tecnología inalámbrica óptica.

---

#### **4.1.1.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la situación actual del backbone de la ESPE Campus Sangolquí e integrar nuevos nodos que permitan brindar los servicios a través de una red inalámbrica óptica, para una conveniente implementación futura de la misma, entre los nodos integrados.
- Determinar la ubicación de los nodos de la red inalámbrica óptica que se integrarían al backbone actual de la ESPE campus Sangolquí en función de parámetros técnicos; la cual permita diseñar la estructura de la red inalámbrica óptica.
- Simular la estructura de la Red Inalámbrica Óptica mediante la utilización de herramientas que permitan determinar los parámetros de redundancia, calidad de servicio y disponibilidad.
- Dar a conocer los resultados de mejora del rendimiento del backbone actual de la Institución, que permitan dar mayor velocidad y soporte en los enlaces establecidos dentro de la red actual, a través de los cuales se realizan los requerimientos de comunicación.

#### **1.1.4 Alcance**

Con la realización del estudio de este proyecto para la ESPE campus Sangolquí, se aspira hacer una mejora de los parámetros como: redundancia, calidad de servicio y disponibilidad de los nodos que pertenecen al backbone actual de la institución; así como también brindar un servicio de comunicación a los nodos que por el momento no constan en el backbone actual de la misma. Teniendo como resultado una mejora significativa en cuanto a comunicación se refiere, por los servicios que se ofrece mediante la Red.

---

## 1.1.5 Metodología

Para el estudio del presente proyecto, nos basaremos en la metodología de la “Investigación Aplicada” la cual se refiere a una actividad que tiene por finalidad la búsqueda y consolidación del saber, y la aplicación de los conocimientos en la solución de problemas de comunicación, velocidad de transferencia y redundancia, siendo esta una investigación dirigida a la Escuela Politécnica del Ejército.

### 1.1.5.1 Investigación Aplicada

#### 1.1.5.1.1 Definición

La investigación aplicada es una actividad que tiene por finalidad la búsqueda y consolidación del saber, y la aplicación de los conocimientos para el enriquecimiento del acervo cultural y científico, así como la producción de tecnología al servicio del desarrollo integral de un país.

Dentro de esa concepción general, se pueden distinguir, a su vez, dos sentidos más específicos de dicha expresión:

#### ***La Investigación Aplicada:***

- a. Que incluye cualquier esfuerzo sistemático y socializado por resolver problemas o intervenir situaciones, aunque no sea programático; es decir, aunque no pertenezca a una trayectoria de investigaciones descriptivas y teóricas. En ese sentido se concibe como “*investigación aplicada*” tanto la innovación técnica, artesanal e industrial como la propiamente científica.

- 
- b. Que se tiene como única opción, considerar los estudios que explotan teorías científicas previamente validadas para la solución de problemas prácticos y el control de situaciones de la vida cotidiana. En este sentido sólo son “*Investigaciones Aplicadas*” las que se enmarcan dentro de una secuencia programática de búsquedas que tienen como núcleo el diseño de Teorías científicas.

#### 1.1.5.1.2 Clasificación

Se establece indicar que en la realidad la Investigación no se puede clasificar exclusivamente en algunos tipos; ya que generalmente en toda investigación se persigue un propósito señalado, se busca un determinado nivel de conocimiento y se basa en una estrategia particular o combinada.

Según el propósito o finalidades perseguidas:

- Básica
- Aplicada
- *Investigación básica*: llamada también “Investigación pura, teórica o dogmática”. Se caracteriza porque parte de un marco teórico y permanece en él; la finalidad radica en formular nuevas teorías o modificar las existentes, en incrementar los conocimientos científicos o filosóficos, pero sin contrastarlos con ningún aspecto práctico.
  
- *Investigación aplicada*: llamada también “Investigación práctica o empírica”. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada depende de los resultados y avances de la investigación básica, lo que permite que se encuentren estrechamente vinculadas; esto enfoca una realidad “Que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico”. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas.

---

Si una investigación involucra problemas tanto teóricos como prácticos, recibe el nombre de mixta. En realidad, un gran número de investigaciones participa de la naturaleza de las investigaciones básicas y de las aplicadas.

A la investigación aplicada se le denomina también activa o dinámica y se encuentra íntimamente ligada a la anterior ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad.

Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías.

Con todo lo definido ha cerca de la Investigación aplicada, se ha llegado a determinar en forma general que se refiere a la investigación que produce conocimientos. Partiendo del impacto “o aplicación” sobre algún sector productivo se tendría el conocimiento generado; lo cual se determina una clasificación de la Investigación Aplicada:

a. Investigación Aplicada Fundamental

Se entendería como aquella investigación relacionada con la generación de conocimientos en forma de teoría o métodos que se estima que en un período mediano podrían desembocar en aplicaciones al sector productivo. Dando un ejemplo, en la investigación realizada a ciertas cuestiones médicas, en las cuales se emprenden estos trabajos de investigación para tratar de conocer el mecanismo o los orígenes de cierta enfermedad o dolencia con el fin de poder combatirla posteriormente, aunque no se supiera, si llegaría a ser necesario el crear una cura total para este fin.

Los conocimientos de esta investigación también podrían, en lo inmediato, coadyuvar a la solución de otros problemas de investigación pura o aun de otros problemas de investigación aplicada básica. La investigación aplicada fundamental puede ser, a su vez, teórica, experimental, o una mezcla de ambas dependiente de la naturaleza de su trabajo y sus productos pueden ser artículos científicos

---

publicables, sobre todo si en su desarrollo no está involucrado el interés de una empresa.

b. Investigación Aplicada Tecnológica

Se entendería como aquella que genera conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo de bienes y servicios, ya sea con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente, o con el fin de obtener productos nuevos y competitivos en dicho sector.

Sus productos pueden ser prototipos y hasta eventualmente artículos científicos publicables. En el caso del ejemplo citado anteriormente, de la investigación médica, la investigación tecnológica se realizaría alrededor del desarrollo de un medicamento para la cura de una determinada dolencia. Se pretendería, evidentemente en este caso, que el medicamento fuera a dar al mercado.

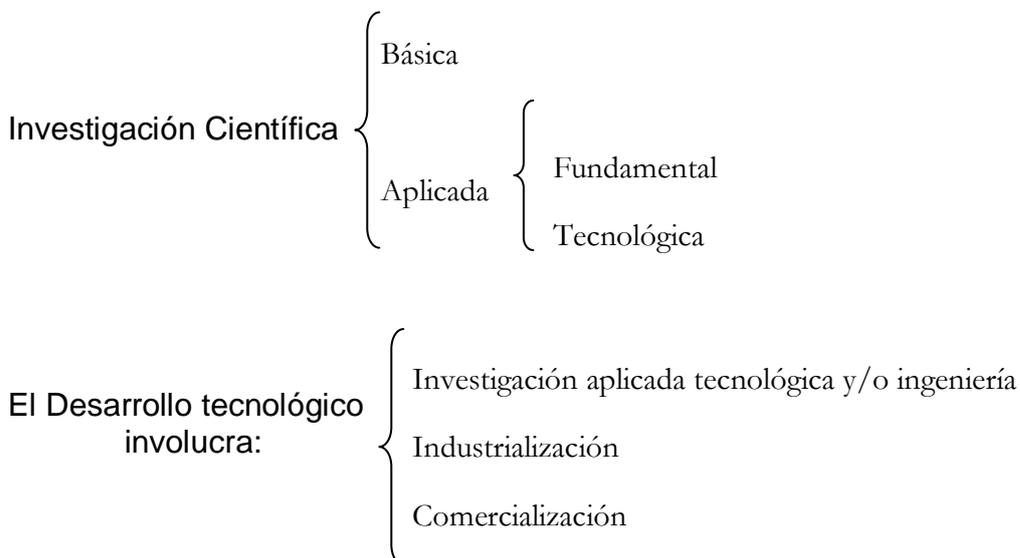
Dentro del contexto, si la aplicación del conocimiento no buscara acceder al sector productivo, se consideraría, o bien ingeniería o bien investigación aplicada fundamental. En este último caso podría considerarse, por ejemplo, el desarrollo de instrumentación sofisticada que contribuyera a la solución de algún otro problema de investigación aplicada, como cierta instrumentación utilizada para las naves de investigación espacial; también en este caso caería el desarrollo de instrumentación para actividades astronómicas.

La investigación tecnológica, se ha hecho muy a menudo a partir de la investigación básica de punta. Es bien conocido el caso de Japón, país que, sobre todo en el comienzo de su recuperación de posguerra, ha aprovechado la investigación básica de otros países con ese fin. En otros casos, la investigación tecnológica se ha hecho con base en la aplicación de conocimientos relativamente divulgados, es decir ingenieriles; como un ejemplo de esto, podría mencionarse la computadora personal o la mejora de procesos en la planta industrial.

Todavía, podría hacerse otra catalogación más, la de investigación científica académica, que sería la actividad que engloba tanto la investigación pura como la investigación aplicada básica cuando ésta se realiza en recintos universitarios.

---

A continuación se muestra un esquema de los tipos de las investigaciones, tratados en este capítulo:



### 1.1.5.1.3 Análisis de la Investigación Aplicada en la Tecnología

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones presentan unas particularidades que permiten su utilización para resaltar lo local, lo regional, en un mundo de imposiciones culturales, políticas y económicas globales. Es por ello, que el conocimiento de lo que son, de lo que implican, y de su uso, es decir, conocer las concepciones paradigmáticas e instrumentales se hace más que necesario, tanto para hacer un uso consciente de estas tecnologías como para promover un desarrollo social efectivo a través de ellas.

Enfocándonos en el concepto de investigación aplicada tiene su énfasis en la utilización del conocimiento científico de una o varias áreas del saber, en la observación, reflexión y en las acciones que se emprendan en torno a los problemas sociales de una región.

La investigación aplicada en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, más que profundizar y desarrollar la tecnología como tal, busca aprovechar sus posibilidades reales en el contexto local y regional, lo cual tiene una particular importancia en un departamento, tomando como ejemplo, el del Cauca-Colombia,

---

que por sus condiciones políticas, económicas y culturales, tienen significativas diferencias con respecto a los centros urbanos en lo correspondiente a infraestructura computacional y de telecomunicaciones, capacidades y conocimientos para la puesta en funcionamiento y operación de estas tecnologías, y habilidades para su manejo y aprovechamiento.

### 1.1.6 Herramientas

- ✓ **Documento de la estructura Backbone de la ESPE**, que permita el conocimiento de distribución de la red.
  
- ✓ **“Rotator Modelador de Estudios y Rotator Analizador Multidimensional – versión: edición básica”**: es un software diseñado para el modelaje, captura y análisis de información, teniendo como objetivo crear cuestionarios, formularios y encuestas.
  
- ✓ **“ConceptDraw - versión: 7.1.0”**: es un Software de Diseño, para efectuar la Estructura de la Red Inalámbrica Óptica.
  
- ✓ **OptiSystem – versión: 7.0**, software para la simulación del funcionamiento de la Red Inalámbrica Óptica.

---

## **2. CAPÍTULO II**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 Principios Fundamentales de las Telecomunicaciones**

##### **2.1.1.1 Introducción**

Existen varias versiones en la historia de cómo se inició las telecomunicaciones; Según los antepasados, los posibles predecesores en la mitología griega utilizaban varias maneras de comunicación, como por ejemplo las señales de humo. Con el pasar de los años y con el avance de la Tecnología se fueron creando varios métodos tecnológicos para las Telecomunicaciones.

A principios del siglo XIX se creó la Telegrafía, que es la transmisión a larga distancia de mensajes escritos sin el transporte físico de cartas, originalmente sobre cables. Esta telegrafía sin cables transmite mensajes usando la radio. Luego esta Telegrafía dio inicio a la denominada “Ingeniería de Telecomunicaciones”; la cual desde sus inicios ha estado profundamente unida a la electrónica de señal.

En los últimos años y aprovechándose del desarrollo en el campo de la informática, ha experimentado un auge muy notable, inventando nuevas ramas basadas en los sistemas digitales de emisión y recepción, como la telemática y la telefonía móvil o celular.

En General, con el objeto de satisfacer diferentes necesidades de comunicación, con el tiempo se han desarrollado diferentes Tipos de Sistemas de Telecomunicaciones.

Siguiendo un orden cronológico estarían:

- Telegrafía.
- Telefonía.
- Télex.

- 
- Redes de Datos, empleando ya sea conmutación de circuitos o conmutación de paquetes.
  - Redes de computadoras locales (LAN<sup>1</sup>) y de área amplia (WAN<sup>2</sup>).
  - Redes integradas de voz y datos.

### **2.1.1.2 Definición**

Telecomunicaciones es una rama de la ingeniería, que está proyectada a los problemas de transmisión y recepción de señales (voz, datos y video) e interconexión de redes. Cuando se habla del término “telecomunicación” se refiere a la comunicación a distancia. Esto incluye muchas tecnologías, como radio, televisión, teléfono, comunicaciones de datos y redes informáticas.

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU<sup>3</sup>) define que la Telecomunicación es todo lo relacionado con la emisión, transmisión y recepción de signos, señales, escritos e imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

### **2.1.1.3 Elementos de Telecomunicación**

Los elementos de un Sistema de Telecomunicación: son un emisor, un medio y un receptor.

- El Emisor.- es un dispositivo que transforma o codifica el mensaje en un fenómeno físico; la señal.
- El Medio de Transmisión.- por su naturaleza física, tiende a modificar o degradar la señal en su trayecto desde el emisor al receptor.

---

<sup>1</sup> Siglas en Inglés: *Local Area Network*

<sup>2</sup> Siglas en Inglés: *Wide Area Network*

<sup>3</sup> Siglas en Inglés: *Interantional Telecommunication Union*

- El Receptor.- puede requerir un mecanismo de decodificación para recuperar el mensaje a partir de la señal recibida; este mecanismo puede ser diseñado para tolerar una degradación de la señal significativa.

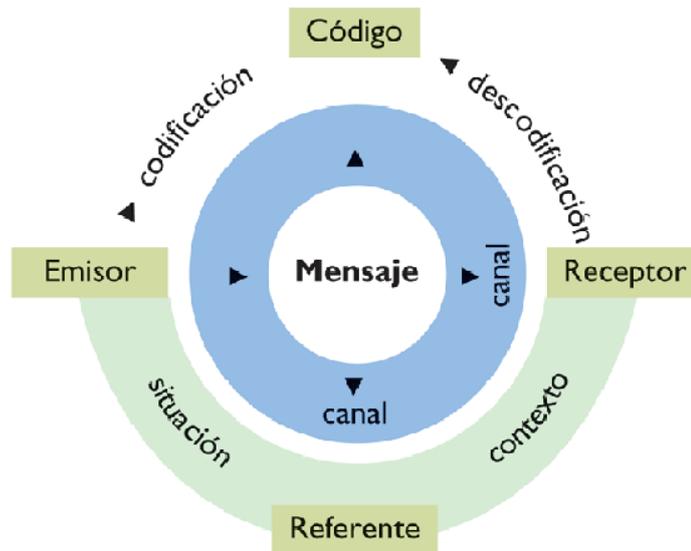


Figura 2.1: Elementos de la Telecomunicación<sup>1</sup>

En General la Telecomunicación se la puede efectuar de varias maneras: puede ser punto a punto, punto a multipunto o broadcast, que es una forma particular de punto a multipunto que va solamente desde el transmisor a los receptores.

#### 2.1.1.4 Medios de Comunicación

Se clasifican en dos grandes grupos:

- Guiados.
- No guiados.

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.kalipedia.com/lengua-castellana/tema/elementoscomunicacion.html?x=20070417klplyllec\\_3.Kes&ap=4](http://www.kalipedia.com/lengua-castellana/tema/elementoscomunicacion.html?x=20070417klplyllec_3.Kes&ap=4)

---

#### 2.1.1.4.1 Medios guiados



- **Cable de par trenzado**

El cable de par trenzado es una forma de conexión en la que dos conductores son entrelazados para cancelar las interferencias electromagnéticas (IEM) de fuentes externas y la diafonía de los cables adyacentes.

El entrelazado de los cables disminuye la interferencia debido a que el área de bucle entre los cables, el cual determina el acoplamiento magnético en la señal, es reducida. En la operación de balanceado de pares, los dos cables suelen llevar señales iguales y opuestas (modo diferencial), las cuales son combinadas mediante sustracción en el destino. El ruido de los dos cables se cancela mutuamente en esta sustracción debido a que ambos cables están expuestos a IEM similares.

Este tipo de cable, está formado por el conductor interno el cual está aislado por una capa de polietileno coloreado. Debajo de este aislante existe otra capa de aislante de polietileno la cual evita la corrosión del cable debido a que tiene una sustancia antioxidante.

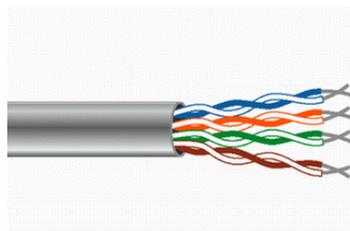


Figura 2.2: Ejemplo de un cable de par trenzado<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.monografias.com/trabajos28/manual-redes/manual-redes.shtml>

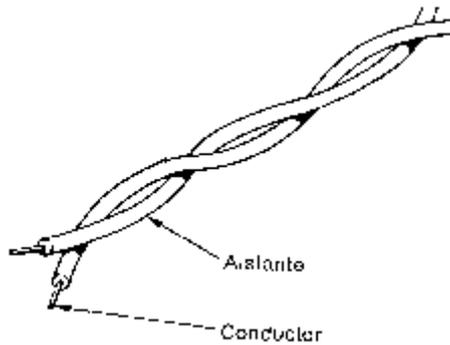


Figura 2.3: Ejemplo de un par trenzado<sup>1</sup>

- **Tipos de cable según su fabricación**

- **Apantallado (STP)**

Este tipo de cable se caracteriza porque cada par va recubierto por una malla conductora, la cual es mucho más protectora y de mucha más calidad que la utilizada en el UTP, es más costoso. Este tipo de cable se suele utilizar en instalaciones de procesos de datos.

Se presenta en la figura 2.4, el ejemplo de un cable STP:



Figura 2.4: Ejemplo de un cable de par trenzado no apantallado<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [members.fortunecity.es/sk8panchin/Trabajos/Equipo%206%20Cable%20y%20conexiones.htm](http://members.fortunecity.es/sk8panchin/Trabajos/Equipo%206%20Cable%20y%20conexiones.htm)  
<sup>2</sup>Referencia: [http://www.geocities.com/ingenieria\\_redes/principal1.htm](http://www.geocities.com/ingenieria_redes/principal1.htm)

---

- **No apantallado (UTP)**

Es el cable más simple. En comparación con el apantallado este, es más barato, además de ser fácil de doblar y pesar poco. Cuando se somete a altas temperaturas no es tan resistente a las interferencias del medio ambiente.

Se presenta en la figura 2.5, el ejemplo de un cable UTP:



**Figura 2.5:** Ejemplo de un cable de par trenzado apantallado<sup>1</sup>

Los cables UTP forman los segmentos de Ethernet y pueden ser cables rectos o cables cruzados dependiendo de su utilización.

- Cable recto
- Cable cruzado

- **Cable recto (pin a pin)**

Estos cables conectan un concentrador a un nodo de red (Hub, Nodo). Todos los pares de colores están conectados en las mismas posiciones en ambos extremos. La razón es que el concentrador es el que realiza el cruce de la señal.

---

<sup>1</sup> Referencia: [http://www.geocities.com/ingenieria\\_redes/principal1.htm](http://www.geocities.com/ingenieria_redes/principal1.htm)

---

- **Cable cruzado (cross-over)**

Este tipo de cable se utiliza cuando se conectan elementos del mismo tipo, dos enrutadores, dos concentradores, también se utiliza cuando conectamos 2 ordenadores directamente, sin que haya enrutadores o algún elemento a mayores.

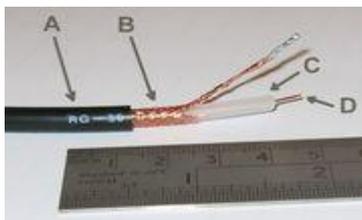
- **Cable coaxial**

Es un cable eléctrico formado por dos conductores concéntricos, uno central o núcleo, formado por un hilo sólido o trenzado de cobre (llamado positivo o vivo), y uno exterior en forma de tubo o vaina, y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio o bien por un tubo, en caso de cables semirrígidos. Este último produce un efecto de blindaje y además sirve como retorno de las corrientes. El primero está separado del segundo por una capa aislante.



Figura 2.6: Ejemplo de un cable coaxial<sup>1</sup>

En la siguiente figura se indica los elementos que conforman un cable coaxial:



- A: Cubierta protectora de plástico
- B: Malla de cobre
- C: Aislante
- D: Núcleo de cobre

Figura 2.7: Elementos que conforman un cable coaxial<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Referencia: [http://www.geocities.com/ingenieria\\_redes/principal1.htm](http://www.geocities.com/ingenieria_redes/principal1.htm)

<sup>2</sup> Referencia: <http://telecosenabcamedtransmision.blogspot.com/2008/05/cable-coaxial.html>

- **Fibra Óptica**

La fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna. Normalmente la luz es emitida por un láser o un LED.

Las fibras son ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a gran velocidad, mayor que las comunicaciones de radio y cable. Son el medio de transmisión inmune a las interferencias por excelencia. Tienen un costo elevado.



Figura 2.8: Ejemplo los hilos de un cable de fibra óptica<sup>1</sup>

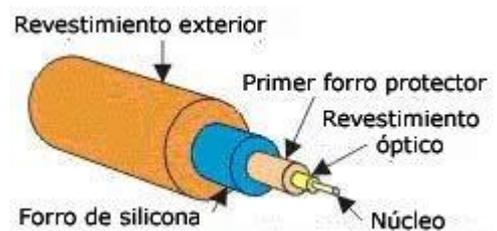


Figura 2.9: Estructura de un cable de fibra óptica<sup>2</sup>

- **Tipos de fibra óptica**

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

- **Fibra Multimodo**

Es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.taringa.net/posts/info/1040647/Fibra-Optica.html>

<sup>2</sup> Referencia: [http://www.iarnoticias.com/2008/noticias/norteamerica/0036\\_web\\_fibra\\_optica\\_20feb08.html](http://www.iarnoticias.com/2008/noticias/norteamerica/0036_web_fibra_optica_20feb08.html)

---

comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km; es simple de diseñar y económico. Su distancia máxima es de 2 km y usan diodos láser de baja intensidad.



Figura 2.10: Estructura de un cable de fibra óptica multimodo<sup>1</sup>

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

**Índice escalonado:** en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.

**Índice gradual:** mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales.

#### – Fibra monomodo

Es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 100 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gbps).

---

<sup>1</sup> Referencia: [http://www.geocities.com/ingenieria\\_redes/principal1.htm](http://www.geocities.com/ingenieria_redes/principal1.htm)



Figura 2.11: Estructura de un cable de fibra óptica monomodo<sup>1</sup>

En la siguiente figura se muestra todos los componentes de la fibra óptica:

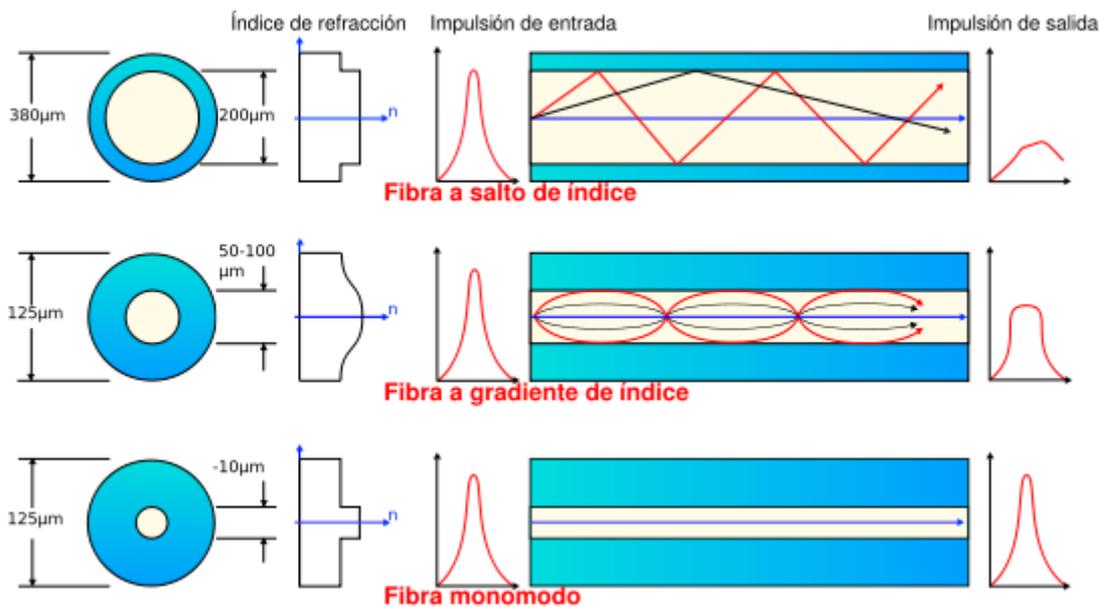


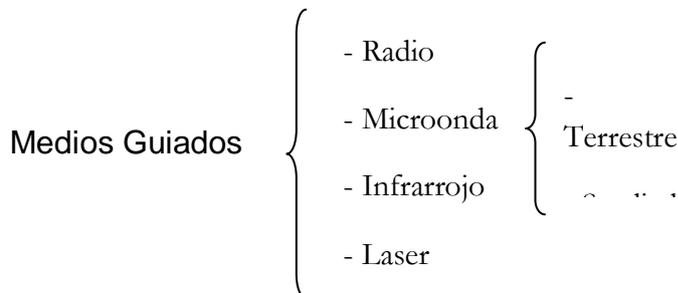
Figura 2.12: Componentes de la fibra óptica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Referencia: [http://www.geocities.com/ingenieria\\_redes/principal1.htm](http://www.geocities.com/ingenieria_redes/principal1.htm)

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.taringa.net/posts/info/1040647/Fibra-Optica.html>

---

#### 2.1.1.4.2 Medios no guiados



- **Radio**

Es aquella que emplea la radiofrecuencia como medio de unión de las diversas estaciones de la red, es usada en distintas empresas dedicadas al soporte de redes en situaciones difíciles para el establecimiento de cableado, como edificios antiguos no pensados para la ubicación de los diversos equipos componentes de una Red de ordenadores.

- **Microondas**

Es aquel que utiliza microondas como medio de transmisión. Se utilizan antenas parabólicas con un diámetro aproximado de unos tres metros que varían dependiendo de la frecuencia de operación del sistema.

- **Infrarrojos**

Las redes por infrarrojos permiten la comunicación entre dos nodos, usando una serie de leds infrarrojos para ello. Se trata de emisores/receptores de las ondas infrarrojas entre ambos dispositivos, cada dispositivo necesita "ver" al otro para realizar la comunicación por ello es escasa su utilización a gran escala.

---

Existen 3 tipos de infrarrojos:

- **En el modo punto-a-punto:** Los patrones de radiación del emisor y del receptor deben de estar lo más cerca posible y que su alineación sea correcta.
  - **Modo Cuasi-difuso:** Son de emisión radial cuando una estación emite una señal óptica, ésta puede ser recibida por todas las estaciones al mismo tiempo en la célula.
  - **Modo Difuso:** El poder de salida de la señal óptica de una estación, debe ser suficiente para llenar completamente el total del cuarto, mediante múltiples reflexiones, en paredes y obstáculos del cuarto
- **Laser**

Es aquel que transmite información por el espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que viajan a través de las fibras ópticas.

#### 2.1.1.5 Modos de Transmisión de Datos

Los modos de transmisión de datos se refiere al número de unidades de información (bits) elementales que se pueden traducir simultáneamente a través de los canales de comunicación. De hecho, los procesadores (y por lo tanto, los equipos en general) nunca procesan (en el caso de los procesadores actuales) un solo bit al mismo tiempo. Generalmente son capaces de procesar varios (la mayoría de las veces 8 bits: un byte) y por este motivo, las conexiones básicas en un equipo son conexiones paralelas.

La comunicación en los medios informáticos se realiza de dos maneras:

- Paralelo.
- Serie.

---

### 2.1.1.5.1 Paralelo

Las conexiones paralelas consisten en transmisiones simultáneas de  $N$  cantidad de bits<sup>1</sup>. Estos bits se envían simultáneamente a través de diferentes canales  $N$  (un canal puede ser, por ejemplo, un *alambre*, un cable o cualquier otro medio físico).

Los canales por los que se envían la información pueden ser:

- $N$  líneas físicas: en cuyo caso cada bit se envía en una línea física (motivo por el cual un cable paralelo está compuesto por varios alambres dentro de un cable cinta)
- Una línea física dividida en varios subcanales, resultante de la división del ancho de banda. En este caso, cada bit se envía en una frecuencia diferente.

Debido a que los alambres conductores están uno muy cerca del otro en el cable cinta, puede haber interferencias (particularmente en altas velocidades) y degradación de la calidad en la señal. En una forma general se indica en la siguiente figura, como se proyecta una transmisión en paralelo.



Figura 2.13: Transmisión en Paralelo <sup>2</sup>

Este tipo de transmisión tiene lugar en el interior de una maquina o entre maquinas cuando la distancia es muy corta. La principal ventaja de este modo de transmitir datos es la velocidad de transmisión y la mayor desventaja es el costo.

---

<sup>1</sup> Bit.- es la unidad más pequeña de información y la unidad base en comunicaciones

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

---

También puede llegar a considerarse una transmisión en paralelo, aunque se realice sobre una sola línea, al caso de multiplexación de datos (donde los diferentes datos se encuentran intercalados durante la transmisión).

### 2.1.1.5.2 Serie

En una conexión en serie, los n bits que componen un mensaje transmiten uno detrás de otro por la misma línea - canal de transmisión. Sin embargo, ya que muchos procesadores procesan los datos en paralelo, el transmisor necesita transformar los datos paralelos entrantes en datos seriales y el receptor necesita hacer lo contrario. Se muestra en la siguiente figura la forma como se realiza la transmisión en serie.



Figura 2.14: Transmisión en Serie <sup>1</sup>

A la salida de una máquina los datos en paralelo se convierten en datos en serie, los mismos se transmiten y luego en el receptor tiene lugar el proceso inverso, volviéndose a obtener los datos en paralelo. La secuencia de bits transmitidos es por orden de peso creciente y generalmente el último bit es de paridad.

Un aspecto fundamental de la transmisión serie es el sincronismo, entendiéndose como tal al procedimiento mediante el cual transmisor y receptor reconocen los ceros y unos de los bits de igual forma.

El sincronismo puede tenerse a nivel de bit, de byte o de bloque, donde en cada caso se identifica el inicio y finalización de los mismos.

Debido a los problemas que surgen con una conexión de tipo paralela, es muy común que se utilicen conexiones en serie. Sin embargo, ya que es un solo cable el que transporta la información, el problema es cómo sincronizar al transmisor y al

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

---

receptor. Dicho de otra manera, el receptor no necesariamente distingue los caracteres (o más generalmente, las secuencias de bits) ya que los bits se envían uno después del otro.

Dentro de la transmisión en serie existen dos formas que trata este problema:

- Síncrona.
- Asíncrona.

- **Transmisión Asíncrona**

La conexión asíncrona es cuando cada carácter se envía en intervalos de tiempo irregulares (por ejemplo, un usuario enviando caracteres que se introducen en el teclado en tiempo real). Así, por ejemplo, imagine que se transmite un solo bit durante un largo período de silencio... el receptor no será capaz de darse cuenta si esto es 00010000, 10000000 ó 00000100...

Para remediar este problema, cada carácter es precedido por información que indica el inicio de la transmisión del carácter (el inicio de la transmisión de información se denomina *bit de inicio-arranque*) y finaliza enviando información acerca de la finalización de la transmisión (denominada *bit de finalización-parada*, en la que incluso puede haber varios bits de finalización). La figura 2.15 muestra cómo se efectúa una transmisión asíncrona:

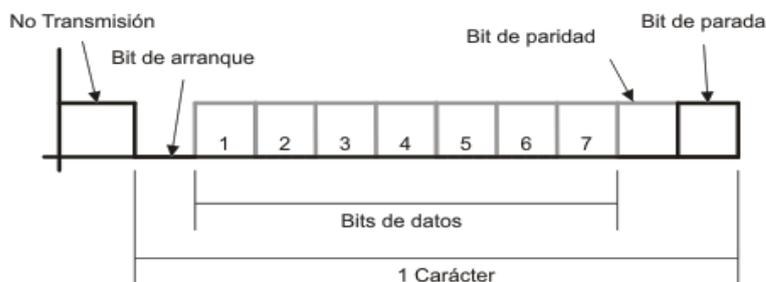


Figura 2.15: Transmisión Asíncrona <sup>1</sup>

A pesar de ser una forma comúnmente utilizada, la desventaja de la transmisión asincrónica es su bajo rendimiento, puesto que como lo indica la figura X, el carácter

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

---

tiene 7 bits pero para efectuar la transmisión se requieren 10. O sea que del total de bits transmitidos solo el 70% pertenecen a datos.

Características Básicas:

- No tiene temporización.
- Longitud de datos de 5 – 8 bits.
- Se sincroniza en c/número byte enviado.
- Distancias cortas.
- La transmisión es lenta.

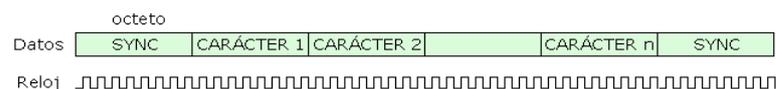
- **Transmisión Síncrona**

La conexión síncrona es cuando el transmisor y el receptor están sincronizados con el mismo reloj. El receptor recibe continuamente (incluso hasta cuando no hay transmisión de bits) la información a la misma velocidad que el transmisor la envía.

Es por este motivo que el receptor y el transmisor están sincronizados a la misma velocidad. Además, se inserta información suplementaria para garantizar que no se produzcan errores durante la transmisión.

En el transcurso de la transmisión sincrónica, los bits se envían sucesivamente sin que exista una separación entre cada carácter, por eso es necesario insertar elementos de sincronización; esto se denomina sincronización al nivel de los caracteres.

La figura 2.16 muestra cómo se efectúa una transmisión asíncrona:



**Figura 2.16:** Transmisión Síncrona <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm#la\\_comunicacion\\_serie](http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm#la_comunicacion_serie)

---

Cuando se transmite de manera síncrona lo primero que se envía es un octeto de sincronismo ("sync"). El octeto de sincronismo realiza la misma función que el bit de inicio en la transmisión asíncrona, indicando al receptor que va a ser enviado un mensaje. Este carácter, además, utiliza la señal local de reloj para determinar cuándo y con qué frecuencia será muestreada la señal, es decir, permite sincronizar los relojes de los dispositivos transmisor y receptor.

#### Características Básicas:

- Tiene temporización.
- Más eficiente que la transmisión asíncrona.
- Distancias grandes.
- La transmisión es rápida.

La principal desventaja de la transmisión sincrónica es el reconocimiento de los datos en el receptor, ya que puede haber diferencias entre el reloj del transmisor y el del receptor. Es por este motivo que la transmisión de datos debe mantenerse por bastante tiempo para que el receptor pueda distinguirla. Como resultado de esto, sucede que en una conexión sincrónica, la velocidad de la transmisión no puede ser demasiado alta.

### **2.1.1.6 Formas de Transmisión de Datos**

#### **2.1.1.6.1 Simplex**

También llamada simple o unidireccional, es una conexión en la que los datos fluyen en una sola dirección, desde el transmisor hacia el receptor. Este tipo de conexión es útil si los datos no necesitan fluir en ambas direcciones (por ejemplo: desde el equipo hacia la impresora o desde el ratón hacia el equipo). En las representaciones gráficas se utilizan los términos DTE<sup>1</sup> y DCTE<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> DTE.- Siglas en inglés "Data Terminal Equipment", Terminal de Equipos de Datos.

<sup>2</sup> DCTE.- Siglas en inglés "Data Circuit Terminating Equipment", Equipo de Finalización de Circuitos de datos

---

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la forma de transmisión simplex:

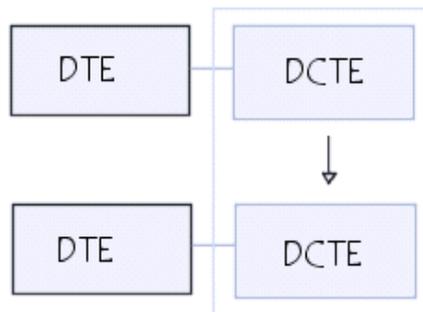


Figura 2.17: Ejemplo de una forma de transmisión simplex <sup>1</sup>

### 2.1.1.6.2 Half-Duplex

Llamada también llamado bidireccional, alternativa o semi-duplex, es una conexión en la que los datos fluyen en una u otra dirección, pero no las dos al mismo tiempo. Con este tipo de conexión, cada extremo de la conexión transmite uno después del otro. Este tipo de conexión hace posible tener una comunicación bidireccional utilizando toda la capacidad de la línea, por ejemplo: una comunicación por equipos de radio, solo uno podría transmitir (hablar), mientras el otro equipo está recibiendo (escuchando). En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la forma de transmisión half-duplex:

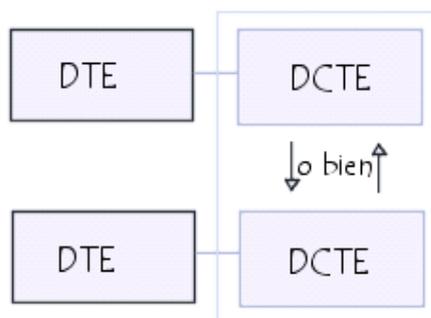


Figura 2.18: Ejemplo de una forma de transmisión half-duplex <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://es.kioskea.net/transmission/transintro.php3>

<sup>2</sup>Referencia: <http://es.kioskea.net/transmission/transintro.php3>

---

### 2.1.1.6.3 Full-Duplex

Es una conexión en la que los datos fluyen simultáneamente en ambas direcciones. Así, cada extremo de la conexión puede transmitir y recibir al mismo tiempo; esto significa que el ancho de banda se divide en dos para cada dirección de la transmisión de datos si es que se está utilizando el mismo medio de transmisión para ambas direcciones de la transmisión, por ejemplo: una video conferencia. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la forma de transmisión full-duplex:

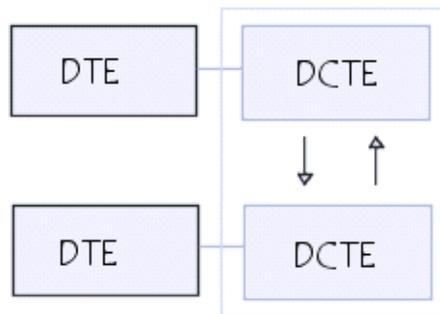


Figura 2.19: Ejemplo de una forma de transmisión full-duplex <sup>1</sup>

### 2.1.1.7 Conceptos Generales

#### 2.1.1.7.1 Atenuación

La atenuación ya sea de una señal acústica, eléctrica u óptica, es la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión.

Así, si introducimos una señal eléctrica con una potencia  $P_1$  en un circuito pasivo, como puede ser un cable, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito obtendremos una potencia  $P_2$ . La atenuación ( $\alpha$ ) será igual a la diferencia entre ambas potencias.

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://es.kioskea.net/transmission/transintro.php3>

---

No obstante, la atenuación no suele expresarse como diferencia de potencias sino en unidades logarítmicas como el decibelio<sup>1</sup>, de manejo más cómodo a la hora de efectuar cálculos.

La atenuación, en el caso del ejemplo anterior vendría, de este modo, expresada en decibelios por la siguiente fórmula:

Fórmula 2.1: 
$$\alpha = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}$$

### 2.1.1.7.2 Intensidad eléctrica

Antes de conceptualizar la Intensidad eléctrica, se definirá el concepto de “energía”.

Energía.- es la capacidad que tiene un mecanismo o dispositivo eléctrico cualquiera para realizar un trabajo.

#### **Intensidad Eléctrica**

Es la carga eléctrica que pasa a través de una sección del conductor en la unidad de tiempo.

Si la intensidad es constante en el tiempo se dice que la corriente es continua; en caso contrario, se llama variable. Si no se produce almacenamiento ni disminución de carga en ningún punto del conductor, la corriente es estacionaria.

Se mide con un galvanómetro que, calibrado en amperios, se llama “amperímetro” y en el circuito se coloca en serie con el conductor cuya intensidad se desea medir.

Si la intensidad permanece constante, en cuyo caso se denota  $I_m$ , utilizando incrementos finitos de tiempo se puede definir como:

Fórmula 2.2: 
$$I_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

---

<sup>1</sup> Decibelio.- unidad relativa empleada en Telecomunicaciones para expresar la relación entre 2 magnitudes eléctricas.

---

Donde:

**q** = es el valor de la carga (culombios).

**t** = es el tiempo (segundos).

Si la intensidad es variable la fórmula anterior da el valor medio de la intensidad en el intervalo de tiempo considerado.

Según la ley de Ohm<sup>1</sup>, la intensidad de la corriente es igual al voltaje dividido por la resistencia que oponen los cuerpos:

Fórmula 2.3: 
$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

**V** = tensión eléctrica.

**R** = Resistencia eléctrica.

### 2.1.1.7.3 Potencia eléctrica

Es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene.

La potencia se mide en joule por segundo (J/seg) y se representa con la letra “**P**”.

Un J/seg equivale a 1 watt (W), por tanto, cuando se consume 1 joule de potencia en un segundo, estamos gastando o consumiendo 1 watt de energía eléctrica.

La unidad de medida de la potencia eléctrica “**P**” es el “**watt**”, y se representa con la letra “**W**”.

#### **Tipos de Potencia:**

- Potencia en corriente continua / cargas activas (resistivas)

---

<sup>1</sup> Ley de Ohm.- define una propiedad específica de ciertos materiales por las que se cumple la relación: Voltaje=Intensidad \* resistencia

---

La potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo.

Para realizar el cálculo matemático, se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula 2.4: 
$$P = V \cdot I$$

Donde:

**I** = es el valor de la intensidad de corriente (amperios).

**V** = es el valor de la tensión (voltios).

Nota: Si observamos la Fórmula 2.4 expuesta anteriormente, veremos que el voltaje y la intensidad de la corriente que fluye por un circuito eléctrico, son directamente proporcionales a la potencia, es decir, si uno de ellos aumenta o disminuye su valor, la potencia también aumenta o disminuye de forma proporcional.

De ahí se deduce que, 1 watt (W) es igual a 1 ampere de corriente ( I ) que fluye por un circuito, multiplicado por 1 volt (V) de tensión o voltaje aplicado, tal como se representa a continuación.

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ ampere}$$

- Potencia en corriente alterna / cargas reactivas-inductivas

Para calcular la potencia de algunos tipos de equipos que trabajan con corriente alterna, es necesario tener en cuenta también el valor del factor de potencia o coseno ( $\text{Cos } \Phi$ ) que poseen. En ese caso se encuentran los equipos que trabajan con carga reactiva o inductiva, es decir, consumidores de energía eléctrica que para funcionar utilizan una o más bobinas o enrollado de alambre de cobre, como ocurre, por ejemplo, con los motores.

La fórmula para hallar la potencia de los equipos que trabajan con corriente alterna monofásica<sup>1</sup>, teniendo en cuenta su factor de potencia o  $\text{Cos } \Phi$  es la siguiente:

Fórmula 2.5: 
$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos} \varphi$$

---

<sup>1</sup> Monofásica.- es la corriente eléctrica alterna que circula por dos conductores, y también de los aparatos que se alimentan con esta clase de corriente.

---

Donde:

**I** = es el valor de la intensidad de corriente (amperio-A).

**V** = es el valor de la tensión (voltio-V).

**Cosφ** = coseno de "fi" o factor de potencia (menor que "1")

#### 2.1.1.7.4 Relación señal / ruido

También conocida por las siglas S/N<sup>1</sup> En primera instancia, se deben definir estos dos términos:

- Señal.- se refiere a todo estímulo que lleva una información significativa para construir un mensaje.
- Ruido.- a cualquier otro estímulo que acompaña a la señal dificultando la adecuada transmisión, almacenamiento y comprensión de la misma.

