

**INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS PARA DISEÑO Y PRESUPUESTO DE LOS ENLACES DE RED DE
DATOS PARA LAS SEDES DESCENTRALIZADAS FÍSICAMENTE DE LA ALCALDÍA MUNICIPAL
DE PASTO**



**EDGAR ANDRÉS PUPIALES BUCHELI
CHRISTIAN FERNANDO VEGA CAICEDO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2008**

INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS PARA DISEÑO Y PRESUPUESTO DE LOS ENLACES DE RED DE DATOS PARA LAS SEDES DESCENTRALIZADAS FÍSICAMENTE DE LA ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO



EDGAR ANDRES PUPIALES BUCHELI
CHRISTIAN FERNANDO VEGA CAICEDO

Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Electrónico
Director
Ing. Andrés Calvache

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2008

RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el proyecto de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo Primero del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Asesor

San Juan de Pasto, Mayo de 2008

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de trabajo de sistemas de Información del Departamento de Planeación de la Alcaldía Municipal de Pasto, y muy especialmente a la Ingeniera Lucero Guastar, por darnos la oportunidad y la orientación necesaria para llevar a cabo el presente proyecto.

Al profesorado del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño, por su aporte valioso en nuestra formación como profesionales, brindarnos las bases y motivación necesaria para enfrentar el campo de acción tecnológico al cual estamos llamados.

Al Ingeniero Andrés Calvache, por su colaboración y asesoría a través del desarrollo de las actividades del proyecto.

A todos nuestros compañeros de carrera, con quienes compartimos no sólo el aula de clases o un laboratorio, sino con quienes conformamos una fraternidad en pro del bienestar grupal, el enriquecimiento del conocimiento y el posicionamiento del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño en todos los niveles. Muy especialmente a nuestro grupo de trabajo, con quienes se ha recorrido un duro camino, siempre apoyados, saliendo adelante juntos, formando lazos de amistad, que ahora, continúan más allá de los salones de clase y perduran por siempre.

A quienes brindaron su colaboración durante el desarrollo de este trabajo de grado:

Ing. James Gustín

Ing. Alfredo Ramos

Ing. Wagner Suero

Un reconocimiento muy especial a las personas que se involucraron totalmente en este proyecto, personas que sin nada a cambio, solo por amor a su profesión, y ese afán de compartir su conocimiento y experiencia, orientaron esta investigación e hicieron de ella un sólido trabajo. Gracias Ingenieros Jesús Erazo, Mario Ramos y Steven Benavides, su calidad humana es incomparable.

*“A mi Dios por darme la oportunidad de vivir y compartir esta experiencia
A mi madre por su amor infinito e incondicional y a mi padre que desde el cielo cuida mis pasos.
A mis hermanos Carlos, Ricardo, Betty y Diana por brindarme su apoyo en todo momento
Al tesoro más precioso que la vida me puso en el camino, Ángela.
A mis sobrinos Alejandro, Sebastián y Daniela, que los quiero como a mis propios hijos.
A mis compadres y amigos del alma: Fabián, José Luis, Hugo, Esteban. Compañeros de billares y
amarguras.
A mis compañeros y amigos de carrera: Andrés, Ángelo, Oscar, John.
A mis amigas de toda la vida: Ana Cristina, Diana G, Ximena, Carolina, Aleja, Anita, Karen.
Sin todos ustedes este logro no tendría sentido alguno”.*

Christian Vega.

“Un espacio dentro de este trabajo, no es suficiente para describir el sentimiento dentro de mi corazón de eterna gratitud con todas esas personas que hicieron de lo que en una época solo fue un sueño, y ahora es una meta cumplida. Todos aquellos que me enseñaron a soñar y a creer en que con esfuerzo y dedicación, todo es posible. Que siempre me acompañaron hasta el final y ahora es momento de celebrar Nuestro Triunfo. Infinitas gracias a mi gran numerosa familia, a mi abuelita Gloria y a mi Tía Lucy, su dedicación y cariño será siempre un sentimiento que jamás desprenderé. A mis amigos de la U y que siempre recordare, con su afán de ser los mejores, me incentivaron a ser igual a ustedes. Un muchas gracias a mi grupo de trabajo y más queridos amigos: Hugo, Anghelo, y Christian, no habría otras personas con quien hubiera querido seguir este camino si no es con ustedes, al IMT que me enseñó a creer en el significado de “estamos pa’ las que sea”, a la Negrita que me hiso entender que amar si es posible. En fin a todas aquellas personas que hicieron de esto algo real. Pero jamás me olvidaría a quien siempre estuvo conmigo, de día y de noche, en las duras y las difíciles (en esta carrera no hay fáciles), en las buenas y en las malas. Mi más profundo sentimiento de respeto a Jesús Nazareno.

La verdad, no tengo palabras para describir lo que mis Padres y mi Hermana han hecho por mí, es por eso que dedico todo esto a ellos: Faty, Edgar y Paola y una dedicatoria especial a la niña que lleno de ternura nuestro hogar, Natalia. Para ti y para todos, dedico este título”.

Andrés Pupiales Bucheli

RESUMEN

El presente documento es el informe final de las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto de grado: *“Investigación y Análisis para Diseño y Presupuesto de los Enlaces de Red de Datos, para las Sedes Descentralizadas Físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto”*.

La Alcaldía Municipal de Pasto, a la fecha de redacción de este informe, cuenta con siete sedes físicas distribuidas dentro de la ciudad, donde el recurso informático y la comunicación e interacción entre ellas, son elementos imprescindibles para su normal desarrollo. Es aquí donde surge la necesidad de optar por nuevas alternativas, que permitan agilizar este proceso. Esta tarea está a cargo del Departamento Administrativo de Planeación en coordinación con la Oficina de Sistemas de Información, que tiene el interés de desarrollar el proyecto para el enlace de las redes de datos para las sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto. Por tal motivo, es necesario un diseño previo a la implementación, que es propósito principal de éste trabajo de investigación.

Este documento está conformado por las siguientes secciones: primeramente, la verificación general de los conceptos básicos sobre redes de datos, una vista de las tecnologías sobre medios guiados y no guiados para enlaces de red; un diagnóstico de cada una de las sedes en cuanto a conectividad actual, necesidades, y proyecciones; determinación de la tecnología óptima para el enlace a partir del análisis de cada posibilidad de enlace descrita anteriormente; diseño de red; y presupuesto. Finalmente, se establecen las conclusiones y recomendaciones como el aporte que representa el proyecto para la línea de Investigación de Comunicaciones del programa de Ingeniería Electrónica, la Universidad de Nariño, la Alcaldía Municipal de Pasto y la sociedad en general.

En la determinación de la tecnología óptima para el enlace, se evalúa a partir de parámetros como: impacto ambiental y urbanístico, cobertura, afectación meteorológica, especificaciones técnicas, costos, entre otros. Además se hace la planificación de los servicios y la estimación del ancho de banda requerido.

En el diseño de la Red se trabajó en el levantamiento de sitios de emplazamiento, la identificación de la topología del enlace; se analiza y escoge los equipos para el diseño del enlace y se realiza la comprobación del funcionamiento del sistema bajo la simulación del programa Radio Mobile.