Las señales que componen los mensajes tienden a reducir el desorden, la entropía<sup>2</sup>, en tanto que el ruido tiende a incrementar el desorden y aumentar la entropía.

A la relación, o proporción, entre la intensidad de la señal y la intensidad del ruido que la acompaña, la denominamos relación "señal/ruido" y se la mide en dB, o decibeles. Esta unidad es logarítmica, lo que significa que un incremento de un dB en la relación, indica un aumento también logarítmico de la calidad. Una relación señal/ruido de 3 dB indica que la señal es mil veces más intensa que el ruido y una relación de 4 dB indica una señal diez mil veces más fuerte que el ruido.

En conclusión, si hay demasiado ruido en un circuito, la relación señal / ruido es baja. Si el circuito es de buena calidad, la relación señal / ruido será alta.

La existencia ruido es inevitable en cualquier equipo electrónico. Una electrónica refinada disminuye el nivel de ruido, puede disminuirlo tanto que no sea medible por ser comparable al ruido del equipo de medida, pero siempre existe ruido. Algo

---

<sup>1</sup> S/N.- siglas en inglés *Signal to Noise*

<sup>2</sup> Entropía.- magnitud termodinámica que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema.

---

parecido pasa con el sonido en el ambiente, es decir, por muchas condiciones de silencio que se den, siempre habrá ruido que será audible directamente o mediante métodos de amplificación. La fuente principal de ruido suele ser la fuente de alimentación del propio equipo.

#### 2.1.1.7.5 Disponibilidad de una red

En términos generales la disponibilidad es la capacidad de minimizar el tiempo de inactividad, maximizar el tiempo de actividad y generalmente proveer un alto nivel del servicio.

La disponibilidad se define como la relación entre el tiempo en que una unidad está funcional y el tiempo total.

Fórmula 2.6: 
$$A(\%) = 100 \cdot \frac{(\textit{T tiempo de uso efectivo})}{(\textit{T tiempo de uso Total})}$$

La disponibilidad de la red es el porcentaje de tiempo que el servicio es ofrecido a un lugar dado con la calidad requerida. La disponibilidad depende de la fiabilidad de los equipos, retrasos y salida del Sol.

Más precisamente, la disponibilidad de la red se puede expresar como:

$$\mathbf{Ared} = \mathbf{Asatelite} * \mathbf{Alink} * \mathbf{Atrx} * \mathbf{Arx}$$

Donde:

**Ared** = disponibilidad de la Red.

**Asatélite** = disponibilidad de satélite.

**Alink** = disponibilidad de enlace.

**Atrx** = disponibilidad del transmisor.

**Arx** = disponibilidad del receptor.

Los valores típicos de disponibilidad se indican en el siguiente cuadro:

**Cuadro 2.1:** Valores de disponibilidad

<b>Equipo</b>	<b>Disponibilidad (%)</b>
VSAT remoto	99.9
Tramo Espacial	99.95
Enlace	99.9
Hub central	99.999
<b>Red completa</b>	<b>99.7</b>

Una disponibilidad de la red del 99.7% implica que hay 26 horas de mal funcionamiento al año. De todas formas es común que el usuario no acepte una interrupción de más de 4 horas seguidas. Por tanto se deben implementar procedimientos adecuados para restaurar los fallos del equipo en el tiempo requerido.

#### **2.1.1.7.6 Ancho de Banda**

Ancho de Banda es la cantidad de información que puede fluir a través de una red en un periodo dado.

*Importancia:*

- Se encuentra limitada por razones físicas y tecnológicas.
- No es gratuita.
- Fundamental para el desempeño de la red.
- Los requerimientos del Ancho de Banda aumenta a gran velocidad.

El ancho de banda se mide en bps (*bits \* segundo*).

---

Para calcular el ancho de banda se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula 2.7: 
$$BW = \frac{S}{T}$$

Donde:

**S** = tamaño del paquete.

**T** = tiempo.

**BW** = ancho de banda.

*Un ejemplo:*

- *¿Cuál es el tiempo que necesito en transferir una información de 20MB, usando un ancho de banda de 128 Mbps?*

*Archivo:*

$$20MB \rightarrow 20Mbytes \rightarrow 20(1024) = 20480Kbytes \rightarrow 20480(1024) = 20,971,520bytes \rightarrow 20,971,520(8) = 167,772,160bits$$

*Ancho de Banda:*

$$128Mbps \rightarrow 128Mbits/segundos \rightarrow 128(1000) = 128000kpbs \rightarrow 128,000(1000) = 128,000,000bps$$

Utilizando la fórmula:

$$T = \frac{S}{BW} = \frac{167,772,160}{128,000,000} = 1.31072seg$$

#### 2.1.1.7.7 Tasa de Transferencia

La tasa de transferencia de datos corresponde a la velocidad media con que los datos son transferidos desde la red del ISP al usuario conectado a éste, durante períodos de tiempo determinados, medida en bits por segundo y presentada en tres parámetros: promedio, máxima, mínima.

Entre los datos que se mueven por la red, no sólo estarán los bits que conforman en contenido de la web, sino que además, hay numerosos elementos de control de datos y del protocolo. De este modo, para poder hacer un cálculo aproximado,

---

tendremos que considerar que por cada byte (8 bits) de contenido web a enviar, se enviarán en total unos 10 bits.

Hay proveedores que sólo cuentan el tráfico web, otros cuentan web + FTP + e-mail. El e-mail, como la transferencia por FTP también consume comunicaciones, pero salvo que se usen largas listas de correo, o se entreguen archivos para descargar mediante FTP, su volumen es escaso para ser tomado en cuenta.

En condiciones normales, una web envía más datos de los que recibe, por lo cual, hemos de contar con los datos enviados.

La transferencia de datos, se calcula del siguiente modo:

$$\text{días por mes} \times \text{visitas diarias} \times \text{páginas por visita} \times \text{volumen por página} \times 1,25$$

Supongamos un caso con las siguientes características:

- 100 visitas diarias.
- 4 páginas por visita.
- 100 KB por página, ¡gráficos inclusive!

El volumen de transferencia, sería el siguiente:

$$30 \times 100 \times 4 \times 100 \times 1,25 = 1.500.000 \text{ KB mensuales}$$

Como la unidad de medida para la transferencia de datos es el GB (GigaByte), fácilmente podemos hacer la conversión:

$$\begin{aligned} 1 \text{ GB} &= 1.024 \text{ MB} \\ 1 \text{ MB} &= 1.024 \text{ KB} \end{aligned}$$

En el ejemplo anterior, por tanto, el resultado final sería de:

$$1.500.000 \text{ KB mensuales} / 1024 / 1024 = 1,43 \text{ GB mensuales}$$

---

### 2.1.1.7.8 Sistema de Codificación Digital

En el caso de transmisión digital binaria, generalmente una codificación de línea es usada en el transmisor, para minimizar las ocurrencias de largas secuencias de 0s y 1s, buscando facilitar la recepción. Los esquemas de codificación más usuales son: códigos no Retorna al Cero (NRZ), códigos Retorna al Cero (RZ).

Se denomina **NRZ** porque el voltaje no vuelve a cero entre bits consecutivos de valor uno. Mediante la asignación de un nivel de tensión a cada símbolo se simplifica la tarea de codificar un mensaje.

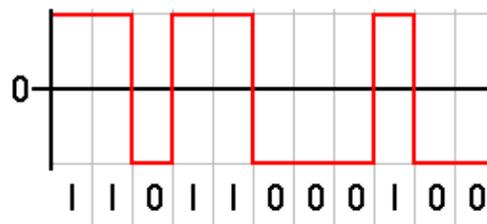


Figura 2.20: Señal binaria NRZ <sup>1</sup>

Mientras que **RZ** permite que la señal que representa a cada bit retorna a cero en algún instante dentro del tiempo del intervalo de bit.

Esta codificación tiene el problema de utilizar el doble de ancho de banda para conseguir transmitir la misma información que los Códigos NRZ.

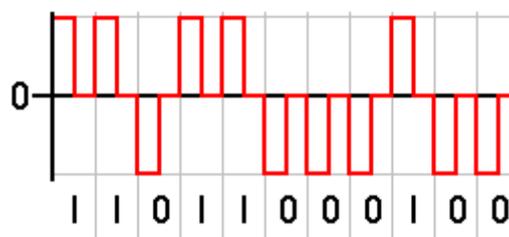


Figura 2.21: Señal binaria RZ <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Códigos\\_NRZ](http://es.wikipedia.org/wiki/Códigos_NRZ)

<sup>2</sup>Referencia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Códigos\\_RZ](http://es.wikipedia.org/wiki/Códigos_RZ)

---

### 2.1.1.7.9 Longitud de onda

La longitud de onda  $\lambda$  es inversamente proporcional a la frecuencia  $f$ , siendo ésta la frecuencia del movimiento armónico simple de cada una de las partículas del medio. (La longitud de onda no se debe confundir con la frecuencia angular ( $\omega$ )).

Fórmula 2.9: 
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $c$  es la velocidad de la onda, y  $f$  es la frecuencia. Para la luz y otras ondas electromagnéticas que viajan en el vacío, la constante  $c$  vale 299.792.458 m/s (186,282 millas/s) es la velocidad de la luz.

### 2.1.1.7.1 Cálculo de la ganancia

La ganancia normal de potencia, es la relación que existe entre la potencia de entregada de un transmisor y la potencia recibida de un receptor.

Fórmula 2.10: 
$$G = \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

En cambio, al hablar de ganancia en decibeles de potencia, se añade la palabra decibel (dB), la cual es una unidad de medida adimensional, y se calcula con la siguiente fórmula:

Fórmula 2.11: 
$$G' = 10 * \log_{10} (P_{sal} / P_{ent} )$$

### 2.1.1.8 Análisis

La rama de telecomunicaciones ayuda en forma directa al avance de la ciencia. Esta se mantiene como un aporte importante en la economía mundial,

---

según las estadísticas la Industria de las telecomunicaciones se ubica por debajo del 3% del producto bruto mundial.

Otro aspecto de las telecomunicaciones es la progresiva informatización de la actividad humana, posibilitando el crecimiento de las demás ramas del saber y actividad humanas. Si bien todavía tenemos casos donde muchos países no pueden solventarse redes de comunicaciones y otros donde se ejerce casi en su totalidad, el futuro es promisorio.

Los sistemas de comunicaciones están diseñados para comunicarse a través de órganos sensoriales humanos (principalmente los de percepción visual y percepción sonora), en los cuales se tiene en cuenta las características psicológicas y fisiológicas de la percepción humana, el ejemplo más común que podemos citar es el del sonido de la campanilla que escuchamos cuando llamamos por teléfono, si bien técnicamente no es necesario, sí lo necesita la persona que espera ser atendida.

Otro ejemplo, es la transmisión de televisión que utiliza la remanencia visual de los ojos para transmitir menos información, abaratando el costo de los receptores y transmisores. Lo mismo sucede con la telefonía celular y la comunicación por VoIP<sup>1</sup> utilizando internet como vínculo de bajo costo.

### **2.1.1.9 Proyección en la Actualidad**

En países del orden desarrollado, donde sus habitantes poseen un mayor poder adquisitivo per cápita, reclaman a las operadoras de telecomunicaciones una mayor calidad de servicio, tomando en cuenta sus altos costos, entre estos servicios están temas como: televisión de alta definición, vídeo sobre demanda, banda ancha en servicios de Internet, mayor calidad y sofisticación de telefonía celular, equipos de interface más sofisticados con más y mejores funciones, un ejemplo son los teléfonos celulares que hoy pueden incluir: captura de video, cámara fotográfica,

---

<sup>1</sup> VoIP.- Siglas en inglés *Voice over Internet Protocol*.- es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP.

---

variedad de tonos de alerta, vibrador, trunking, grabador de voz, internet por Wi-Max, agenda y capacidad de realizar pagos como una tarjeta de crédito.

En conclusión, dando una visión en cuanto a negocios, existe un pleno compromiso entre reducción de costes y las demandas de los usuarios de sistemas de gran calidad, lo que consiste en una importante consideración de cara al diseño de estos sistemas por parte de los grandes operadores de telecomunicaciones, los cuales tendrán una ardua labor; ya que deberán seguir indefectiblemente las regulaciones de los distintos gobiernos y de los organismos internacionales como la ITU.

## 2.1.2 Comunicaciones Inalámbricas

### 2.1.2.1 Historia

El simple hecho de ser seres humanos nos hace desenvolvernos en medios donde tenemos que estar comunicados. Por eso la gran importancia de la transmisión y la recepción de información, y en la época actual donde los computadores hacen parte de la cotidianidad, es necesario establecer medios de comunicación eficaces entre ellos.

En el siguiente cuadro se visualiza un resumen cronológico de las evoluciones de las comunicaciones inalámbricas:

**Cuadro 2.2:** Evolución de las Comunicaciones Inalámbricas <sup>1</sup>

---

<b>Antes del Nacimiento del Radio</b>	
1867	James Maxwell predice la existencia de ondas electromagnéticas (EM).
1887	Henry Rudolf Hertz probó la existencia de las ondas EM, transmitiendo la primera chispa genera una chispa en un receptor de varios metros de distancia.
1890	Branly desarrolla un dispositivo llamado “coherer” para detectar ondas de radio.

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://.....>

---

1896	Primera patente de los sistemas inalámbricos por Guglielmo Marconi, con su experimento acerca del empleo de ondas electromagnéticas para el telégrafo inalámbrico.
------	--

### **El nacimiento del Radio**

1897	“EL nacimiento del Radio”, Marconi autorizó la patente del telégrafo inalámbrico.
------	---

1897	La primera “Estación Marconi”, establecida en la isla Needles, para comunicarse con la costa inglesa.
------	---

1898	Marconi autorizó la patente inglesa N° 7777, para comunicación sintonizada.
------	---

1898	Se estableció la primera conexión del telégrafo inalámbrico entre Inglaterra y Francia.
------	---

### **Comunicación Transoceánica**

1901	Marconi transmite con éxito una señal de radio a través de Océano Atlántico desde Cornwall hasta Terranova.
------	---

1902	La primera comunicación bidireccional a través del Atlántico.
------	---

1905	Primera transmisión de voz y música vía enlace inalámbrico por Reginald Fessenden
------	---

1909	Marconi obtuvo el premio nobel de Física
------	--

1912	Hundimiento del Titanic destacando la importancia de las comunicaciones inalámbricas sobre las vías marítimas, en los años siguientes la marina comenzó a establecer los radios de telegrafía.
------	--

### **Voz sobre radio**

1914	Primera transmisión de voz sobre radio
------	--

1920s	Receptores móviles instalados en autos de policía en Detroit.
-------	---

1930s	Transmisores móviles desarrollados, equipos de radio ocupados por la mayor parte de los automóviles de policía.
-------	---

1935	Modulación de Frecuencia (FM), demostrada por Amstrong.
------	---

1940s	Mejora de los sistemas policíacos convertidos a FM.
-------	---

### **Nacimiento del teléfono móvil**

1946	Primera interconexión de usuarios móviles en telefonía pública conmutada PSTN.
------	--

1949	Se reconoce al radio móvil como una nueva clase de servicio.
------	--

1940s	Número de usuarios móviles superiores a 50 mil
-------	--

1950s	Número de usuarios móviles mayores a 500 mil
-------	--

1960s	Número de usuarios móviles mayores a 1.4 Millones
-------	---

1960s	Mejora del servicio de telefonía móvil que es imts (IMTS); apoyándose en full-duplex, auto-
-------	---

---

---

dial, y auto-trunking.

1976 Los teléfonos móviles Bell tiene 543 clientes, pagaban 12 canales en la ciudad de Nueva York; y tenían una lista de espera es 3700 personas, pero el servicio era deficiente debido al bloqueo por saturación de personas.

#### Telefonía celular móvil

1979 NTT / Japón despliega el primer sistema de comunicación celular

1983 Sistemas de Teléfonos Móviles Avanzados (AMPS, Advanced Mobile Phone System), desplegados en EE.UU. en banda de 900 MHz, que soporta 666 canales dúplex.

1989 El Grupo Especial Móvil define el estándar celular digital europeo GSM (Global System for Mobile Communication).

1991 EE.UU. introdujo el Sistema de Teléfonos Celulares Digitales.

1993 Se desplegó en EE.UU. el código de división de acceso múltiple (CDMA) de espectro extendido para sistemas celulares digitales.

1994 En EE.UU. se desarrolló el Sistema GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

#### PC's y otros

1995 FCC (Federal Communication Commission, Comisión Federal de Comunicación), subastó las frecuencias de Sistema de Comunicaciones Personales (PCS, Personal Communication System) en la banda 1,8 GHz para la telefonía móvil

1997 Número de usuarios de Teléfono Celulares en EE.UU. mayores a 50 Millones.

2000 Distribución de los servicios multimedia a través de FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System of third generation), IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

2010 Ancho de banda para Comunicación inalámbrica que soporten redes B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) y ATM (Asynchronous Transfer Mode).

+ 2010 Radio sobre fibra (así como micro celdas sobre fibra óptica)

---

### 2.1.2.2 Definición

La comunicación inalámbrica (wireless → sin cables) es el tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico, esto quiere decir que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión. En ese sentido, los dispositivos físicos sólo están

---

presentes en los emisores y receptores de la señal, como por ejemplo: Antenas, Laptops, PDAs, Teléfonos Celulares, etc.

Las transmisiones inalámbricas, en algunos casos se llevan a cabo la transmisión y la recepción por medio de antenas. Esto es se irradia energía electromagnética por medio de una antena y luego se recibe esta energía con otra antena.

Existen dos tipos de configuraciones, para las transmisiones inalámbricas:

- **Direccional.**- es cuando toda la energía se concentra en un haz que es emitido en una cierta dirección, por lo tanto las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas.
- **Omnidireccional.**- es cuando la energía es dispersada en múltiples direcciones, por lo que varias antenas pueden captarla. Es decir se crea un diagrama de radiación de la antena principal, el cuál es más disperso lo que permite que la señal pueda ser recibida por varias antenas.

Como se mencionó anteriormente los tipos de configuraciones de las transmisiones inalámbricas, se efectúan utilizando antenas, éstas pueden ser:

- Antena Direccional (o directivas)



Figura 2.22: Antena Direccional

- o Orientan la señal en una dirección muy determinada con un haz estrecho pero de largo alcance. Una antena direccional actúa de forma parecida a un foco que emite un haz concreto y estrecho pero de forma intensa (más alcance).

El alcance de una antena direccional viene determinado por una combinación de los dBi de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor.

- Antena Omnidireccional



Figura 2.23: Antena Omnidireccional <sup>2</sup>

- o Orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio pero de corto alcance. Si una antena direccional sería como un foco, una antena omnidireccional sería como una bombilla emitiendo luz en todas direcciones pero con una intensidad menor que la de un foco, es decir, con menor alcance.

El alcance de una antena omnidireccional viene determinado por una combinación de los dBi de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor. A mismos dBi, una antena sectorial o direccional dará mejor cobertura que una omnidireccional.

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.34t.com/Unique/wiFiAntenas.asp>

<sup>2</sup>Referencia: <http://www.34t.com/Unique/wiFiAntenas.asp>

---

– Antena Sectorial



Figura 2.24: Antena Sectorial <sup>1</sup>

- Son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. La intensidad (alcance) de la antena sectorial es mayor que la omnidireccional pero algo menor que la direccional. Siguiendo con el ejemplo de la luz, una antena sectorial sería como un foco de gran apertura, es decir, con un haz de luz más ancho de lo normal.

Para tener una cobertura de 360° (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) deberemos instalar o tres antenas sectoriales de 120° ó 4 antenas sectoriales de 80°. Las antenas sectoriales suelen ser más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales.

### 2.1.2.3 Tipos

Según el rango de frecuencias utilizado para transmitir, el medio de transmisión pueden ser las ondas de radio, las microondas terrestres o por satélite, y los infrarrojos, por ejemplo. Dependiendo del medio, la red inalámbrica tendrá unas características u otras:

- **Ondas de radio:** las ondas electromagnéticas son omnidireccionales, así que no son necesarias las antenas parabólicas. La transmisión no es sensible a las atenuaciones producidas por la lluvia ya que se opera en frecuencias no demasiado elevadas. En este rango se encuentran las bandas de la ELF que va de 3 a 30 Hz, hasta la banda UHF que va de los 300 a los 3000 MHz, es decir, comprende el espectro radioeléctrico de 30 - 3000000 Hz.

Los dispositivos inalámbricos que permiten la constitución de estas comunicaciones utilizan diversos protocolos como el Wi-Fi: El estándar IEEE 802.11. El cual es para las redes inalámbricas, al igual que Ethernet para las redes de área local (LAN) cableadas. Además del protocolo 802.11 del IEEE existen otros estándares como el HomeRF, Bluetooth y ZigBee.

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.34t.com/Unique/wiFiAntenas.asp>



Figura 2.25: Comunicación mediante ondas de radio <sup>1</sup>

- **Microondas terrestres: (de 1 a 300 GHz)** se utilizan antenas parabólicas con un diámetro aproximado de unos tres metros que varían dependiendo de la frecuencia de operación del sistema. Tienen una cobertura de kilómetros, pero con el inconveniente de que el emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Por eso, se acostumbran a utilizar en enlaces punto a punto en distancias cortas hasta un máximo de 140 km. En este caso, la atenuación producida por la lluvia es más importante ya que se opera a una frecuencia más elevada. Las microondas comprenden las frecuencias desde 1 hasta 300 GHz.



Figura 2.26: Comunicación mediante microondas terrestres <sup>2</sup>

- **Microondas por satélite:** se hacen enlaces entre dos o más estaciones terrestres que se denominan estaciones base. El satélite recibe la señal (denominada señal ascendente) en una banda de frecuencia, la amplifica y

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.astromia.com/fotohistoria/fotos/radiotelescopio.jpg>

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.ciberhabitat.gob.mx/museo/cerquita/redes/medios/aire.htm>

---

la retransmite en otra banda (señal descendente). Cada satélite opera en unas bandas concretas. Las fronteras frecuenciales de las microondas, tanto terrestres como por satélite, con los infrarrojos y las ondas de radio de alta frecuencia se mezclan bastante, así que pueden haber interferencias con las comunicaciones en determinadas frecuencias.

El protocolo más frecuente para las microondas es el IEEE 802.11b y transmite a 2.4 GHz, alcanzando velocidades de 11 Mbps (Megabits por segundo). Otras redes utilizan el rango de 5,4 a 5,7 GHz para el protocolo IEEE 802.11<sup>a</sup>

- **Infrarrojos:** se enlazan transmisores y receptores que modulan la luz infrarroja no coherente. Deben estar alineados directamente o con una reflexión en una superficie. No pueden atravesar las paredes. Los infrarrojos van desde 300 GHz hasta 384 THz.



Figura 2.27: Comunicación mediante infrarrojos <sup>1</sup>

Existen 3 Tipos de comunicaciones por infrarrojos:

- **En el modo punto-a-punto:** Los patrones de radiación del emisor y del receptor deben de estar lo más cerca posible y que su alineación sea correcta. El modo punto-a-punto requiere una línea-de-visión entre las dos estaciones a comunicarse. Este modo, es usado para la implementación de redes Inalámbricas Infrarrojas Token-Ring.

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.ciberhabitat.gob.mx/museo/cerquita/redes/medios/aire.htm>

- 
- **Modo Cuasi-difuso:** Son de emisión radial, es decir, cuando una estación emite una señal óptica, ésta puede ser recibida por todas las estaciones al mismo tiempo en la célula. En el modo cuasi-difuso las estaciones se comunican entre si, por medio de superficies reflectantes. No es necesaria la línea-de-visión entre dos estaciones, pero sí deben de estarlo con la superficie de reflexión. Además es recomendable que las estaciones estén cerca de la superficie de reflexión, ésta puede ser pasiva ó activa.

En las células basadas en reflexión pasiva, el reflector debe de tener altas propiedades reflectivas y dispersivas, mientras que en las basadas en reflexión activa se requiere de un dispositivo de salida reflexivo, conocido como satélite, que amplifica la señal óptica. La reflexión pasiva requiere más energía, por parte de las estaciones, pero es más flexible de usar.

- **Modo Difuso:** El poder de salida de la señal óptica de una estación, debe ser suficiente para llenar completamente el total del cuarto, mediante múltiples reflexiones, en paredes y obstáculos del cuarto. Por lo tanto la línea-de-vista no es necesaria y la estación se puede orientar hacia cualquier lado. El modo difuso es el más flexible, en términos de localización y posición de la estación, sin embargo esta flexibilidad esta a costa de excesivas emisiones ópticas.

Por otro lado la transmisión punto-a-punto es el que menor poder óptico consume, pero no debe de haber obstáculos entre las dos estaciones. Es más recomendable y más fácil de implementar el modo de radiación cuasi-difuso. La tecnología infrarroja esta disponible para soportar el ancho de banda de Ethernet, ambas reflexiones son soportadas (por satélites y reflexiones pasivas).

- **Láser:** Este tipo de comunicación transmite información por el espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que viajan a través de las fibras ópticas. Permite conectar edificios cercanos entre sí (punto a punto), de una forma barata y sencilla, en áreas metropolitanas densamente pobladas, al no tener que hacer prácticamente ninguna obra.

Permite conectar redes que se encuentran separadas desde unos pocos metros hasta 4 o 5 kilómetros. Esta tecnología utiliza el espectro no licenciado mediante rayos de luz infrarroja y se pueden alcanzar velocidades de hasta 1500 Mbps.

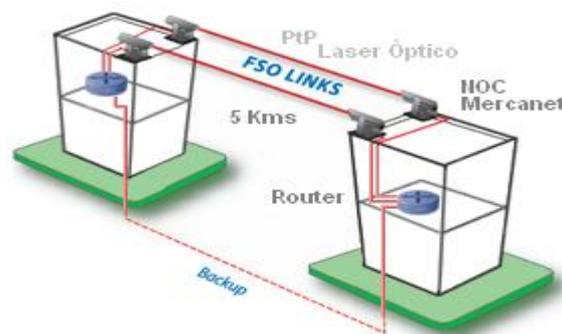


Figura 2.28: Ejemplo de una comunicación láser<sup>1</sup>

#### 2.1.2.4 Problemas Asociados

Los hornos de microondas utilizan radiaciones en el espectro de 2.45 Ghz. Es por ello que las redes y teléfonos inalámbricos que utilizan el espectro de 2.4 Ghz. pueden verse afectados por la proximidad de este tipo de hornos, que pueden producir interferencias en las comunicaciones.

Otras veces, este tipo de interferencias provienen de una fuente que no es accidental. Mediante el uso de un perturbador o inhibidor de señal se puede dificultar e incluso imposibilitar las comunicaciones en un determinado rango de frecuencias.

<sup>1</sup> Referencia:

---

### 2.1.2.5 Aplicaciones

- Mediante las microondas terrestres, existen diferentes aplicaciones basadas:
  - En protocolos como Bluetooth o ZigBee para interconectar ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos u otros aparatos.
  - Se utiliza en enlaces punto a punto a cortas distancias entre edificios.
  - También se utilizan las microondas para comunicaciones con radares (detección de velocidad u otras características de objetos remotos) y para la televisión digital terrestre.
- En cuanto a los aplicativos de microondas por satélite están:
  - La difusión de televisión por satélite
  - Transmisión telefónica a larga distancia y en redes privadas.
- Los infrarrojos tienen aplicaciones como:
  - La comunicación a corta distancia de los ordenadores con sus periféricos.
  - También se utilizan para mandos a distancia, ya que así no interfieren con otras señales electromagnéticas, por ejemplo la señal de televisión.
  - Uno de los estándares más usados en estas comunicaciones es el IrDA (*Infrared Data Association*).
  - Otros usos que tienen los infrarrojos son técnicas como la termografía, la cual permite determinar la temperatura de objetos a distancia.
- Las ondas de radio también tienen algunas aplicaciones como:
  - Cubre la radio comercial FM<sup>1</sup>, así como televisión UHF<sup>2</sup> y VHF<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> FM.- Siglas en Inglés: *Frequency modulation*

<sup>2</sup> UHF.- Siglas en Inglés: *Ultra high Frequency*

<sup>3</sup> VHF.- Siglas en Inglés: *Very high Frequency*

- Se utiliza para una serie de aplicaciones de redes de datos.

### 2.1.3 Redes

Existen dos grandes grupos: redes cableadas y redes inalámbricas

#### 2.1.3.1 Redes Cableadas

##### 2.1.3.1.1 Red de Área Personal (PAN)<sup>1</sup>

Es una red pequeña de corto alcance, las cuales puedan estar conformadas por un máximo de 8 computadores, puede ser usada también para interconectar dispositivos con el computador tales como mouse, impresora, cámaras digitales, etc., a través de buses de datos como por ejemplo: USB y FireWire.



Figura 2.29: Ejemplo de una red PAN <sup>2</sup>

<sup>1</sup> PAN.- Siglas en inglés Personal Area Network

<sup>2</sup> Referencia: <http://members.fortunecity.es/sk8panchin/Trabajos/Equipo%20%20Cable%20y%20conexiones.htm>

---

### 2.1.3.1.2 Redes de Área Local (LAN)<sup>1</sup>

Las redes de área local son aquellas que se utilizan generalmente en las empresas. Son redes pequeñas, entendiendo como pequeñas las redes de una oficina o de un edificio. Debido a sus limitadas dimensiones, son redes muy rápidas en las cuales cada estación se puede comunicar con el resto. Están restringidas en tamaño, lo cual simplifica la administración de la red.

Suelen emplear tecnología de difusión mediante un cable sencillo (coaxial o UTP) al que están conectadas todas las máquinas. Operan a velocidades entre 10 y 100 Mbps.

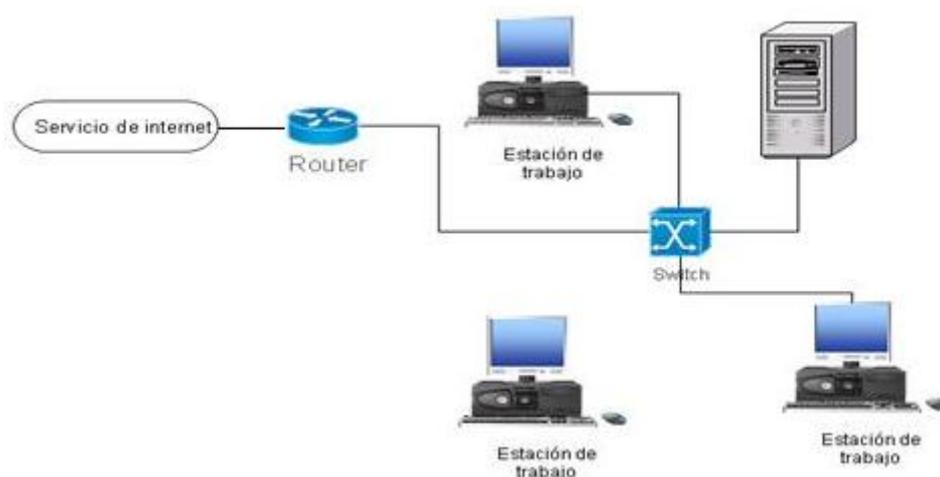


Figura 2.30: Ejemplo de una Red LAN<sup>2</sup>

### 2.1.3.1.3 Red de Área Campus (CAN)<sup>3</sup>

Una CAN es la unión de varias LAN<sup>1</sup> dispersadas geográficamente dentro de un campus universitario, oficinas de gobierno o industrias, pertenecientes a una misma entidad en un área delimitada en kilómetros.

---

<sup>1</sup> LAN.- Siglas en inglés Local Area Network

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.air-stream.org.au/wan>

<sup>3</sup> CAN.-Siglas en inglés Campus Area Network

---

Una CAN utiliza comúnmente tecnologías tales como FDDI<sup>2</sup> y Gigabit Ethernet<sup>3</sup> para conectividad a través de medios de comunicación tales como fibra óptica y espectro disperso<sup>4</sup>.

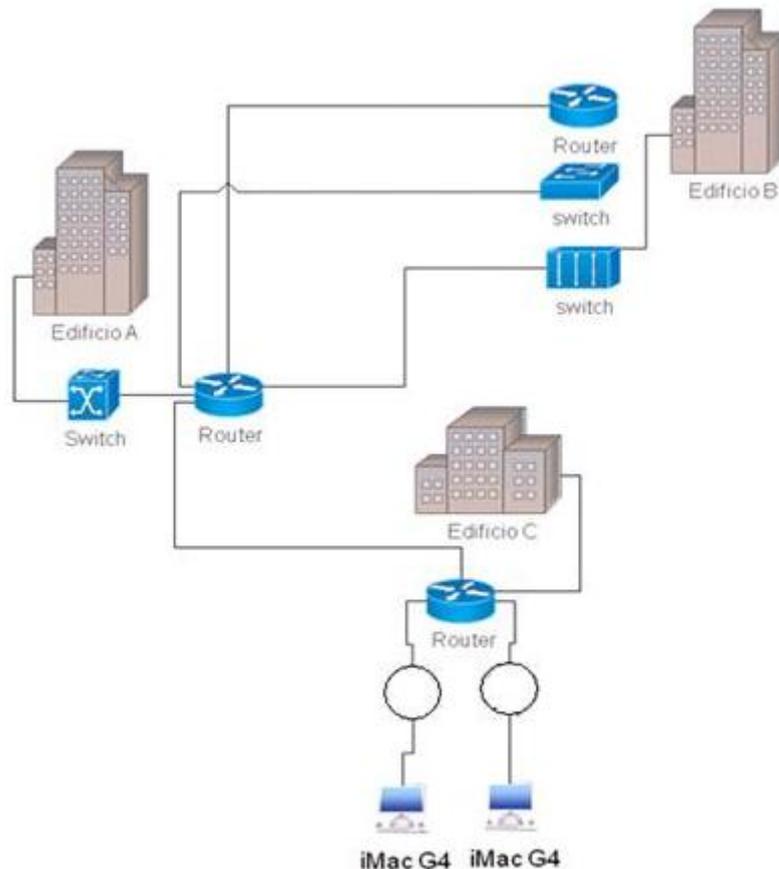


Figura 2.31: Ejemplo de una Red CAN<sup>5</sup>

#### 2.1.3.1.4 Redes de Área Extendida (WAN)<sup>6</sup>

Las redes WAN son aquellas que interconectan punto a punto países y continentes. Al tener que recorrer una gran distancia sus velocidades son menores que en las LAN aunque son capaces de transportar una mayor cantidad de

---

<sup>1</sup> LAN.- Siglas en ingles Local Area Network

<sup>2</sup> FDDI.- Siglas en ingles Fiber Distributed Data Interface, conjunto de estándares ISO y ANSI para la transmisión de datos en redes de computadoras.

<sup>3</sup> Ethernet.- Es una ampliación del estándar Ethernet que consigue una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo

<sup>4</sup> Disperso.- Técnica de comunicación, que trabaja en un amplio ancho de banda, por ejemplo una estación radial en la banda FM ocupa 2 MHz.

<sup>5</sup> Referencia: <http://www.ubookcase.com/book/Cisco/LAN.Switching.First-Step/source/1587201003/ch10lev1sec3.html>

<sup>6</sup> WAN.- Siglas en inglés Wide Area Network.

---

datos. Está formada por una gran cantidad de computadoras interconectadas (llamadas hosts), por medio de subredes de comunicación o subredes pequeñas, con el fin de ejecutar aplicaciones, programas, etc.

Una red WAN es un sistema de interconexión de equipos informáticos geográficamente dispersos. Las líneas utilizadas para realizar esta interconexión suelen ser parte de las redes públicas de transmisión de datos. Las redes LAN comúnmente, se conectan a redes WAN, con el objetivo de tener acceso a mejores servicios, como por ejemplo a Internet. Las redes WAN son mucho más complejas, porque deben enrutar correctamente toda la información proveniente de las redes conectadas a ésta.

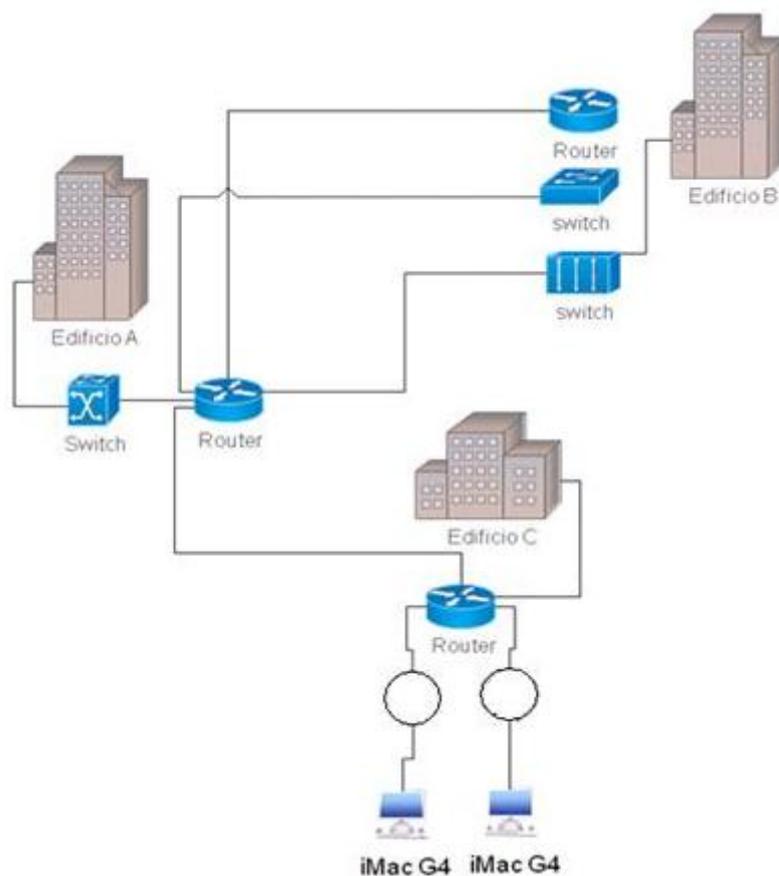


Figura 2.32 Ejemplo de una Red WAN<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.air-stream.org.au/wan>

### 2.1.3.1.5 Redes de Área Metropolitana (MAN)<sup>1</sup>

Las redes MAN comprenden una ubicación geográfica determinada por ejemplo una ciudad o un municipio", y su distancia de cobertura es mayor de 4 Km. Son redes con dos buses unidireccionales, cada uno de ellos es independiente del otro en cuanto a la transferencia de datos. Es básicamente una gran versión de LAN y usa una tecnología similar. Puede cubrir un grupo de oficinas de una misma corporación o ciudad, esta puede ser pública o privada. El mecanismo para la resolución de conflictos en la transmisión de datos que usan las MAN, es DQDB<sup>2</sup>.

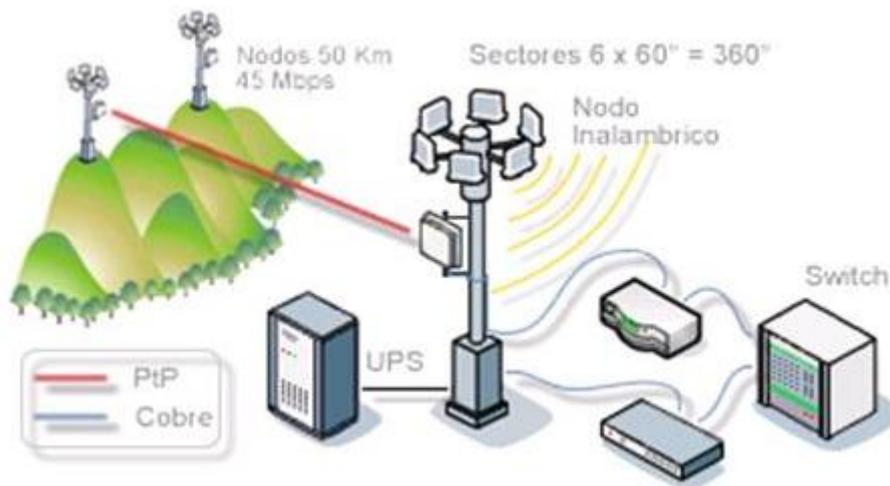


Figura 2.33 Ejemplo de una Red MAN<sup>3</sup>

## 2.1.3.2 Topología de redes

### 2.1.3.2.1 Topología bus

Una red en bus es una topología de red en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto. Es la más sencilla por el momento.

<sup>1</sup> MAN.- Siglas en inglés Metropolitan Area Network

<sup>2</sup> DQDB: son dos buses unidireccionales, en los que todas las estaciones están conectadas, cada bus con una cabecera y un fin, ejemplo: un computador quiere transmitir a otra, si esta está ubicada a la izquierda usa el bus de arriba, caso contrario el de abajo.

<sup>3</sup> Referencia: <http://www.merca.net.co/index-Nodos.html>

---

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada host está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los hosts queden desconectados.

La topología de bus permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de todos los demás dispositivos, lo que puede ser ventajoso si desea que todos los dispositivos obtengan esta información. Sin embargo, puede representar una desventaja, ya que es común que se produzcan problemas de tráfico y colisiones, que se pueden paliar segmentando la red en varias partes. Es la topología más común en pequeñas LAN.



Figura 2.34: Ejemplo de una red en topología bus<sup>1</sup>

### 2.1.3.2.2 Topología estrella

Una red en estrella es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de este.

Dado su transmisión. Una red en estrella activa tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas relacionados con el eco.

Se utiliza sobre todo para redes locales. La mayoría de las redes de área local que tienen un enrutador (router), un conmutador (switch) o un concentrador (hub) siguen

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.zdnet.com.au/insight/communications/soa/Understanding-wireless-LAN-protocols-and-components/0,139023754,120265091,00.htm>

---

esta topología. El nodo central en estas sería el enrutador, el conmutador o el concentrador, por el que pasan todos los paquetes.

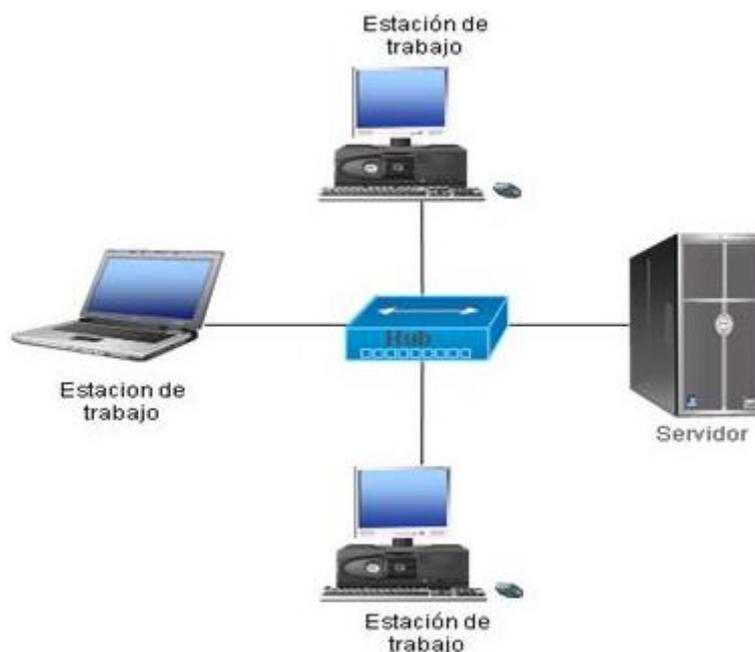


Figura 2.35: Ejemplo de una red utilizando la topología estrella<sup>1</sup>

### 2.1.3.2.3 Topología anillo

Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación.

En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo, que se puede conceptualizar como un cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evitan eventuales pérdidas de información debidas a colisiones.

Cabe mencionar que si algún nodo de la red deja de funcionar, la comunicación en todo el anillo se pierde.

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://ingedgarmillan.blogspot.com>

---

En un anillo doble, dos anillos permiten que los datos se envíen en ambas direcciones. Esta configuración crea redundancia (tolerancia a fallos), lo que significa que si uno de los anillos falla, los datos pueden transmitirse por el otro.