El presupuesto plantea el proyecto desde el punto de vista financiero, estimando la inversión necesaria, y la forma como esta retornará en beneficio de la entidad y de la comunidad del Municipio de Pasto.

ABSTRACT

This document is the final report of the research conducted during the development of the project grade: "Research and Analysis to Design and Budget of Data network Links, for the physically decentralized headquarters of Pasto Central Government.

The Municipal government has seven seats physical distributed within the city, where computer resources and communication and interaction among them, are essential elements for normal development. Here grows the need to opt for new alternatives, to improve this process. The Planning Department in coordination with the Information Systems Office has the interest of developing the project for the link of headquarters networks. For this reason, it is necessary a design before implementation, which is the investigation of this project.

This document is composed of the following parts: general verification of the basic data networks concepts of data networks; an overview of the technologies on guided and non-guided media for network links, a diagnosis of each of the locations in terms of connectivity today, needs, and projections; determination of the optimal technology for the link based on the analysis of every opportunity to link as described above; network design and budget. Finally establishes the findings and recommendations as the contribution which represents the project for the line research communications of Electronic Engineering program, University of Nariño, the Municipal Government, and society in general.

To find the optimal technology for the link the research evaluated parameters such as: urban and environmental impact, coverage, affectation weather, technical specifications, and costs, among others. Also the project contains the service planning and estimation of the bandwidth required.

In the network design it considers parameters as: lifting of the site, identifying the link topology; analyzes and chooses equipment for the design of the link and is checking the operation of the system under the simulation program Radio Mobile.

The budget shows the project from the financial point of view, considering the investment that is needed, and how this will return for the benefit of the entity and the community in the city of Pasto.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	23
1. CONCEPTOS GENERALES DE REDES DE DATOS	24
1.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES	24
1.2 ANÁLISIS DE LAS REDES DE ÁREA LOCAL	24
1.2.1 Evolución histórica.	24
1.2.2 Concepto de red de área Local.	24
1.2.3 Conceptos y funcionalidades básicos.	25
1.2.4 Tendencias tecnológicas y del mercado.	39
1.3 ANÁLISIS DE LAS REDES DE ÁREA METROPOLITANA	42
1.3.1 Evolución histórica.	42
1.3.2 Concepto de una red de área metropolitana.	42
1.3.3 Conceptos y funcionalidades básicos.	43
1.4 INTERCONEXIÓN DE REDES	44
1.4.1 Definición de Interconexión de redes.	44
1.4.2 Tipos de interconexión de redes.	44
1.4.3 Dispositivos de interconexión de redes.	45
1.4.4 Tendencias tecnológicas y del mercado.	48
1.4.5 Criterios técnicos para la interconexión de redes.	48
2. ENLACE DE REDES DE DATOS POR MEDIOS GUIADOS	51
2.1 PAR TRENZADO	51
2.1.1 Construcción.	51
2.1.2 Tipos de cable par trenzado.	51
2.1.3 Características de transmisión.	52
2.1.4 Categorías del cable UTP.	52
2.1.5 Conectores.	54
2.1.6 Uso de los hilos.	55
2.1.7 Tipos de red soportadas bajo par trenzado.	55
2.2. XDSL	56
2.2.1 Familia xDSL.	57
2.3 CABLE COAXIAL	59
2.3.1 Construcción.	59
2.3.2 Características de transmisión.	60
2.3.3 Tipos de cable coaxial.	60
2.3.4 Conectores.	61
2.3.5 Tipos de red soportadas bajo cable coaxial.	61
2.4 FIBRA ÓPTICA	62

2.4.1	Características físicas.	62
2.4.2	Núcleo óptico y tipos de fibras.	62
2.4.3	Tipos de construcciones.	64
2.4.4	Elementos de protección.	65
2.4.5	Componentes de la fibra óptica.	65
2.4.6	Interfaz de datos distribuida por fibra (FDDI).	67
2.4.7	Redes híbridas de fibra óptica – coaxial.	69
2.4.8	Estándares Ethernet para fibra óptica.	71
3.	ENLACE DE REDES DE DATOS POR MEDIOS NO GUIADOS	74
3.1	EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	74
3.1.1	Propagación en función de la gama de frecuencia.	76
3.1.2	La radiofrecuencia (RF).	77
3.2	NORMATIVIDAD DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA	80
3.2.1	Frecuencias libres.	81
3.2.2	Espectro ensanchado.	83
3.2.3	Banda ancha.	84
3.2.4	Contraprestaciones.	87
3.2.5	Servicios.	91
3.3	ONDAS DE RADIO.	91
3.3.1	Banda de HF (3-30MHz).	92
3.3.2	Banda de VHF (30-300MHz).	92
3.3.3	Banda de UHF (300MHz-3GHz).	92
3.3.4	Packet Radio.	93
3.4	MICROONDAS	95
3.4.1	Definición.	95
3.4.2	Generación.	95
3.4.3	Clasificación.	96
3.4.4	Configuraciones.	96
3.4.5	Diagrama de bloques de un sistema básico de microondas.	96
3.4.6	Características de los enlaces por microondas.	98
3.4.7	Planificación de frecuencias.	98
3.4.8	Características del equipo de microondas.	99
3.4.9	Características del sistema de energía eléctrica.	101
3.4.10	Entorno tecnológico.	101
3.5	Wifi Y WiMAX	103
3.5.1	Principales sistemas de modulación.	103
3.5.2	Estándar 802.11.	105
3.5.3	Wi-Fi.	108
3.5.4	Estándar IEEE 802.16.	109
3.5.5	PRE-WiMAX.	109

3.5.6 WiMAX.	110
3.6 LMDS	110
3.6.1 Definición.	110
3.6.2 Estandarización la tecnología LMDS.	112
3.6.3 Optimización tecnológica.	112
3.6.4 Atenuación.	113
3.6.5 Arquitectura y topología de red.	113
3.6.5 Capacidad, alcance y celularización.	116
3.6.6 Ventajas y desventajas.	118
3.7 SEGURIDAD EN REDES INALÁMBRICAS	119
3.7.1 Riesgos de las redes inalámbricas.	119
3.7.2 Mecanismos de seguridad Wi-Fi.	119
3.7.3 Seguridad WiMAX.	120
4. ESCENARIO DE APLICACIÓN	121
4.1 ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO	121
4.2 SEDES DESCENTRALIZADAS FÍSICAMENTE DE LA ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO	121
4.3 SITUACIÓN GEOGRÁFICA	122
4.4 EQUIPO DE COMUNICACIONES Y TERMINALES DE DATOS	123
4.5 ESTUDIO DE NECESIDADES	127
4.5.1 Necesidades y expectativas.	127
4.5.2 Necesidades de las sedes.	128
4.6 PLANIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS Y ANCHO DE BANDA REQUERIDO	129
5. ANÁLISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE	131
5.1 PARÁMETROS A EVALUAR	131
5.1.1 Impacto ambiental y urbanístico.	131
5.1.2 Cobertura.	131
5.1.3 Afectación meteorológica.	131
5.1.4 Especificaciones técnicas.	131
5.1.5 Costos.	132
5.1.6 Licencias.	132
5.1.7 Compatibilidad e interoperabilidad.	132
5.2 IMPACTO AMBIENTAL Y URBANÍSTICO	133
5.3 COBERTURA	133
5.4 AFECTACIÓN METEOROLÓGICA	134
5.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	135
5.5.1 Ancho de banda y capacidad de transmisión.	135
5.5.2 Atenuación.	136
5.5.3 Disponibilidad del sistema.	139
5.5.4 Requerimientos de línea de vista.	139
5.6 COSTOS	140