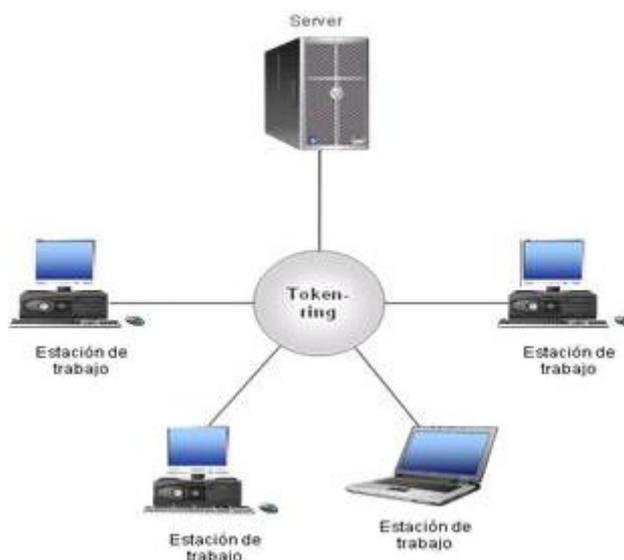


Figura 2.36: Ejemplo de una red utilizando una topología anillo <sup>1</sup>

#### 2.1.3.2.4 Topología malla

La topología en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. Si la red de malla está completamente conectada, no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores.

El establecimiento de una red de malla es una manera de encaminar datos, voz e instrucciones entre los nodos. Las redes de malla se diferencian de otras redes en

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.euskalnet.net/apetxebari/topologias.htm>.

---

que los elementos de la red (nodo) están conectados unos con otros por uno o varios caminos, mediante cables separados. Esta configuración ofrece caminos redundantes por toda la red de modo que, si falla un cable, otro se hará cargo del tráfico.

Esta topología, a diferencia de otras (como la topología en árbol y la topología en estrella), no requiere de un servidor o nodo central, con lo que se reduce el mantenimiento (un error en un nodo, sea importante o no, no implica la caída de toda la red).

Las redes de malla son auto-regenerables: la red puede funcionar incluso cuando un nodo desaparece o la conexión falla, ya que el resto de nodos evitan el paso por ese punto. Consecuentemente, se forma una red muy fiable. Es una opción aplicable a las redes sin hilos (Wireless), a las redes cableadas (Wired), y a la interacción del software.

Una red con topología en malla ofrece una redundancia y fiabilidad superiores. En una topología en malla, cada equipo está conectado a todos los demás equipos.

Aunque la facilidad de solución de problemas y el aumento de la fiabilidad son ventajas muy interesantes, estas redes resultan caras de instalar, ya que utilizan mucho cableado. Por ello cobran mayor importancia en el uso de redes inalámbricas, ya que no hay necesidad de cableado a pesar de los inconvenientes del (Wireless).

En muchas ocasiones, la topología en malla se utiliza junto con otras topologías para formar una topología híbrida.

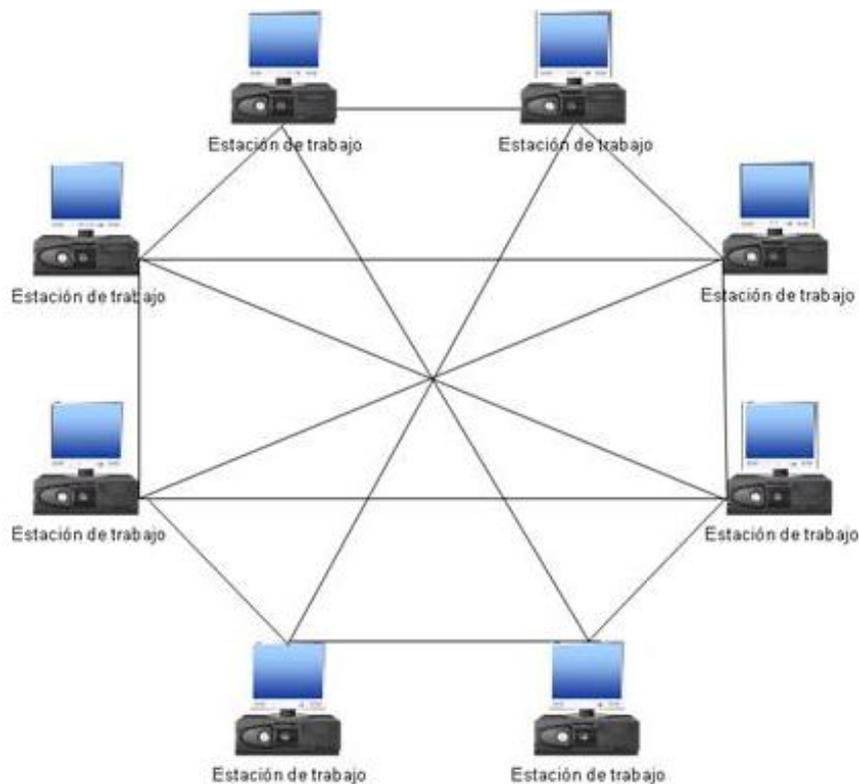


Figura 2.37: Ejemplo de una red utilizando una topología malla <sup>1</sup>

### 2.1.3.2.5 Topología árbol

Topología de red en la que los nodos están colocados en forma de árbol. Desde una visión topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas salvo en que no tiene un nodo central. En cambio, tiene un nodo de enlace troncal, generalmente ocupado por un hub o switch, desde el que se ramifican los demás nodos. Es una variación de la red en bus, la falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.

La topología en árbol puede verse como una combinación de varias topologías en estrella. Tanto la de árbol como la de estrella son similares a la de bus cuando el nodo de interconexión trabaja en modo difusión, pues la información se propaga

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.euskalnet.net/apetxebari/topologias.htm>.

---

hacia todas las estaciones, solo que en esta topología las ramificaciones se extienden a partir de un punto raíz (estrella), a tantas ramificaciones como sean posibles, según las características del árbol.

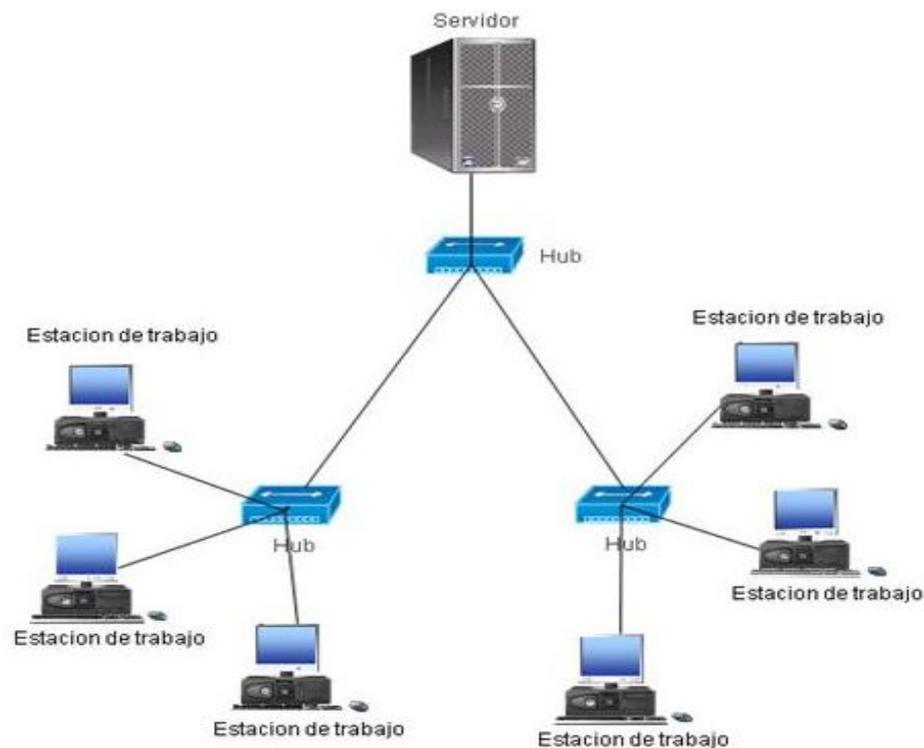


Figura 2.38: Ejemplo de una red utilizando una topología árbol <sup>1</sup>

### 2.1.3.3 Redes Inalámbricas

#### 2.1.3.3.1 Introducción

En la actualidad las redes inalámbricas (Wireless Network) no han fortalecido su estrategia que les permita conquistar el mercado donde el cable resulta inadecuado o imposible de instalar, ya que carecen de estándares y sus reducidas prestaciones en cuanto a velocidad han limitado tanto el interés de la industria como de los usuarios, se ha creado la necesidad de la aparición de la norma IEEE 802.11 (a, b, d, e, g, h, i, j), que permitió una reactivación del mercado,

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.euskalnet.net/apetxebari/topologias.htm>.

---

al introducir un necesario factor de estabilidad e inter-operatividad imprescindible para su desarrollo, pese a que en los últimos años las redes inalámbricas han ganado mucha popularidad, que se ve acrecentada conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas en distintos escenarios.

Las redes inalámbricas por sí mismas, son móviles y eliminan la necesidad de usar cables y establece nuevas aplicaciones añadiendo flexibilidad a la red, y lo más importante incrementa la productividad y eficiencia en las empresas donde está instalada. Un usuario dentro de una red inalámbrica puede transmitir y recibir voz, datos y vídeo dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades de 11 Mbps, o superiores.

Pero no solamente encuentran aplicación en las empresas, sino que su extensión a ambientes públicos, en áreas metropolitanas, como medio de acceso a Internet o para cubrir zonas de alta densidad de usuarios (hot spots).

Se muestra un esquema básico de una Red Inalámbrica:



**Figura 2.39:** Diseño de un Red Inalámbrica<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.falabella.com.ar/iconos/especiales/guia\\_wireless/wire2.gif](http://www.falabella.com.ar/iconos/especiales/guia_wireless/wire2.gif)

### 2.1.3.3.2 Definición

Una red inalámbrica, es un sistema de comunicaciones de datos flexible que permite la interacción de varios dispositivos sin la necesidad de algún medio físico guiado entre ellos, que se incorpora como una extensión o una alternativa a la red cableada. Utiliza ondas electromagnéticas como las ondas de radio de alta frecuencia en lugar de cables para la transmisión y recepción de datos, de esta forma las redes combinan la conectividad de datos con la movilidad del usuario, permitiendo a sus usuarios acceder y compartir información y recursos en tiempo real.

Las Redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde los usuarios o host's no pueden permanecer en un solo lugar, como en almacenes o en oficinas que se encuentren en varios pisos. Pero la realidad es que esta tecnología está todavía en pañales y se deben de resolver varios obstáculos técnicos y de regulación antes de que las redes inalámbricas sean utilizadas de una manera general en los sistemas de cómputo de la actualidad.

En la siguiente figura se muestra el posicionamiento de los estándares inalámbricos:

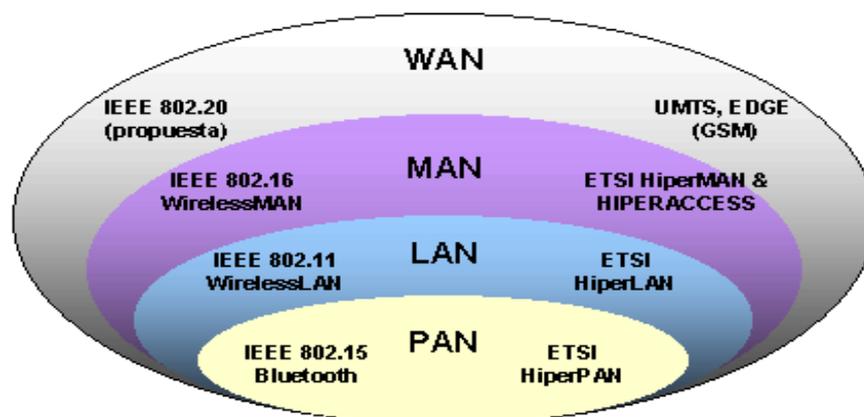


Figura 2.40: Estándares Inalámbricos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_inal%C3%A1mbrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica)

---

### 2.1.3.3.3 Tipos

En la siguiente figura se representan los Tipos de Redes Inalámbricas, por su Extensión:

- **Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)<sup>1</sup>**

Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos.

Características Básicas:

- **Extensión:** Tiene un corto alcance hasta 25 metros.
- **Velocidad Máxima:** Hasta 1 Mbps.

En este tipo de red de cobertura personal, existen tecnologías basadas en:

- HomeRF.- que es un estándar para conectar todos los teléfonos móviles de la casa y los ordenadores mediante un aparato central.
- Bluetooth.- que es un protocolo que sigue la especificación IEEE 802.15.1.
- ZigBee.- que está basado en la especificación IEEE 802.15.4 y comúnmente utilizado en aplicaciones como la domótica<sup>2</sup>, que requieren comunicaciones seguras con tasas bajas de transmisión de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, bajo consumo.

---

<sup>1</sup> WPAN.- Siglas en inglés Wireless Personal Area Network

<sup>2</sup> Domótica.- conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda.

- RFID (*Radio Frequency IDentification*, Identificación por Radiofrecuencia).- que es un sistema remoto de almacenamiento y recuperación de datos que tiene como propósito transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio.

Se presenta un ejemplo de un diseño, de la estructura de esta red:

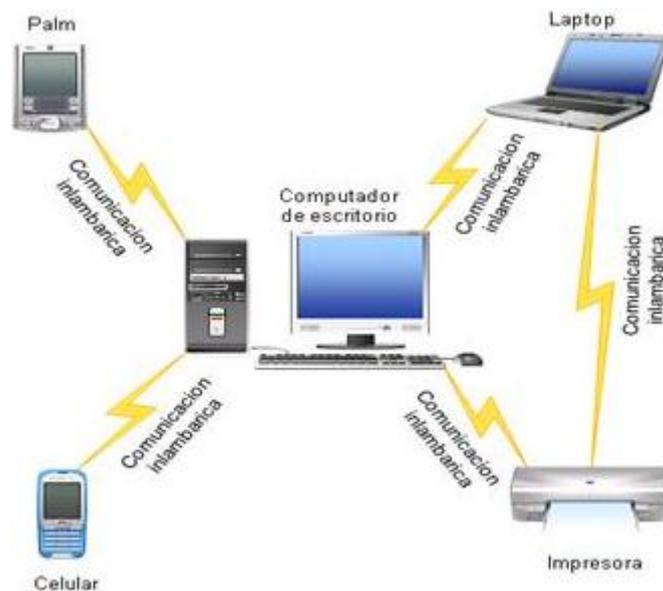


Figura 2.41: Red Inalámbrica de Área Personal<sup>1</sup>

- **Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)<sup>2</sup>**

Es un sistema flexible de comunicación de datos implementados como extensión, o como alternativa, a una red LAN cableada.

Las WLAN transmiten y reciben datos por el aire mediante tecnología de radiofrecuencia, minimizando la necesidad de disponer de conexiones cableadas lo que a su vez combina la conectividad de de datos con la movilidad de usuarios.

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.doceotech.com/images/Wireless%20Personal%20Area%20Network%20Technologies%20802%2015.pdf>

<sup>2</sup> WLAN.- Siglas en inglés Wireless Local Area Network

Este tipo de redes además de ofrecer movilidad al usuario final dentro de un entorno de conexión en red las redes LAN permiten una portabilidad de la red física lo que facilita mover las redes juntamente con los usuarios que las diseñan.

Características Básicas:

- **Extensión:** Tiene un alcance máximo hasta 250 metros.
- **Velocidad Máxima:** Hasta 54 Mbps.

En las redes de área local podemos encontrar tecnologías inalámbricas basadas en:

- **HiperLAN** (del inglés, *High Performance Radio LAN*), que es un estándar del grupo ETSI.
- **Wi-Fi**, que siguen el estándar IEEE 802.11 con diferentes variantes.

Se presenta un ejemplo de un diseño, de la estructura de esta red:

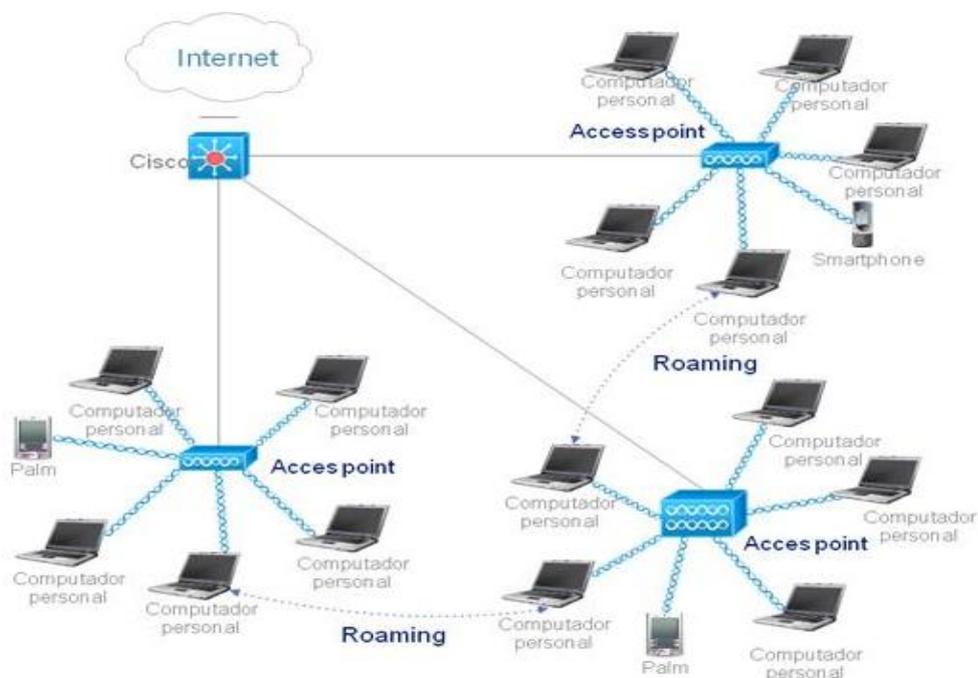


Figura 2.42: Red Inalámbrica de Área Local<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: [http://uwanted.blogspot.com/2006\\_09\\_11\\_archive.html](http://uwanted.blogspot.com/2006_09_11_archive.html)

---

- **Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN)<sup>1</sup>**

Este tipo de redes se conocen también como **bucle local inalámbrico** (*WLL*, *Wireless Local Loop*).

Las WMAN se basan en el estándar *IEEE 802.16*.

Características Básicas:

- **Extensión:** Tiene un alcance hasta los 60 kilómetros.
- **Velocidad Máxima:** Hasta 100 Mbps.

Con estos alcances y velocidad, sería muy útil para las compañías de Telecomunicaciones.

La mejor red inalámbrica de área metropolitana es WiMAX, que puede alcanzar una velocidad aproximada de 70 Mbps en un radio de varios kilómetros.

Para redes de área metropolitana se encuentran tecnologías basadas en:

- **WiMax** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), que significa Interoperabilidad Mundial para Acceso con Microondas), que es un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.16.
- **WiMax** es un protocolo similar a Wi-Fi pero que tiene mayor cobertura y ancho de banda.
- También podemos encontrar otros sistemas de comunicación como **LMDS** (*Local Multipoint Distribution Service*).

Se presenta un ejemplo de un diseño, de la estructura de esta red:

---

<sup>1</sup> WMAN.- Siglas en inglés Wireless Metropolitan Area Network

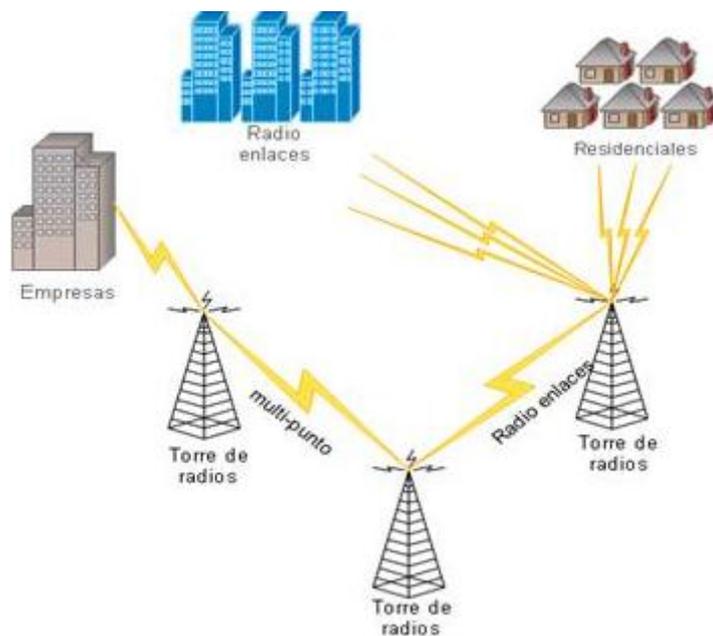


Figura 2.43: Red Inalámbrica de Área Metropolitana<sup>1</sup>

- **Redes Inalámbricas de Área Extendida (WWAN)<sup>2</sup>**

Este tipo de redes utilizan diversos dispositivos (como líneas telefónicas, antenas parabólicas y ondas de radio) para funcionar en área más amplias de las que pueden cubrir las WLAN, aunque suelen tener un ancho de banda más reducido. Las WWAN suelen ser redes de datos de dominio público diseñadas para proporcionar cobertura en las áreas metropolitanas y en corredores de tráfico.

Las WWAN suelen ser propiedad de proveedores de servicios (Carriers o portadores) o de empresas de telecomunicaciones. Estas redes también tienen como ventaja, que el usuario final puede mantener la conexión de red incluso si está en movimiento.

Características Básicas:

- **Extensión:** Tiene un alcance hasta los 100 kilómetros.

<sup>1</sup>Referencia: <http://es.geocities.com/glory1006/rc/tr.html>

<sup>2</sup> WWAN.- Siglas en inglés Wireless Wide Area Network

- 
- **Velocidad Máxima:** Hasta 15 Mbps.

Con la WWAN, la conectividad es perfecta y ubicua ya que el usuario se puede mover por distintas zonas, e incluso cambiar automáticamente de un punto de acceso a otro, manteniendo una conexión sin interrupciones. Al contrario que la WLAN, que está asociada a los estándares Wi-Fi 802.11, la WWAN ofrece una cobertura más amplia y se aprovecha de diversos tipos de tecnologías.

La conexión WWAN es especialmente beneficiosa en sitios remotos en las que las conexiones por cable o inalámbricas no están disponibles, o cuando el profesional se está desplazando y desea usar una conectividad perfecta y con la que se pueda desplazar.

Éstos son sólo algunos ejemplos de cómo los portátiles WWAN permiten alcanzar nuevos niveles de productividad en el trabajo y una mayor eficacia en las empresas.

La capacidad de permanecer conectado permite que el profesional se ocupe de los asuntos de la empresa cuando surgen, o aumente la productividad mientras se está desplazando. La tecnología WWAN es ideal para el trabajador móvil que necesita acceso rápido a la información, al correo electrónico o a una red corporativa para información transaccional.

Para el personal que trabaja fuera, la tecnología WWAN es la manera ideal de mantener el contacto con sus colegas y clientes.

Entre las tecnologías que ofrecen WWAN, encontramos algunas como:

- **GSM (Global System Mobile).**- es un sistema estándar para comunicación utilizando teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. Aparece en la **2G**.

- GPRS (*General Packet Radio Service*).- es un servicio de datos móvil orientado a paquetes. Está disponible para los usuarios GSM, así como para los teléfonos móviles que incluyen el sistema IS-136. Pertenece a la **2.5G**.
- EDGE (*Enhanced Data GSM Environment*).- se considera una evolución del GPRS. Esta tecnología funciona con redes GSM. Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS.
- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).- utilizada con los teléfonos móviles de tercera generación (**3G**). Esta tecnología es sucesora de **GSM**.
- HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*).- es la optimización de la tecnología espectral UMTS, consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Es la evolución de la **3G**, llamada también **3.5G**.

En la siguiente figura se puede visualizar la evolución de las respectivas generaciones:

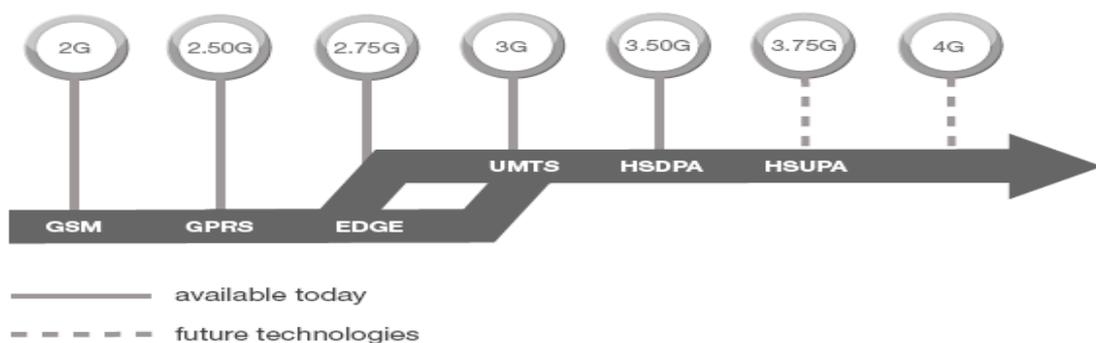


Figura 2.44: Generación de las Tecnologías de WWAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Referencia: [http://es.computers.toshiba-europe.com/Contents/Toshiba\\_es/ES/WHITEPAPER/files/2006-09-WWAN-for-business-ES.pdf](http://es.computers.toshiba-europe.com/Contents/Toshiba_es/ES/WHITEPAPER/files/2006-09-WWAN-for-business-ES.pdf)

Se presenta un ejemplo de un diseño, de la estructura de esta red:

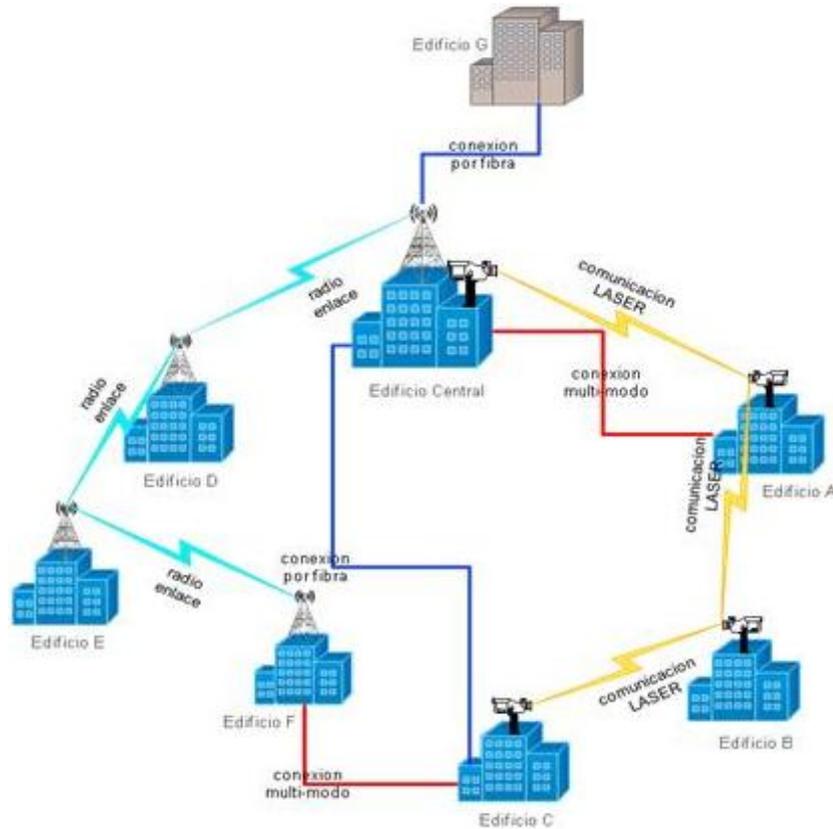


Figura 2.45: Red Inalámbrica de Área Extendida<sup>1</sup>

## Resumen

### Redes inalámbricas.

Cuadro 2.3: Características principales de redes inalámbricas

REDES:	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
<b>Estándares</b>	802.15	802.11	802.11	-
<b>Velocidades</b>	< 1Mbps	11 – 54 Mbps	11 – 100 Mbps	< 1.5 Mbps
<b>Extensión</b>	Corto (10 m)	Medio (150 m)	Medio-Largo (60 Km)	Largo (100 Km)
<b>Tecnologías</b>	Bluetooth	HiperLAN2	MMDS, LMDS	GSM, GPRS,CDMA
<b>Aplicaciones</b>	Igual a Igual Dispositivo a Dispositivo	Redes Empresariales	Acceso última milla	Teléfonos Móviles Portátiles WWAN

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.inf.aber.ac.uk/ns3/networking/network-operations/laser\\_and\\_wireless\\_links.asp](http://www.inf.aber.ac.uk/ns3/networking/network-operations/laser_and_wireless_links.asp)

Se detallan las Velocidades de transmisión y sus Coberturas, para las Tecnologías Inalámbricas:

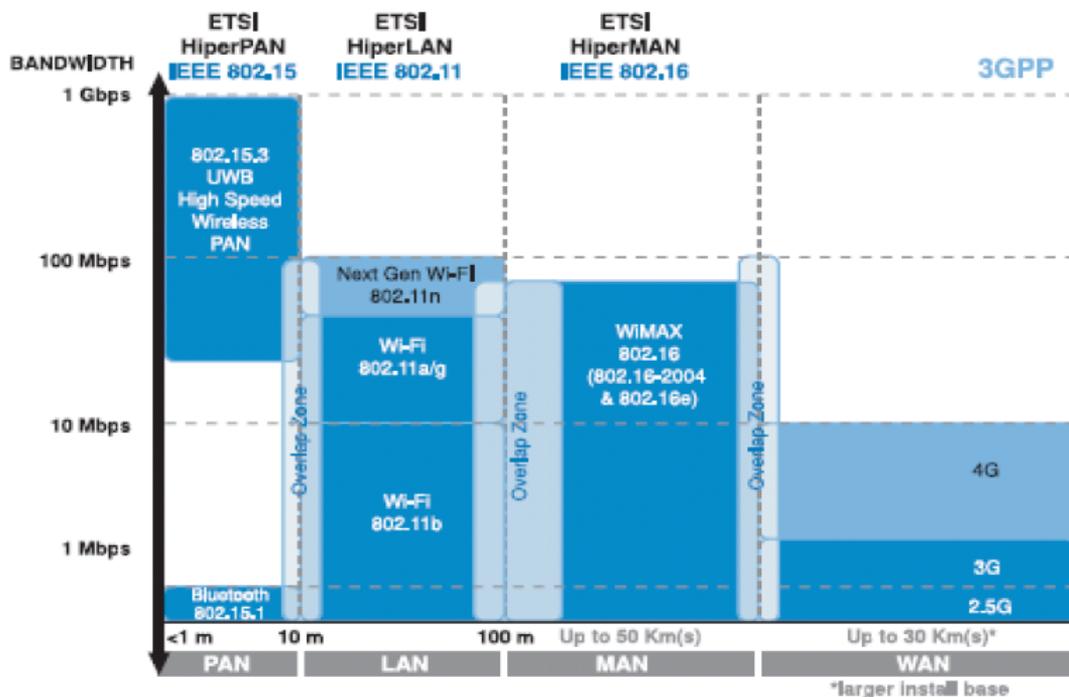


Figura 2.46: Velocidades y Coberturas de las Redes Inalámbricas<sup>1</sup>

#### 2.1.3.3.4 Características

- **Movilidad:** permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa a cualquier usuario, facilitando el acceso a otras computadoras, bases de datos e Internet. Esto supone mayor productividad y posibilidades de servicio, así los usuarios podrán movilizarse sin perder la conexión.
- **Facilidad de instalación:** al no usar cables, se evitan obras para tirar cable por muros y techos, mejorando así el aspecto y la habitabilidad de los locales, y reduciendo el tiempo de instalación. También permite el acceso instantáneo a usuarios temporales de la red.

<sup>1</sup> Referencias.-<http://blog.eliseoov.org/se/wp-content/uploads/2008/03/cheo-wimax.pdf>

- 
- **Flexibilidad:** puede llegar donde el cable no puede, superando mayor número de obstáculos, llegando a atravesar paredes. Así, es útil en zonas donde el cableado no es posible o es muy costoso: parques naturales, reservas o zonas escarpadas. La conectividad inalámbrica envuelven la conexión de laptops, desktops, pda's, teléfonos celulares, servidores, etc.
  - La conectividad inalámbrica trae consigo la potencialidad de brindarle a los usuarios una conexión a Internet y sus servicios Any Time, Any place.
  - Se ha conseguido transmitir datos a grandes distancias, con velocidades de hasta 11 Mbps, a muy bajo costo.

#### 2.1.3.3.5 Ventajas y Desventajas

Como cualquier otra Red de comunicación, se muestran algunas Ventajas y Desventajas de las Redes Inalámbricas:

##### Ventajas

- *Flexibilidad*

Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica los nodos se podrán comunicar y no estarán atados a un cable para poder estar comunicados por el mundo.
- *Poca planificación*

Con respecto a las redes cableadas. Antes de cablear un edificio o unas oficinas se debe pensar mucho sobre la distribución física de las máquinas, mientras que con una red inalámbrica sólo nos tenemos que preocupar de que el edificio o las oficinas queden dentro del ámbito de cobertura de la red.

---

- *Diseño*

Los receptores son bastante pequeños y pueden integrarse dentro de un dispositivo y llevarlo en un bolsillo, etc.

- *Robustez*

Ante eventos inesperados que pueden ir desde un usuario que se tropieza con un cable o lo desenchufa, hasta un pequeño terremoto o algo similar. Una red cableada podría llegar a quedar completamente inutilizada, mientras que una red inalámbrica puede aguantar bastante mejor este tipo de percances inesperados.

## **Desventajas**

- *Calidad de Servicio*

Las redes inalámbricas ofrecen una peor calidad de servicio que las redes cableadas. Estamos hablando de velocidades que no superan habitualmente los 10 Mbps, frente a los 100 que puede alcanzar una red normal y corriente. Por otra parte hay que tener en cuenta también la tasa de error debida a las interferencias. Estamos hablando de 1 bit erróneo cada 10.000 bits o lo que es lo mismo, aproximadamente de cada Megabit transmitido, 1 Kbit será erróneo. Esto puede llegar a ser imposible de implantar en algunos entornos industriales con fuertes campos electromagnéticos y ciertos requisitos de calidad.

- *Coste*

Aunque cada vez se está abaratando más y más el costo de implementación de estas redes, sigue siendo relativamente caro; porque a diferencia de una red cableada, una red inalámbrica no tiene una buena calidad de servicio, a causa de varios factores como la falta de estandarización.

---

- *Soluciones Propietarias*

Como la estandarización está siendo bastante lenta, ciertos fabricantes han sacado al mercado algunas soluciones propietarias que sólo funcionan en un entorno homogéneo y por lo tanto estando atado a ese fabricante.

Esto supone un gran problema ante el mantenimiento del sistema, tanto para ampliaciones del sistema como para la recuperación ante posibles fallos. Cualquier empresa o particular que desee mantener su sistema funcionando se verá obligado a acudir de nuevo al mismo fabricante para comprar otra tarjeta, punto de enlace, etc.

- *Restricciones*

Estas redes operan en una banda reducida del espectro radioeléctrico. Éste actualmente está muy saturado y las redes deben amoldarse a las reglas que existan dentro de cada país. Existen limitaciones en el ancho de banda a utilizar por parte de ciertos estándares.

- *Seguridad*

En dos vertientes:

- Por una parte seguridad e integridad de la información que se transmite está bastante criticado en casi todos los estándares actuales, que, según dicen no se deben utilizar en entornos críticos en los cuales un “robo” de datos pueda ser peligroso.
- Por otra parte este tipo de comunicación podría interferir con otras redes de comunicación (policía, bomberos, hospitales, etc.) y esto hay que tenerlo muy en cuenta en el diseño.

---

### **2.1.3.3.6 Aplicaciones**

Actualmente, las redes locales inalámbricas (WLAN) se encuentran instaladas mayoritariamente en algunos entornos específicos: como almacenes, bancos, restaurantes, fábricas, hospitales y transporte.

- Las limitaciones que de momento presenta esta tecnología ha hecho que sus primeros mercados hayan sido los que utilizan información en períodos cortos de transmisión de información muy intensos seguidos de períodos de baja o nula actividad, donde la exigencia clave consiste en que los trabajadores en desplazamiento puedan acceder de forma inmediata a la información a lo largo de un área concreta, como por ejemplo: un almacén, un hospital, la planta de una fábrica o un entorno de distribución o de comercio al por menor; en general, en mercados verticales.
- Hoy en día en el Ecuador, existen varias operadoras de telecomunicaciones que están utilizando las redes inalámbricas (WWAN); las cuales a su vez utilizan tecnología móvil GSM, para la transmisión de información.

## **2.1.4 Tecnología FSO (Free Space Optics)**

### **2.1.4.1 Introducción**

Como mencionamos anteriormente en el capítulo de redes inalámbricas una solución idónea es la tecnología inalámbrica que sirve en los casos en los que no se puede recurrir a una red cableada o cuando priman las necesidades de gran movilidad. Sin embargo, nos encontramos vacíos en cuanto al conocimiento sobre los diferentes tipos de redes inalámbricas, ya que es difícil decidirse cual es la más adecuada para cada caso, los equipos y el protocolo que se debe utilizar así como en general realizar un buen proyecto e instalación.

---

Si nos centramos en las redes inalámbricas de exteriores o de mayor alcance, surgió recientemente una nueva tecnología, los enlaces ópticos montados con sus correspondientes equipos láser.

La tecnología FSO (Free Space Optics) proporciona una transmisión Wireless punto a punto, infrarroja, láser, diseñada para interconectar dos puntos que tengan una línea de visión directa entre ellos, para cubrir las necesidades de conexión de última milla, con una velocidad hasta de 2.5 Gbps.

#### 2.1.4.2 Historia

Los orígenes de las FSO se remontan al siglo XIX cuando Graham Bell, antes de sentar las bases de la telefonía, consiguió transmitir señales de voz a través del aire por un haz de luz hasta una distancia de 180 metros. Aunque este descubrimiento de Bell nunca llegó a convertirse en una realidad comercial, colocó las bases de las comunicaciones ópticas actuales.

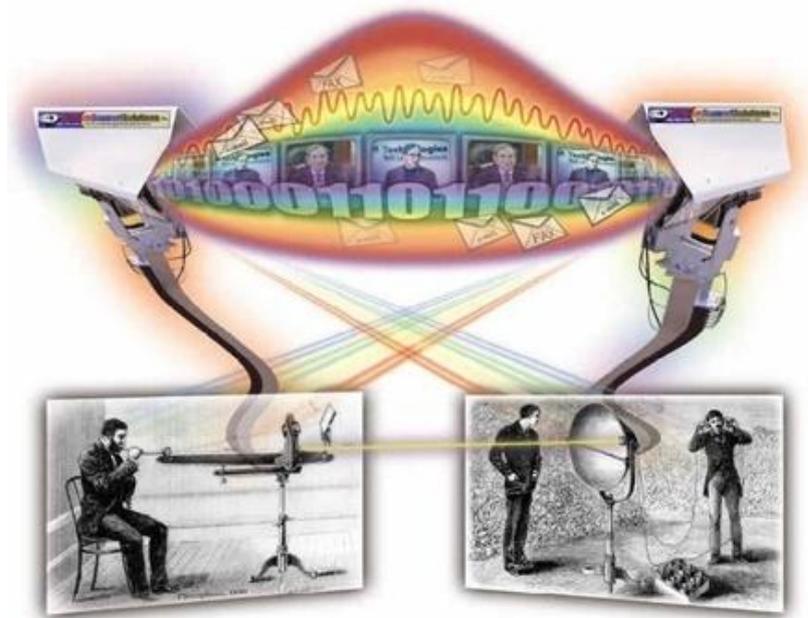


Figura 2.47: Ejemplo de la primera transmisión inalámbrica<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06\\_07/trabajos/resumenes/gr15-FSO.pdf](https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/trabajos/resumenes/gr15-FSO.pdf)

---

Las investigaciones en el campo de las FSO durante los últimos 40 años han estado centradas en aplicaciones militares y espaciales. Uno de los primeros experimentos que se hicieron en el campo de las comunicaciones por láser consistió en transmitir mensajes en código Morse simplemente obstruyendo el rayo con la mano.

### 2.1.4.3 Definición

La Tecnología Free Space Optics (FSO) transmite información por el espacio libre utilizando señales ópticas similares a las que viajan a través de las fibras ópticas. Las FSO permiten conectar edificios cercanos entre sí (punto a punto), de una forma barata y sencilla, en áreas metropolitanas densamente pobladas, al no tener que hacer prácticamente ninguna obra.

Permite conectar redes que se encuentran separadas desde unos pocos metros hasta 4 o 5 kilómetros. Esta tecnología utiliza el espectro no licenciado mediante rayos de luz infrarroja y se pueden alcanzar velocidades de hasta 1500 Mbps.

Además, los anchos de banda que proporcionan son muy grandes, gracias a que la información viaja en señales luminosas.

Se muestra un esquema de una red que utiliza FSO como medio de transmisión:

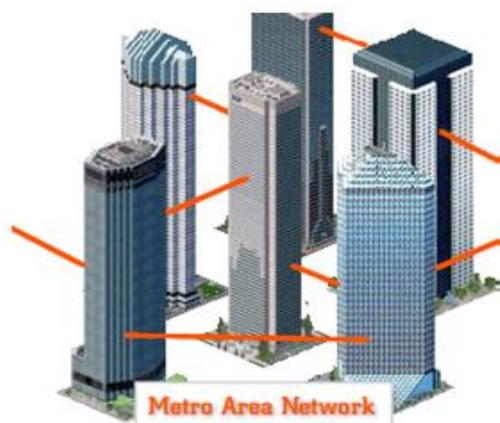


Figura 2.48: Ejemplo de una red FSO<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.free-space-optics.org/index.php>

---

#### **2.1.4.4 Características**

Podemos destacar que esta línea de visión óptica permite:

- Total inmunidad RFI/EMI cumpliendo con las normativas de seguridad 1M
- Máxima seguridad de datos
- Rápida instalación
- Bajo coste de mantenimiento
- Rápido retorno de la inversión realizada
- Velocidad de transferencia hasta 1.25 Gb
- Esta tecnología se hace idónea en zonas de difícil acceso o despliegue, ej: ríos, aeropuertos, ferrocarriles, etc.

#### **2.1.4.5 Funcionamiento**

Los sistemas que utilizan la tecnología FSO son unos de los más utilizados hoy en día para cubrir las necesidades de conexión hacia la última milla, interconexión de puntos (pop-pop, pop-minipop), respaldo de enlaces y redes ópticas, etc.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

- Se colocan los transmisores que envían una señal modulada hacia los receptores de forma segura (eye-safe) y confiable (carrier class), en los lugares de interés y se transmiten entre ellos, haces láser infrarrojos que pueden transportar desde mensajes de Internet, vídeo, señales de radio hasta ficheros informáticos. La capacidad de estos enlaces se encuentra entre los 100 Mbps y los 2.5 Gbps. Experimentalmente se han logrado velocidades de transmisión de hasta 1.60 Gbps. Por tanto, estamos hablando de prestaciones similares a la fibra óptica.

---

Las señales de información, en formato eléctrico llegan al transmisor donde se deben trasladar al dominio óptico. La modulación que se utiliza se denomina modulación en potencia; ya que no es exactamente una modulación en amplitud (se varía la potencia de la señal óptica de forma que al transmitir un uno lógico la intensidad de la señal es mayor que si se transmite un cero lógico). En definitiva, un enlace que utiliza las FSO es exactamente igual que un enlace convencional de fibra, pero que utiliza un canal de transmisión diferente.

#### 2.1.4.6 Equipos Ópticos Láser

Existe una amplia variedad de productos FSO de empresas como fSONA, Plaintree, LighPoint, PAV, MRV, que abarcan distancias de 500 a 4000 metros y anchos de banda de 10Mbps a 1Gb. Un sistema FSO consta simplemente de un transmisor y un receptor de luz infrarroja.

En los enlaces de fibra óptica el canal de transmisión es el aire. Por tanto, transmisor y receptor han de estar perfectamente alineados para que se pueda transmitir información entre ellos.