5.7 LICENCIAS	141
5.8 COMPATIBILIDAD E INTEROPERABILIDAD	142
5.9 TENDENCIAS	142
5.10 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE	143
5.10.1 Tendencias e implementación.	143
5.10.2 Escalabilidad y seguridad.	143
5.10.3 Afectación urbanística y del medio ambiente.	143
5.10.4 Bandas de frecuencias.	144
5.10.5 Ancho de Banda.	144
5.10.6 Costos.	144
5.11 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN	144
6. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL ENLACE	146
6.1 IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE EMPLAZAMIENTO	146
6.2 TOPOLOGÍA DEL ENLACE	148
6.3 LEVANTAMIENTO DE LOS SITIOS DE EMPLAZAMIENTO	150
6.3.1 Equipamiento.	151
6.3.2 Edificio planeación.	151
6.3.3 Centro del Adulto Mayor.	152
6.3.4 Pasto Deporte.	154
6.3.5 Edificio Cámara de Comercio de Pasto.	155
6.3.6 Ventas Populares Calle 16.	159
6.3.7 Centro Comercial Bomboná.	160
6.3.8 Casa de Justicia.	161
6.3.9 Secretaría de Educación – Concejo Municipal.	162
6.3.10 Casa de Don Lorenzo.	163
6.3.11 Centro Comercial Valle de Atríz.	164
6.3.12 Centro Cultural Pandiaco.	165
6.4 REVISIÓN Y SELECCIÓN DE FABRICANTES	166
6.4.1 3COM.	166
6.4.2 PROXIM.	167
6.4.3 SMC Networks.	168
6.4.4 SPARKLAN.	169
6.4.5 SMART BRIDGES.	169
6.4.6 HYPERLINK.	170
6.4.7 CISCO SYSTEMS.	171
6.4.8 Selección de fabricantes.	173
6.5 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	173
6.5.1 Radio Mobile.	174
6.5.2 Rendimiento del radioenlace.	174
6.6 CÁLCULO DE RADIO-ENLACES USANDO RADIO MOBILE	175

6.6.1	Parámetros generales para los radioenlaces.	175
6.6.2	Enlace Edificio de Planeación Municipal – Cámara de Comercio.	176
6.6.3	Enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo.	177
6.6.4	Enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación.	178
6.6.5	Enlace Cámara de Comercio – Pasto Deporte.	179
6.6.6	Enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16.	180
6.6.7	Enlace Cámara de Comercio – Casa de Justicia.	181
6.6.8	Enlace Cámara de Comercio – Centro Cultural Pandiaco.	183
6.6.9	Enlace Edificio de Planeación – Centro del Adulto Mayor.	186
7.	PRESUPUESTO	188
7.1	CRITERIOS PARA ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO	188
7.2	INVERSIÓN REQUERIDA	188
7.3	JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN	189
	CONCLUSIONES	191
	RECOMENDACIONES	193
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	194

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.	Relación entre las categorías UTP.	53
Tabla 2.2.	Relación entre distancia y potencia recibida en par trenzado.....	54
Tabla 2.3.	Uso de los hilos en par trenzado.	55
Tabla 2.4.	La Familia xDSL.	57
Tabla 2.5.	Comparación de las tecnologías de la familia xDSL.....	59
Tabla 2.6.	Características de la familia RG – 58.	60
Tabla 2.7.	Principales características de los tipos de fibra óptica monomodo comerciales.	63
Tabla 2.8.	Principales características fibras ópticas multimodo comerciales.....	64
Tabla 3.1.	Nomenclatura de frecuencias y de longitudes de onda de radiofrecuencia.	74
Tabla 3.2.	Bandas usadas para radio y televisión.....	75
Tabla 3.3.	Clasificación de las frecuencias de microondas.	75
Tabla 3.4.	Parte del espectro electromagnético, superior a 300 GHz.....	75
Tabla 3.5.	Especificaciones de espectro ensanchado.....	84
Tabla 3.6.	Asignación de canales para 802.11 b/g.	86
Tabla 3.7.	Asignación del espectro para la banda ISM y U-NII.....	87
Tabla 3.9.	Valores de Z.....	90
Tabla 3.10.	Principales características de tecnologías bajo microondas.....	103
Tabla 3.11.	Características generales del 802.11(a, b y g).....	105
Tabla 3.12.	Técnicas de modulación empleadas en WLAN.	108
Tabla 3.13.	Revisiones del estándar 802.11.....	108
Tabla 3.14.	Características principales de los estándares 802.16.	109
Tabla 4.1.	Principales funciones desarrolladas en las sedes de la Alcaldía de Pasto.	121
Tabla 4.2.	Situación geográfica de las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto.	122
Tabla 4.3.	Distancias entre las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto (Km).	123
Tabla 4.4.	Situación actual y diseño propuesto - sede Casa de Don Lorenzo.	124
Tabla 4.5.	Situación actual y diseño propuesto - sede Secretaria de Educación.	124
Tabla 4.6.	Situación actual y diseño propuesto - Centro Cultural Pandiaco.....	125
Tabla 4.7.	Situación actual y diseño propuesto - sede Centro del Adulto Mayor.	125
Tabla 4.8.	Situación actual y diseño propuesto - sede Ventas Populares Calle 16.	125
Tabla 4.9.	Situación actual y diseño propuesto - sede Casa de Justicia.	126
Tabla 4.10.	Situación actual y diseño propuesto - sede Concejo Municipal.....	126
Tabla 4.11.	Situación actual y diseño propuesto - sede Pasto Deporte.	126
Tabla 4.12.	Necesidades y servicios de cada sede descentralizada.	128
Tabla 4.13.	Ancho de banda estimado para los servicios soportados por el enlace por estación.	130
Tabla 4.14.	Ancho de banda estimado necesario para cada una de las sedes.	130
Tabla 5.1.	Distancia máxima para tecnologías de enlace con medios guiados.....	133
Tabla 5.2.	Distancia máxima para tecnologías de enlace con medios no guiados.....	134