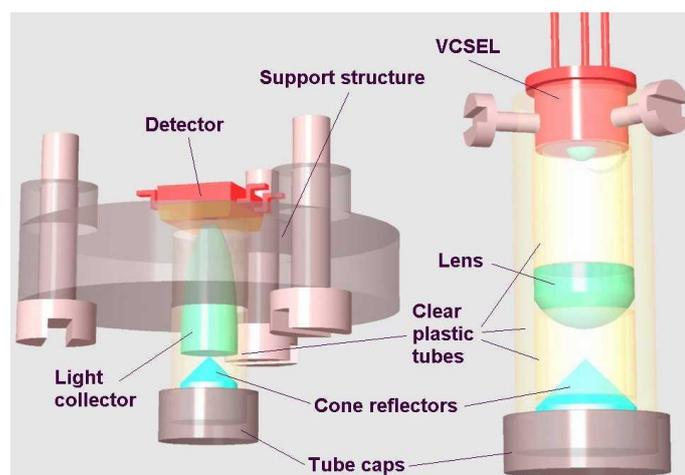


Figura 2.49: Estructura de un equipo FSO, transmisor y receptor<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.infotech.oulu.fi/Annual/2001/OPME.html>

---

Dado que en muchas ocasiones, estos dispositivos se colocan en tejados de edificios al aire libre, deberán tener ciertas características mecánicas que los protejan del viento y de la humedad.

#### **2.1.4.6.1 Características**

Los principales parámetros que se deben de tomar en cuenta en un equipo FSO son:

- **Interfaz aérea (FSO)**

Se clasifica de acuerdo al nivel de seguridad del transmisor, el cual está determinado principalmente por la longitud de onda y la potencia de transmisión de cada láser.

Los tipos de laser se clasifican en:

- **Láser Clase 1M:** Transmisores láser que son completamente seguros aún cuando son vistos directamente con el ojo sin protección alguna
- **Láser Clase 3b:** Transmisores que normalmente son peligrosos si se tiene una exposición directa con el láser

Los equipos FSO no son visibles para el ojo humano ya que operan en una longitud de onda es superior a los 780 nm, es por esto que FSO debe cumplir con los estándares de seguridad Clase 1M, evitando así daños irreversibles en la salud de los usuarios de este tipo de dispositivos.

- **Longitud de onda**

Los equipos FSO pueden trabajar en las siguientes longitudes de onda:

- 
- **Cercano a los 800 nm:** Esta longitud de onda se encuentra dentro del espectro conocido como "Región de Riesgo Retinal" ya que esta puede llegar a dañar la retina del ojo en caso de incidencia con el rayo. En este caso la única forma de poder tener un nivel de seguridad aceptable es transmitiendo a una potencia relativamente baja.
  - **1550 nm:** Generalmente los equipos que operan en esta longitud de onda cumplen con las normas de seguridad para el ojo humano "eye-safe" ya que esta se encuentra fuera de la "Región de Riesgo Retinal"

Estos equipos pueden transmitir a niveles de potencia hasta de 50 veces mayores que los que operan en 850 nm y cumplen con las normas de seguridad "eye-safe".

- **Potencia de transmisión**

Debido a que FSO se basa en la transmisión de señales ópticas en el espacio, esta señal va a ser atenuada por el medio de forma proporcional a la longitud del enlace.

De igual forma existen factores climatológicos que pueden atenuar adicionalmente y en gran medida la señal óptica. El principal evento viene siendo la neblina, las tormentas de lluvia pueden afectar el enlace pero en menor escala.

Es por esto que la potencia de transmisión es el punto medular en los sistemas FSO. Conforme más alto sea este parámetro se va a poder contar con una mayor penetración en la neblina más densa y de igual forma, se es posible contar con enlaces de longitudes mayores.

---

Se debe señalar que el láser puede acoplar un alto nivel de potencia en fibras ópticas, presentando un tiempo de vida en temperatura ambiente entre  $10^5$  a la  $10^6$  horas de operación.

Si se analiza el tiempo de operación ( $10^6$  horas), se determina que:

*Transformando en años: 1 día = 24 horas, 1 año = 365 días*

$$365 \text{ días} \times 24 \text{ horas} = 8760 \text{ horas} \ll 10^4.$$

*“Entonces  $10^6 \gg 100$  años de trabajo”*

- **Divergencia del láser**

Los rayos láser no son totalmente puntuales, estos van "abriéndose" conforme van avanzando por el medio, formando un ángulo.

Este ángulo 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.

Si se desea instalar enlaces FSO que estén completamente en paralelo, este parámetro va a determinar la distancia mínima de separación que debe de existir entre cada equipo. Mientras menor sea la divergencia, menor va a ser la distancia requerida.

- **Montaje y estabilidad del equipo**

A diferencia de los equipos de radio, FSO tiene una mayor susceptibilidad al movimiento, es por esto muy importante que tanto la plataforma como la estructura de montaje del equipo cuenten con un sistema de fijación rígido y estable. Al contar con esto, una vez que se encuentre instalado, el enlace va a funcionar de excelente manera sin necesidad de realizar posteriormente reajustes en la alineación.

---

Es por esto que se recomienda la instalación de los equipos en:

- Mástiles en azoteas o paredes
- Mástiles detrás de ventanas
- Torres autosoportadas

Existe la opción en algunos modelos FSO en donde cuentan con un sistema activo de alineación (APS). Este sistema tiene su aplicación principalmente en instalaciones en donde la plataforma de montaje no es muy estable o cuando se desean contar con enlaces muy largos.

- **Interfaz física**

Los equipos FSO entregan una interfaz física la cual es una fibra óptica y esta es conectada al equipo terminal. Las características de la interfaz física pueden variar dependiendo del modelo.

Gracias a esto generalmente pueden ser usados en FSO los mismos modelos de equipos terminales que se usan cuando comúnmente se instala una fibra óptica.

Inclusive, es posible extender un largo trayecto de fibra hasta de 2 Kms a partir del equipo FSO sin necesidad de instalar repetidores.

#### **2.1.4.6.2 Enlace Óptico**

Para efectuar un enlace óptico se necesitan de componentes tales como:

- Transmisor Óptico
- Canal de Comunicación
- Receptor Óptico



**Figura 2.50:** Esquema de un Sistema de Comunicación Óptico

### **Transmisores Ópticos.**

La función de estos transmisores es convertir una señal eléctrica en una señal óptica.

El componente más importante de los transmisores ópticos es la fuente óptica. A ésta, hay que añadir un esquema para la modulación directa o externa de la señal.

### **Canal de Comunicación.**

Tiene como funcionalidad transportar la señal óptica desde el transmisor hacia el receptor.

Este canal de comunicación, se entiende como el medio por el cual se va a conducir la señal. Por ejemplo: fibra óptica - terrestre, láser - aéreo.

### **Receptores Ópticos.**

Su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica original, recuperando los datos transmitidos en un principio.

El principal componente de estos receptores es un fotodetector que se encarga de la conversión de la señal óptica en una corriente eléctrica. Se han implementado los modelos correspondientes a fotodiodos PIN y APD, donde se introducen dos tipos de ruido: el ruido térmico y el ruido shot.

La presencia de efectos de degradación en el canal y los distintos mecanismos que contribuyen al ruido en la señal recibida hacen que la transmisión de la señal óptica esté sujeta a la existencia de errores en la transmisión.

---

Una de las funcionalidades más importantes que debe incorporar una herramienta de simulación como la propuesta, es la estimación fiable de la tasa de error o *BER* (*Bit Error Rate*) para unas condiciones determinadas de la transmisión.

Un BER de  $10^{-6}$  significa que ha llegado un bit erróneo de un millón de bits transmitidos, los valores habituales de BER según el medio de transmisión son:

- Fibra óptica                       $BER < 10^{-12}$
- Lan cobre, radio enlace       $BER < 10^{-8}$
- ADSL, enlace telefónico       $BER < 10^{-5}$
- GSM                                 $BER \geq 10^{-5}$

Conociendo los valores mencionados, se deduce que en una transmisión digital se manejan las siguientes calidades:

- Buena                                 $BER < 10^{-6}$
- Degradada                         $10^{-3} < BER < 10^{-6}$
- Sistema averiado                 $BER > 10^{-3}$

Existen algunos tipos de ruido que pueden afectar a la señal transmisión en un enlace óptico:

**Ruido Térmico.-** Causado por el movimiento aleatorio de los electrones en la resistencia de carga del fotodiodo,

**Ruido cuántico o *shot*.-** Tiene su origen en que la fotocorriente generada por el fotodiodo es un flujo de electrones creados en instantes de tiempo aleatorio, por lo que la corriente no se puede considerar continua, sino como una corriente formada por un conjunto de impulsos de carga eléctrica.

**Ruido debido a la corriente de oscuridad.** La corriente de oscuridad, se genera en ausencia de una señal óptica y tiene su origen en los pares electrón-hueco generados térmicamente.

---

**Ruido de intensidad relativa** (RIN, *Relative Intensity Noise* ) . Tiene su origen en las fluctuaciones de su potencia provocadas por el comportamiento aleatorio de las emisiones espontáneas acopladas al modo radiante de un diodo láser. El receptor traduce estas fluctuaciones de la potencia óptica recibida en fluctuaciones en la fotocorriente que genera.

#### **Otros dispositivos.**

Además del emisor, receptor y canal existen en todos sistemas de comunicaciones otros componentes necesarios para que todo el proceso de transmisión de información entre el emisor y receptor pueda llevarse con éxito. Dentro de estos dispositivos cabe citar las fuentes de información, muestreadores, cuantificadores, codificadores, decodificadores, filtros, amplificadores.

#### **2.1.4.6.3 Tipos de Modulación**

El proceso de superponer información en una señal luminosa se conoce como modulación óptica, la cual se requiere para la transmisión de información a través de fibra óptica. Ante esto, el proceso puede aplicarse directamente sobre la fuente óptica usando la técnica de “modulación directa” o de manera indirecta usando la técnica de “modulación externa”.

#### **Modulación Directa (láser modulador directo - DML )**

Una de las maneras más fáciles de comprobar esta técnica de modulación es por ejemplo, “encender y apagar el láser rápidamente”. Siendo efectiva esta técnica, trae consigo varias desventajas: conforme la velocidad con que el laser se enciende y se apaga, la luz tiende a cambiar, de manera que la luz que se recibe es menos clara y es más difícil de detectar de manera precisa. Esta variación es conocida como *chirp* que es una fluctuación en las componentes espectrales y/o en la amplitud de la potencia a la salida del dispositivo.

---

La máxima velocidad de modulación de la fuente óptica depende básicamente del tiempo de recombinación de los portadores, así como de las capacidades asociadas al semiconductor. Este modo de modulación funciona para velocidades de modulación de hasta 600 Mbps.

Cuando se desea transmitir información por encima de 1 Gbps, los diodos laser, ya no son capaces de trabajar a estas velocidades sin presentar el efecto *chirp*, por lo que se requiere de una modulación externa para lograrlo.

### **Modulación Externa (láser modulador externo - EML )**

La modulación de fase es una modulación externa la cual modula directamente a la onda luminosa, a través del efecto electro-óptico, lográndolo altas frecuencias gracias a esto.

La modulación externa presenta una serie de ventajas con respecto a la modulación directa de los láseres: es posible conseguir una mayor linealidad, ancho de banda; es decir permite una pureza en la señal óptica ya que se utiliza un laser de onda continua.

#### **2.1.4.6.4 Tipos de transmission**

- **Directa**

Este tipo de transmisión se da cuando se requiere enlazar equipos ópticos entre dos edificaciones (A y B), cuya distancia es mayor a la permitida por este tipo de equipos, por lo que es necesario colocar equipos ópticos interconectados que sirvan como puente de transmisión, los mismos que estarían colocados en algún sitio (C) entre las dos edificaciones que minimice dicha distancia.

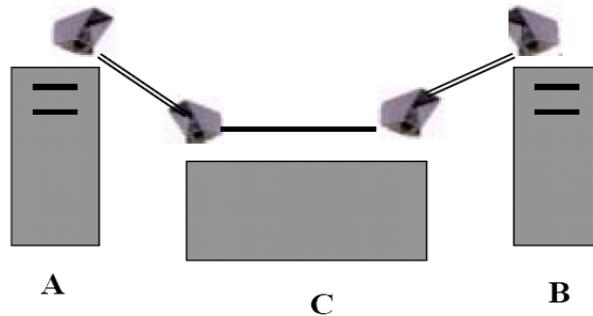


Figura 2.51: Estructura de un tipo de transmisión directa con FSO<sup>1</sup>

- **Indirecta**

Este tipo de transmisión se da cuando se requiere enlazar equipos ópticos entre edificaciones (A, B y C), lo cual implica usar un equipo óptico transmisor y un receptor, tanto para comunicar (A y C), como para (B y C), teniendo en cuenta que (C) es la edificación central, donde se encuentra un switch el mismo que brindará enlaces internos de red para (C), así como también enlaces de comunicación entre (A y B).

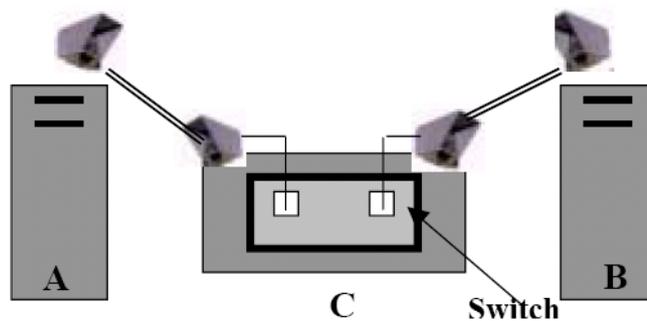


Figura 2.52: Estructura de un tipo de transmisión indirecta con FSO<sup>2</sup>

### 2.1.4.7 Ventajas y Desventajas

#### Ventajas:

La principal ventaja de las FSO es:

\_\_\_\_\_

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

<sup>2</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

- 
- Sencillez en su instalación, al no tener que abrirse zanjas en las calzadas de la ciudad, se agilizan mucho los trámites “burocráticos” para la implantación del sistema, además la infraestructura necesaria es relativamente barata. Simplemente es necesario colocar los transmisores y receptores de tal manera que haya visión directa entre ellos.

Otras ventajas de las FSO son:

- Solución óptica de alta velocidad.
- No requiere licencia de operación.
- Seguridad y Protección.
- No hay necesidad de hacer una conexión mediante cables o fibra óptica evitando así contratar enlaces a las empresas de telecomunicaciones.
- A diferencia de las microondas no requiere una licencia por el uso de una radiofrecuencia.
- Es inmune a interferencias o saturaciones.
- Por trabajar en el espectro óptico, los haces de luz infrarroja no atraviesan paredes pero sí cristales como los de las ventanas. Esto permite colocar los emisores y receptores dentro de los edificios evitando la competencia por el espacio en el tejado.

### **Desventajas:**

La principal desventaja de las FSO es:

- Su alto grado de vulnerabilidad frente a los factores atmosféricos. Al estar operando con ondas luminosas, la atenuación de la señal será muy grande en condiciones de niebla. Esto no invalida las FSO como método de comunicación, simplemente es un factor que debe tenerse en cuenta en el diseño de los enlaces de forma que cumplan las especificaciones

---

requeridas por el usuario. Se deberá garantizar que el enlace estará activo un determinado porcentaje del tiempo.

Otras desventajas de las FSO son:

- La posibilidad de **obstrucción del enlace**: se puede ocasionar por ejemplo: por la obstrucción de las aves. Dado que éste es un hecho inevitable, la única solución es la redundancia en los equipos transmisores y receptores.
- **Estabilidad de los edificios**: para que el enlace por FSO funcione correctamente, emisor y receptor deben estar perfectamente enfrentados. Cualquier pequeño desplazamiento de uno de ellos conllevaría la caída del enlace. Por ello, en el diseño deben tenerse en cuenta los movimientos a los que están sujetos los edificios. Esto se ha logrado, y el equipamiento comercial está preparado para soportar la mayoría de los movimientos a los que pueden verse sometidos.
- **Interferencia con la radiación solar**: el Sol emite también radiación en el espectro del infrarrojo donde trabajan las FSO y por tanto es una fuente de ruido para el sistema. Unos filtros apropiados que eliminen toda la potencia fuera de la banda de interés junto con una potencia suficiente en el receptor solucionan este problema.
- **Salud pública**: las FSO emiten al espacio una gran potencia luminosa concentrada en haces láser invisibles. Si esta potencia incide sobre la retina de los ojos de las personas, puede quemarla y provocar graves trastornos de visión. Por ello, es muy importante que se asegure la inocuidad de la utilización de las FSO en zonas transitadas por el público.

### 2.1.4.8 Aplicaciones

A continuación se muestra los diferentes aplicativos de Tecnología FSO:

#### ▪ Interconexión Empresarial

En la actualidad existen varias Empresas privadas que utilizan enlaces ópticos inalámbricos de alta seguridad para interconectar edificios, oficinas aisladas, etc. Contando con un enlace de alta velocidad no se genera un "cuello de botella" en el transporte de información logrando tener un alto desempeño como también disponer con una gran variedad de servicios como:

- Conexión de redes LAN - LAN, MAN - LAN.
- Servicios de videoconferencia de alta calidad
- Transmisión de base de datos a alta velocidad

Esto permite ofrecer transmisiones de alta velocidad igual que la fibra óptica pero a un costo mucho más económico, en donde además el enlace puede ser reubicado de forma rápida y sencilla en caso de que alguno de los sitios llegara a cambiar de lugar.

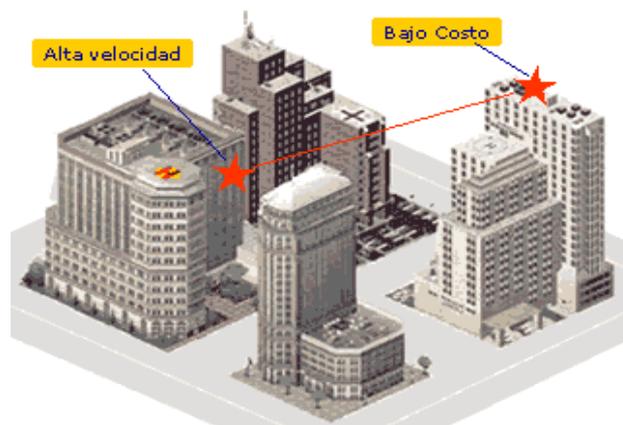


Figura 2.53: Aplicación de una red FSO en una interconexión empresarial<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_ie.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_ie.shtml)

- **ISP**

Mediante este método es posible ofrecer servicios de internet de alta velocidad al usuario final. En caso de que no se cuente con acceso por azotea es posible conectar el equipo detrás de una ventana.

Es posible conectar un equipo concentrador de servicios ICD, Ruteador, etc., para ofrecer servicios a varios usuarios que se encuentren dentro del mismo edificio.

De igual forma puede utilizarse para enlazar un punto concentrador remoto y así poder ofrecer servicios a los usuarios de dicha región geográfica.



Figura 2.54: Aplicación de una red FSO en un ISP <sup>1</sup>

- **Redes Metropolitanas**

En este tipo de redes es muy utilizada la Tecnología FSO; ya que puede ofrecer servicio a clientes que no se encuentran al alcance de la fibra óptica, estos pueden ser usados como enlaces permanentes o temporales (durante el tiempo en que se tarde en instalar la fibra) logrando entregar el servicio en un tiempo bastante rápido.

---

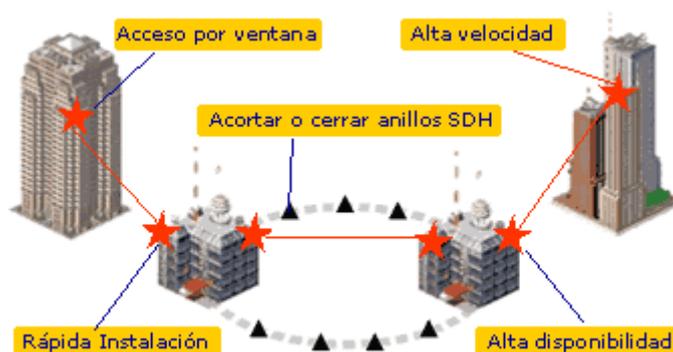
<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_isp.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_isp.shtml)

---

Al igual que la fibra es posible realizar topologías de bus y anillo en donde el equipo terminal utilizado puede ser el mismo que se emplea en los enlaces de fibra óptica.

Gracias a que los enlaces cuentan con un alto nivel de disponibilidad, estos pueden ser usados para cerrar anillos de fibra óptica, como respaldo o bien para reducir el número de nodos que forman parte del anillo SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y así disminuir el Jitter (es una variación o perturbación en los pulsos de una transmisión digital, sino también puede ser pensado, en cierto modo, como pulsos irregulares) y Wander (son las variaciones aleatorias de los instantes significativos de una señal digital de sus posiciones ideales) generado.

Se ofrece transmisiones de alta velocidad igual que la fibra óptica pero a un costo mucho más económico en donde además, el enlace puede ser reubicado de forma rápida y sencilla en caso de que alguno de los sitios llegara a cambiar de lugar.



**Figura 2.55:** Aplicación de una red FSO en una red metropolitana <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_rm.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_rm.shtml)

---

- **Redes de Telecomunicaciones**

En estos casos la FSO es muy utilizada por los proveedores de servicios de telecomunicaciones; ya que se facilita maximizar la utilización de sus anillos metropolitanos instalando enlaces laterales hacia edificios que se encuentran fuera del alcance a un costo bajo y anchos de banda de alta capacidad.

Los enlaces pueden funcionar como un respaldo de los enlaces de radio ya que, a diferencia de los radios, estos son menos susceptibles a eventos climatológicos como la lluvia.

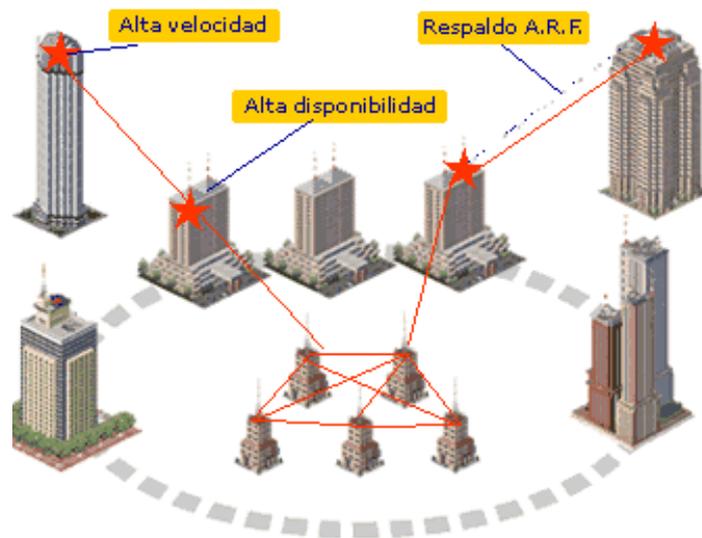


Figura 2.56: Aplicación de una red FSO en una red de telecomunicaciones <sup>1</sup>

- **Redes Celulares**

Ahora en la actualidad, por el gran desarrollo de las tecnologías celulares y conociendo que conforme la red celular va creciendo y existen nodos fuera del límite del cable de fibra óptica, o el espectro se encuentra saturado, FSO permite una solución económica para extender la red de forma económica y a sitios en donde posiblemente la infraestructura no permita realizar cableados.

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_rt.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_rt.shtml)

---

Conforme se ofrece nuevos servicios de datos y videoconferencia, el ancho de banda requerido en las radiobases es cada vez mayor. Mediante esta tecnología es posible contar con enlaces desde  $n \times E1$  y crecerlos hasta 155 y 622 Mbit/s sin necesidad de cambiar el equipo de transmisión.

De igual manera, es posible instalar enlaces dispositivos FSO para enlazar nodos de forma directa y de esta forma evitar la interconexión con terceros. Los enlaces pueden trabajar en conjunto con radios de RF ofreciendo una disponibilidad del 99.999%

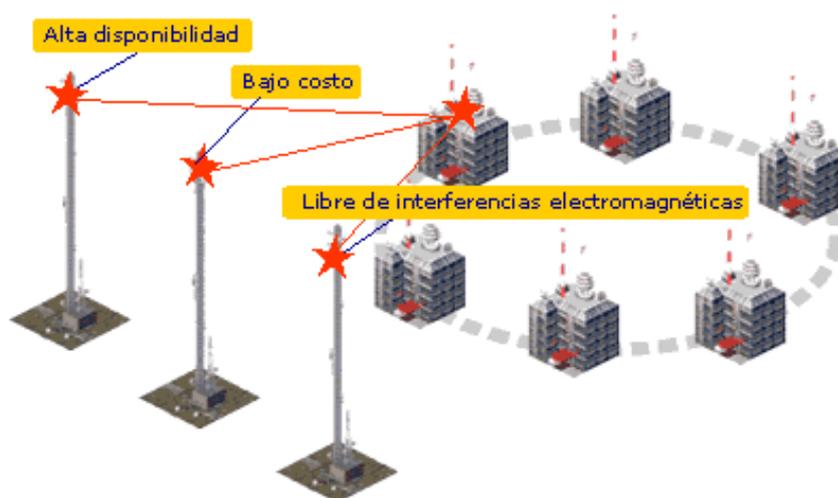


Figura 2.57: Aplicación de una red celular aplicando FSO <sup>1</sup>

#### ▪ Redes de televisión por cable

Servicios por cable como internet a alta velocidad, telefonía, generan altas ganancias a operadores de televisión por cable, pero generalmente es necesario contar con redundancia en la red para así poder proveer un nivel de calidad de servicio aceptable. Mediante enlaces ópticos, se pueden realizar este tipo de redundancia de una forma económica, protegiendo así los

---

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_rc.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_rc.shtml)

sistemas de distribución por cable, cerrando anillos e incluso contar con enlaces paralelos en la red.

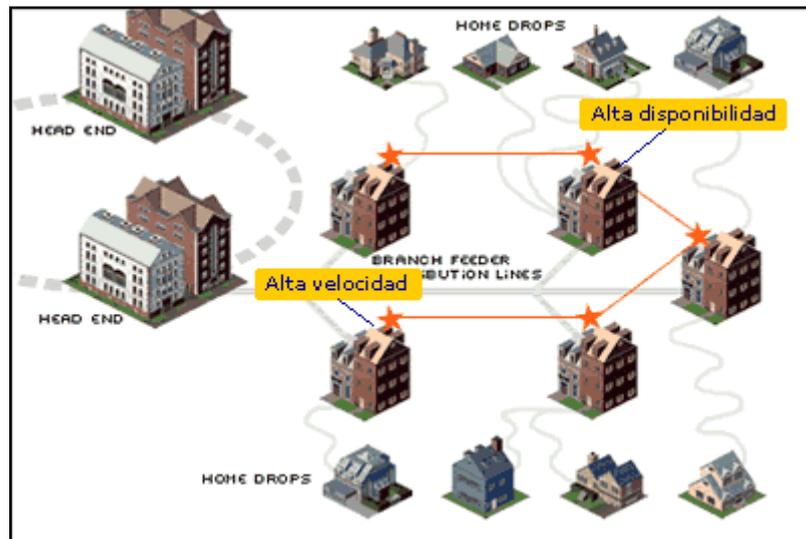


Figura 2.58: Aplicación de una red FSO en una red celular<sup>1</sup>

#### 2.1.4.9 Seguridad de redes ópticas

Las FSO presentan una serie de ventajas de seguridad interesantes frente a otras tecnologías inalámbricas basadas en radio:

- Los haces láser son altamente directivos y se hace muy complicado interceptarlos sin que el propietario se percate de ello.
- Tampoco pueden ser detectados mediante analizadores de espectro ni detectores de potencia de RF y EM.
- Son invisibles al ojo humano así que su presencia no resulta evidente.

<sup>1</sup>Referencia: [http://www.triohmtec.com/fsoaplica\\_rtc.shtml](http://www.triohmtec.com/fsoaplica_rtc.shtml)

- 
- Además la información puede transmitirse de forma cifrada, al igual que en el resto de comunicaciones digitales, lo que proporciona un grado de seguridad aún mayor.
  - En conclusión, es tan seguro la transmisión, que la única forma de capturar datos es interceptar físicamente el haz de la luz.

### **2.1.5 Herramientas de Diseño y Simulación**

- La herramienta utilizada para los diseños de las figuras del presente proyecto es el “ConceptDraw versión 7.1.0”.
- Google Earth v4.3.7, herramienta utilizada para determinar las respectivas distancias entre los edificios situados en la ESPE Campus Sangolquí.

### 3. CAPÍTULO III

#### 3.1 DESARROLLO

##### 3.1.1 Situación Actual del Backbone de la ESPE campus Sangolquí

###### 3.1.1.1 Análisis de la estructura del Backbone de la ESPE

###### 3.1.1.1.1 Diseño de la Estructura del Backbone de la ESPE

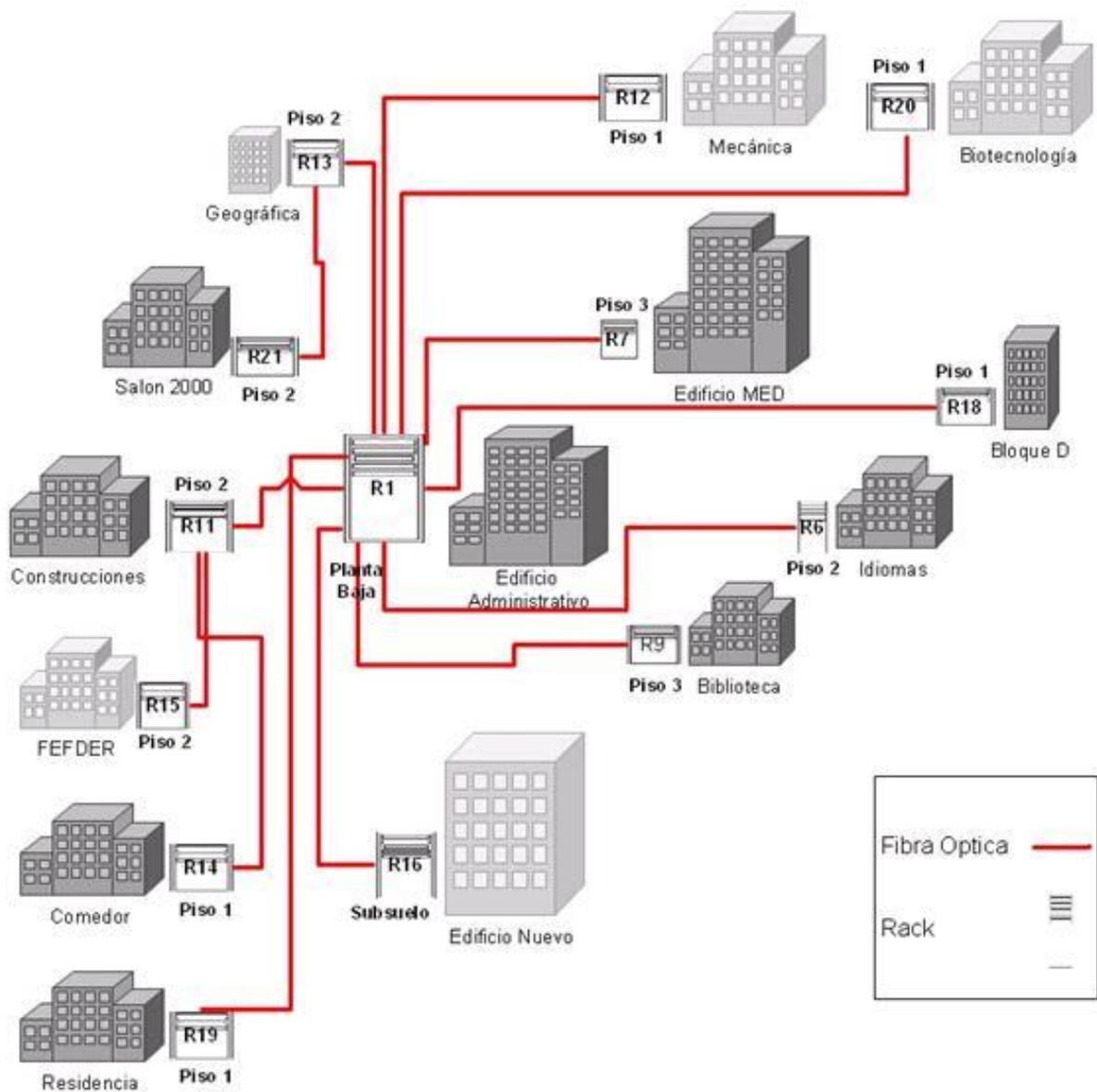


Figura 3.1: Diseño del backbone de la ESPE

---

### 3.1.1.1.2 Análisis del Backbone de la ESPE

Según el diseño de la estructura del Backbone actual de la ESPE Campus Sangolquí, se detalla los siguientes datos:

Cada edificación perteneciente a la ESPE posee un Rack de Telecomunicaciones, esto a su vez tiene como funcionalidad distribuir la red a los diferentes puntos de red que se encuentran dentro del edificio al que pertenece.

La estructura del backbone actual de la ESPE se encuentra distribuida de la siguiente manera:

En el edificio central o Administrativo, en la Torre A, planta baja, en la Unidad de Tecnología de la Información y Comunicación, se encuentra ubicado el Rack N°1 de Telecomunicaciones, el cual a su vez es el Rack Central de toda la estructura del backbone actual de la ESPE. Este se encarga de distribuir todos los enlaces de red a los diferentes Racks secundarios situados en las diferentes edificaciones.

En toda la estructura del backbone actual de la ESPE, se ubican los rack secundarios. El medio de transmisión por el cual están conectados todos estos rack secundarios con el rack central, es Fibra Óptica.

Se detalla la ubicación y distribución de cada uno de los rack según la edificación:

- **Edificio Administrativo:**

Este edificio tiene 3 pisos, con 2 torres A y B.

En la torre A: están ubicados 2 racks:

---

*Distribución de Racks:*

- Rack N°1 → planta baja. Este es el rack central, el cual distribuye enlaces a los demás racks.
- Rack N°2 → 2do. Piso en el cual se encuentra la Carrera de Ciencias Administrativas.

En la torre B: se encuentran 4 racks:

*Distribución de Racks:*

- Rack N°3 → planta baja
- Rack N°4 y N°17 → 2do. Piso en el cual se encuentra la Carrera de Ciencias de la Computación.
- Rack N°5 → 3er. Piso.

- **Edificio MED:**

Este edificio tiene 3 pisos. En los cuales se encuentra ubicado un rack por cada piso.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°7 → 2do. Piso.
- Rack N°8 → 1er. Piso.
- Rack N°10 → planta baja.

Cabe señalar, que la fibra óptica tendida del rack central a este edificio, se conecta con el Rack N°7 y N°8, el rack N°8 a su vez se conecta hacia el rack N°10 por medio de cable UTP.

En el Primer Piso de este edificio, se encuentran los laboratorios, lo cual permite que existan pequeños racks ubicados en las diferentes aulas. Esta distribución se realiza desde el rack N°8, hacia los 12 rack ubicados en diferente aulas, al igual que el rack N°10 distribuye la red hacia los 12 rack ubicados en las diferentes aulas de su piso. El nombre de estos racks, llevan el número del aula al que pertenecen. Toda esta distribución, está realizada con cable UTP.

---

- **Edificio nuevo:**

Este edificio tiene 5 pisos y un subsuelo. De igual manera se encuentran ubicados un rack en cada piso.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°16 → subsuelo.
- Rack N°16-1 → 1er. Piso.
- Rack N°16-2 → 2do. Piso.
- Rack N°16-3 → 3er. Piso.
- Rack N°16-4 → 4to. Piso.
- Rack N°16-5 → 5to. Piso.

Siendo el rack N°16, ubicado en el subsuelo, el que está conectado al rack central a través de fibra óptica. Éste rack N°16 a su vez enlaza a los demás racks ubicados en los diferentes pisos del edificio, a través de fibra óptica.

En cada uno de los siguientes edificios detallados a continuación utilizan simplemente un sólo rack que está conectado a su vez directamente con el rack central, a través de fibra óptica, esto son:

- **Biblioteca**

Este edificio posee 3 pisos y un subsuelo, con un rack en cada piso siendo el mas importante el rack N°9.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°9 → 3er. piso.

- **Idiomas**

Este edificio posee 2 pisos, con un rack para cada piso.

---

*Distribución de Racks:*

- Rack N°6 → 2do. piso.

- **Mecánica**

Este edificio posee 2 pisos.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°12 → 1er. piso.

- **Bloque D**

Este edificio posee 4 pisos, con dos racks, uno en el primer piso y otro en el segundo, siendo el principal el del segundo piso.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°18 → 1er. piso.

- **Construcciones**

Este edificio posee 2 pisos.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°11 → 2do. piso.

Este rack conecta a su vez, a 2 edificios más, como son: el Comedor y FEFDER; cada lugar de estos tiene un rack respectivo. De igual manera utiliza como medio de transmisión la fibra óptica.

- **Comedor**

*Distribución de Racks:*

- Rack N°14 → 1er. piso.

---

- **FEFDER**

Este edificio posee 2 pisos.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°15 → 2do. piso.

- **Residencia**

Este edificio posee 4 pisos, con un solo rack principal ubicado en el segundo piso.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°19 → 2do. piso.

- **Geográfica**

Este edificio posee 2 pisos, con un solo rack central, ubicado en el segundo piso.

*Distribución de Racks:*

- Rack N°13 → 2do. piso.

El rack de este edificio, también conecta al rack N°21, que se encuentra en el edificio del salón 2000, a través de fibra óptica.

- **Salón 2000**

*Distribución de Racks:*

- Rack N°21 → 2do. piso.

- **Biotecnología**

*Distribución de Racks:*

- Rack N°20 → 1er. piso.

### 3.1.1.2 Rendimiento del Backbone de la ESPE

Conociendo la distribución de los racks, se procederá a efectuar un análisis del rendimiento del Backbone; es decir se indicará la distribución de la fibra óptica actual, determinando la capacidad de cada canal, mediante el monitoreo de la red; lo cual permite conocer la velocidad de transferencia que está siendo utilizada en cada enlace.

La utilización de hilos en cuanto a capacidad de cada fibra se refiere, es la siguiente:

Tabla 3.1: Utilización de canal de fibra óptica en el backbone de la ESPE <sup>1</sup>

Rack	Tipo de Fibra Óptica	Hilos	Utilizados	No Utilizados
R1	Multimodo	72	32	40
R2	Multimodo	4	2	2
R3	Multimodo	4	2	2
R4	Multimodo	4	2	2
R5	Multimodo	4	0	4
R6	Multimodo	4	2	2
R7	Multimodo	4	2	2
R8	Multimodo	4	2	2
R9	Multimodo	8	2	6
R10	Multimodo	--	--	--
R11	Multimodo	12	6	6
R12	Multimodo	4	2	2
R13	Multimodo	4	2	2
R14	Multimodo	--	--	--
R15	Multimodo	--	--	--
R16	Multimodo	4	2	2

<sup>1</sup> Referencia: UTICS – (Unidad de Tecnología Informática de Comunicaciones)

<b>R17</b>	Multimodo	4	2	2
<b>R18</b>	Multimodo	4	2	2
<b>R19</b>	Multimodo			
<b>R20</b>	Multimodo	4	2	2
<b>R21</b>	Multimodo	--	--	--

De acuerdo a la distribución establecida entre las diferentes edificaciones las cuales poseen un rack por cada una de ellas, las mismas que están interconectadas mediante cable de fibra óptica, la utilización de estos estaría dada de acuerdo a la capacidad establecida para cada canal y la cantidad de hilos utilizados en cada uno de ellos, es decir, si en un cable de fibra óptica de 4 hilos por ejemplo se están utilizando 2 hilos se lo podría manejar de la siguiente manera: una de las opciones sería utilizar uno de los dos hilos para envío y el otro para recepción de información (datos); la otra manera sería utilizar los dos hilos tanto para envío como recepción de información, todo esto dependiendo de la tecnología que se utilice para interconectar los dos puntos, refiriéndose a estos como el equipo emisor y receptor.

La capacidad de cada canal se manejaría de la siguiente manera, por ejemplo si a un canal se le asigna una capacidad de 128/64kbps, entendiendo como 128kbps la capacidad del canal de bajada de información y 64kbps la capacidad de subida de información, utilizando como medio físico un cable de fibra óptica de 4 hilos en el cual se utiliza solo dos de ellos, la distribución de la capacidad por cada hilo se la podría asignar de la siguiente manera: los dos hilos podrían tener la capacidad de 128/64kbps por cada uno de ellos; la otra manera sería uno de los dos hilos servir solo como canal de envío en este caso poseería la capacidad de 64kbps y el otro como canal de recepción el cual poseería 128kbps.

### 3.1.1.3 Gráficas del rendimiento del Backbone actual.

Monitoreando la red actual de la ESPE, a través del enlace <https://monitoreo.espe.edu.ec>, se pudo constatar varios sectores de la ESPE, dónde se analizan las operaciones efectuadas por meses; esto es: descargas de información y consumos. Para esto sea ha tomado ejemplos de estos monitoreo en tres sectores específicos, estos son:

#### Monitoreo Biblioteca

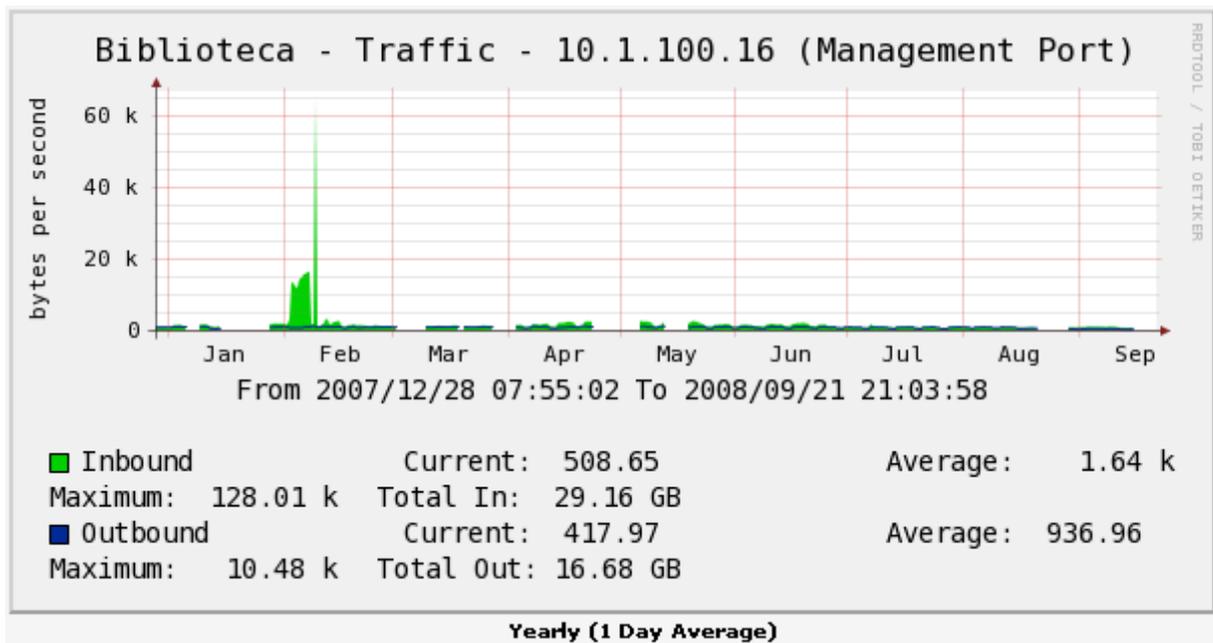


Figura 3.2: Gráfica del monitoreo realizado para la biblioteca.

Como se puede observar en el gráfico del monitoreo realizado, no hay mucho consumo del canal, como indica el parámetro "Inbound máximo", que es el mayor consumo registrado en el mes de Enero, el mismo que marca 128,01 kbps de ingreso de información, así como también el "Outbound máximo", que es el máximo consumo registrado, el mismo que marca 10.48 kbps de salida de información, de igual manera nos indica el parámetro "Average", que es el promedio de todos los consumos monitoreados, el mismo que indica 1.64 kbps de ingreso de información (descargas) y 936,96 bps de salida de información.

El parámetro “Current” nos indica en cambio el último consumo registrado, el cual muestra 508,65 bps de ingreso de información y 417,97 de salida de información, este dato lo obtenemos del último consumo registrado, que como podemos observar se o realizo en el mes de Septiembre.

Finalmente el parámetro “Total In” muestra el consumo total del canal, en lo que se refiere a ingreso de información, el mismo que registra 29,16 Gbps, así como también “Total Out”, que registra el consumo total del canal, en lo que se refiere a salida de información, el mismo que registra 16,68 Gbps.

### Monitoreo UTICS

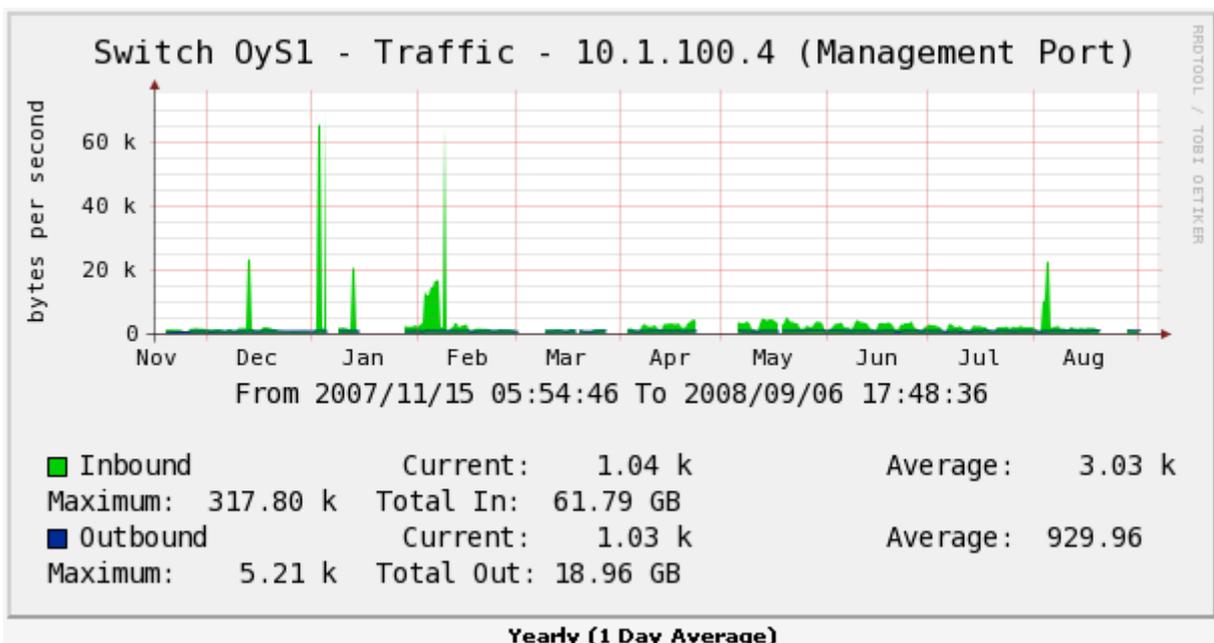


Figura 3.3: Gráfica del monitoreo realizado para la UTICS.

Como se puede observar en el gráfico del monitoreo realizado, no hay mucho consumo del canal, como indica el parámetro “Inbound máximo”, que es el mayor consumo registrado en el mes de Diciembre, el mismo que marca 317,80 kbps de ingreso de información, así como también el “Outbound máximo”, que es el máximo consumo registrado, el mismo que marca 5,21 kbps de salida de información, de igual manera nos indica el parámetro “Average”, que es el promedio

de todos los consumos monitoreados, el mismo que indica 3,03 kbps de ingreso de información (descargas) y 929,96 bps de salida de información.

El parámetro “Current” nos indica en cambio el último consumo registrado, el cual muestra 1,04 kbps de ingreso de información y 1,03 kbps de salida de información, este dato lo obtenemos del último consumo registrado, que como podemos observar se o realizo en el mes de Septiembre.

Finalmente el parámetro “Total In” muestra el consumo total del canal, en lo que se refiere a ingreso de información, el mismo que registra 61,79 Gbps, así como también “Total Out”, que registra el consumo total del canal, en lo que se refiere a salida de información, el mismo que registra 18,96 Gbps.

### Monitoreo de DCC

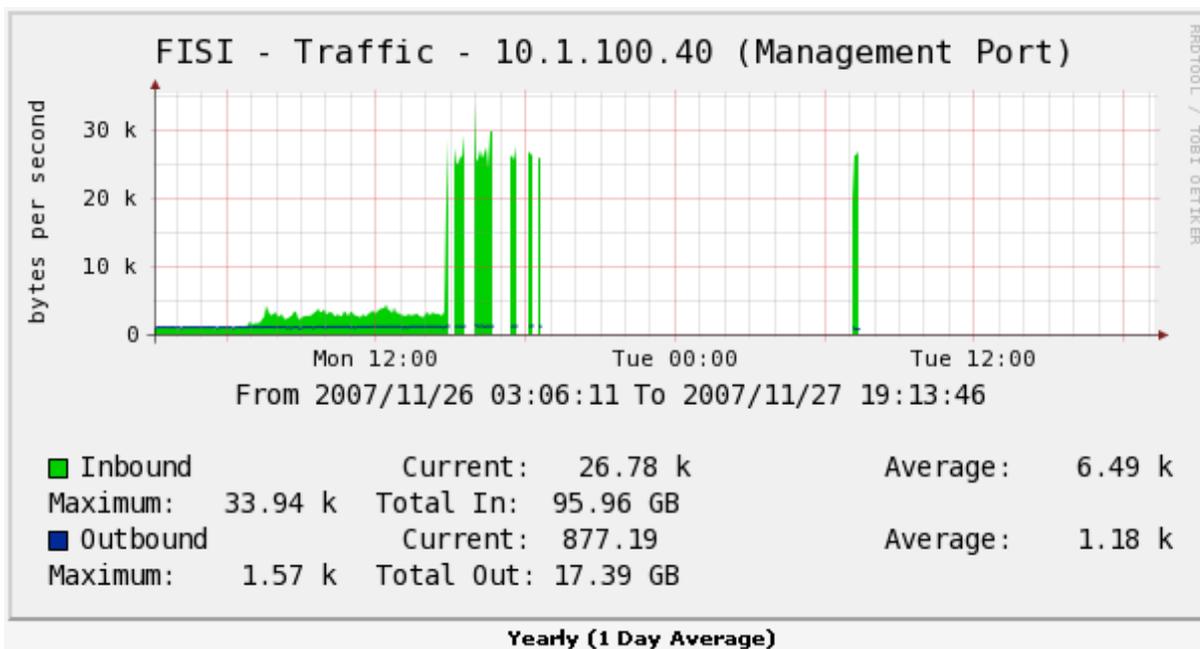


Figura 3.4: Gráfica del monitoreo realizado para el DCC.

Como se puede observar en el gráfico del monitoreo realizado, no hay mucho consumo del canal, como indica el parámetro “Inbound máximo”, que es el mayor consumo registrado en el mes de Noviembre, el mismo que marca 33,94 kbps de

---

ingreso de información, así como también el “Outbound máximo”, que es el máximo consumo registrado, el mismo que marca 1,57 kbps de salida de información, de igual manera nos indica el parámetro “Average”, que es el promedio de todos los consumos monitoreados, el mismo que indica 6,49 kbps de ingreso de información (descargas) y 1,18 kbps de salida de información.

El parámetro “Current” nos indica en cambio el último consumo registrado, el cual muestra 26,78 kbps de ingreso de información y 877,19 bps de salida de información, este dato lo obtenemos del último consumo registrado, que como podemos observar se o realizo en el mes de Septiembre.

Finalmente el parámetro “Total In” muestra el consumo total del canal, en lo que se refiere a ingreso de información, el mismo que registra 95,96 Gbps, así como también “Total Out”, que registra el consumo total del canal, en lo que se refiere a salida de información, el mismo que registra 17,39 Gbps.

### **3.1.2 Estudio de Factibilidad de Implantación de una Red Inalámbrica Óptica**

Para poder efectuar este estudio de Factibilidad de Implantación de una red inalámbrica óptica, es necesario realizar una encuesta dirigida al personal administrativo, docentes y estudiantes; con la finalidad de conocer el estado de la red actual de la ESPE, así como también determinar los lugares donde no se dispone de todos los servicios que provee la red actual.

Al concluir esta encuesta, se procede a detallar estadísticamente los resultados obtenidos, para complementar la factibilidad de implantación de la nueva red.

#### **3.1.2.1 Desarrollo**

Se presenta a continuación el desarrollo de la encuesta, en la cual intervienen varios factores para su efecto.

## Objetivo General

- Determinar la factibilidad de implantación de una red inalámbrica óptica.

## Objetivos Específicos

- Determinar las falencias (velocidad, factibilidad, calidad de servicio, disponibilidad, conectividad) que tiene la red actual.
- Establecer los requerimientos de los usuarios con respecto a la red actual.
- Conocer los sitios en la ESPE, donde es necesario disponer de los servicios que brinda la red.

Para la creación de las encuestas se determino variables e indicadores que serán tomados en cuenta en este estudio, por lo que se generó una matriz de definición de preguntas, la misma que nos ayudará a estructurar de mejor manera las preguntas que intervendrán en las encuestas.

## Elaboración de la Matriz de Definición de Preguntas

Cuadro 3.1: Matriz de definición de preguntas

VARIABLES	CLASIFICACIÓN	INDICADORES	INDICE
Rendimiento de la Red	Recursos Humanos	Velocidad  Disponibilidad	¿Cómo considera Ud. la velocidad de transferencia de información en la red actual?  <input type="checkbox"/> Rápida <input type="checkbox"/> Regular  <input type="checkbox"/> Lenta  ¿Cómo calificaría el servicio de red, que cuenta actualmente la ESPE?  <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> Inestable  ¿Cree Ud. que sea necesario implantar una nueva red como contingencia, para respaldar la información, que brinde servicios de Internet, transferencia de datos de una manera eficiente y que garantice mayor estabilidad en la comunicación?

		<p>Factibilidad</p> <p>Internet</p> <p>Calidad de Servicio</p>	<p><input type="checkbox"/> SI <i>porque.....</i></p> <p><input type="checkbox"/> NO <i>porque.....</i></p> <p>¿Cómo considera el servicio de Internet de la ESPE, en la actualidad?</p> <p><input type="checkbox"/> Excelente    <input type="checkbox"/> Bueno</p> <p><input type="checkbox"/> Regular    <input type="checkbox"/> Malo</p> <p><input type="checkbox"/> Deficiente</p> <p>¿Se siente satisfecho con los servicios ofrecidos a través de la red actual?</p> <p><input type="checkbox"/> SI <i>porque.....</i></p> <p><input type="checkbox"/> NO <i>porque.....</i></p> <p>¿El servicio de la red actual es el conveniente para cumplir con el requerimiento de trabajo que se tiene en la labor diaria?</p> <p><input type="checkbox"/> SI <i>porque.....</i></p> <p><input type="checkbox"/> NO <i>porque.....</i></p>
	Personal Administrativo y Docentes	Capacidad	<p>Señale cuál de los siguientes indicadores tienen mayor importancia en el funcionamiento de la red.</p> <p><input type="checkbox"/> Velocidad    <input type="checkbox"/> Calidad de Servicio</p> <p><input type="checkbox"/> Estabilidad    <input type="checkbox"/> Eficacia    <input type="checkbox"/> Seguridad</p> <p><input type="checkbox"/> Eficiencia</p>
Sitios de accesibilidad a la red	Estudiantes	<p>Internet</p> <p>Conectividad</p>	<p>¿Cómo considera Ud. el disponer del servicio de Internet en lugares donde no llega el servicio?</p> <p><input type="checkbox"/> Muy Importante    <input type="checkbox"/> Considerable</p> <p><input type="checkbox"/> Poco Importante    <input type="checkbox"/> Despreciable</p> <p>En los lugares donde actualmente no llega los servicios de Internet, ¿cómo quisiera ud. que se</p>

			<p>transmita este servicio?</p> <p><input type="checkbox"/> Mediante puntos de Red</p> <p><input type="checkbox"/> De manera Inalámbrica (Wireless)</p> <p>¿En qué lugares de los especificados a continuación, considera Ud. qué es importante que se cuente con el servicio de internet?</p> <p><input type="checkbox"/> Coliseo    <input type="checkbox"/> Facultad Educación Física</p> <p><input type="checkbox"/> Comedor    <input type="checkbox"/> Transporte    <input type="checkbox"/> Ninguno</p> <p>De acuerdo al lugar escogido, explique su importancia.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
--	--	--	---

### Detalle de la Muestra

Conociendo la totalidad de población de la ESPE Campus Sangolquí en el período Octubre 08 – Febrero 09, se procede a mostrar el total de la población; la cual está distribuida de la siguiente manera:

**Tabla 3.2:** Distribución de la población total

Población	Cantidad total	Porcentajes
<b>Alumnos Presencial</b>	7492	85 %
<b>Personal docente presencial</b>	679	19 %
<b>Personal administrativo</b>	614	15 %
<b>Total</b>	8785	100 %

Para la distribución del total de la población hemos tomando en cuenta la cantidad de personal tanto en el área administrativa, docencia y alumnos de la modalidad

presencial la cual se refleja en porcentajes, como se muestra en la tabla 3.1; esto nos ayuda de una manera efectiva a cuantificar los resultados que deseamos obtener con esta encuesta.

Para determinar la muestra total a encuestar utilizamos la siguiente fórmula:

Fórmula 3.1: 
$$n = \frac{t^2 N p q}{e^2 (N-1) + t^2 p q}$$

Donde: **N** = Universo o población total  
**p** = población a favor  
**q** = población en contra  
**e** = error de estimación  
**t** = nivel de confianza  
**n** = muestra poblacional

Aplicando la fórmula, los valores establecidos para realizar dicho cálculo son los siguientes:

**N** = 8785  
**p** = 50 %  
**q** = 50 %  
**e** = 6.1 %  
**t** = 94 %  
**n** = ?

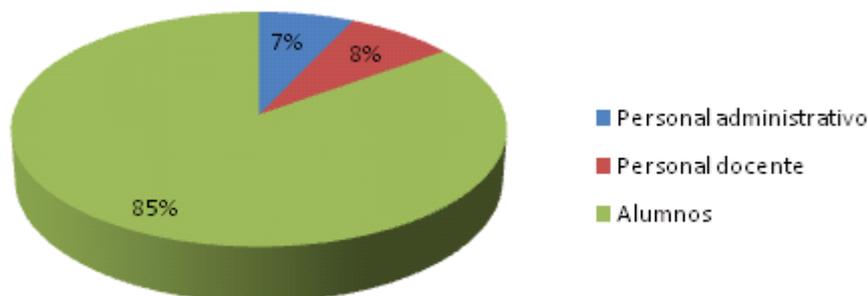
De esta manera con el resultado obtenido se determina en porcentajes y en cantidad las muestras a tomar tanto del área administrativa, docente y alumnos, como se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.3:** Distribución de la Muestra a encuestar

Personal – Muestra	Porcentaje	Total (personas)
<b>Administrativos</b>	7 %	15
<b>Docentes</b>	8 %	19
<b>Estudiantes</b>	85 %	200
<b>Muestra</b>	100 %	234

---

Se tomó estos porcentajes para cada Personal, dependiendo del número total de Administradores, Docentes y Estudiantes existentes en la ESPE. Visualizando de otra manera, como la muestra el siguiente figura:



**Figura 3.5:** Representación de la Muestra en porcentaje

### **3.1.2.2 Resultados Obtenidos**

Una vez finalizadas las encuestas, se procede a analizar los resultados haciendo la tabulación de datos por cada pregunta.

Se efectuó dos tipos de encuestas, una dirigida tanto al personal administrativo y docente, y la otra a los estudiantes. Se decidió unificar la encuesta dirigida al personal administrativo y docente, por motivo de que los docentes realizan labores a su vez como administrativos.

### **Encuestas Docentes y Administrativos**

1. ¿Cómo considera Ud. la velocidad de transferencia de información en la red actual?

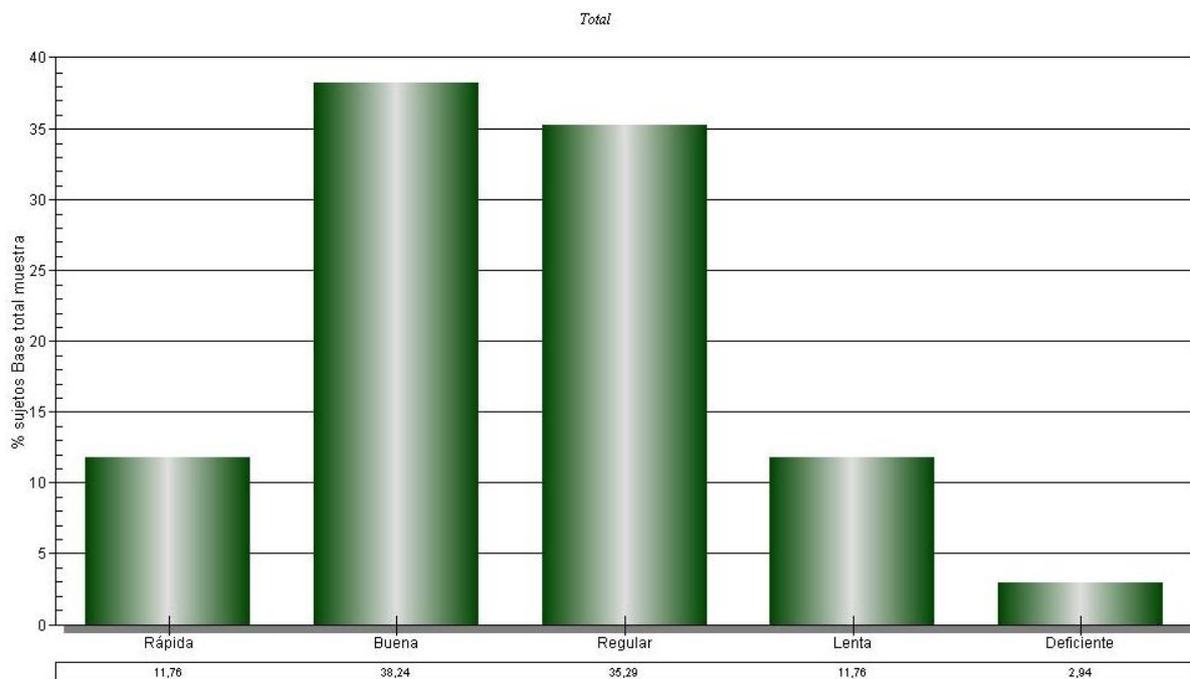


Figura 3.6: Estadística de la velocidad de transferencia

**Análisis:**

De acuerdo a los porcentajes obtenidos con respecto a la velocidad con la que fluyen los servicios ofrecidos a través de la red, tanto personal administrativo como docente no se sienten satisfechos, cabe destacar que cerca del 55% de usuarios encuestados confirmaron que la velocidad tiende a ser “buena”, pero hay un 25,29% de usuarios que confirman que es “regular”; es decir que en ciertos momentos tiende a ser lenta y en otros se restablece. Por otro lado aproximadamente el 14% de encuestados consideran que la velocidad en la red es demasiado “lenta” y hasta “deficiente”. En general, esto conlleva a concluir que la velocidad con la que se brinda los servicios como correo electrónico, internet, envío y recepción de información, es buena, pero hay usuarios que todavía no se sienten satisfechos con el desempeño de la misma.

2. *¿Cómo calificaría el servicio de red con el que cuenta actualmente la ESPE?*

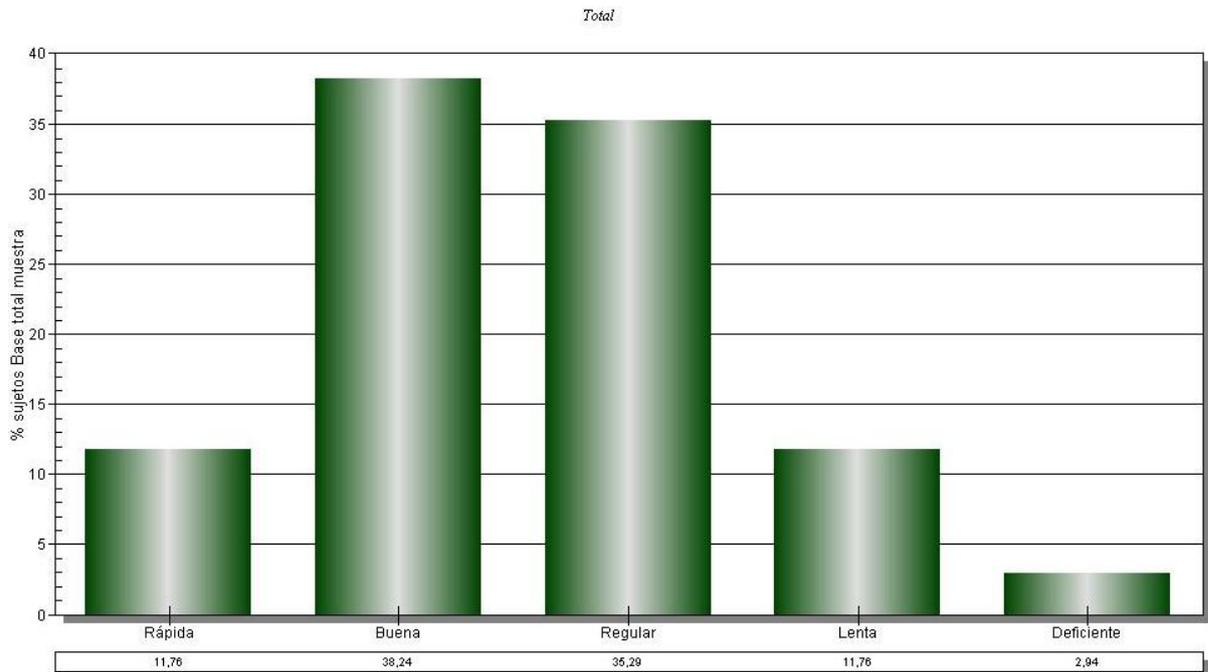
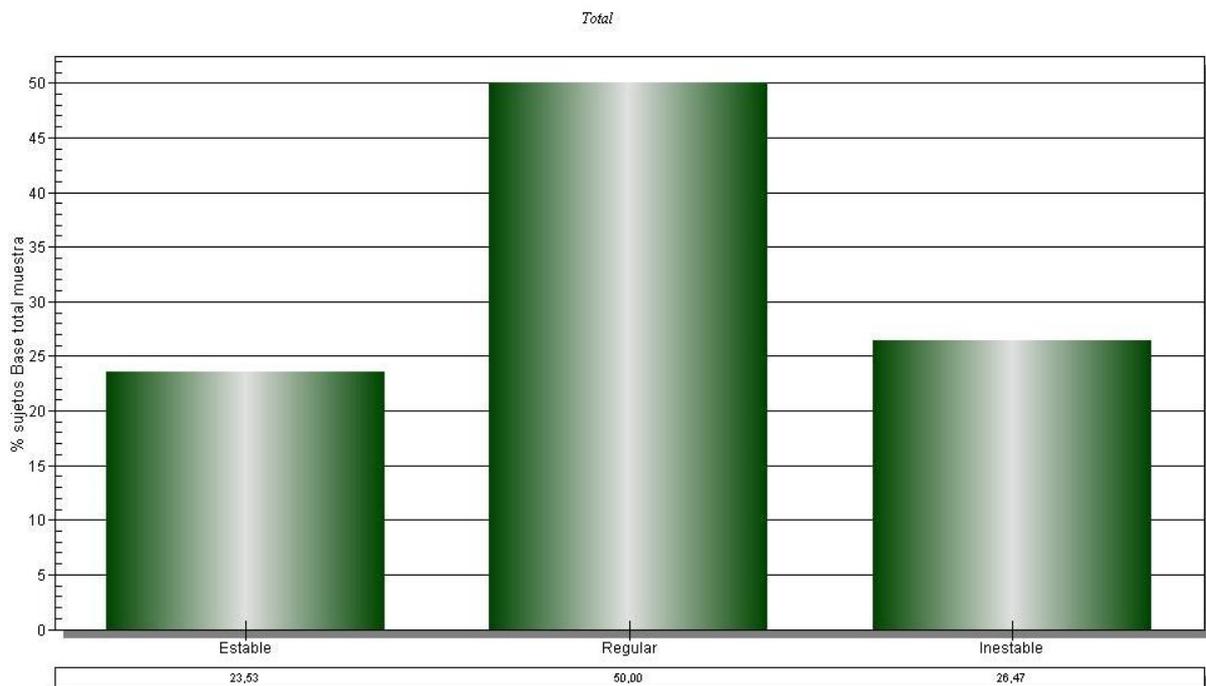


Figura 3.7: Calificación del servicio de la red

**Análisis:**

Con los resultados obtenidos, según la calificación de los servicios de la red podemos observar que un 50% consideran que es “regular”, es decir, que la mitad de los encuestados afirman que no hay una estabilidad continua. Por otro lado solo el 23,53% afirman que la red es “estable” y un 25,47% que es “inestable”. Como conclusión se puede determinar una semejanza porcentual entre estabilidad e inestabilidad, lo que significa que el 50% de encuestados están seguros de su respuesta, mientras que el resto duda de un buen funcionamiento de la red por lo que esta tiende a variar constantemente.

3. *¿Cree Ud. que sea necesario implantar una nueva red como contingencia, para respaldar la información, que brinde servicios de internet, transferencia de datos de una manera eficiente y que garantice mayor estabilidad en la comunicación?*



**Figura 3.8:** Implantación de una nueva red

**Análisis:**

Como se puede observar existe un 82,35% de encuestados que están de acuerdo con la decisión de implementar una red como contingencia que ofrezca mayores beneficios como: ofrecer mayor seguridad, conexión estable y una mejor calidad de servicio; esta mayoría refleja la insatisfacción del personal docente y administrativo en lo referente a la disponibilidad y rendimiento de la red. Por otra lado un 17,65% de encuestados que estuvieron de acuerdo con la opción “No”, manifiestan que no es necesario implementarla porque la actual cumple con lo requerimientos establecidos.

Concluyendo como tal que en la institución es muy importante que exista una nueva red con mayor confiabilidad y que satisfaga los requerimientos de los usuarios.

#### 4. ¿Cómo considera el servicio de Internet de la ESPE, en la actualidad?

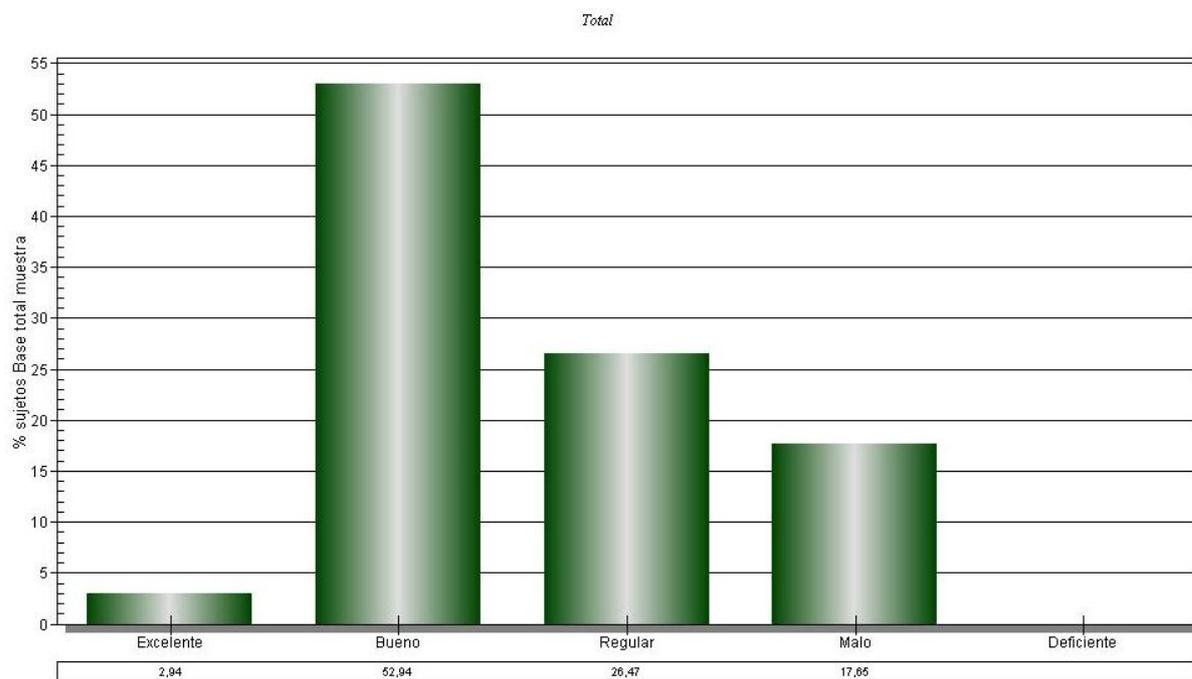


Figura 3.9: Consideración del servicio de Internet

#### **Análisis:**

Como podemos observar los resultados obtenidos reflejan que en un 56% el personal en el campus casi no tiene una queja con respecto al servicio de internet, pero cabe recalcar que hay un grupo significativo de un 26,47% que no se siente complacido con el cumplimiento de algunos de sus requerimientos y califican al servicio como “regular”, y un 17,65% que se encuentran totalmente insatisfechos con el servicio y lo califican como “malo”. En conclusión, el servicio de internet que se está ofreciendo a través de la red en la actualidad está cumpliendo en su mayoría con la demanda de requerimientos de los usuarios que dan uso del mismo.

5. ¿Se siente satisfecho con los servicios ofrecidos a través de la red actual?

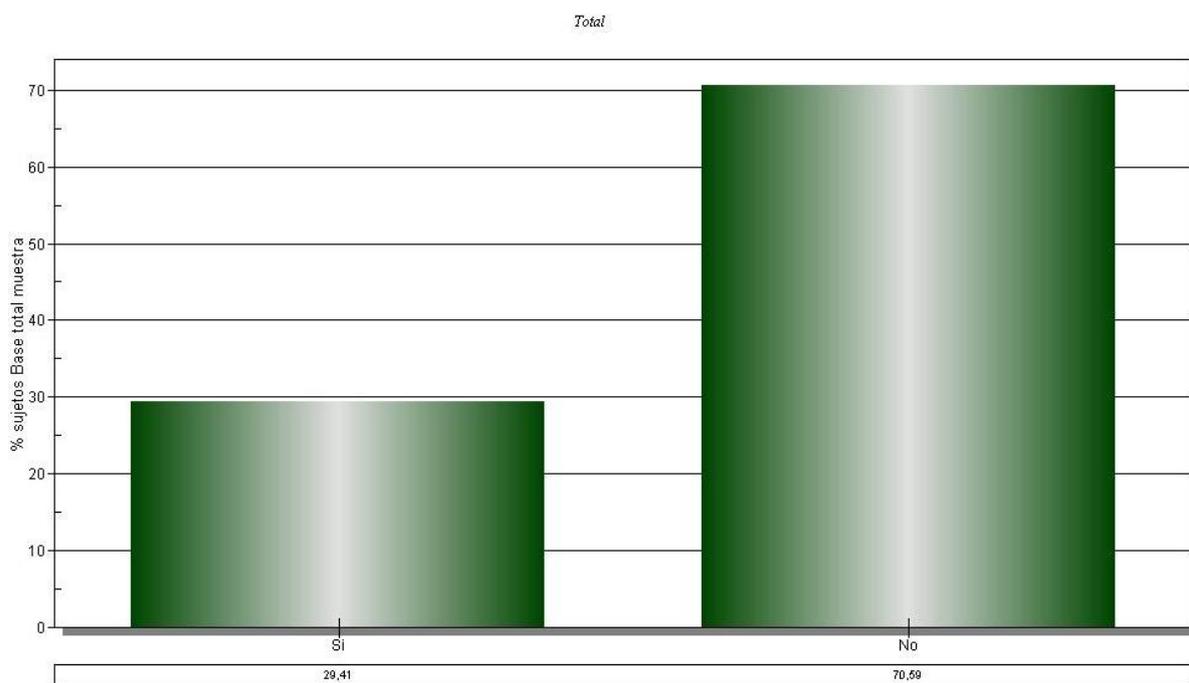


Figura 3.10: Satisfacción con los servicios de la red

**Análisis:**

Con respecto a los servicios ofrecidos tales como correo electrónico, internet, envío y recepción de información, transferencia de datos dentro de la ESPE, hay un 70,59% de encuestados inclinados por la opción “No”, manifestando que tienen varias quejas de que el servicio tiene demasiadas interrupciones o cortes en los enlaces mencionados, que llegan a fastidiar a los usuarios y no brindan una tranquilidad en las labores diarias, causando pérdida de tiempo y demora en el trabajo; sin dejar de lado que hay un 29,41% de encuestados inclinados por el “Si”, que no tiene inconvenientes con los servicios que se ofrece a través de la red.

Concluyendo que los servicios que se ofrecen a través de la red tienen un bajo rendimiento y continuamente demasiadas interrupciones, provocando saturación en los canales de transmisión de información y sobre todo molestia en los usuarios.

6. ¿El servicio de la red actual es el conveniente para cumplir con el requerimiento de trabajo que se tiene en la labor diaria?

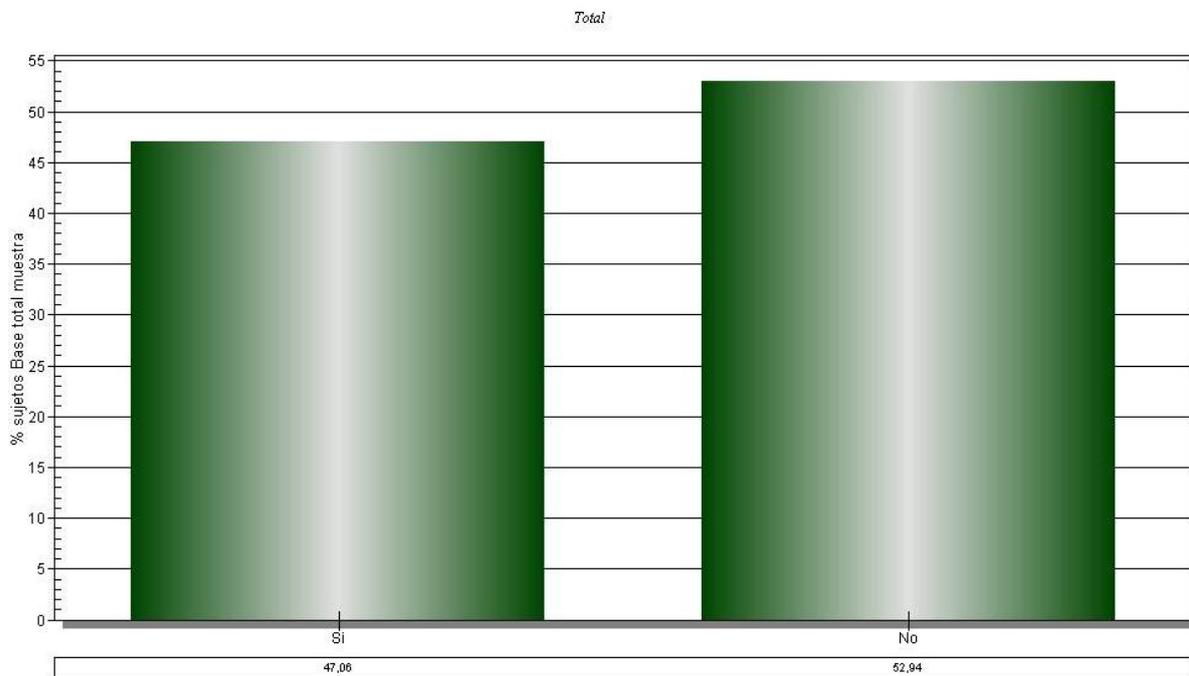


Figura 3.11: Conveniencia del servicio de la red

**Análisis:**

En referencia al rendimiento de la red para cumplir con la demanda de trabajo que se tiene diariamente tanto a nivel docente como administrativo, existe un 52,64% que opinan que “No”, manifestando que tienen varios inconvenientes, molestias que interfieren en la realización de la labor diaria programada, como por ejemplo, los docentes al momento de ingresar las notas de los alumnos al sistema, suelen tener problemas debido a que el sistema no carga rápidamente la información por motivo de saturación en la red. Frente a un 47,06% que opinan que “Si”, ya que la red permite concluir con el requerimiento de trabajo, por motivo de que existen áreas que no dependen directamente de la red para concluir con su labor diaria.

7. ¿Señale cuál de los siguientes indicadores tienen mayor importancia en el funcionamiento de la red?

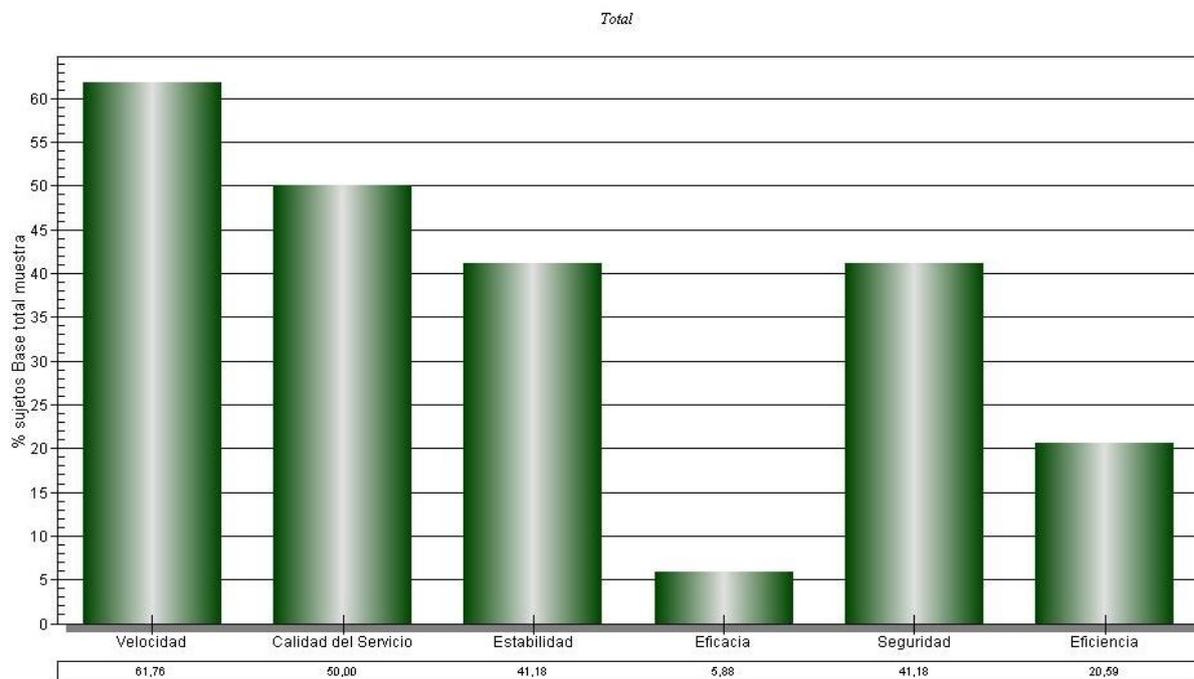


Figura 3.12: Indicadores del funcionamiento de la red

### **Análisis:**

Según la gráfica el indicador considerado con mayor importancia fue la “Velocidad” con un 61,78%, ya que en el funcionamiento de la red mientras mayor sea la velocidad mayor va a ser la satisfacción en los usuarios, se cumplirá con el requerimiento de trabajo de una manera rápida y efectiva.

Hay una semejanza de resultados con respecto a los indicadores de “Calidad de Servicio”, “Estabilidad” y “Seguridad” que cuentan con un 50%, 41,18% 41,18% respectivamente, considerados estos como importantes también al momento de referirse al manejo de información.

Y como los menos opcionados, pero no por ello menos importantes son la “Eficiencia” y “Eficacia” con un 5,88% y 10,50% respectivamente, seleccionados por

usuarios que requieren que los servicios a través de la red sean ofrecidos con mayor rapidez pero con la menor utilización de recursos.

Según los porcentajes de los resultados obtenidos podemos darnos cuenta de que sumados sobrepasan el 100%, la explicación ante esto es porque en la pregunta establecida hay varias indicadores los mismos que pueden ser seleccionadas a la vez en una misma encuesta, y al momento de tabularlas se ha tomado como un voto por cada indicador escogido.

### Encuestas para Alumnos

1. *¿Cómo considera Ud. la velocidad de transferencia de información en la red actual?*

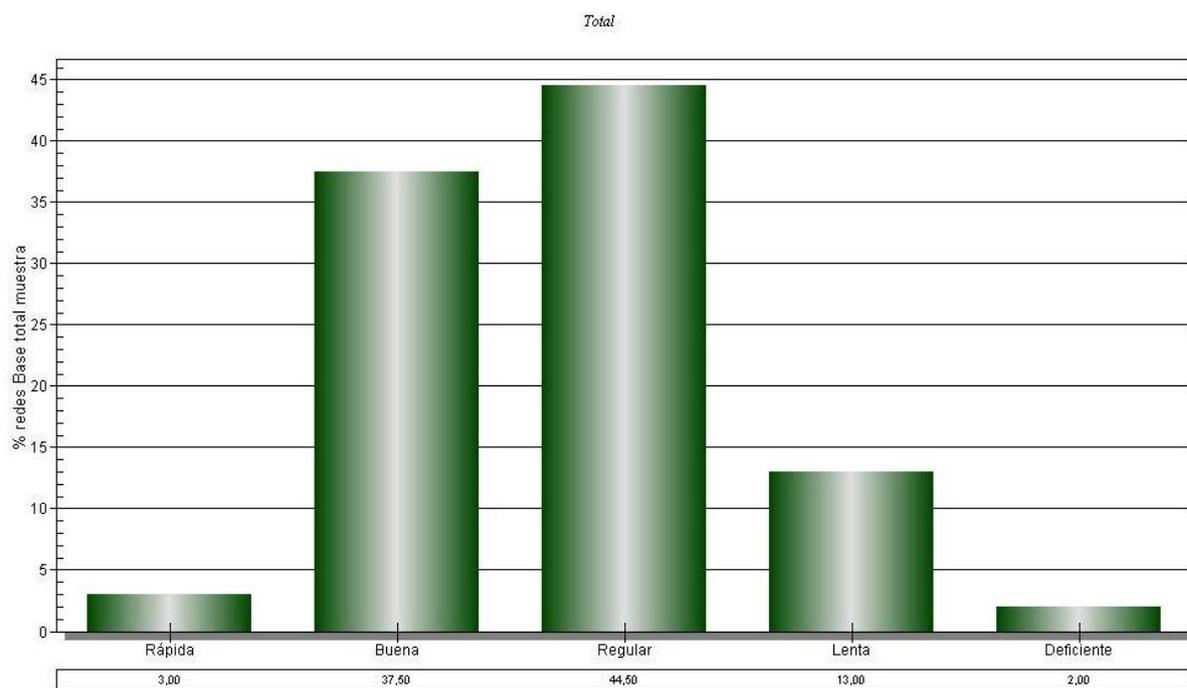


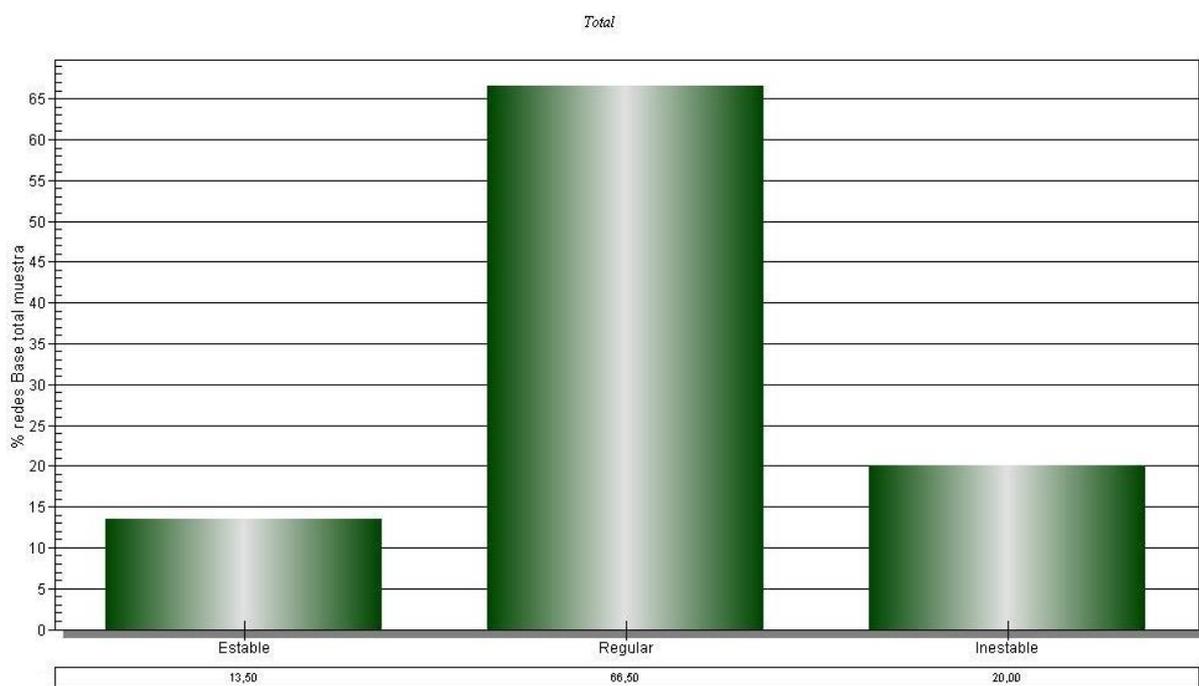
Figura 3.13: Estadísticas de la Velocidad de transferencia

#### **Análisis:**

Se puede determinar que la respuesta con más selección, ha sido la opción “regular” con un 44,5%; y sin mucha diferencia se encuentra la opción “buena”, con un 37,5%. Esto significa que en conceptos generalas la velocidad de transferencia de

información en la red actual es con tendencia a ser “buena”. Pero cabe recalcar que casi el 15% de los encuestados opinan diferente, es decir que la velocidad en la red no es buena. Ahora también se debe señalar que la opción “regular” puede significar que la velocidad de la red, tiende a ser lenta; ya que es una opción intermedia. Concluyendo con este análisis se puede decir que la velocidad es buena, pero no dejar de tener sus deficiencias.