Tabla 5.3.	Velocidad máxima para tecnologías de enlace con medios guiados.	135
Tabla 5.4.	Velocidad máxima para tecnologías de enlace con medios no guiados.....	136
Tabla 5.5.	Valores típicos de atenuación en tecnologías de enlace por cobre.	136
Tabla 5.6.	Pérdidas de atenuación en tecnologías de enlace por fibra óptica.	136
Tabla 5.7.	Pérdida en espacio libre para tecnologías de enlace inalámbrico a 1Km.....	138
Tabla 5.8.	Requerimientos de línea de vista para las tecnologías de enlace inalámbrico.....	139
Tabla 5.9.	Inversión en sistemas de enlace de redes de datos.	140
Tabla 5.10.	Determinación de la utilización de frecuencias licenciadas.	141
Tabla 6.1.	Levantamiento de Sitio Edificio de Planeación Municipal.....	151
Tabla 6.2	Levantamiento de sitio para la sede Centro de Adulto Mayor	152
Tabla 6.3.	Levantamiento de sitio para la sede Pasto Deporte.	154
Tabla 6.4.	Levantamiento de sitio para Edificio Cámara de Comercio.....	156
Tabla 6.5.	Levantamiento de sitio para la sede Ventas Populares Calle 16.....	159
Tabla 6.6.	Levantamiento de sitio para el Edificio Centro Comercial Bomboná.....	160
Tabla 6.7.	Levantamiento de sitio para la sede Casa de Justicia.....	161
Tabla 6.8.	Levantamiento de sitio para la sedes Secretaría de Educación – Concejo Municipal.	162
Tabla 6.9.	Levantamiento de sitio para la sede Casa de Don Lorenzo.	163
Tabla 6.10.	Levantamiento de sitio para el Centro Comercial Valle de Atriz.	164
Tabla 6.11.	Levantamiento de sitio para Centro Cultural Pandiaco.....	165
Tabla 6.12.	Solución de interconexión con equipos 3COM.	166
Tabla 6.13.	Solución de interconexión con equipos PROXIM.	167
Tabla 6.14.	Solución de interconexión con equipos SMC Networks.	168
Tabla 6.15.	Solución de interconexión con equipos SPARKLAN.	169
Tabla 6.16.	Solución de interconexión con equipos SPARKLAN	170
Tabla 6.17.	Dispositivos HYPERLINK para redes inalámbricas.	170
Tabla 6.18.	Solución de interconexión CISCO, ofrecida por SISALTEC	172
Tabla 6.19.	Dispositivos seleccionados para el enlace.	173
Tabla 6.20.	Parámetros utilizados en la simulación de los radioenlaces.	175
Tabla 6.21	Resultados simulación enlace Edificio de Planeación – Cámara de Comercio.	176
Tabla 6.22.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo.....	177
Tabla 6.23.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación.	178
Tabla 6.24.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Pasto Deporte.	179
Tabla 6.25.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16.	180
Tabla 6.26.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Centro Comercial Bomboná. .	181
Tabla 6.27.	Resultados simulación enlace Centro Comercial Bomboná – Casa de Justicia.....	182
Tabla 6.28.	Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – C.C. Valle de Atriz.....	184
Tabla 6.29.	Resultados simulación enlace C. C. Valle de Atriz – Centro Cultural Pandiaco.....	185
Tabla 6.30.	Resultados simulación enlace Edificio de Planeación – Centro del Adulto Mayor.	186
Tabla 7.1	Estimación presupuestal para el enlace de las sedes de la Alcaldía de Pasto.	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Modelos de comunicación.....	27
figura 1.2.	Topología en anillo.....	30
figura 1.3.	Topología en bus.....	31
figura 1.4.	Topología en estrella.....	31
figura 1.5.	Topología en árbol.....	31
Figura 1.6.	Norma Ethernet 10Base5.....	35
Figura 1.7.	Norma Ethernet 10Base2.....	36
Figura 1.8.	Norma Ethernet 10BaseT.....	36
Figura 1.9.	Norma Ethernet 10BaseF.....	37
Figura 1.10.	Norma TokenRing.....	38
Figura 1.11.	Enlace punto a punto.....	41
figura 1.12.	Enlace punto multipunto.....	41
figura 1.13.	Enlace tipo malla.....	41
figura 1.14.	Tipos de interconexión de redes.....	45
figura 1.15.	Dispositivos de interconexión de redes y su relación con el modelo osi.....	45
figura 1.16.	Esquema de un repetidor.....	46
figura 1.17.	Tipos de puentes. Bridges locales y bridges remotos.....	47
figura 1.18.	Rutas de interconexión entre enrutadores.....	47
figura 2.1.	Construcción del par trenzado.....	51
figura 2.2.	Diagrama típico de atenuación del par trenzado.....	54
Figura 2.3.	Conector RJ-45.....	54
Figura 2.4.	La familia xDSL.....	56
Figura 2.5.	Construcción del cable coaxial.....	60
figura 2.6.	Conectores para cable coaxial.....	61
figura 2.7.	Modos de propagación en fibra óptica.....	63
figura 2.8.	Tipos de construcciones de la fibra óptica.....	64
figura 2.9.	Tipos de conectores para instalaciones de fibra óptica.....	66
Figura 2.10.	Esquema principal de una red FDDI.....	69
Figura 2.11.	Distribución del espectro de frecuencias según el estándar DOCSIS para redes HFC... 70	
Figura 2.12.	Esquema general de una red HFC.....	71
Figura 2.13.	Red Gibabit Ethernet.....	73
Figura 3.1.	El espectro electromagnético.....	74
Figura 3.2.	Patrón de radiación de una antena directiva y de antena sectorial.....	79
Figura 3.3.	Arquitectura de una estación de Packet Radio.....	93
Figura 3.4.	Modelo para acceso a internet usando PR.....	95
Figura 3.5.	Configuraciones de equipo microondas.....	97
Figura 3.6.	Diagrama de bloques básico de un sistema de microondas.....	98

Figura 3.7.	Comparación señal en banda estrecha con señal en espectro ensanchado.	104
Figura 3.8.	Señal original y Señal “Chip” para la técnica DSSS.	105
Figura 3.9.	Celda en LMDS.	114
Figura 3.10.	Arquitectura de la red LMDS.	115
Figura 5.1.	Atenuación en los medios guiados típicos.	137
Figura 5.2.	Relación entre inversión y distancia para tecnologías de enlace.	141
Figura 5.3.	Posicionamiento de las tecnologías de enlace actuales.	142
Figura 5.4.	Arquitectura de la solución para las sedes de la Alcaldía de Pasto.	145
Figura 6.1.	Sitios de emplazamiento para el enlace.	146
Figura 6.2.	Topología del enlace de las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto.	149
Figura 6.3.	Esquema lógico básico de la red de datos integrada de la Alcaldía de Pasto.	149
Figura 6.4.	Lugar de Emplazamiento equipo de comunicaciones para Edificio de Planeación. ...	152
Figura 6.5.	Levantamiento de sitio sede Centro del Adulto Mayor.	153
Figura 6.6.	Levantamiento de sitio sede Pasto – Deporte.	154
Figura 6.7.	Levantamiento de sitio para Edificio Cámara de Comercio.	156
Figura 6.8.	Verificación de línea de vista desde el edificio Cámara de Comercio.	157
Figura 6.9.	Levantamiento de sitio sede Ventas Populares Calle 16.	159
Figura 6.10.	Levantamiento de sitio Centro Comercial Bomboná.	160
Figura 6.11.	Levantamiento de sitio Casa de Justicia.	161
Figura 6.12.	Lugar de emplazamiento sede Secretaría de Educación – Consejo Municipal.	162
Figura 6.13.	Lugar de emplazamiento de equipos Sede Casa de Don Lorenzo.	163
Figura 6.14.	Lugar de emplazamiento de equipos en el Edificio Valle de Atríz.	164
Figura 6.15.	Levantamiento de sitio Centro Cultural Pandiaco.	165
Figura 6.16.	Ventana de propiedades de las redes de Radio Mobile.	176
Figura 6.17.	Perfil del trayecto enlace Edificio de Planeación – Cámara de Comercio.	177
Figura 6.18.	Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo.	178
Figura 6.19.	Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación.	179
Figura 6.20.	Perfil del trayecto Cámara de Comercio – Pasto Deporte.	180
Figura 6.21.	Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16.	181
Figura 6.22.	Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Centro Comercial Bomboná.	182
Figura 6.23.	Perfil del trayecto enlace Centro Comercial Bomboná – Casa de Justicia.	183
Figura 6.24.	Enlace Cámara de Comercio – Centro Cultural Pandiaco en Radio Mobile.	184
Figura 6.25.	Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Valle de Atriz.	185
Figura 6.26.	Perfil del trayecto enlace Valle de Atriz – Centro Cultural Pandiaco.	186
Figura 6.27.	Perfil del trayecto enlace Edificio Planeación – Centro Adulto Mayor.	187