## 2. ¿Cómo calificaría el servicio de red, que cuenta actualmente la ESPE?



**Figura 3.14:** Calificación del servicio de la red

### **Análisis:**

Indiscutiblemente la opción con mayor respaldo, se refleja en que la calificación del servicio de red es “regular”, lo que comprende un 66,5%, lo que implica que sobrepasa la mitad de los encuestados. Esto significa que si han elegido la opción “regular”, están afirmando que existen situaciones en la que la red permanece estable, y en otra inestable. Por lo que ya existe alguna anomalía en la red actual.

3. ¿Cree Ud. que sea necesario implantar una nueva red como contingencia, para respaldar la información, que brinde servicios de Internet, transferencia de datos de una manera eficiente y que garantice mayor estabilidad en la comunicación?

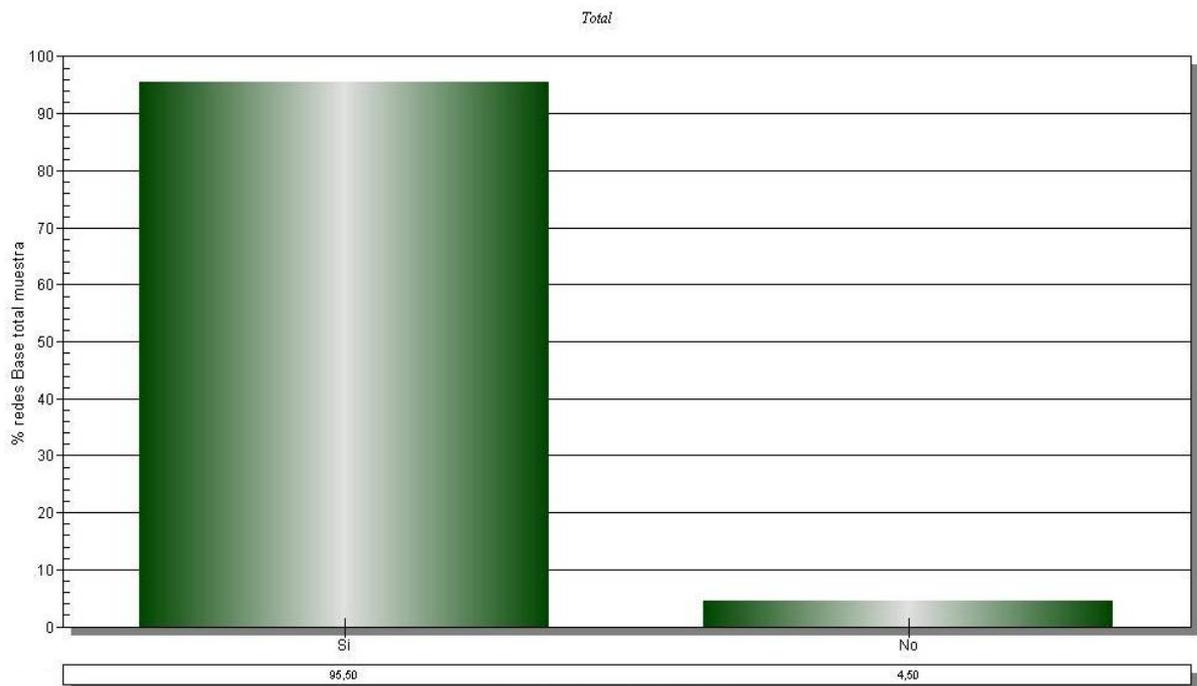


Figura 3.15: Implantación de una nueva red

### **Análisis:**

Como podemos visualizar, es extremadamente amplia la diferencia, en cuanto a implantar una nueva red de contingencia, teniendo el 95,5%, de aceptación. Los encuestados que estaban de acuerdo con esta opción, expresaba algunas versiones de porqué se debería tener una red contingencia; como por ejemplo: “Se tendría un respaldo incondicional, ya que en algunas ocasiones existen fallas en la red actual, y se tiene que esperar hasta que esto se supere”, “Me permite tener mayor efectividad con la información en una forma rápida y continua”, “Se necesita mayor velocidad, confiabilidad y seguridad”.

Estos comentarios nos hacen reflexionar y determinar que se debe sin lugar a duda, disponer de una nueva red que cumpla estas necesidades.

#### 4. ¿Cómo considera el servicio de Internet de la ESPE, en la actualidad?

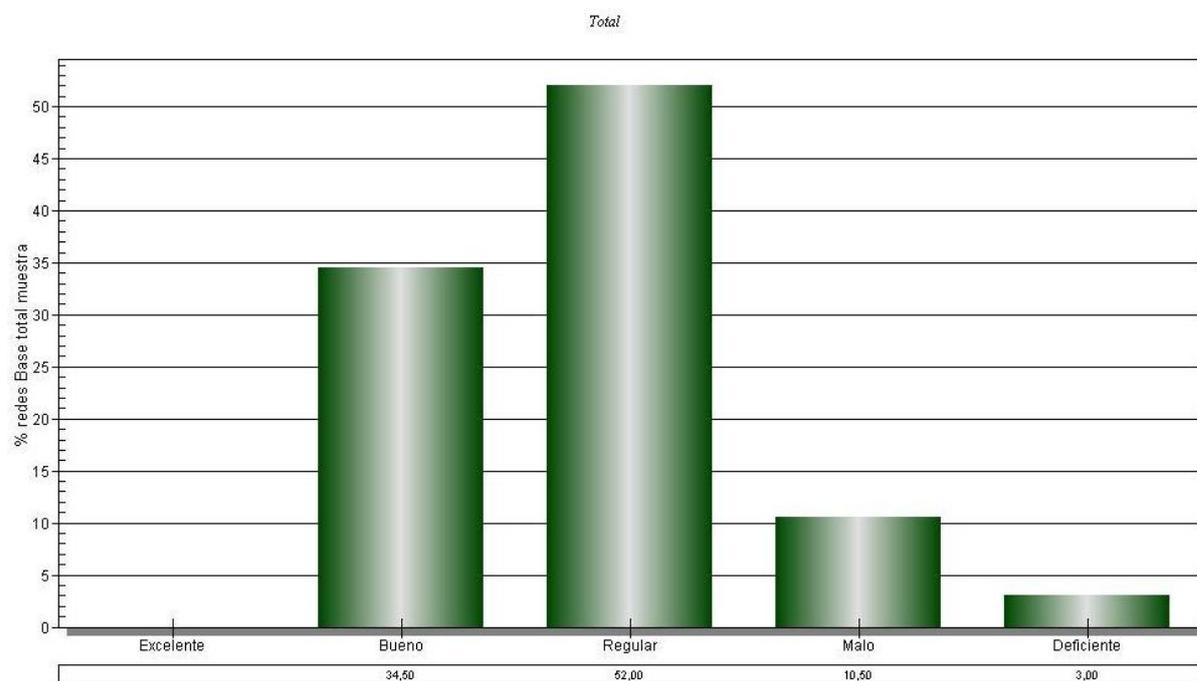


Figura 3.16: Consideración del servicio de Internet

#### **Análisis:**

Se determina que el servicio de Internet, que cuenta actualmente la ESPE, es adecuado, ya que cubre el 34,5% de calificación “bueno”, como también un 52% la opción “regular”; lo cual significa que los estudiantes están casi satisfechos por el Internet. Tomando en cuenta que si se compara las opciones “bueno” con la opción “malo”, la diferencia es 24% a favor de que el servicio es bueno. Pero también hay que tomar en cuenta la calificación “regular”, que supera en un 17,5% a la opción “bueno” y un 41,5% a la opción “malo”; lo que implica que mientras más pequeña sea la diferencia de porcentajes entre la opción “regular” con las opciones (“bueno” o “malo”), más tendencia a esa opción tiene; es decir, por ejemplo, el resultado de la diferencia entre la opción “regular” con la opción “bueno” es 17,5%, la cual es menor al resultado de la diferencia entre la opción “regular” con la opción “malo”, lo que implica que la tendencia de los estudiantes que eligieron la opción “regular” se inclinan en que el servicio de internet es “bueno”.

5. ¿Se siente satisfecho con los servicios ofrecidos a través de la red actual?

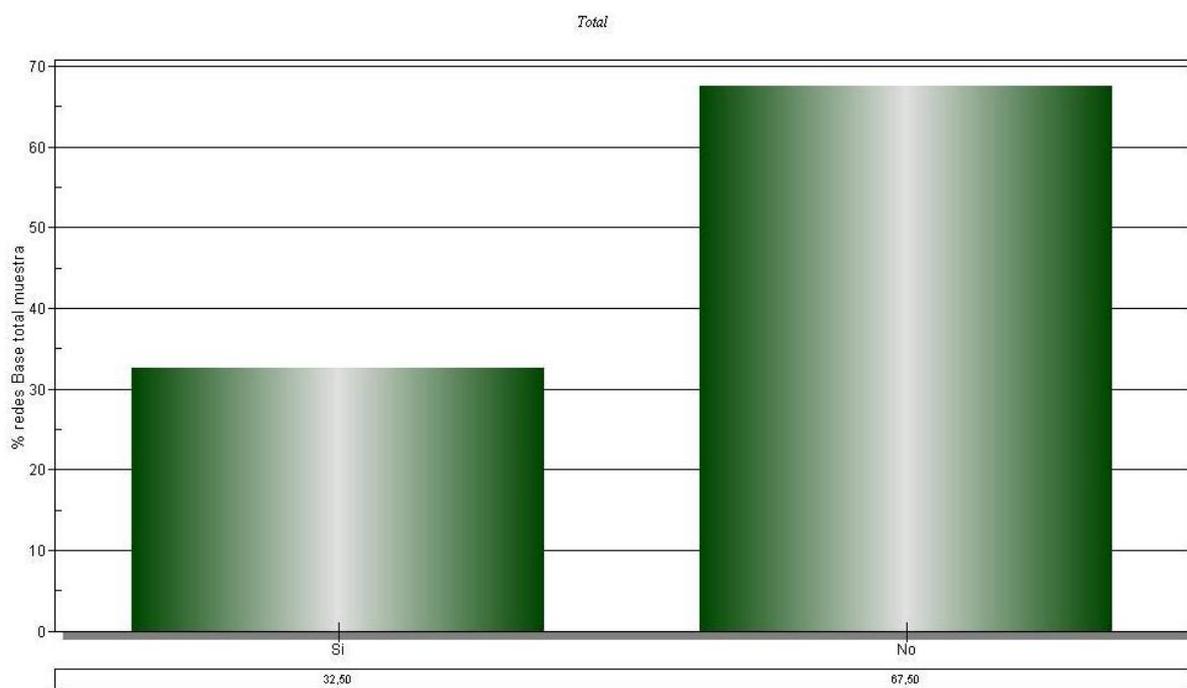


Figura 3.17: Satisfacción con los servicios de la red

**Análisis:**

Según los estudiantes encuestados, la satisfacción de los servicios ofrecidos a través de la red abarca un 67,5% que opinan que “NO” cumplen la satisfacción de los clientes, mientras que el 32,5% opina que “SI”. Esto permite analizar que existe un alto grado de inconformidad con los servicios que ofrece la red actual de la ESPE, por lo cual se debe tomar alguna medida al respecto, para poder cubrir esta satisfacción de los clientes. Estas medidas que se tomarán no afectarán a los encuestados que opinaron que “SI”; ya que consideran que los servicios ofrecidos en la red son los adecuados. Tomando los diferentes comentarios dados por los encuestados que opinaron el “SI”, se dice lo siguiente: “Es lo normal para mi trabajo académico”, “No tenemos una gran demanda en el uso de los servicios”, “Si satisface, pero considero que se puede mejorar”.

Mientras los estudiantes que opinaron que “NO”, lo hicieron por varias razones: “Existe mucha lentitud”, “Cuando se requiere demasiada información se vuelve muy lenta”, “No se tiene una conexión continua”. En resumen tomando estos comentarios, se llega a la conclusión que los estudiantes en general, si requieren de un cambio o alternativa nueva para mejorar los servicios que ofrece actualmente la red de la ESPE.

6. *¿El servicio de la red actual es la conveniente para cumplir con el requerimiento de trabajo que se tiene en la labor diaria?*

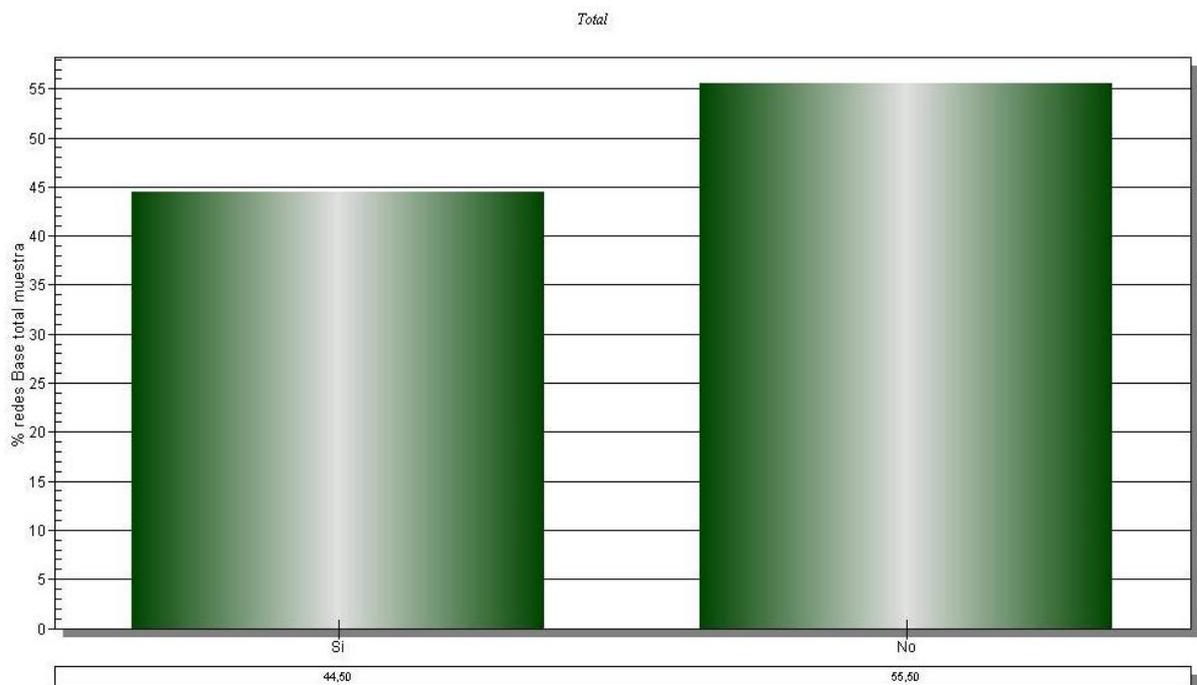


Figura 3.18: Conveniencia del servicio de la red

### **Análisis:**

Se comprende que este resultado es casi parejo, ya que los encuestados que eligieron la opción “SI” cubren el 44,5%; mientras quienes eligieron la opción “NO” llegan a 55,5%. Con esto se concluye que permanece existiendo una inconformidad por el rendimiento de la red, lo cual interviene en que los estudiantes no pueden efectuar sus trabajos, tareas, consultas con la mayor facilidad posible. Pero también,

hay que reflejar que posiblemente las personas que eligieron el “SI”, se refieren a que pueden hacer sus tareas diarias sin ningún problema, pero cuando se tratan de tareas o proyectos un poco más grandes y complicados, ahí es cuando la red falla; es decir que pueden llegar hacer su tarea, en mayor tiempo, o que definitivamente no puedan cumplirlas. Un ejemplo claro que han señalado los encuestados es cuando hacen el envío de las guías para la MED.

7. *En los lugares donde actualmente no llega los servicios de Internet. ¿cómo quisiera Ud. obtener este servicio?*

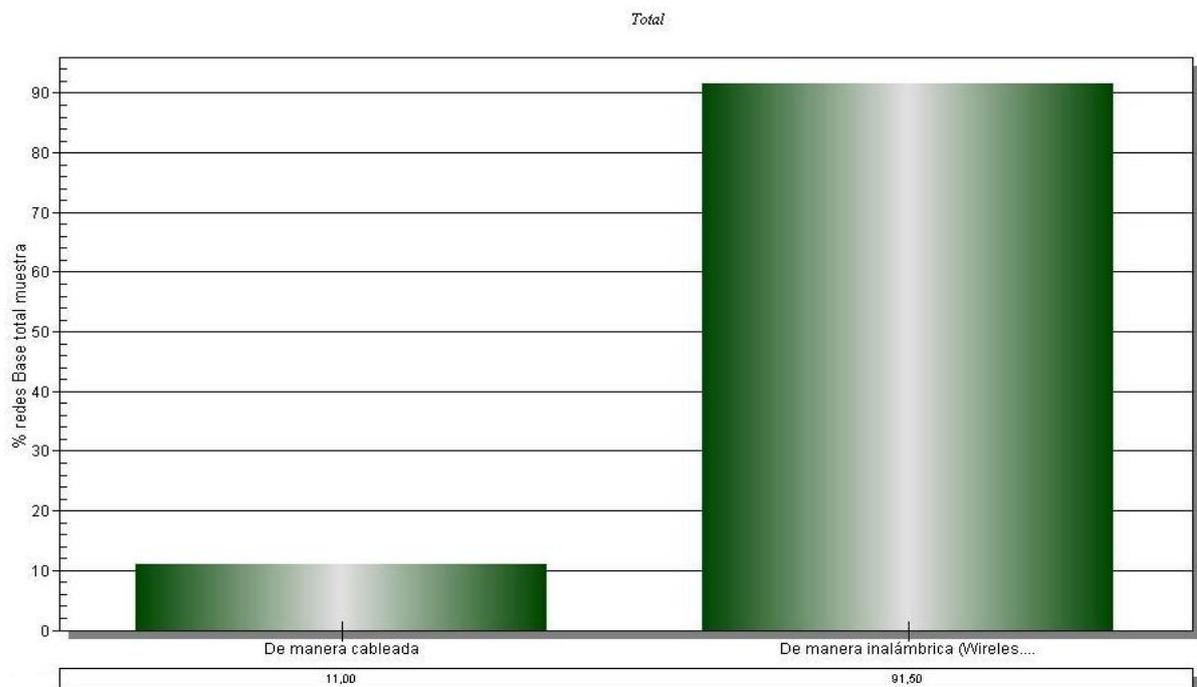


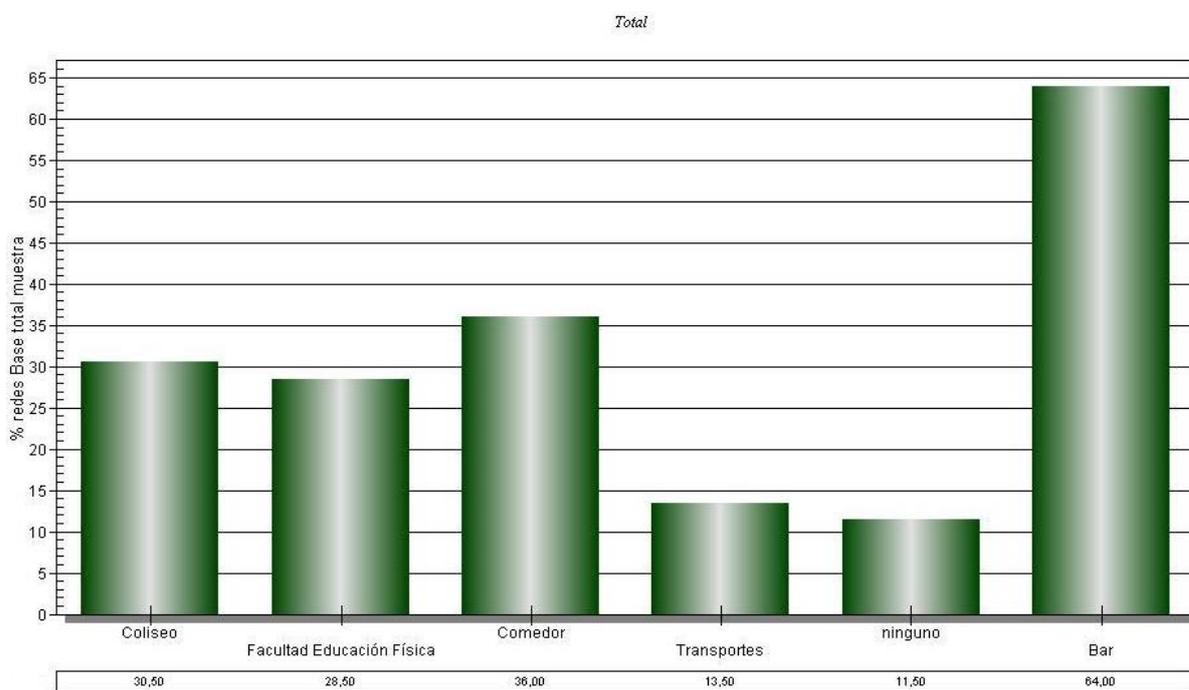
Figura 3.19: Tipos de transmisión

**Análisis:**

Con esta pregunta se desea determinar, que si existirá un cambio para el problema sucedido en la red actual, se le manifiesta a los encuestados cómo quisieran recibir la señal de la red, en lugares donde actualmente no se cuenta con los servicios. Con esto dado, se puede visualizar notoriamente que un 91,5% de estudiantes, prefieren que los servicios a través de la red se los disponga mediante una transmisión Inalámbrica. Mientras que el resto de los encuestados, prefieren de una manera

cableada. Por lo que se concluye, que parte de la solución a los problemas de la red, es que el cambio a la red actual o implantación de una nueva red, se la deba considerar, de tal manera que la conexión al usuario final, sea de manera inalámbrica.

8. *¿En qué lugares de los especificados a continuación, considera Ud. qué es importante que se cuente con el servicio de Internet?*



**Figura 3.20:** Lugares donde se desearía el servicio de Internet

### **Análisis:**

Según la representación gráfica, se puede apreciar que en los lugares de “Coliseo”, “Fac. Educación Física” y “Comedor”, existe una proporcionalidad casi parecida teniendo el 30,5%, 28,5%, 36% respectivamente. Lo que significa que cerca de 70 estudiantes están de acuerdo, con disponer de internet en estos lugares; varias de los motivos que señalan los estudiantes son: “No se puede hacer alguna investigación en nuestra facultad”, “Cuando asistimos a un evento al coliseo, no podemos navegar en Internet”.

---

Ahora en cuanto al sector de transporte, un 13,5% ha señalado que se tomen medidas para tener una mejora en este servicio; ya que actualmente si reciben una señal de Internet de manera inalámbrica, pero es deficiente. Por otro lado un 11,5% de los encuestados han señalado que no hay necesidad de colocar este servicio; por la simple razón de que no se requiere.

Y por último en el “Bar”, con un 64% los estudiantes determinan que se debería disponer del servicio de Internet; ya que este, es un lugar recreativo y de mayor concurrencia para ellos en donde se agrupan en las horas de receso, y que requieren de este servicio. Es por eso que varios estudiantes coinciden, en esta opción.

Para finalizar el análisis de esta pregunta, cabe recalcar que la encuesta efectuada, fue dirigida a los estudiantes de las diferentes facultades; lo cual implica que las respuestas fueron resueltas a conveniencia de cada uno; es decir que un estudiante de la Facultad de Educación Física, iba a seleccionar ese lugar como el más importante.

Se debe tomar en cuenta que los diferentes porcentajes calculados, se los tomó por el número de veces que fueron seleccionados en cada encuesta; es decir que un encuestado, pudo haber escogido en su encuesta, varias alternativas. Lo que implica que se tomó un voto para cada lugar escogido.

### **3.1.2.3 Conclusiones y Recomendaciones**

- Se concluye que la velocidad en la red actual, tiene un nivel de aceptable; pero que no deja de tener algunas deficiencias, que producen inconformidad en los usuarios finales, obligando a tomar alguna medida que permita minimizar significativamente esas deficiencias.
- Se acepta por parte de los encuestados la posibilidad, de que se implante una nueva red de contingencia, para mejorar los servicios de la

---

red actual, como: el internet, seguridad en la transferencia de información, y que sobre todo garantice mayor estabilidad en la comunicación. Ante esto, se propone implantar una nueva red Inalámbrica Óptica, la misma que permitirá dar solución a dichos requerimientos.

- Se manifiesta la insatisfacción por parte de los usuarios con respecto a los servicios ofrecidos a través de la red, por causas de inestabilidad, deficiencia, lentitud de tiempo de respuesta de los sistemas; motivo por el cual no se puede concluir con las tareas asignadas, tanto para estudiantes como para personal administrativo y docente, teniendo como resultado la no realización de las labores diarias, paralización de los procesos, pérdida de tiempo y esfuerzo. Por lo que se concluye la reiteración de una posible implantación de una nueva red.
- Con respecto a la aceptación de implantación de la nueva red, se determinó que en los lugares (Coliseo, Bar, Comedor) existe mayor necesidad de contar con los servicios de la red; ya que estos tienen masiva concurrencia por parte de los estudiantes. Sin dejar de lado que existen lugares como: Transportes y la Facultad de Educación Física, los cuales no son tan concurridos, pero que requieren también la utilidad que brindan dichos servicios.
- Conociendo la afirmativa aceptación de la implantación de la nueva red, y determinando los lugares donde se requiere de los servicios de la red, se puede diseñar la estructura de la nueva Red Inalámbrica Óptica.
- Desarrollando todo este proceso de estudio se puede concluir finalmente que, la Implantación de la nueva red Inalámbrica Óptica, es factible.

---

### **3.1.3 Análisis y Diseño de la Estructura de la Red Inalámbrica Óptica a Implantar**

Para iniciar este análisis y diseño, lo que se efectuó como primer punto fue el análisis del backbone actual de la ESPE, con la finalidad de conocer la estructura de la red, y los diferentes medios de comunicación utilizados entre las diferentes edificaciones, la distribución de los rack tanto principal como secundarios.

Este análisis también nos permitió conocer el rendimiento de toda la red; tales como la capacidad de cada canal de comunicación, la velocidad de transmisión de datos y disponibilidad de la red.

En segundo punto, basándonos en el diseño del backbone actual de la ESPE, se pudo determinar que toda la red existente interconecta a todas las edificaciones establecidas en el backbone. Consecutivamente constatamos esta información dirigiéndonos a cada edificación y verificando si es que cuenta con enlaces de red.

Este análisis nos permitió, puntualizar los lugares donde la comunicación se mantiene estable, así como también inestable; entendiéndose como inestable, la eventualidad de los servicios a través de la red de comunicación.

Se recalca la importancia del análisis de la red, en cuanto al rendimiento se refiere, en los lugares donde existe estabilidad de los servicios a través de la red; permitiendo, determinar también la necesidad de establecer una red inalámbrica óptica.

Como tercer punto, se realizó encuestas dirigidas al personal administrativo y estudiantes, con la finalidad de comprobar la factibilidad de la implantación de la red inalámbrica óptica

Con los datos obtenidos de los análisis realizados efectuamos un informe estadístico que refleje la utilidad del estudio de factibilidad de la implantación de una red inalámbrica óptica laser; cuyo informe servirá como base para la realización del diseño general de la red a implantarse.

### 3.1.3.1 Distancias entre las Edificaciones de la ESPE

Para la realización del diseño general de la red inalámbrica óptica láser se requiere conocer en primera instancia las distancias en (mts) existentes entre las diferentes edificaciones de la ESPE, las cuales permitirán determinar el tipo de equipo láser que cubra las necesidades del diseño a realizar.

Se establece las respectivas distancias entre las edificaciones de la ESPE, refiriéndose a la estructura arquitectónica de la misma, como se muestra en la siguiente figura.

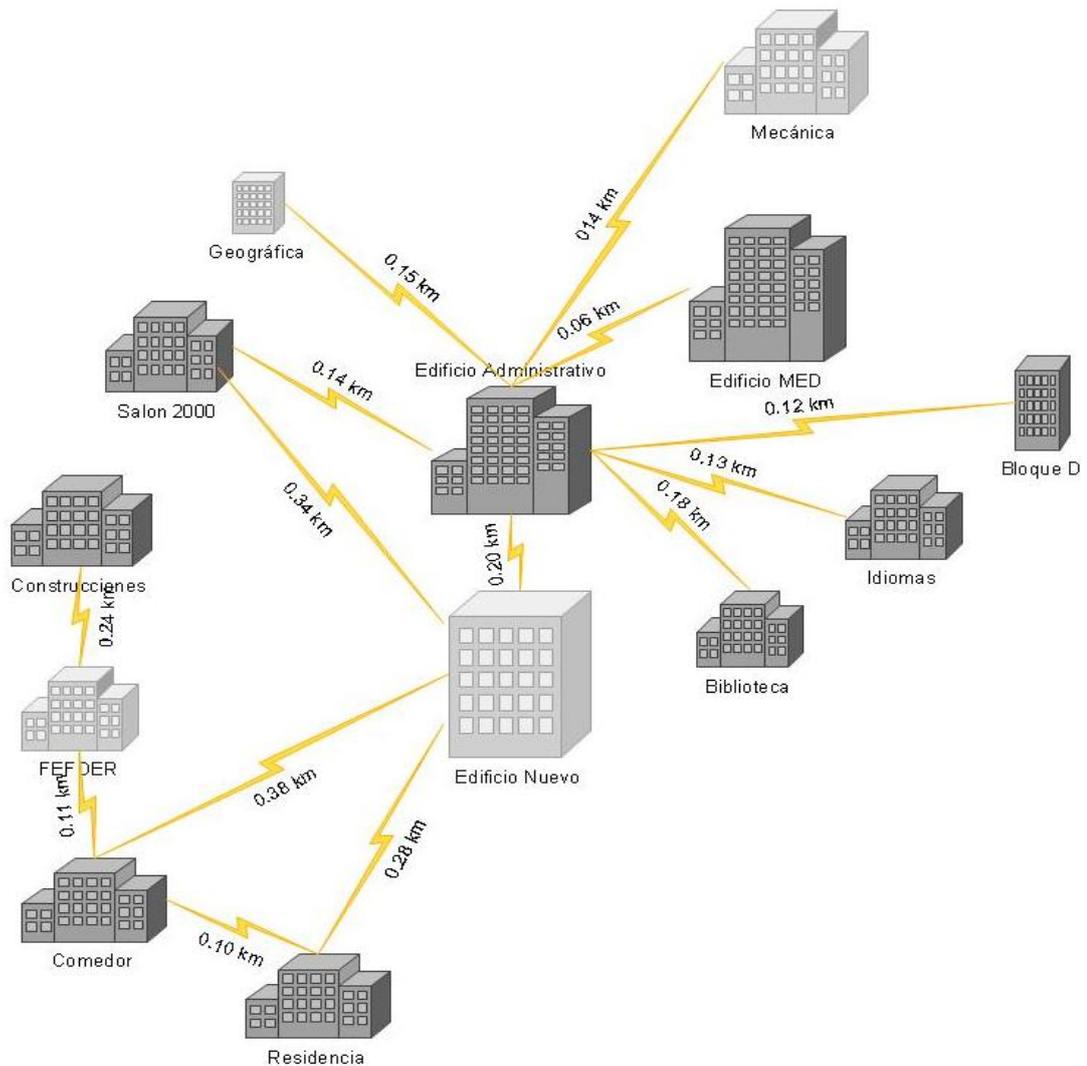


Figura 3.21: Estructura arquitectónica de la ESPE, según sus distancias

---

### 3.1.3.2 Análisis de la Red Inalámbrica Óptica

Conociendo la factibilidad de implantación de la nueva red inalámbrica óptica según los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, complementando con la verificación que se realizó dirigiéndonos a los lugares establecidos en la estructura arquitectónica de la ESPE, se determinó que en:

- Construcciones (Transportes):

El enlace con el que cuentan actualmente es inalámbrico, el cual tiene un servicio ineficiente. Cabe recalcar, que según las encuestas este lugar fue el menos opcionado en contar con los servicios que ofrece la red, por motivo de menor concurrencia. Pero se ha concluido que este sitio “Si” requieren de los servicios de red; ya que el personal que labora en esta área, sugiere que se cuente con una red estable y eficiente.

- FEFDER:

Esta edificación consta de dos áreas (Coliseo y Departamento de Educación Física), teniendo conocimiento de que en la primera área no se tiene puntos de red y en la otra área “Si” se dispone de puntos de red, pero solamente en las oficinas administrativas, mas “no” en las aulas. Ante esto se afirma la necesidad de disponer de los servicios de red, concordando con los resultados de las encuestas.

- Comedor:

No se cuenta con enlaces de red, pero se dispone de una señal de red inalámbrica baja, que pertenece al lugar de transportes. Se determina que

---

en este lugar, es necesario contar con los servicios de red debido a la frecuente concurrencia de personal docente, administrativos y estudiantes.

- Edificio Central, edificio nuevo, bloque D, edificio MED, biblioteca, Idiomas:

En estas edificaciones se dispone tanto de una red cableada o inalámbrica (Wi - Fi), en las cuales el servicio es estable. Tomando en cuenta lo mencionado, podemos concluir, que “No” existe la necesidad de implantar una nueva red para estos lugares.

- Salón 2000 y Bar.

En esta edificación se cuenta solamente con infraestructura de red cableada en el salón 2000; mientras que “No” se dispone de una señal inalámbrica en ninguno de los dos lugares. En el bar, según las encuestas, por ser un lugar de mayor concurrencia se afirma la necesidad de contar con los servicios de la red.

- Geográfica y mecánica.

En estos sitios se pudo constatar que “Si” disponen de puntos de red en toda la edificación, pero “No” se dispone de la señal de la red inalámbrica. Según los usuarios (estudiantes, docentes y administrativos) de estas edificaciones, no tienen inconvenientes con la red actual en cuanto al trabajo de su labor diaria. Por lo que se considera que en estos sitios “No” hay la necesidad de que pertenezcan a la nueva red inalámbrica óptica a implantarse.

### 3.1.3.3 Diseño de la Red Inalámbrica Óptica

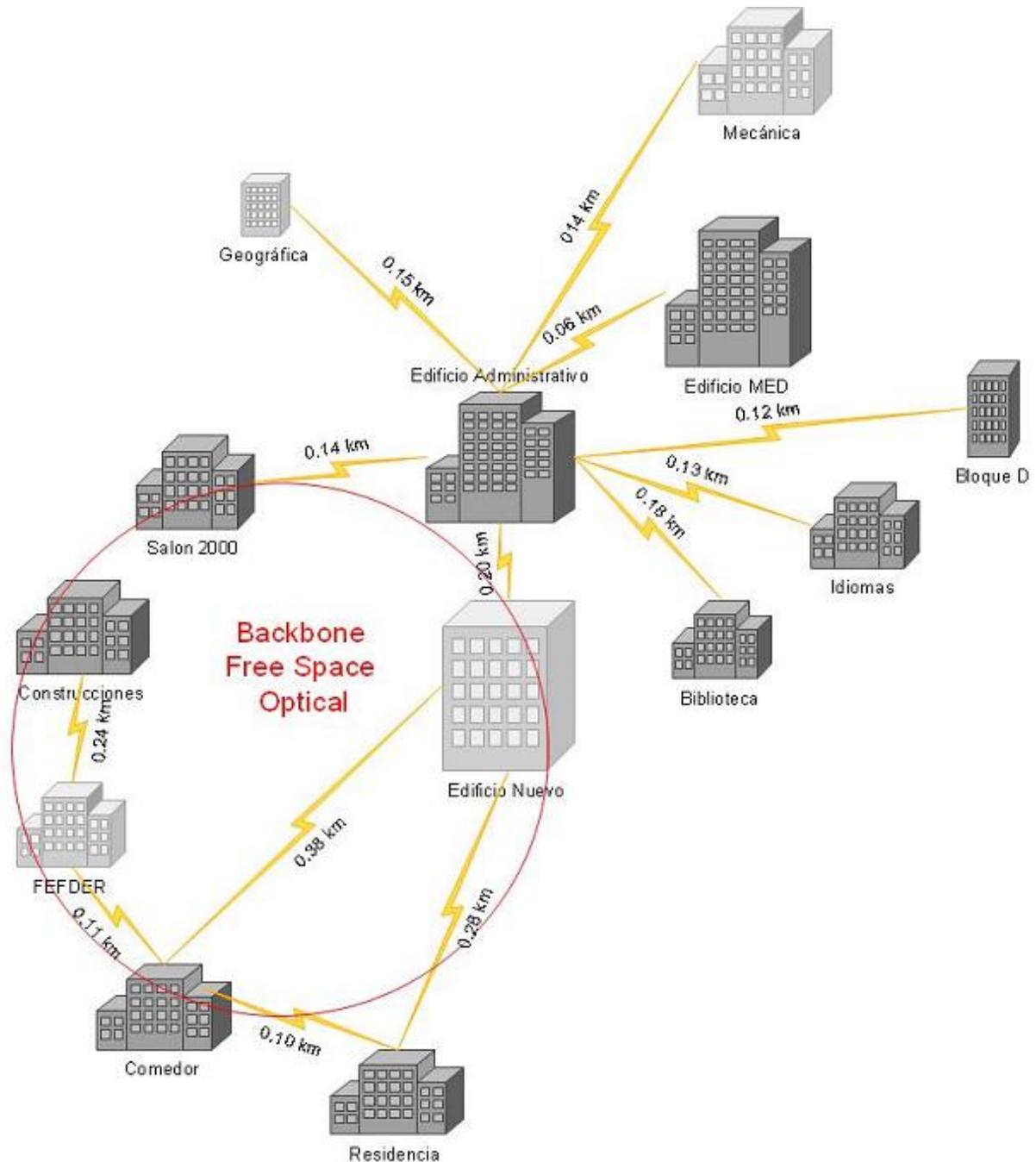
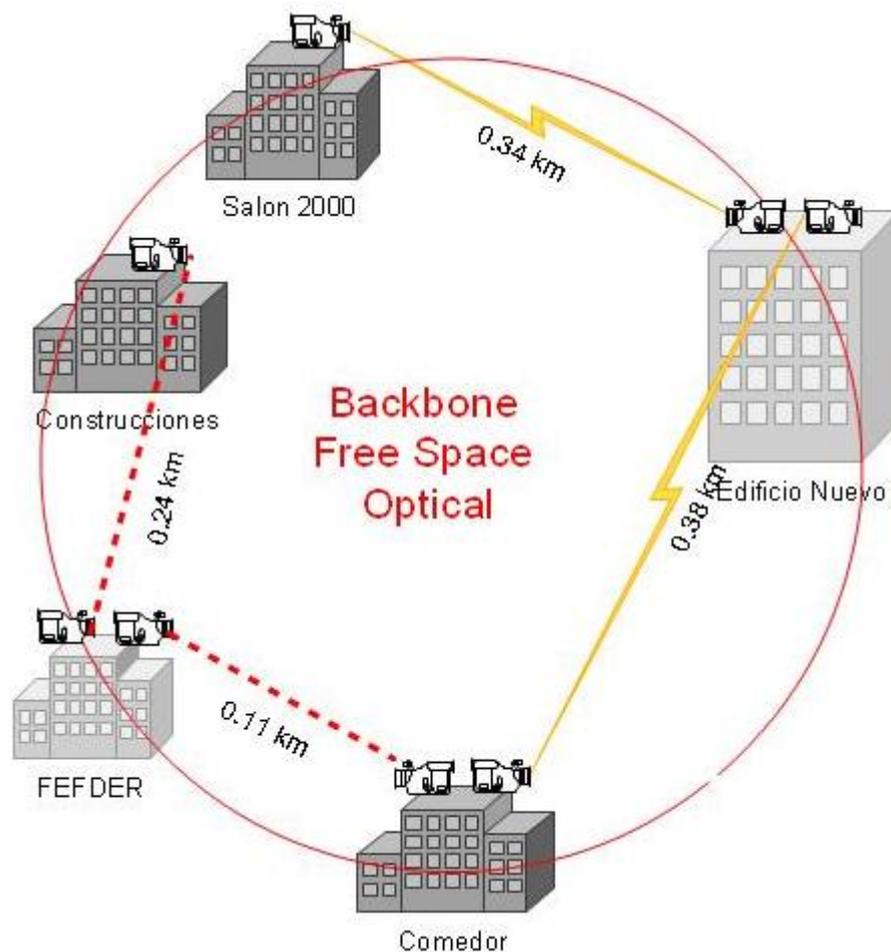


Figura 3.22: Especificación de distancias entre edificios de la ESPE

De acuerdo al análisis realizado, con respecto al Proyecto de Implantación de una Red Inalámbrica Óptica, y tomando en cuenta todos los parámetros mencionados, se diseña la infraestructura de la nueva red mencionada.



**Figura 3.23:** Especificación de distancias entre edificios de la ESPE

Analizando la figura 3.20, se puede determinar que no sería necesario implementar equipos ópticos entre el comedor y FEFDER, así como también entre FEFDER y construcciones, debido a que las distancias son demasiado cortas lo cual se podría solucionar con fibra óptica, teniendo como nodo de interconexión al comedor, es decir, los únicos enlaces ópticos que intervendrán en la implantación, serían: entre el Edificio Nuevo y el comedor, y entre el Edificio Nuevo y el salón 2000.

Ahora efectuado un acercamiento, en cuanto a la estructura de conexión punto a punto de los equipos ópticos, se podrá visualizar que cada Equipo óptico se conecta a través de fibra óptica, con un convertidor (Transceiver) de Fibra Óptica a RJ45 y viceversa. Luego con un cable de red-RJ45 se conecta hacia un switch. Cabe señalar que en el Backbone actual de la ESPE, se pudo notar la ubicación de los

Rack, en cada edificación; lo cual se entiende que este switch se encuentra en estos rack especificados.