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Sistemas 802.11b/g detectados en el escenario de aplicación del proyecto. 196

LISTA DE ACRÓNIMOS

- ADSL:** Asimetric Digital Subscriber line (Línea Digital de Abonado Asimétrica).
- ANSI:** American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)
- AP:** Access Point (Punto de Acceso)
- APTC:** Control Automático de Potencia de Transmisión
- ARPA:** Advanced Research Projects Agency (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada)
- ATM:** Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asíncrono)
- BER:** Bit Error Rate (Tasa de Error)
- BWA:** Broadband Wireless Access (Acceso Inalámbrico de Banda Ancha)
- C/I:** Carrier To Interference (Relación Portadora Interferencia)
- CAD:** Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computador)
- CAM:** Computer-Aided Manufacturing (Manufactura Asistida por Computador)
- CAM:** Centro Administrativo Municipal
- CCK:** Complementary Code Keying (Modulación de Código Complementario)
- CDMA:** Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)
- CM:** Cable Modem
- CPE:** Customer Premise Equipment (Equipo de la Premisa del Consumidor)
- CRT:** Comisión de Regulación de Telecomunicaciones.
- CSMA/CD:** Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión)
- DAS:** Dual Attachment Station (Estaciones de Doble Conexión)
- DBPSK:** Differential Binary Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase)
- DCS:** Dynamic Channel Selection (Selección Dinámica de Canal)
- DOCSIS:** Data Over Cable System Interface Specification (Especificación de la Interfaz de Sistema de Datos sobre Cable)
- DQPSK:** Differential Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial)
- DSL:** Digital Subscriber Line (Digitalización de la Línea de Subscriptor)
- DSSS:** Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)
- EB:** Estación Base
- EDGE:** Enhanced Data rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para Evolución de GSM)
- EIA:** Electronic Industries Alliance (Asociación de Industrias Electrónicas)
- EIRP:** Potencia Efectiva Radiada Isotrópicamente
- EVDO:** *Evolution Data Optimized* (Evolución de Datos Optimizados)
- FCC:** Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones estadounidense)
- FDM:** Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia)
- FDDI:** Fiber Distributed Data Interface (Interfaz de Datos Distribuida por Fibra)

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum (Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia)

FOIRL: Fiber Optic Inter Repeater Link (Enlaces de Fibra Óptica entre Repetidores)

FOMAU: Fiber Optic Medium Access Unit (Unidad de Acceso al Medio para Fibra optica)

GIS: Sistema de Información Geográfica

GPRS: General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes de Radio)

GPS: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)

GSM: Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles)

HDSL: High bit-rate Digital Subscriber Line (Línea de Abonados Digital de Índice de Datos alto).

HDTV: High Definition Television (Televisión de Alta Definición)

HFC: Hybrid Fiber Optic – Coaxial (Redes Híbridas de Fibra Óptica – Coaxial)

HiperLAN: High Performance Radio Local Area Network (Red Radio de Area Local de Alto Desempeño)

HR/DSSS: High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa de Alta Velocidad)

IDSL: Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados).

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Insituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

IP: Internet Protocol (Protocolo de Internet)

ISM: Industrial, Scientific and Medical (Industrial, Científico y Médico)

ISO: International Standards Organization (Organización Internacional de Estándares)

ITU: International Telecommunications Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

LAN: Local Area Network (Red de Área Local)

LLC: Logical Link Control (Control de Enlace Lógico)

LMDS: Local Multipoint Distribution Service (Sistema de Distribución Local Multipunto)

LNB: Low Noise Block (Bloque Amplificador de Bajo Ruido)

LOS: Line of Sight (Línea de Vista)

MAC: Medium Access Control (Control de Acceso al Medio)

MAN: Metropolitan Area Network (Red de Área Metropolitana)

MAU: Medium Access Unit (Unidad de Acceso al Medio)

MIMO: Multiple Input – Multiple Output (Multiple Entrada – Multiple Salida)

MTBF: Mean Time Between Failure (Tiempo Medio Entre Fallos)

MTTR: Mean Time to Repair (Tiempo Medio Para Reparar)

NF: Nodos Finales

NIC: Network Interface Card (Tarjetas de Interfaz de Red)

NLOS: Non Line of Sight (Sin línea de Vista)

NP: Nodo Primario

OEM: Original Equipment Manufacturer (Fabricantes de Equipos Originales)

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal)

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (Acceso al Medio por División de Frecuencia Ortogonal)

OSI: Open Systems Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)

PAN: Personal Area Network (Redes Personales)

PBCC: Packet Binary Convolutional Coding (Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes)

PC: Personal Computer (Computador Personal)

PHY: Physical (Capa Física)

PR: Packet Radio (Paquetes por Radio)

PSK: Phase Shift Keying (Modulación de Cambio de Fase)

PTM: Point to Multipoint (Punto a Multipunto)

PTP: Point to Point (Punto a Punto)

PTR: Punto de Terminación de Red.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura)

QoS: Quality of Service (Calidad de Servicio)

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura)

RADS: Rate Adaptative Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonados de Tasa Adaptable).

REDPR: Red de Paquetes por Radio

SAS: Simple Attachment Station (Estaciones de Conexión Simple)

SDSL: Symmetric Digital Line (Línea de Abonados Digital Simétrica)

SNR: Signal to Noise Ratio (Relación Señal a Ruido)

S-OFDMA: Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal Escalable)

SoHo: Small Office, Home Office

SOM: Operación del Sistema

SQE: Signal Quality Error (Control o Prueba de señal de error)

SS: Spread Spectrum (Espectro Ensanchado)

STB: Set Top Box (Decodificador de TV)

STP: Shielded Twisted Pair (Cable de par trenzado apantallado)

STRM: Shuttle Radar Topography Mission

ROI: Return of Inversion (Retorno de la Inversión)

TCP: Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)

TDD: Time Division Duplex (Duplexación por División de Tiempo)

TDM: Time Division Multiplexing (Multiplexación por división de tiempo)

TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

TNC: Terminal Node Controller (Controlador de Nodo Terminal)

TOC: Terminated Open Circuit (Circuito Abierto Terminado)

TPC: Transmission Power Control (Control de Potencia de Transmisión)

UDP: User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario)

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System* (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

UNII: Unlicensed National Information Infrastructure (Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia)

UTM: Universal Transverse Mercator (Coordenadas Universal Transversal de Mercator)

UTP: Unshielded Twisted Pair (Cable de par trenzado no apantallado)

VDSL: Very high rate Digital Subscriber line (Línea Digital de Abonados de Tasa Muy Alta).

WAN: Wide Area Network (Red de Área Extensa)

WDS: Wireless Distribution System (Sistema de Distribución Inalámbrico)

WECA: Wireless Ethernet Compability Aliance (Alianza para la Compatibilidad de Redes Ethernet Inalámbricas)

WECA: Wireless Ethernet Compability Aliance (Compatibilidad de Redes Ethernet Inalámbricas)

Wi-Fi: Wireless Fidelity Alliance (Alianza de Fidelidad Inalámbrica)

WiMAX: Worlwide Interoperability Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)

WLAN: Wireless Local Area Network (Red de Area Local Inalámbrica)

WLL: Wireless Local Loop (Bucle Local Inalámbrico)

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Red de Area Metropolitana Inalámbrica)

WME: Wi-Fi Multimedia Extensions (Extensiones Multimedia de Wi-Fi)

WPA: Wi-Fi Protect Access (Acceso Protegido de Wi-Fi)

WSM: Wi-Fi Schedule Multimedia (Multimedia Programada de Wi-Fi)

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones tienen un papel muy importante en la actualidad, proporcionando una infraestructura para el desarrollo de actividades con mayor agilidad, integrando aspectos sociales, culturales, económicos, otorgando bienestar, comodidad y ligereza a procesos antes dispersos, hace parte de la base de progreso y desarrollo de las comunidades. Todo esto gracias al continuo avance tecnológico y adelantos en materia de administración, que han permitido hacer de las telecomunicaciones un elemento indispensable en todo momento. Es aquí donde la Ingeniería Electrónica bajo aplicación de conocimientos utiliza toda la ciencia - tecnología, en pro de construir soluciones a las necesidades de procesos como la comunicación.

La Alcaldía Municipal de Pasto, es la entidad que gobierna al municipio, lidera y administra el territorio, asegura la satisfacción de necesidades públicas y genera las condiciones de desarrollo que mejoran la calidad de vida de todos y todas, mediante una gestión efectiva, fundamentada en la equidad, participación, respeto y transparencia. Cuenta con cincuenta y ocho dependencias agrupadas en ocho Direcciones, cuatro Departamentos y siete Secretarías; a su vez existen siete sedes físicas distribuidas dentro de la ciudad; cada una, cumpliendo con sus respectivas funciones dentro de la administración, sin embargo, la interacción entre ellas es imprescindible para su normal funcionamiento.

El interés del Departamento Administrativo de Planeación en coordinación con la Oficina de Sistemas de Información, es el de integrar, coordinar, unificar y sistematizar la información generada en cada una de estas sedes bajo el proyecto denominado *“Enlace de la Red de Datos para las Sedes Descentralizadas Físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto.”*

Por tanto es importante para el avance de la Alcaldía como una entidad estatal, asumir el cambio tecnológico y adoptar las nuevas soluciones que aparecen en el mercado de las comunicaciones electrónicas, para la interconexión empresarial, acorde a sus necesidades presentes y las que puedan surgir al adaptarse a estas tecnologías.

La Entidad necesita ponerse a la altura de otras instituciones del sector público y privado, que han adoptado estos sistemas de comunicación, y han incrementado así, tanto su eficiencia, como la calidad de sus servicios prestados, todo esto gracias a un estudio y un diseño completo previo a la implementación, que es la justificación para el planteamiento y desarrollo de éste proyecto de investigación.

1. CONCEPTOS GENERALES DE REDES DE DATOS

1.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES

En los primeros años de las redes, las grandes compañías, incluyendo IBM, Honeywell y Digital Equipment Corporation, crearon su propio estándar de cómo las computadoras debían conectarse. Pero su misma característica no permitía compatibilidad entre ellas.

Es por eso que en años posteriores, organizaciones de estándares, incluyendo la Organización Internacional de Estandarización y el instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, desarrollaron modelos que llegaron a ser globalmente reconocidos y aceptados como estándares para el diseño de cualquier red de computadoras. Ambos modelos describen la red en términos de capas funcionales.

Una red LAN consiste en un medio de transmisión compartido y un conjunto de software y hardware para servir de interfaz entre dispositivos y el medio, así como regular el orden de acceso al mismo; lo que se desea lograr con estas redes, es velocidades de transmisión de datos altas en distancias relativamente cortas.

Al implementar una red LAN, varios conceptos claves se presentan por sí mismos. Como tal, consta de un soporte físico que abarca el cableado y placas adicionales en los terminales; y la forma o topología de interconexión, además, consta de protocolos de comunicación y un conjunto de aplicaciones que forma el sistema operativo de red.

1.2 ANALISIS DE LAS REDES DE ÁREA LOCAL

1.2.1 Evolución histórica. El surgimiento de herramientas como el computador personal (**PC**, *Personal Computer*), la necesidad de organización y mejoramiento en la eficiencia de procesos, y la necesidad de compartir información y recursos, condujo al desarrollo en la década de los 80 de la Red de Área Local (**LAN**, *Local Area Network*).

Debido al crecimiento del mercado y el surgimiento de diferentes tipos de redes, fue necesario utilizar el modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (**OSI**, *Open System Interconnection*,) para crear la mayoría de estándares.

1.2.2 Concepto de red de área local. Según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (**IEEE**, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*,) y su comité IEEE 802, define Red de Área Local como:

"Una Red de Área Local se distingue de otros tipos de redes de datos en que las comunicaciones están normalmente restringidas a un área geográfica de tamaño limitado, como un edificio de oficinas, nave, o un campus, y en que puede depender de un canal físico de comunicaciones con una velocidad binaria media/alta y con una tasa de errores reducida".

Las redes de área local se basan en el hecho de que en distancias que se consideran como locales, se producen el 80% de las comunicaciones, tanto de voz como de datos y en el hecho de que en organizaciones existe una gran comunicación interna. El concepto de red de área local corresponde fundamentalmente a la necesidad de compartir recursos, tales como cableado interno, periféricos en una amplia variedad y, particularmente, datos y aplicaciones entre diferentes usuarios informáticos. Este concepto también está ligado a procesos distribuidos¹, gestión centralizada², seguridad y nueva administración.

1.2.3 Conceptos y funcionalidades básicas.

1.2.3.1 Modelo de referencia OSI. Para simplificar, estructurar y normalizar los protocolos utilizados en las redes de comunicaciones se establecen una serie de niveles paralelos diferenciados por funciones específicas. Cada uno de estos niveles proporciona un conjunto de servicios al nivel superior, a partir de otros servicios más básicos proporcionados por los niveles inferiores.

Con objeto de proporcionar un estándar de comunicación entre diversos fabricantes la Organización Internacional de Estándares (**ISO**, *International Standards Organization*) ha establecido una arquitectura como modelo de referencia para el diseño de protocolos de Interconexión de Sistemas Abiertos, OSI.