En la siguiente figura se muestra el esquema de conexión utilizando equipos ópticos:

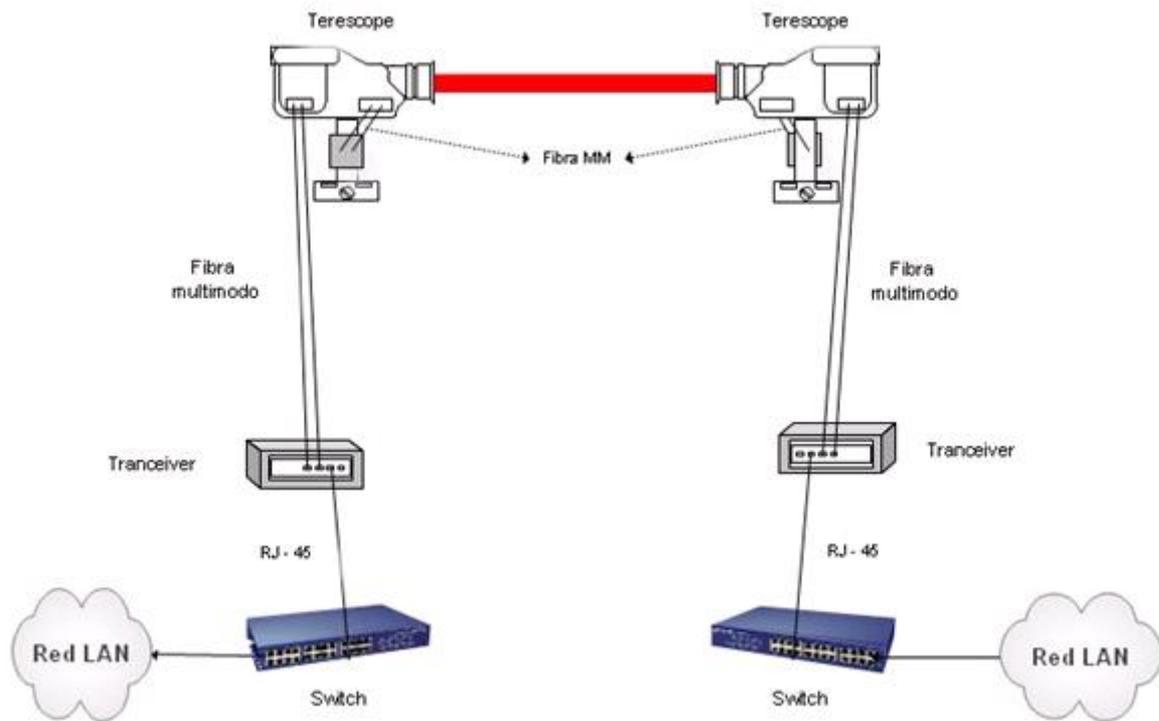


Figura 3.24: Esquema de conexión equipo ópticos

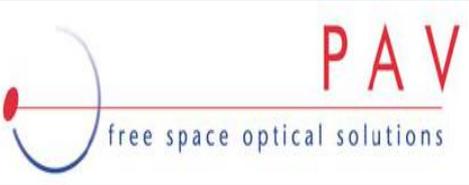
### 3.1.3.4 Análisis Económico

#### De equipos ópticos

La cotización de los Equipos se la obtuvo de las diferentes empresas que proveen equipos ópticos, a nivel mundial.

En el siguiente cuadro, se especifica los costos respectivos, por cada proveedor:

**Cuadro 3.2:** Comparaciones de costos de Equipos Láser Ópticos

Empresa	Modelo	Características Principales	Costo (dólares)
	PAVLight Gigabit	Velocidad: 1Gbps. Estándar de Transmisión: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet. Alcance: hasta 1000mts.	\$26500
	PAVExpress 155	Velocidad: 155 Mbps. Alcance: hasta 200mts.	\$7430
	SONAbeam 1250-E	Velocidad: 100–1602 Mbps. Estándar de Transmisión: Gigabit Ethernet. Alcance: 50 a 3600mts.	\$28900
	SONAbeam 155-E	Velocidad: 31 – 180 Mbps. Estándar de transmisión: Fast Ethernet. Alcance: 50 – 3300mts.	\$18000
	WB5100	Velocidad: 100Mbps. Estándar de Transmisión: Fast Ethernet. Alcance: hasta 1000mts.	\$11368
	TereScope 5000/G	Velocidad: 100 – 1250 Mbps. Estándar de Transmisión: Gigabit Ethernet. Alcance: hasta 3000mts.	\$27000

**Nota:** los precios establecidos en el cuadro anterior, señalados por cada empresa, incluyen el kit de los equipos; es decir soportes, bases, conectores.

Realizando un análisis en cuanto a costo y beneficio de los equipos mencionados en el cuadro anterior, se ha determinado que una de las características más importantes es la potencia con la que trabajan, debido a que, “mientras mayor potencia existe el enlace de comunicaciones es más estable”, siendo el equipo TereScope 5000/G, el mas opcionado.

En cuanto a la velocidad máxima de transmisión el que cumple esta requerimiento es el equipo SONAbeam con 1,6 Gbps, siendo también el que mayor alcance tiene.

En cuanto a la comparación de las características de los equipos de los diferentes proveedores, el que menos requerimientos satisface es el PAVLight Gigabit, por lo que no ha sido considerado para la implantación.

Identificando en el diseño de la nueva red inalámbrica óptica a implantarse, se determina que las distancias máximas no sobrepasan los 500 m, y que los requerimientos de usuario establecen velocidades mayores a 1 Gbps y enlaces seguros en la comunicación de datos. Se concluye que el equipo que cumple con las expectativas en cuanto a costo - beneficio es el perteneciente al proveedor MRV con el equipo TereScope 5000/G.

Una vez seleccionado el equipo a utilizar, se detalla en el siguiente cuadro el costo total aproximado de lo que sería la implantación de la nueva red inalámbrica óptica.

**Cuadro 3.3:** Costos de implantación de la nueva red

Item	Descripción	Cantidad	precio unitario (\$)	precio total (\$)
1	Equipos ópticos (incluye equipo emisor y receptor, instalación, kit de herramientas, garantía 1 año, transporte, transceiver)	2	27000	54000
2	Cable de fibra óptica 4 hilos (m)	40	5.65	226
3	Conectores de Fibra tipo SC	8	4,5	36
<b>Subtotal</b>				54262
<b>Iva</b>				31,44
<b>Total</b>				54293,44

## De instalación con fibra óptica

Después de haber calculado el costo total para la implantación de la nueva red inalámbrica óptica determinada anteriormente, se ha visto la necesidad de efectuar una comparación en cuanto a costo – beneficio, basándose en el mismo diseño de red, pero en este caso utilizando como medio de enlace la fibra óptica, se detalla en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.4:** Costos de implantación de la misma red con fibra óptica.

Ítem	Descripción	cantidad	precio unitario	precio total
	<b>Mano de obra</b>			
1	Instalación por metro de Fibra Óptica Multimodo 62,5/50 $\mu\text{m}$ , (no importa el número de hilos)	1000	1,50	1500
	Conectorización de fibra óptica (por conector tipo SC - punto)	40	35	1400
3	Certificación de Fibra (por hilo)	20	25	500
4	Ductería (semanas)	6	400	2400
	<b>Material</b>			
5	Bandeja de Fibra Óptica con conectores SC	8	180	1440
6	Conectores de Fibra tipo SC	40	4,5	180
7	Cable de fibra óptica 4 hilos	1000	5.65	5650
8	Patch Cord Full-Duplex de fibra multimodo tipo SC-SC longitud 3 pies (uno por pareja de hilos TX-RX)	20	24	480
9	Transceiver para la comunicación de datos (Conversor Fibra-Ethernet 10/100)	8	180	1440
10	Material de construcción de ductería (arena y cemento)	--	--	3500
<b>Subtotal</b>				18490
<b>IVA</b>				2218,8
<b>Total</b>				20708,8

---

## Conclusión

En referencia al costo de la nueva red a implantarse, se puede notar que la red con enlaces ópticos es el 80,92% más caro, que la red con fibra óptica, cabe recalcar que indudablemente la diferencia es bastante elevada, debido a que una red con enlaces ópticos tiene varios factores que supera a los enlaces de fibra, como son: seguridad, velocidad, estabilidad, rendimiento y tiempo de instalación.

### 3.1.4 Instalaciones de Equipos Láser Ópticos

Para la presente implantación se ha seleccionado el equipo TereScope 5000/G, por cuanto cumple con los requerimientos necesarios para la implantación de la red inalámbrica óptica propuesta.

#### 3.1.4.1 Características

- Es un equipo diseñado para trabajar con una velocidad que sobrepasa 1Gbps de transferencia en cuanto a voz, datos y video, y con alcance mayor a 1km entre los enlaces.
- El modelo de este equipo tiene un alcance de 3000m, el cual usa tres laser transmisores, y tres receptores

Se muestra a continuación las características técnicas del equipo seleccionado:

**Cuadro 3.5:** Características del Equipo.

Indicadores	Especificaciones	Sistema 3 Tx		
Rendimiento	Tasa de transferencia	100 Mbps – 1.5 Gbps		
	Rango (metros)	3000		
	Tasa de error bit	$< 1 E^{-12}$		
	Atenuación	3 dB/km	3500 m	
		5 dB/km	2750 m	
		10 dB/km	1750 m	
17 dB/km		1300 m		
	30 dB/km	870 m		

<b>Transmisor</b>	Numero de transmisores	3
	Fuente de luz	Diodo Laser
	Clase de laser	1 M
	Longitud de onda (nm)	830 - 860
	Potencia (dBm)	18,5 – 21,5
	Divergencia de laser (mrad)	2
<b>Receptor</b>	Tipo de detector	APD
	Sensibilidad (dBm)	- 33
<b>Interfaz de cliente</b>	Presentación	Fibra Optica
	Conectores	Dual SC
	Sistemas	Gigabit Ethernet
	longitud de onda	850nm
	Potencia (dBm)	-4 a 9,5
<b>Fuente de poder</b>	Voltaje de salida	100 – 240 VAC, 35 - 60 VDC
	Poder de consume (Watts)	30
<b>Diseño mecánico</b>	Peso (kg)	18
	Dimensiones del equipo W x L x H	790 x 390 x 556
<b>Protocolos</b>	E3 / T3, Fast y Gigabit Ethernet, FDDI, OC – 3, ATM y STM – 1, Fiber Channel.	

Las características mencionadas corresponden al equipo que se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3.25:** TereScope 5000/G<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

---

### 3.1.4.2 Estructura

Cada equipo consta de un receptor y tres transmisores, y una interface en el panel trasero para la conexión periférica del equipo.

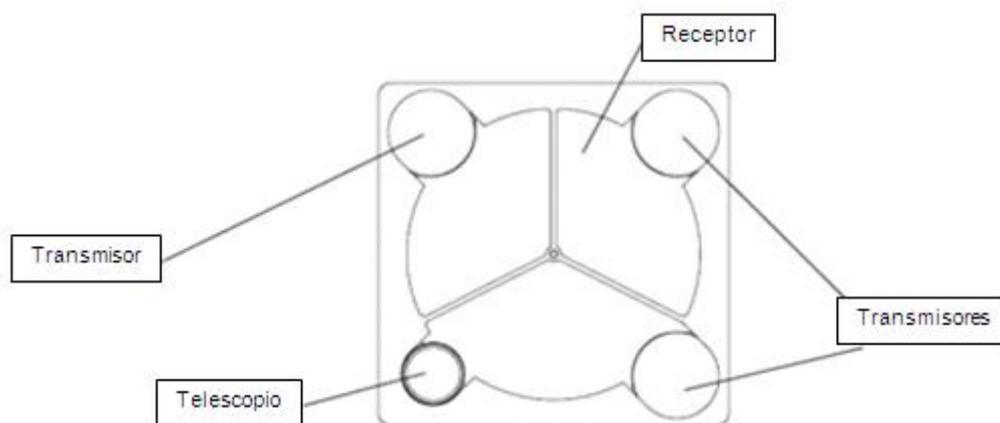


Figura 3.26: Parte frontal<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

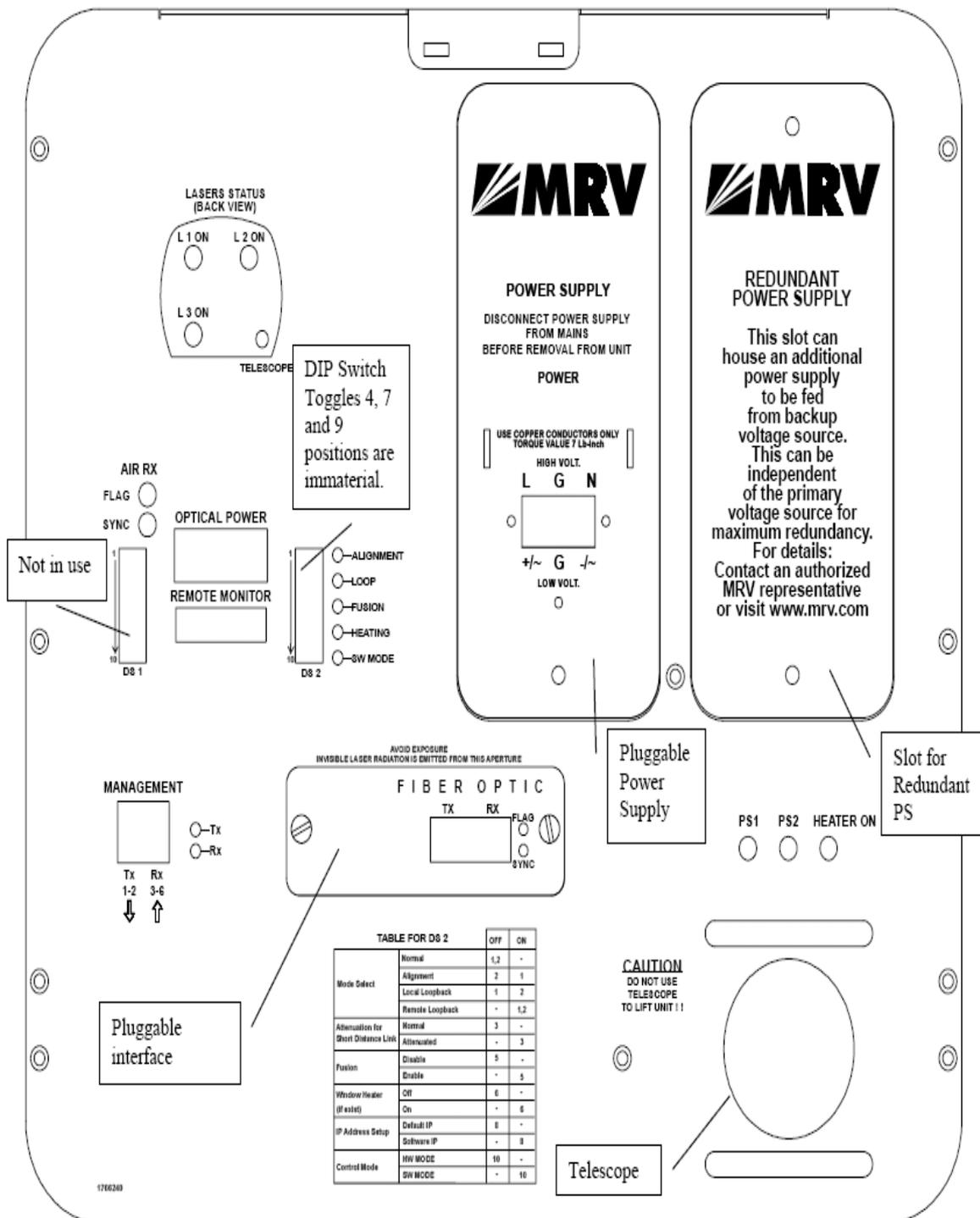


Figura 3.27: Parte trasera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

Se muestra en el siguiente cuadro, un detalle de los diferentes indicadores que se encuentran en la parte trasera del equipo óptico.

**Cuadro 3.6:** Especificaciones de la Parte Trasera del Equipo óptico.

	Power	Fuente de poder
<b>Conectores</b>	Fiber Optic	Sirve para conectar equipos periféricos, estos pueden ser dispositivos de red (switch, hub, router).
	Remote Monitor	Esta permite una conexión opcional a un monitor remoto.
	Management	Permite la conexión a una interfaz 10Base-T SNMP, administrable. Transmisión (pins 1, 2), recepción (pins 3, 6), otros propósitos (pins 4,5 y 7,8, que pueden ser conectores RJ45).
<b>Alineamiento</b>	Telescope	Permite alinear los equipos emisor con receptor.
<b>Selectores (DIP Switch DS2 toggles)</b>	Mode select (1, 2)	<p>Alignment.- Se enciende cuando existe transmisión.</p> <p>Normal.- Señal recibida por el puerto de fibra óptica, y transmitida a través del Tx. Señal recibida por el Rx y transmitida a través de fibra óptica al Tx.</p> <p>Loopback.- Indica que hay enlace Rx y Tx.</p> <p>Remoteloop.- Respuesta de emisión y recepción.</p>
<b>Indicadores</b>	Laser Status	<p>L1On.- Cuando está siendo utilizado el transmisor 1.</p> <p>L2On.- Cuando está siendo utilizado el transmisor 2.</p> <p>L3On.- Cuando está siendo utilizado el transmisor 3</p> <p>Telescope.- Cuando esta</p>

		siendo utilizado el telescopio de dirección.
		<p>PS1.- Indica el estado del equipo. Fuente de poder activa o inactiva.</p> <p>PS2.- Indica si la fuente de poder redundante (opcional), esta activa o no.</p> <p>Heater On.- Se enciende cuando el lente tiene actividad.</p>

### 3.1.4.3 Instalación

Para la instalación del equipo óptico seleccionado se recomienda seguir las siguientes etapas:

- Contemplar el sitio
- Instalación de la infraestructura
- Montaje del equipo
- Direccionar el lente

#### Contemplar el sitio

Esta etapa se refiere a visitar el sitio donde se va a instalar los equipos, con la finalidad de descubrir obstáculos o dificultades para la colocación de los equipos y por ende tener una conexión fiable.

Se debe tener una línea de vista libre entre dos edificaciones, es decir, se debe considerar la no presencia de: edificios, árboles, que interfieran en la línea de vista.

En la siguiente figura, se visualiza una locación óptima y aceptable para la ubicación de los equipos.

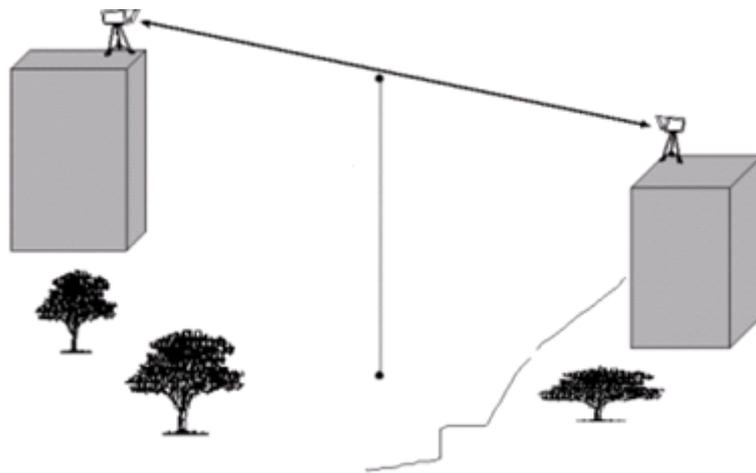


Figura 3.28: Montaje óptimo<sup>1</sup>

En la siguiente figura, se puede visualizar una manera no recomendable de montar equipos ópticos para un enlace de comunicación.

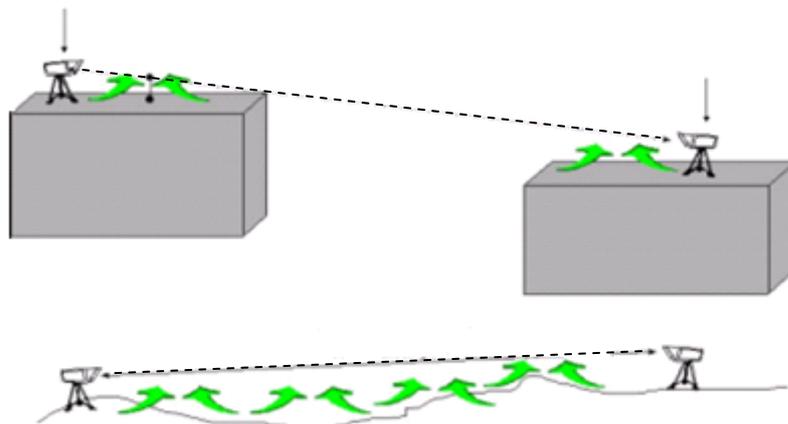


Figura 3.29: Montaje no recomendable<sup>1</sup>

En la siguiente figura se determina que esta locación es inaceptable debido a las interferencias inesperadas que interrumpen el enlace, así como vehículos, lo cual se debe evitar.

---

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

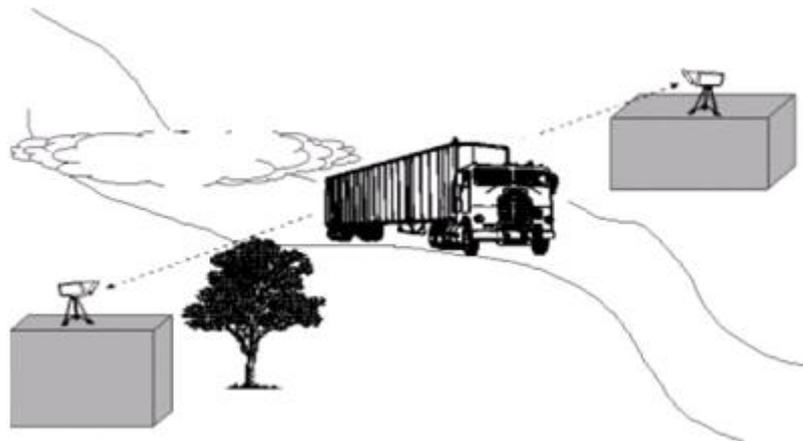


Figura 3.30: Montaje inaceptable<sup>1</sup>

Se recomienda también que todo tipo de instalación se la debe realizar lejos de cualquier tipo de equipos que causen vibración, movimientos bruscos, teniendo como resultado un desalineamiento del láser óptico.

A continuación se puede visualizar diversas maneras de colocar estos equipos:



Figura 3.31: Vista 1<sup>1</sup>



Figura 3.32: Vista 2<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>



Figura 3.33: Vista 3<sup>1</sup>



Figura 3.34: Vista 4<sup>1</sup>



Figura 3.35: Vista 5<sup>1</sup>



Figura 3.36: Vista 6<sup>1</sup>

## Instalación de la infraestructura

Una vez colocados los equipos, se procede a hacer la conexión tanto en lo que se refiere a cableado eléctrico como de red, es decir, alimentar la fuente de poder del equipo y la conexión de la fibra óptica hacia el switch, el mismo que dará servicio a la red LAN, cabe recalcar que la fibra que se utilice para la conexión del equipo hacia switch debe soportar apta para una interfaz Gigabit Ethernet.

## Montaje del Equipo

Cada equipo transmisor viene con su kit de accesorios de montaje, los mismos que permiten realizar montaje vertical y horizontal.

---

El Kit de accesorios consta de:

- El plato de montaje.- Es usado por el equipo como base para soporte sobre cualquier superficie firme.

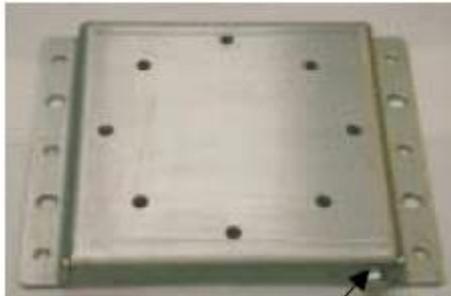


Figura 3.37: Plato para soporte<sup>1</sup>

- Dispositivo de alineamiento (AD 5000).- Es usado para alinear a la cámara de transmisión (TS 5000), tanto de manera horizontal como vertical, mediante una escala gradual de alineación.

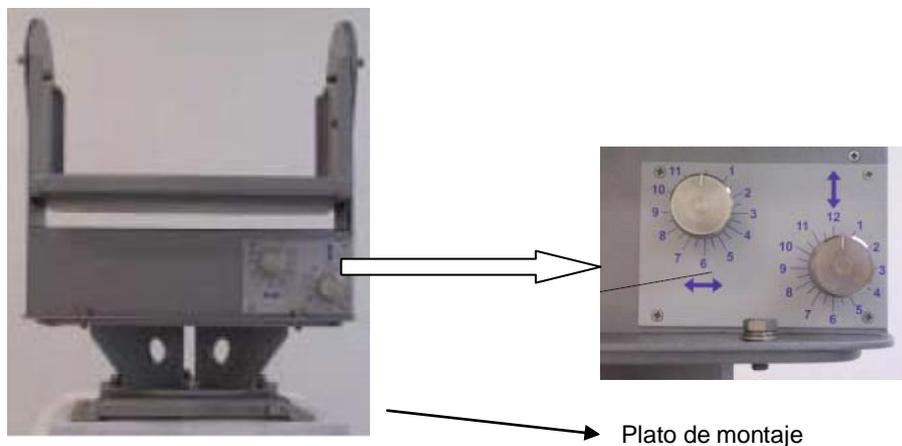


Figura 3.38: Dispositivo de alineamiento<sup>2</sup>

- Kit de herramientas.- Es utilizado para el ajuste de tuercas y tornillos del dispositivo de alineamiento AD 5000, se recomienda utilizar solamente las herramientas de este kit, para evitar aislamientos.

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>



Figura 3.39: Kit de herramientas<sup>1</sup>

Ajuste del transmisor.- Se muestra en la siguiente figura los elementos para realizar el montaje del equipo.

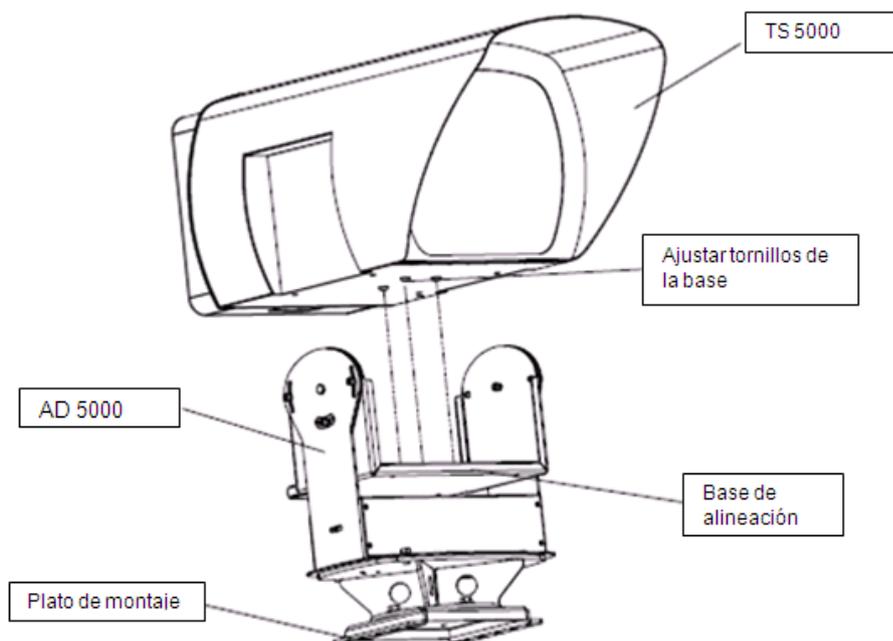


Figura 3.40: Montaje del transmisor<sup>2</sup>

### Direccionar el lente

Como se conoce según la teoría que la tecnología Free Space Optical, requiere una conexión punto a punto entre un emisor y un receptor. Lo que concierne que en un

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

<sup>2</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

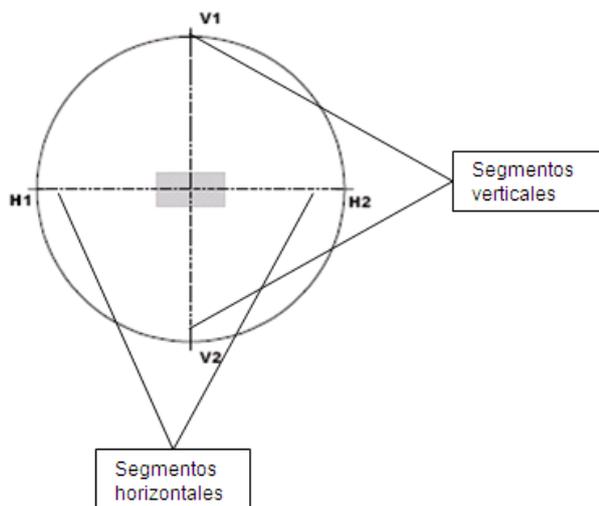
---

enlace óptico inalámbrico debería tener una posición simétrica lo más precisa posible hacia receptor remoto.

El procedimiento de alineamiento del transmisor es implementado en dos etapas:

- Alineamiento preliminar.- Se refiere a los ajustes previos de todo el transmisor en cuanto a los tornillos, turcas, se refiere, con una leve orientación, fijando a través del telescopio la dirección hacia el equipo receptor. Esto aplica tanto para el emisor como el receptor.
- Alineamiento final.- En esta etapa se requiere una persona en cada sitio, lo cual implica proveer un dispositivo móvil de comunicación a cada persona que les permita informar la posición del equipo.

Este proceso se realiza fijando primero el segmento horizontal, y a continuación el segmento vertical, de tal manera que los lentes ópticos queden alineados punto a punto, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.41:** Alineamiento de las cámaras TS 5000<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

## 4. CAPÍTULO IV

### 4.1. SIMULACION DE LA RED INALAMBRICA OPTICA

#### 4.1.1 Simulación del funcionamiento de la Red Inalámbrica Óptica en la Escuela Politécnica del Ejército.

##### 4.1.1.1 Parámetros variables de la herramienta

#### Potencia emitida por el equipo óptico

La herramienta propuesta de simulación, para el cálculo de la potencia emitida por el equipo óptico, utiliza los siguientes parámetros:

Fórmula 4.1:

$$P_{Recibida} = P_{Transmitida} \frac{d_R^2}{(d_T + \theta R)^2} 10^{-\alpha R/10}$$

donde:

- $d_R$ : diámetro de apertura del receptor (m)
- $d_T$ : diámetro de apertura del transmisor (m)
- $\theta$ : divergencia de emisión (mrad)
- $R$ : rango (km)
- $\alpha$ : atenuación atmosférica (dB/km)

Como podemos observar en la siguiente figura 4.1 se presenta los valores establecidos en el simulador óptico, necesarios para calcular la potencia recibida:

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Range	380	m	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	30	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Geometrical loss	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmitter aperture diam	5	cm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Receiver aperture diamete	15	cm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Beam divergence	2	mrad	Normal
<input type="checkbox"/>	Transmitter loss	1	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Receiver loss	0	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Additional losses	1	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Propagation delay	0	ps/km	Normal

Figura 4.1: Parámetros para el cálculo de la potencia recibida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

---

## Potencia del Generador de Pulsos (Gaussiano)

Los pulsos gaussianos son pulsos cuya envolvente es una función gaussiana, y cuando la frecuencia del pulso varía con el tiempo se dice que tienen chirp. Las razones por la que se empleó esta familia de pulsos en el estudio de simulación son:

- Por conveniencia matemática, puesto que la transformada de Fourier de un pulso gaussiano da como resultado un pulso gaussiano.
- Porque los pulsos emitidos por los láser fabricados con semiconductores, cuando se modulan directamente, adquieren un cierto chirp.
- Porque tanto la dispersión como algunos efectos no lineales pueden provocar que pulsos que inicialmente no tienen chirp lo adquieran al propagarse por la fibra.

Los parámetros que intervienen en el cálculo del poder óptico de salida para cada bit, se presenta en la siguiente fórmula:

Fórmula 4.2: 
$$P(t) = B \left( A_p \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t \cdot k}{T_{FWHM}} \right)^{2N}} + A_{bias} \right)$$

Dónde:

- $A_p$  → poder de emisión del pulso (mW)
- $B$  → es el valor de bit (1 o 0), depende del ingreso de la secuencia de bits
- $k$  → es el coeficiente apropiado numérico determinado para generar pulsos con valores exactos del parámetro "width" (bit)
- $A_{bias}$  → es el DC Offset<sup>1</sup> del pulso. Este el parámetro "Bias".
- $N$  → es el orden de la función Gaussiana (N=1).
- $T_{FWHM}$  → es el parámetro "width".

### 4.1.1.2 Simulación de la nueva red inalámbrica óptica

A partir del diseño de la Nueva Red Inalámbrica Óptica figura 3.23, se genera el siguiente modelo lógico en el simulador óptico:

---

<sup>1</sup> DC Offset.- es la media de la amplitud de la onda, si la media de amplitud es cero, no hay DC offset.

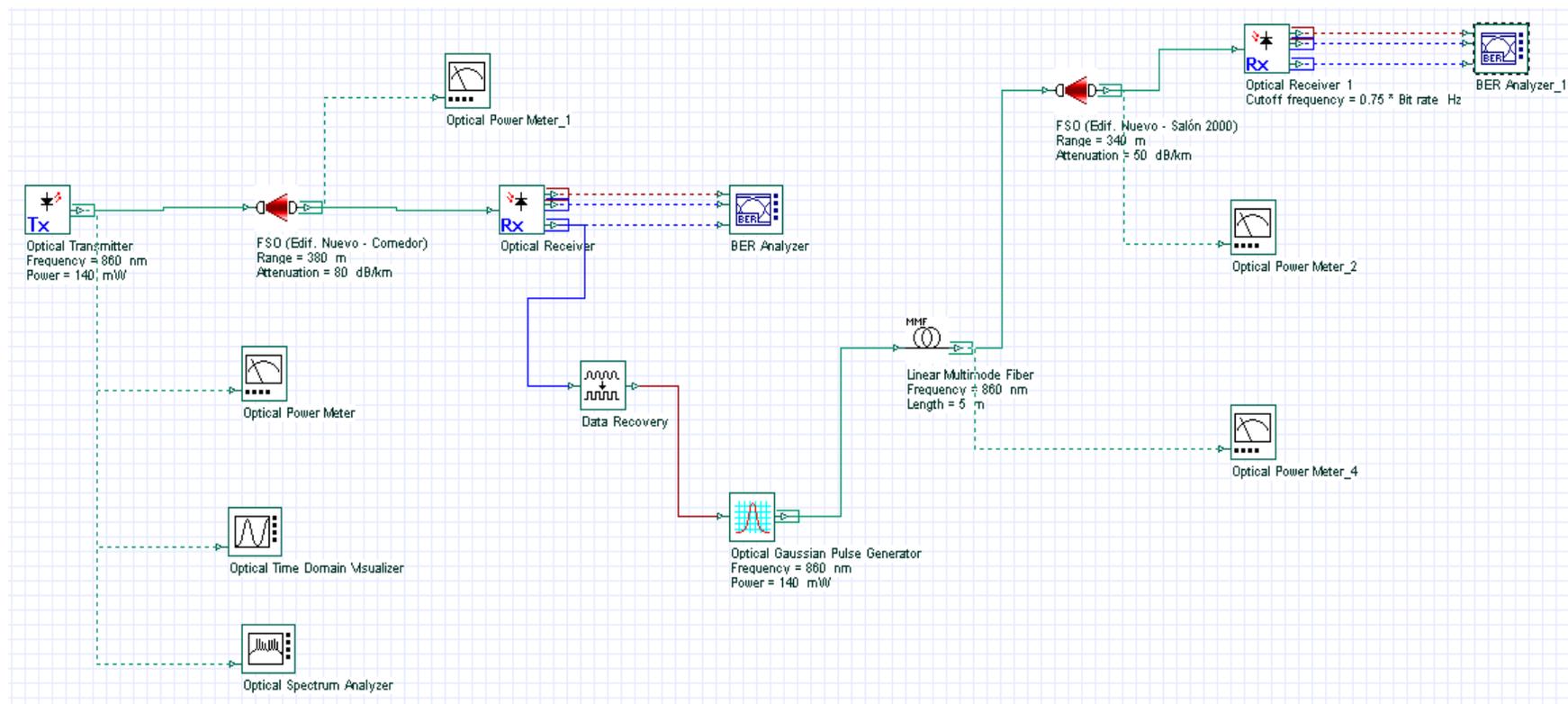


Figura 4.2: Parámetros para el cálculo de la potencia recibida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Referencia: <http://www.mrv.com/product/MRV-TS-5000B>

---

## ***Explicación***

Este sistema trabaja en un régimen binario de 1,25 Gbits/s. Se puede apreciar que existen dos enlaces ópticos; en los cuales se emplea equipos ópticos transmisores y receptores, en el primer enlace (Edificio Nuevo - Comedor) estos equipos se encuentran a 380 metros de distancia, mientras que en el segundo enlace (Edificio Nuevo – Salón 2000) se encuentra a 340 metros.

El transmisor óptico trabaja con una frecuencia de 860 nm y una potencia de emisión 140 mW, esta transmisión se realiza a través del componente FSO, en el cual se establece el rango de distancia entre el emisor y el receptor, y la atenuación que varía de acuerdo al tipo de clima en el cual se va a implantar el enlace, para nuestro estudio se ha establecido el valor de 60 dB/km, el mismo que refleja un clima lluvioso, con niebla moderada y fuertes vientos. Como podemos apreciar la atenuación que se aplica es sumamente alta, lo cual indica que pueda existir una considerable pérdida de potencia, por ende pérdida de información.

El receptor está basado en un fotodetector APD., el mismo que genera una señal eléctrica.

Todos los valores de los parámetros que se especifican tanto en el transmisor, receptor y equipo láser han sido extraídos de las características del dispositivo comercial del proveedor seleccionado.

En el esquema se pueden ver elementos para visualización de señales eléctricas, ópticas, medidores de nivel de potencia, analizador de espectros.

## Parámetros globales

Simulation			
Signals			
Spatial effects			
Noise			
Signal tracing			
Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	1250000000	Bits/s	Normal
Time window	1.024e-007	s	Normal
Sample rate	8000000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

Es el valor de la tasa de transferencia por unidad de tiempo que se va a utilizar para todos los componentes del enlace óptico.

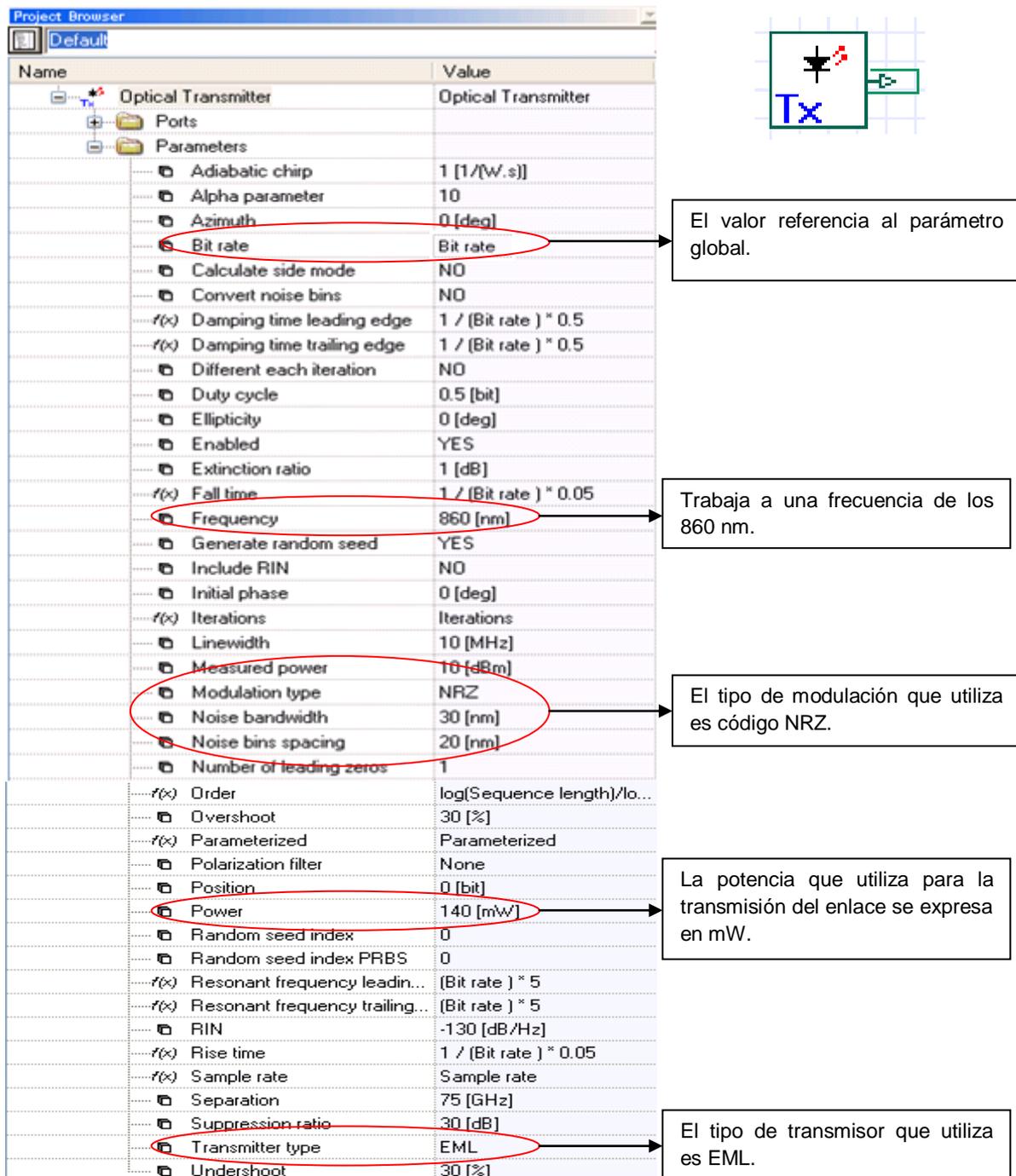
Es la secuencia de longitud de bits que se establece para todo el enlace óptico.

Figura 4.3: Parámetros para el cálculo de la potencia recibida

Hay ciertos parámetros comunes que se asigna a todo el enlace óptico en si, como podemos observar en la figura 4.1, los parámetros son el **bit rate** y **sequence length**, los mismos que se aplicaran para el cálculo de resultados obtenidos por la simulación.

## Elementos del escenario

### Transmisor óptico



Name	Value
Optical Transmitter	Optical Transmitter
Ports	
Parameters	
Adiabatic chirp	1 [1/(W.s)]
Alpha parameter	10
Azimuth	0 [deg]
Bit rate	Bit rate
Calculate side mode	NO
Convert noise bins	NO
Damping time leading edge	$1 / (\text{Bit rate}) * 0.5$
Damping time trailing edge	$1 / (\text{Bit rate}) * 0.5$
Different each iteration	NO
Duty cycle	0.5 [bit]
Ellipticity	0 [deg]
Enabled	YES
Extinction ratio	1 [dB]
Fall time	$1 / (\text{Bit rate}) * 0.05$
Frequency	860 [nm]
Generate random seed	YES
Include RIN	NO
Initial phase	0 [deg]
Iterations	Iterations
Linewidth	10 [MHz]
Measured power	10 [dBm]
Modulation type	NRZ
Noise bandwidth	30 [nm]
Noise bins spacing	20 [nm]
Number of leading zeros	1
Order	$\log(\text{Sequence length}) / \log(\dots)$
Overshoot	30 [%]
Parameterized	Parameterized
Polarization filter	None
Position	0 [bit]
Power	140 [mW]
Random seed index	0
Random seed index PRBS	0
Resonant frequency leading...	$(\text{Bit rate}) * 5$
Resonant frequency trailing...	$(\text{Bit rate}) * 5$
RIN	-130 [dB/Hz]
Rise time	$1 / (\text{Bit rate}) * 0.05$
Sample rate	Sample rate
Separation	75 [GHz]
Suppression ratio	30 [dB]
Transmitter type	EML
Undershoot	30 [%]

El valor referencia al parámetro global.

Trabaja a una frecuencia de los 860 nm.