Este modelo de siete niveles proporciona un modelo de referencia para la intercomunicación entre sistemas de computadores a través de una red utilizando protocolos comunes.

El modelo de siete niveles se ha convertido en un estándar internacional. Cada uno de los niveles del modelo define una sección específica del total de la arquitectura. Diferentes organismos de estandarización (ISO, IEEE, ANSI³, entre otros) han definido diversos protocolos sobre esos niveles para adaptar las implementaciones finales a variados entornos y requisitos. Los niveles OSI son los siguientes:

¹ Sistemas encargados de proporcionar servicios de red a los demás puestos de trabajo, consiste en distribuir la carga de trabajo entre puestos de trabajo conectados a la red.

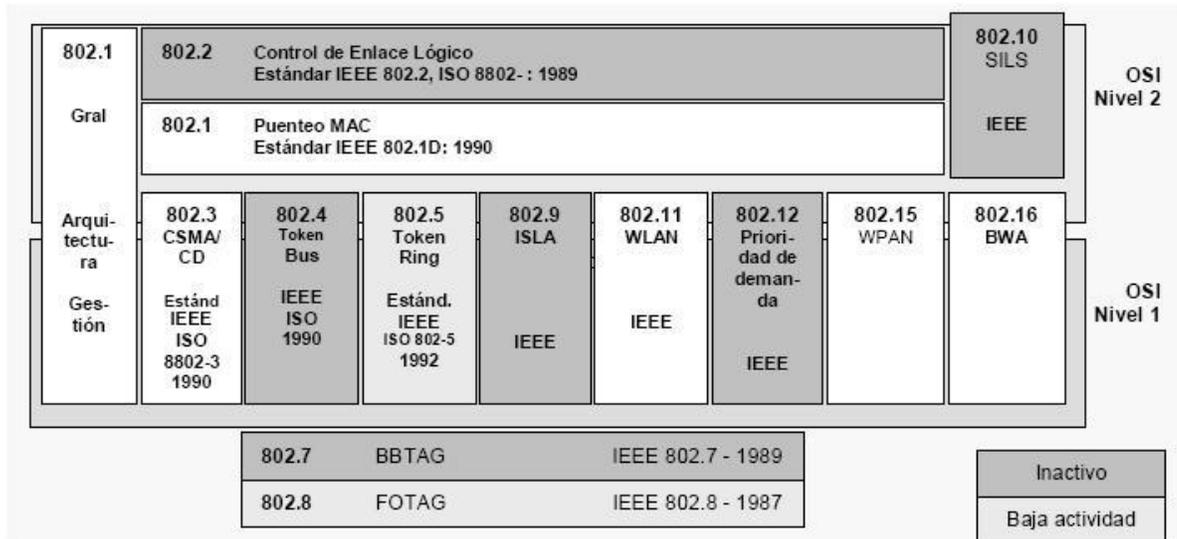
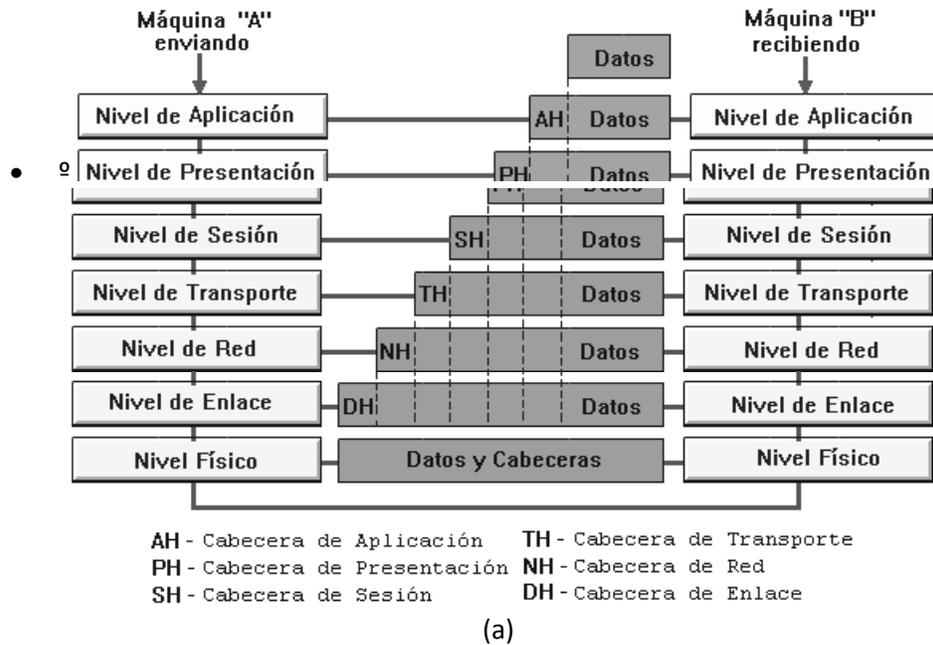
² Consiste en hacer de la gestión de recursos y optimización del sistema tareas sencillas desarrolladas desde un único lugar.

³ ANSI. Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (*American National Standards Institute*).

- **Nivel físico (1).** Especifica un conjunto de estándares que definen aspectos mecánicos, eléctricos y funcionales para la conexión de los equipos al medio físico empleado. Su función es la transmisión de una cadena continua de bits a través de un canal básico de comunicación. Las funciones específicas de este nivel las realiza la Unidad de Acceso al Medio (**MAU**, *Medium Access Unit*). Es responsable de codificar y decodificar los datos, así como de sincronizar la transmisión a nivel de bits y de trama.
- **Nivel de enlace (2).** A partir del servicio de transmisión de bits ofrecido por el Nivel Físico, la tarea del Nivel de Enlace es ofrecer un control de errores al Nivel de Red. Además de la detección y corrección de errores, este nivel fragmenta y ordena en paquetes los datos enviados; también realiza funciones básicas de control de flujo. En éste nivel se realizan funciones básicas de autenticación y control de acceso al medio.
- **Nivel de red (3).** Este nivel proporciona los medios adecuados para establecer, mantener y terminar conexiones entre sistemas. El Nivel de Red principalmente permite direccionar los paquetes de datos que recibe del nivel de transporte. En este nivel se hace encapsulación, que es el proceso por el cual se envuelven datos en un encabezado de protocolo particular.
- **Nivel de transporte (4).** Se encarga de facilitar una transferencia de datos fiable entre nodos finales, proporcionando una integridad de los datos y una calidad de servicio previamente establecida. En el nivel de transporte se establecen protocolos de extremo a extremo, es decir que son independientes de la topología o características de los medios por los cuales circularon los paquetes.
- **Nivel de sesión (5).** Permite establecer, gestionar y terminar sesiones entre aplicaciones. Realiza la gestión y recuperación de errores y en algunos casos proporciona múltiples transmisiones sobre el mismo canal de transporte.
- **Nivel de presentación (6).** Proporciona a las aplicaciones transparencia respecto del formato de presentación, realizando conversión de caracteres, códigos y algunas funciones de seguridad (encriptación).
- **Nivel de aplicación (7).** Proporciona la interfaz de acceso para la utilización de los servicios a alto nivel.