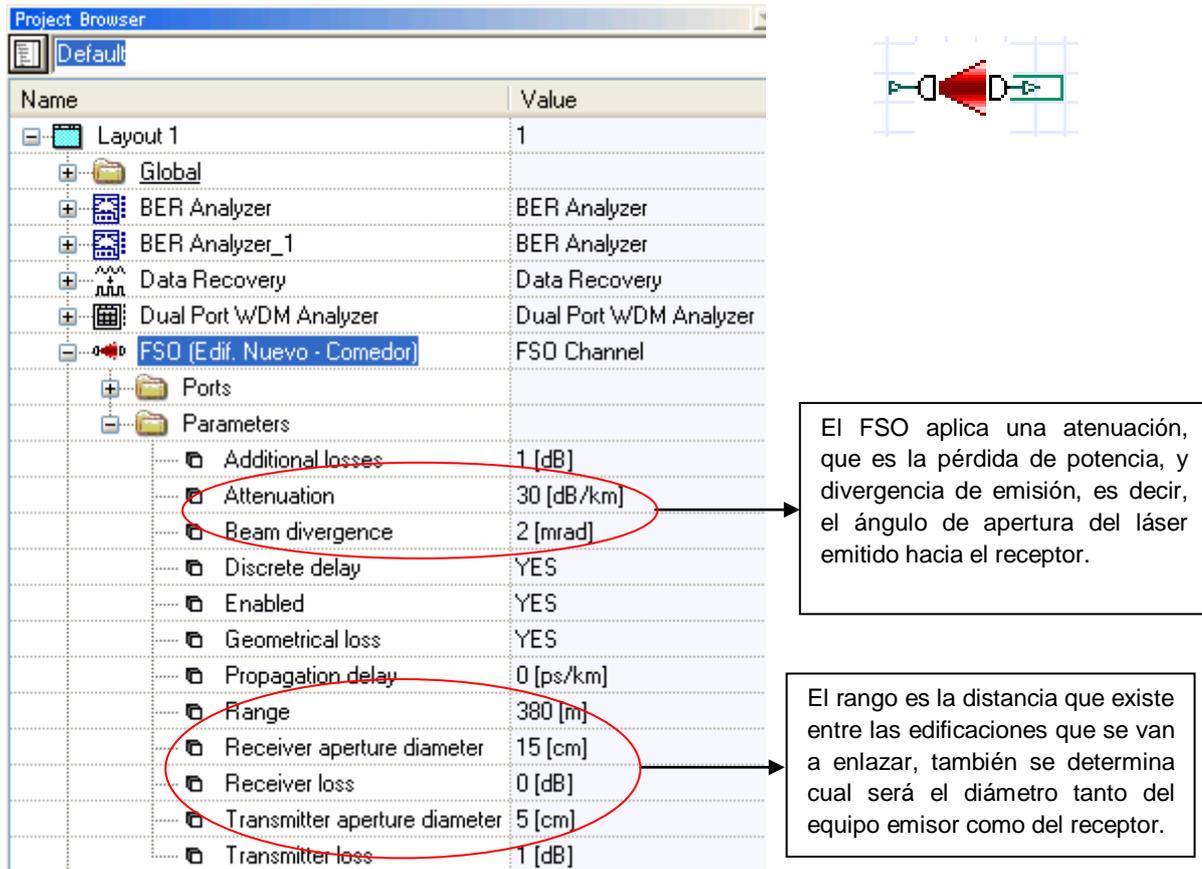
El tipo de modulación que utiliza es código NRZ.

La potencia que utiliza para la transmisión del enlace se expresa en mW.

El tipo de transmisor que utiliza es EML.

Figura 4.4: Parámetros del equipo transmisor óptico

## Componente FSO



The screenshot shows a 'Project Browser' window with a tree view of components. The 'FSO (Edif. Nuevo - Comedor)' component is selected, and its parameters are listed in a table. The parameters are:

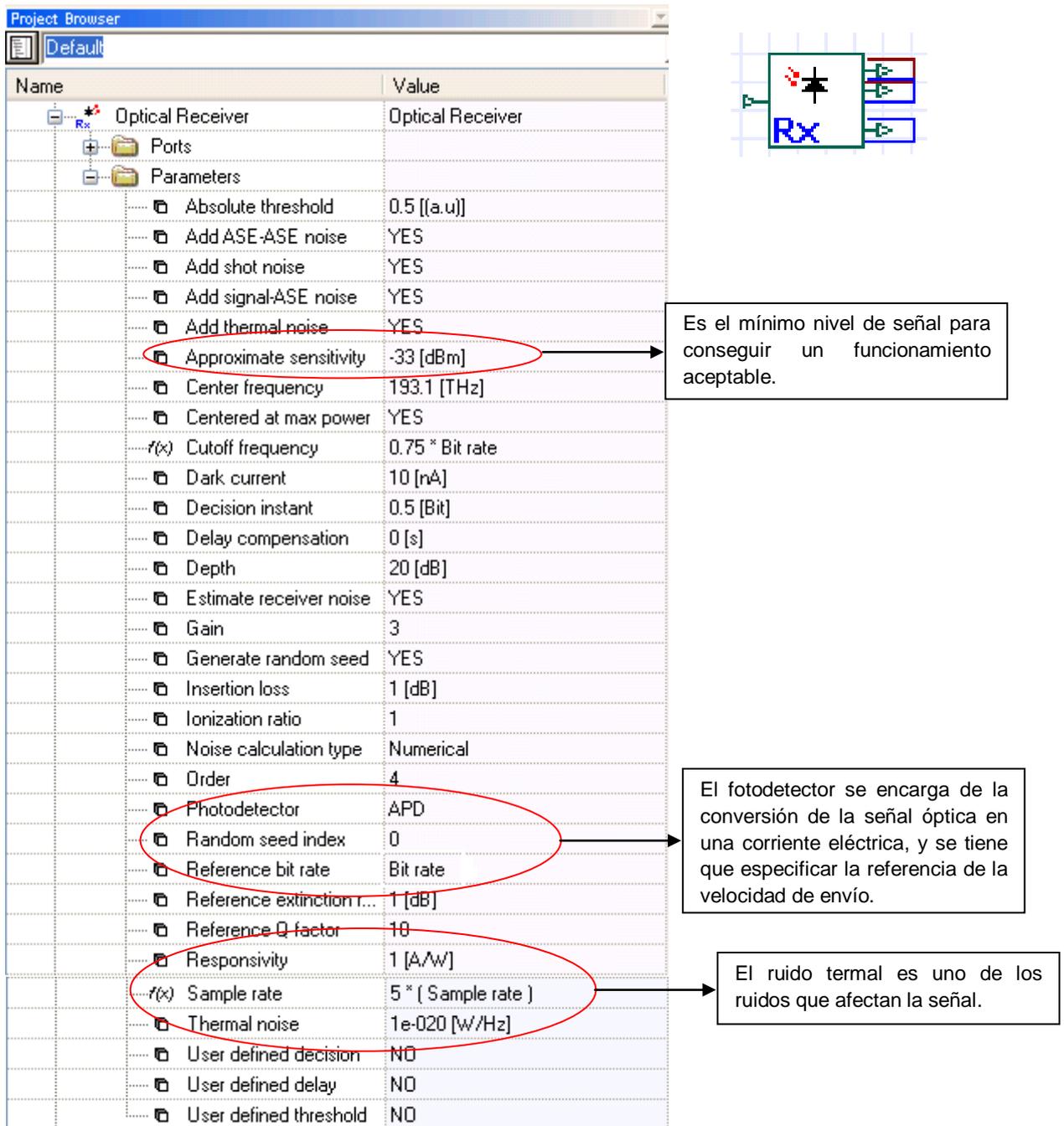
Name	Value
Layout 1	1
Global	
BER Analyzer	BER Analyzer
BER Analyzer_1	BER Analyzer
Data Recovery	Data Recovery
Dual Port WDM Analyzer	Dual Port WDM Analyzer
FSO (Edif. Nuevo - Comedor)	FSO Channel
Ports	
Parameters	
Additional losses	1 [dB]
Attenuation	30 [dB/km]
Beam divergence	2 [mrad]
Discrete delay	YES
Enabled	YES
Geometrical loss	YES
Propagation delay	0 [ps/km]
Range	380 [m]
Receiver aperture diameter	15 [cm]
Receiver loss	0 [dB]
Transmitter aperture diameter	5 [cm]
Transmitter loss	1 [dB]

Two callout boxes provide definitions for the circled parameters:

- Attenuation:** El FSO aplica una atenuación, que es la pérdida de potencia, y divergencia de emisión, es decir, el ángulo de apertura del láser emitido hacia el receptor.
- Range:** El rango es la distancia que existe entre las edificaciones que se van a enlazar, también se determina cual será el diámetro tanto del equipo emisor como del receptor.

Figura 4.5: Parámetros del componente FSO

## Receptor óptico



Name	Value
Optical Receiver	Optical Receiver
Ports	
Parameters	
<input type="checkbox"/> Absolute threshold	0.5 [(a.u)]
<input type="checkbox"/> Add ASE-ASE noise	YES
<input type="checkbox"/> Add shot noise	YES
<input type="checkbox"/> Add signal-ASE noise	YES
<input type="checkbox"/> Add thermal noise	YES
<input checked="" type="checkbox"/> Approximate sensitivity	-33 [dBm]
<input type="checkbox"/> Center frequency	193.1 [THz]
<input type="checkbox"/> Centered at max power	YES
$f(x)$ Cutoff frequency	$0.75 * \text{Bit rate}$
<input type="checkbox"/> Dark current	10 [nA]
<input type="checkbox"/> Decision instant	0.5 [Bit]
<input type="checkbox"/> Delay compensation	0 [s]
<input type="checkbox"/> Depth	20 [dB]
<input type="checkbox"/> Estimate receiver noise	YES
<input type="checkbox"/> Gain	3
<input type="checkbox"/> Generate random seed	YES
<input type="checkbox"/> Insertion loss	1 [dB]
<input type="checkbox"/> Ionization ratio	1
<input type="checkbox"/> Noise calculation type	Numerical
<input type="checkbox"/> Order	4
<input checked="" type="checkbox"/> Photodetector	APD
<input type="checkbox"/> Random seed index	0
<input type="checkbox"/> Reference bit rate	Bit rate
<input type="checkbox"/> Reference extinction r...	1 [dB]
<input type="checkbox"/> Reference Q factor	10
<input checked="" type="checkbox"/> Responsivity	1 [A/W]
$f(x)$ Sample rate	$5 * (\text{Sample rate})$
<input type="checkbox"/> Thermal noise	$1e-020$ [W/Hz]
<input type="checkbox"/> User defined decision	NO
<input type="checkbox"/> User defined delay	NO
<input type="checkbox"/> User defined threshold	NO

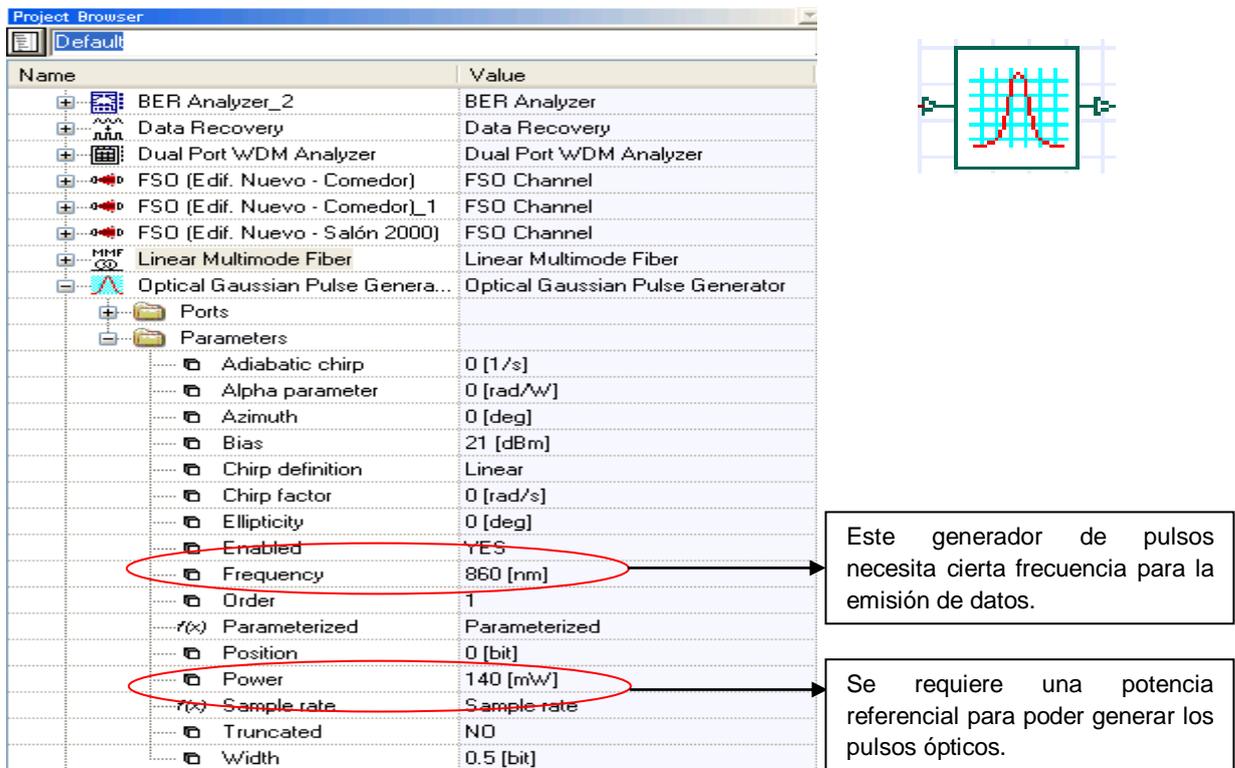
Es el mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento aceptable.

El fotodetector se encarga de la conversión de la señal óptica en una corriente eléctrica, y se tiene que especificar la referencia de la velocidad de envío.

El ruido termal es uno de los ruidos que afectan la señal.

Figura 4.6: Parámetros del equipo receptor óptico

## Generador Gaussiano de pulsos ópticos



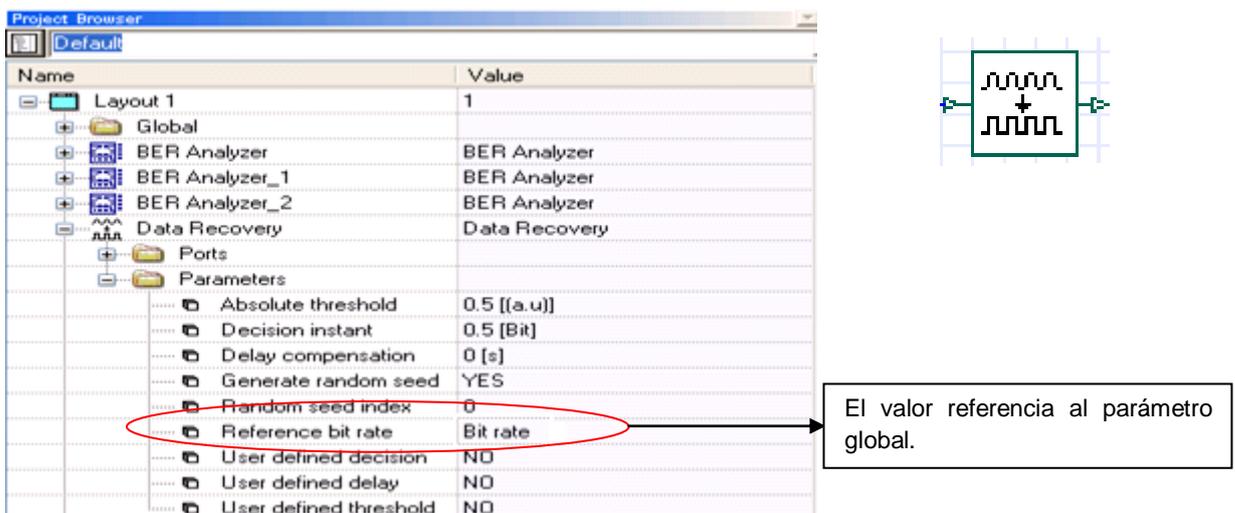
Name	Value
BER Analyzer_2	BER Analyzer
Data Recovery	Data Recovery
Dual Port WDM Analyzer	Dual Port WDM Analyzer
FSD (Edif. Nuevo - Comedor)	FSD Channel
FSD (Edif. Nuevo - Comedor_1)	FSD Channel
FSD (Edif. Nuevo - Salón 2000)	FSD Channel
Linear Multimode Fiber	Linear Multimode Fiber
Optical Gaussian Pulse Genera...	Optical Gaussian Pulse Generator
Ports	
Parameters	
Adiabatic chirp	0 [1/s]
Alpha parameter	0 [rad/μm]
Azimuth	0 [deg]
Bias	21 [dBm]
Chirp definition	Linear
Chirp factor	0 [rad/s]
Ellipticity	0 [deg]
Enabled	YES
Frequency	860 [nm]
Order	1
r(x) Parameterized	Parameterized
Position	0 [bit]
Power	140 [mW]
r(x) Sample rate	Sample rate
Truncated	NO
Width	0.5 [bit]

Este generador de pulsos necesita cierta frecuencia para la emisión de datos.

Se requiere una potencia referencial para poder generar los pulsos ópticos.

Figura 4.7: Parámetros del generador Gaussiano de pulsos ópticos

## Componente de recuperación de datos

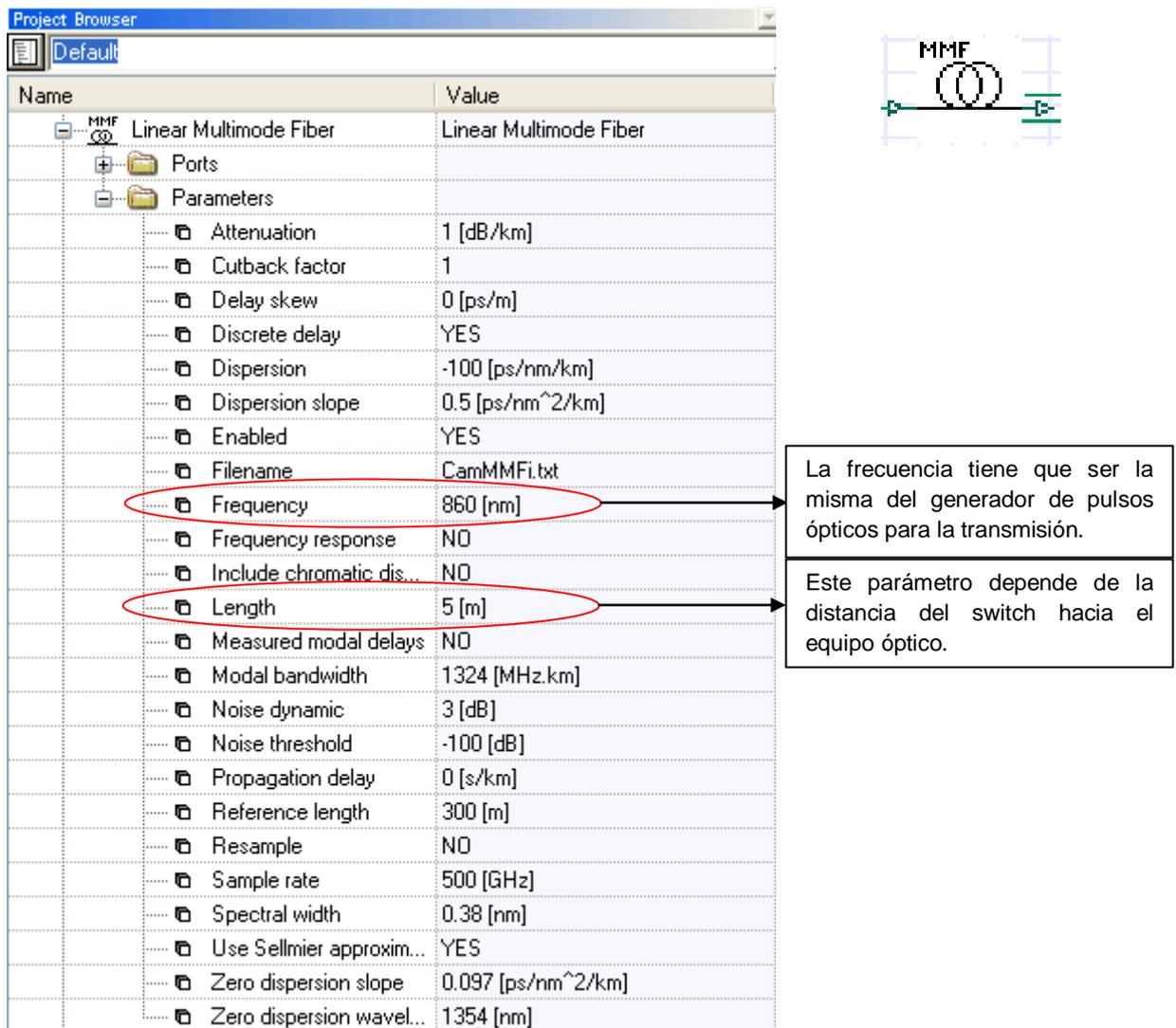


Name	Value
Layout 1	1
Global	
BER Analyzer	BER Analyzer
BER Analyzer_1	BER Analyzer
BER Analyzer_2	BER Analyzer
Data Recovery	Data Recovery
Ports	
Parameters	
Absolute threshold	0.5 [(a.u)]
Decision instant	0.5 [Bit]
Delay compensation	0 [s]
Generate random seed	YES
Random seed index	0
Reference bit rate	Bit rate
User defined decision	NO
User defined delay	NO
User defined threshold	NO

El valor referencia al parámetro global.

Figura 4.8: Parámetros del componente de recuperación de datos

## Componente de fibra multimodo



Name	Value
Linear Multimode Fiber	Linear Multimode Fiber
Ports	
Parameters	
Attenuation	1 [dB/km]
Cutback factor	1
Delay skew	0 [ps/m]
Discrete delay	YES
Dispersion	-100 [ps/nm/km]
Dispersion slope	0.5 [ps/nm <sup>2</sup> /km]
Enabled	YES
Filename	CamMMFi.txt
Frequency	860 [nm]
Frequency response	NO
Include chromatic dis...	NO
Length	5 [m]
Measured modal delays	NO
Modal bandwidth	1324 [MHz.km]
Noise dynamic	3 [dB]
Noise threshold	-100 [dB]
Propagation delay	0 [s/km]
Reference length	300 [m]
Resample	NO
Sample rate	500 [GHz]
Spectral width	0.38 [nm]
Use Sellmier approxim...	YES
Zero dispersion slope	0.097 [ps/nm <sup>2</sup> /km]
Zero dispersion wavel...	1354 [nm]

La frecuencia tiene que ser la misma del generador de pulsos ópticos para la transmisión.

Este parámetro depende de la distancia del switch hacia el equipo óptico.

Figura 4.9: Parámetros del componente de fibra multimodo

### 4.1.2 Resultado de los porcentajes de mejora del rendimiento del Backbone actual de la Institución mediante la simulación de la red inalámbrica óptica.

#### Componentes de visualización

- Medidor óptico de potencia

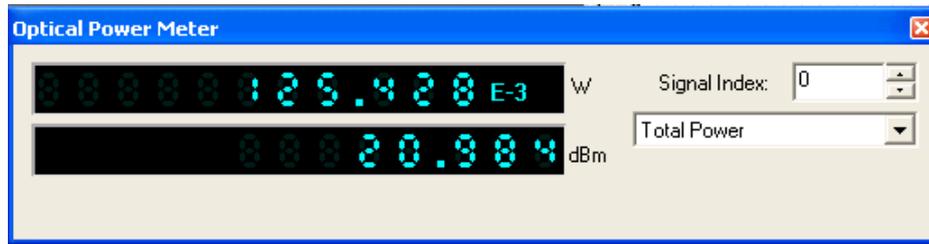


Figura 4.10: Resultado del medidor óptico

Como se puede apreciar la potencia final de salida que emite el transmisor óptico es de 125,4 mW, esta potencia tiende a decrementar por factores como ruido, atenuación, frecuencia utilizada.

- **Analizador óptico de espectros**

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

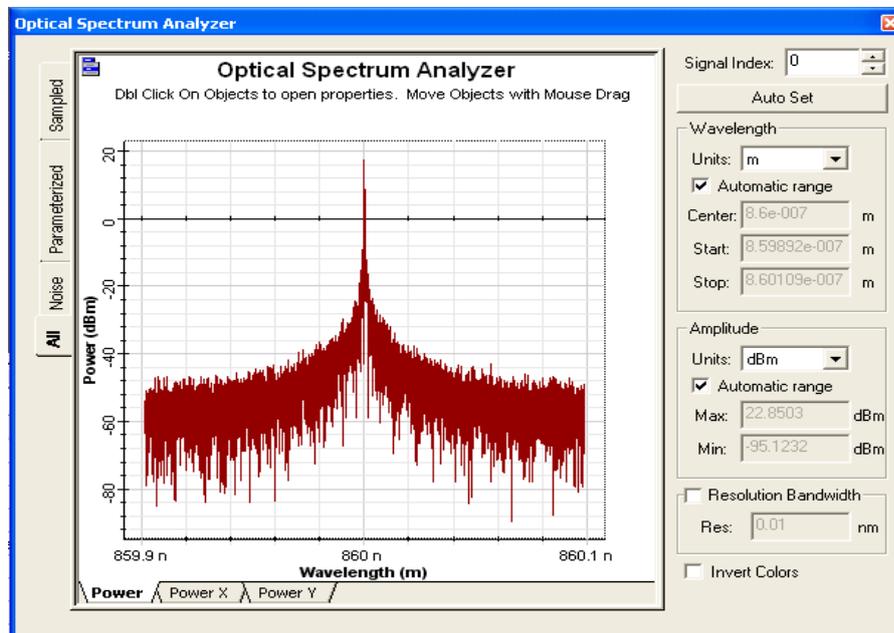


Figura 4.11: Resultados obtenidos por el analizador óptico de espectros

- **Bit Error Rate (BER).**- Es el número de bits incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

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

**40 dB/km**

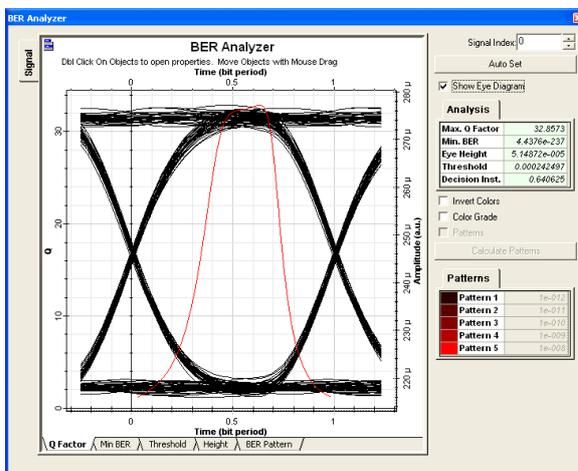


Figura 4.12: Resultados obtenidos por el BER (10 dB/km)

**60 dB/km**

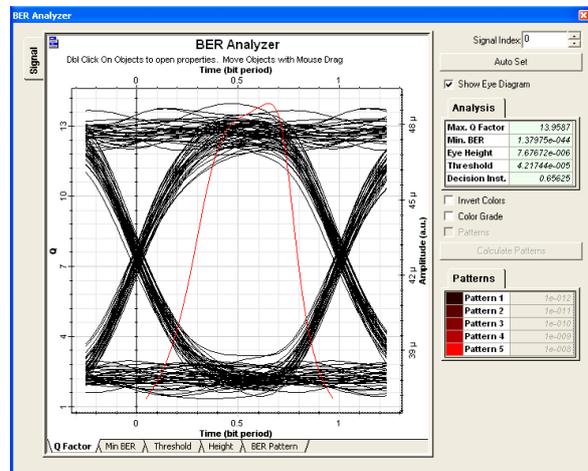


Figura 4.13: Resultados obtenidos por el BER (30 dB/km)

**70 dB/km**

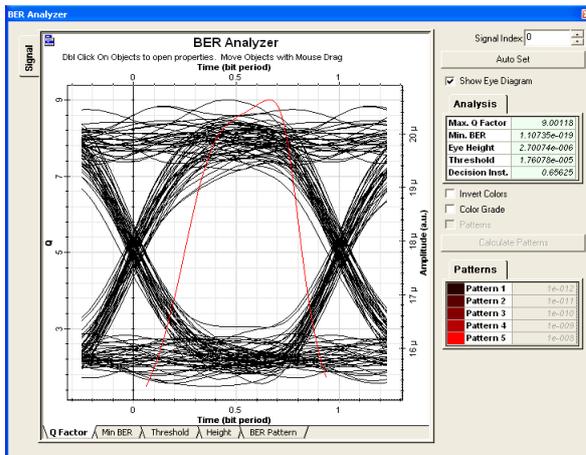


Figura 4.14: Resultados obtenidos por el BER (50 dB/km)

**80 dB/km**

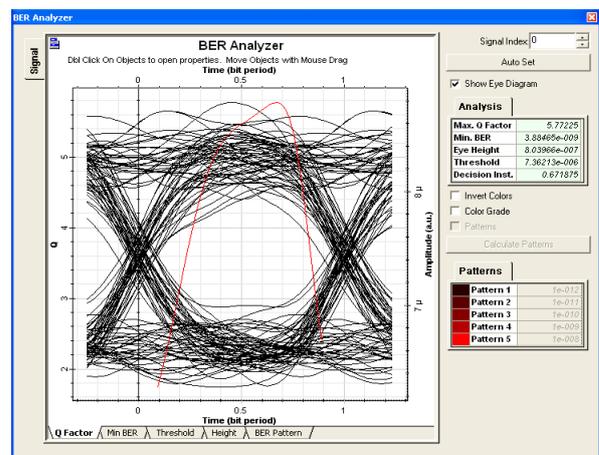


Figura 4.15: Resultados obtenidos por el BER (80 dB/km)

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

- **Monitoreo de la señal óptica**

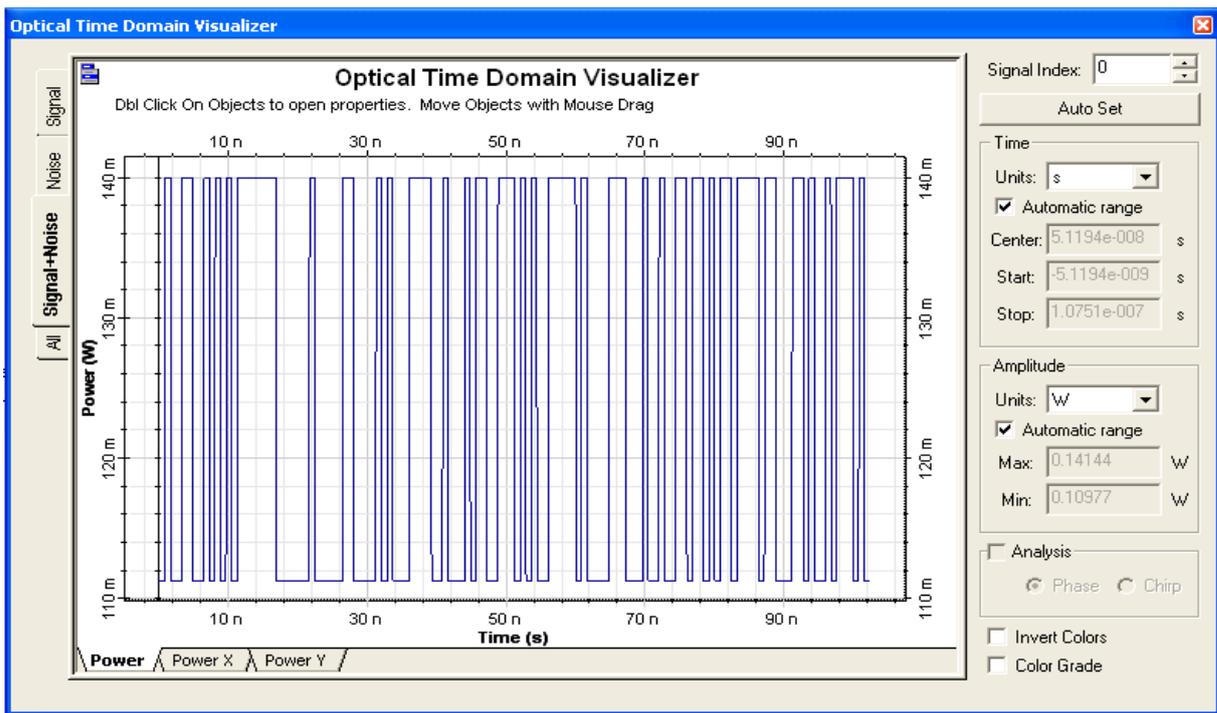


Figura 4.16: Resultados obtenidos por el BER (50 dB/km)

Indica el transcurso de la señal en el transcurso del tiempo.

### Cálculo de resultados

- **Relación Señal / Ruido**

Tomando los resultados obtenidos en el simulador, específicamente tomado del Visualizador “Medidor Óptico”, su pudo constatar que la potencia de la señal total recibida es de 139.98 mW, la misma que ha sido calculada por la siguiente fórmula:

Fórmula 4.1: 
$$P_{total} = P_{salida} - P_{perdida}$$

---

Reemplazando valores tenemos:

$$P_{total} = 140mW - 14.24mW.$$

$$P_{total} = 139,98mW$$

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

Para esto se implementa la siguiente fórmula:

$$\text{Fórmula 4.2: } N_{total} = \sum(N_{shot} + N_{t\acute{e}rmico} + N_{RIN})$$

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

$$N_{total} = 2dBm \rightarrow \text{equivalente a: } N_{total} = 1.58mW$$

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

$$\text{Fórmula 4.3: } \frac{S}{N} [dB] = 10 \cdot \log\left(\frac{S[W]}{N[W]}\right)$$

Tenemos:

$$\frac{S}{N} [dB] = 10 \cdot \log\left(\frac{139,98e^{-3}W}{1.25e^{-3}W}\right)$$

Teniendo como resultado: **20.46 dB**. Analizando este resultado se puede expresar que es una cantidad bastante aceptable, en el cual garantiza una calidad en la señal. Tomando en cuenta, que también se tiene una atenuación de 60dB/km. Por lo que se refleja, que aunque teniendo una atenuación alta, y un poder del ruido considerable, se tiene una excelente señal.

---

- **Disponibilidad**

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

Para el cálculo de la disponibilidad se emplea la fórmula 2.6, la cual indica que:

$$\textit{Disponibilidad} \% = 100 \cdot \frac{\textit{(Tiempo de uso efectivo)}}{\textit{(Tiempo de uso Total)}}$$

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

Conociendo todo el proceso de la Tecnología FSO, que se ha reflejado en el presente proyecto, y obteniendo los resultados posibles, aplicando la simulación, se determina que el “tiempo de uso efectivo” de la Nueva Red Inalámbrica Óptica, se refleja en 99.99%.

Fomentando este porcentaje, se establece que cualquier red es propensa a factores que pueden afectar su disponibilidad, en este caso, también se ha considerando esa probabilidad.

Haciendo un análisis anual, de la disponibilidad de la red, implica que hay 8 horas de mal funcionamiento de la red. Ahora conociendo el total de la población de la ESPE que es de 8760 personas, el tiempo aproximado de interrupción para cada usuario sería de 3,27 segundos. Por lo que refleja una calidad en el servicio de la red; es decir la disponibilidad es excelente.

---

- **Ganancia**

Basándonos en el simulador óptico, específicamente en el visualizador óptico se tiene que la potencia de salida es de 140 mW, y que la potencia de entrada es de 139,98 mW.

Según la fórmula 2.11 se expresan los valores de la siguiente manera:

Fórmula 2.11: 
$$G = 10 * \log_{10} \left( \frac{140 \text{ mW}}{139,98 \text{ mW}} \right)$$

Teniendo como resultado

$$G = 0,031 \text{ dB}$$

Haciendo un análisis del resultado obtenido con este cálculo el cual expresa un valor aceptable de ganancia, se confirma que la calidad de señal emitida, contiene poco ruido que interfiera a la misma.

Cabe recalcar que aplicando una atenuación bastante considerable, acompañada de una señal de ruido alta, no se registra inconvenientes en la transmisión de la señal, es decir, la señal emitida tiene buena calidad en la transmisión.

---

## 5. CAPÍTULO V

### 5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.1 Conclusiones

Una vez analizado el Backbone actual de la ESPE Campus Sangolquí, se pudo constatar que existen varios lugares a los cuales no se llega con todos los servicios requeridos a través de la red, que de igual manera que el resto de edificaciones demandan comunicación, servicio de internet, correo electrónico, consultas en línea, en fin varios servicios que no les es compartido, no solo en el ámbito administrativo o docente, sino también en el estudiantil, esto quiere decir que el Backbone actual no está siendo bien distribuido.

Se determinó también, que el Edificio Nuevo será el nodo central, donde irán ubicados los equipos transmisores/receptores ópticos láser, por ser la edificación más alta del Campus Sangolquí, el mismo que permite llegar con línea de vista a los nodos secundarios, siendo estos comedor y salón 2000, los mismos que al momento no reciben todos los servicios que brinda la red. El comedor permitirá distribuir a través de una conexión con fibra óptica, los servicios de red que no les están siendo impartidos, a la FEFDER y a construcciones; se ha visto la factibilidad de ubicar aquí, un nodo secundario, porque tiene una conveniente línea de vista con el Edificio Nuevo para la ubicación del equipo receptor/transmisor óptico láser. Y el salón 2000 sector en el cual está ubicado el bar, que por ser un lugar de frecuente concurrencia de personal administrativo, docente y alumnos, tiene una gran demanda de servicios de red.

En cuanto a la simulación establecida, se demostró las ventajas que se dan, si se produjera la implementación física de una Red Inalámbrica óptica, para la ESPE campus Sangolquí. Tomando en cuenta que, esta red permitirá una mejora en el rendimiento del backbone actual de la ESPE; considerando, que los nodos que se

---

han establecido para el diseño de los enlaces ópticos, permiten tener cerca del 99.99% de disponibilidad del servicio; cuyo valor es excelente. Es por eso que la ESPE ganaría mucha ventaja implementando esta tipo de red.

En cuanto a la herramienta de simulación, se constituye que es de gran apoyo para el diseño de redes ópticas permitiendo la simulación de su funcionamiento. Cabe recalcar que la herramienta como tal, tiene una serie más de utilidades, por lo que hace compleja el manejo de la misma.

### **5.1.2 Recomendaciones**

Hay que evitar el colocar este tipo de enlaces en condiciones no aceptables que ocasionen problemas con los elementos del equipo, tampoco colocar los equipos a grandes distancias que no cumplan con las características de los equipos ópticos y existan objetos que en lo futuro podrían obstaculizar el enlace.

Al momento de transmitir una señal hay que tomar en cuenta que intervienen varios factores en la emisión de la misma, como atenuación, ruido, clima, los mismos que si no se los prevé pueden provocar cortes de señal, mala recepción de la señal e interferencias que causen problemas de comunicación en el enlace.

Se debe considerar, que el diseño de la Nueva Red Inalámbrica Óptica cumple con las necesidades de enlaces de red, solamente para los lugares donde actualmente los servicios no están disponibles. Conociendo esto, se debe considerar que se puede efectuar otros enlaces ópticos en sitios donde actualmente se tenga todos los servicios de red, con la finalidad que sirvan como enlaces contingentes y que permitan la comunicación con las áreas no enlazadas a la red pero si establecidas dentro del Backbone.

---

### 5.1.3 Bibliografía

"Lightwave Technology" *Telecommunication Systems*, (2005), Primera Edición. New York. Agrawal Govind.

"Next Generation Optical Networks", (2002), Primera Edición. EEUU. Peter Tomsu – Christian Schmutzer.

Wikipedia. *Ingeniería de Telecomunicación*.

<[http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_telecomunicaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_telecomunicaci%C3%B3n)>

Aleph Zero. *Caracterización de la Investigación y de la tecnología*. México. <<http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az27/clasificacion.html>>

MRV Communications. *Optical Transport*. Boston – EE.UU., 2007. <<http://www.mrv.com/optical-transport/terlescope/>>

Fsona Company, *Free Space Optics*, Richmond – Canada, 1997. <<http://www.free-space-optics.org/index.php>>

PAV Company, *Free Space Optical System*, Reino Unido. <[http://www.pavdata.com/technology\\_what\\_is.php](http://www.pavdata.com/technology_what_is.php)>

"Expresión Electrónica", Diccionario de Computación, EE.UU., 2004, Alan Freedman <<http://www.unincca.edu.co/boletin/indice.htm>>

"Redes Inalámbricas", Maestro de la Web, (19 de julio de 1997), Christian Van Der Henst S, <<http://www.maestrosdelweb.com/editorial/redeswlan/>>

"Redes Inalámbricas", Mygnet, (Agosto 2005 - Diciembre 2008), My Group Net - La comunidad de programación, <<http://www.mygnet.net/articulos/redes/827/>>

"Redes Inalámbricas", Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática,(2002), Carlos Varela, <<http://www.blyx.com/public/wireless/redesInalambricas.pdf>>

"Introducción a las Redes inalámbricas", Universidad de Jaén, (Mayo - 2008) <<http://www.ujaen.es/sci/redes/rimuja/guias/introduccion.htm>>

"Transmisión de luz en la atmósfera", (2004), EE.UU., Dr. Heinz Willebrand - Free Spaces Optics, <[http://es.wikipedia.org/wiki/La\\_atm%C3%B3sfera\\_como\\_canal\\_de\\_transmisi%C3%B3n\\_de\\_luz](http://es.wikipedia.org/wiki/La_atm%C3%B3sfera_como_canal_de_transmisi%C3%B3n_de_luz)>

"Free Space Optics", Universidad de Navarra, (2007), Daniel Pascual Domeño - Juan Ceniseros Medrano,

---

<[https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06\\_07/trabajos/resumenes/gr15-FSO.pdf](https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/trabajos/resumenes/gr15-FSO.pdf)>

"¿Qué es una red inalámbrica con tecnología láser?", Madrid - España, (2006), Humberto Malavé, <<http://www.aslan.es/boletin/boletin32/telephone.shtml>>

"Tecnología FSO", F.S.O.: Aplicación Topológica , (2007), Madrid - España, Roy Martínez, <<http://es.geocities.com/royalmartinez2/telecomunicaciones/foro/foro3.htm>>

## VITAE PERSONAL

<b>IDENTIFICACION PERSONAL</b>	
APELLIDOS:	LEÓN APOLO
NOMBRES:	JONATHAN HUGO
FECHA DE NACIMIENTO:	03 DE DICIEMBRE DEL 1985
LUGAR DE NACIMIENTO:	MACHALA - EL ORO
NACIONALIDAD:	ECUATORIANO
C. IDENTIDAD/CIUDADANIA:	070470371-9
DIRECCION DOMICILIARIA:	Av. Maldonado – Guamaní
TELEFONO:	084817078
<b>REFERENCIA BACHILLERATO</b>	
COLEGIO:	Dr. Manuel A. González
PAÍS: Ecuador	CIUDAD: Pasaje – El Oro
ESPECIALIZACIÓN:	Físico – Matemáticas
FECHA:	15 de Febrero del 2003

## VITAE PERSONAL

<b>IDENTIFICACION PERSONAL</b>	
APELLIDOS:	VACA RON
NOMBRES:	ROBERTO CARLOS
FECHA DE NACIMIENTO:	16 DE ABRIL DE 1984
LUGAR DE NACIMIENTO:	QUITO - ECUADOR
NACIONALIDAD:	ECUATORIANA
C. IDENTIDAD/CIUDADANIA:	171374206 - 0
DIRECCION DOMICILIARIA:	Sucre E3-231 y Av. Pichincha
TELEFONO:	022 570 – 996 / 095 903 – 197
<b>REFERENCIA BACHILLERATO</b>	
COLEGIO:	Academia Militar Borja N° 3
PAÍS: Ecuador	CIUDAD: Quito
ESPECIALIZACIÓN:	Físico - Matemáticas
FECHA:	19 de Julio del 2002

**HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS**

**ELABORADO POR:**

---

JONATHAN HUGO LEÓN APOLO

---

ROBERTO CARLOS VACA RON

**COORDINADOR DE LA CARRERA**

---

ING. RAMIRO DELGADO

Lugar y fecha: SANGOLQUÍ, 17 DE DICIEMBRE DEL 2008