La Figura 1.1(a) muestra las 7 capas del modelo OSI y la forma como dos sistemas bajo éste modelo logran comunicarse. El OSI es un modelo detallado de comunicaciones, y ha sido la base principal para el desarrollo de otros modelos como el IEEE, que se muestra en la Figura 1.2(b) y que se describe en la el siguiente apartado.

Figura 1.1. Modelos de comunicación. (a) Modelo OSI. (b) Modelo IEEE y su relación con OSI.



1.2.3.2 Modelo de referencia IEEE. Modelo de red desarrollado por el mismo instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. El proyecto fue llamado 802 por el año y mes en que empezó: febrero de 1980. Con este modelo los dos niveles inferiores del modelo OSI, el físico y el nivel de enlace de datos, definen la forma en que múltiples equipos pueden utilizar la red simultáneamente sin que exista interferencia entre ellas. El proyecto IEEE 802 incorporó las

especificaciones a esos dos niveles para crear estándares que tengan definidos los entornos LAN dominantes.

La capa física del modelo IEEE 802 describe:

- Codificación/decodificación de señales.
- Generación/eliminación de preámbulo (para sincronización).
- Transmisión/recepción de bits.
- Medio de transmisión.
- Topología.

El comité de estándares 802 dividió el nivel de enlace de datos en dos subniveles:

- Control de Enlace Lógico (**LLC**, *Logical Link Control*): Se encarga de establecer y finalizar los enlaces, controla el tráfico y secuencia de tramas, además confirma la recepción de éstas. Este nivel gestiona la comunicación de enlace de datos y define el uso de puntos de interfaz lógicos llamados Puntos de Acceso al Servicio (**SAP**, *Service Access Points*). Otros equipos pueden transferir información desde el subnivel LLC hacia los niveles superiores.
- Control de Acceso al Medio (**MAC**, *Media Access Control*). Esta subcapa se encuentra debajo de la LLC, y es la que gestiona el acceso al medio, delimita las tramas, comprueba errores y reconoce las direcciones de los terminales. El nivel MAC se comunica directamente con la tarjeta de red y es el responsable del envío de datos libre de errores entre dos terminales de la red.

A continuación, se describen los estándares IEEE 802 (ver Figura 1.1(b)), que son producto de grupos de trabajo que periódicamente mejoran o actualizan los estándares.

- IEEE-802.1: Define la relación entre las normas del IEEE y el modelo de referencia OSI. Este comité establece que las direcciones de las estaciones de la red sean de 48 bits para todos los equipos de modo que cada adaptador tenga una única dirección.
- IEEE-802.2: Establece los métodos para controlar las tareas de interacción entre la tarjeta de red y el procesador (nivel 2 y 3 del OSI) llamado LLC.
- IEEE-802.3: Describe las formas de protocolos Ethernet que usan como control de acceso al medio CSMA/CD en sus diferentes medios de transmisión guiados.
- IEEE-802.4: Define cuadros Token Bus tipo ARCNET.

- IEEE-802.5: Define parámetros de hardware para Token Ring.
- IEEE-802.6: Especificación para redes tipo MAN
- IEEE-802.7: Especificaciones de redes con mayores anchos de banda con la posibilidad de transmitir datos, sonido e imágenes.
- IEEE-802.8: Especificación para redes de fibra óptica tipo Token Passing/FDDI.
- IEEE-802.9: Especificaciones de redes digitales que incluyen video.
- IEEE -802.10: Especificación sobre administración y seguridad en redes LAN y WAN, mediante control de acceso, integridad y confidencialidad en la información.
- IEEE-802.11: Estándar para redes inalámbricas WLAN
- IEEE-802.12: Comité para formar el estándar de 100 Base VG que sustituye CSMA/CD por asignación de prioridades.
- IEEE-802.15: Grupo encargado de estándares para Redes Personales (**PAN**, *Personal, Area Network*).
- IEEE -802.16: Especificación para redes MAN de banda ancha.

1.2.3.3 Componentes de una red de área local. Una red de área local puede contemplarse desde dos aspectos diferentes:

- El medio físico⁴ y el método para colocar los datos en la red. En el modelo de referencia OSI esto corresponde con los niveles 1 y la parte inferior del nivel 2.
- El equipo lógico⁵ que permite establecer conexiones punto a punto garantizando la correcta entrega de datos a través de la red. En el modelo de referencia OSI esto se corresponde con la parte superior del nivel 2, nivel 3 y nivel 4.

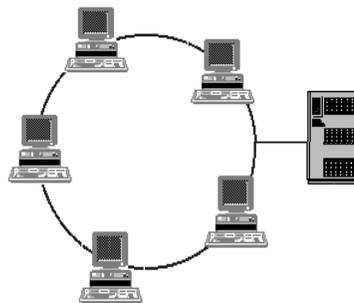
1.2.3.4 Criterios de clasificación de redes de área local. Existen diferentes criterios que pueden dar una clasificación de los diferentes tipos de redes locales.

⁴ Se refiere al servidor, puestos de trabajo, placas de interfaz de red, sistema de cableado conectores, tensión y señales eléctricas.

⁵ Se refiere a protocolos de comunicación, el sistema operativo de red.

- **Medios de transmisión.** Define las características físicas⁶ del medio que se utiliza para conectar cada uno de los puntos de la red. Se pueden considerar dos tipos de medios de transmisión para el entorno de redes locales: guiados y no guiados. La elección depende del tamaño de la red, del ancho de banda deseado para la red y del costo del medio.
- **Modos de transmisión.** Hace referencia a las características de la señal utilizada y al modo en que ésta utiliza el ancho de banda disponible, proporcionado por el medio de transmisión. Básicamente existen dos técnicas de transmisión que se aplican a redes de área local: *Banda Base* (una sola señal en el medio) y *Banda Ancha* (varias señales a la vez, bajo multiplexación por frecuencia).
- **Topología.** La topología de una red de área local es la configuración formada por sus *nodos o núcleos* de inteligencia (estaciones) y las *interconexiones* existentes entre ellos. Las topologías físicas de red más comunes que puede presentar una red de área local son las siguientes:
 - **Anillo.** Sistema en lazo cerrado donde cada una de las estaciones del sistema tiene conexiones con otras dos contiguas, como se encuentra en la Figura 1.2, toda la información pasa por todos los nodos de la red. Una mayor cantidad de estaciones implica mayor retardo en la transmisión.

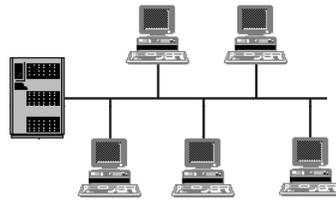
Figura 1.2. Topología en anillo.



- **Bus.** Todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicación que es común para todas ellas. Como está en la Figura 1.3. Esta topología utiliza el concepto de segmento que se refiere a un sección de una LAN con topología en bus que utiliza el mismo medio de transmisión, donde la unión de varios segmentos forma una topología "multibús". Una estación averiada no impide el correcto funcionamiento de la red, sin embargo, un fallo en el medio si inhabilita el sistema.

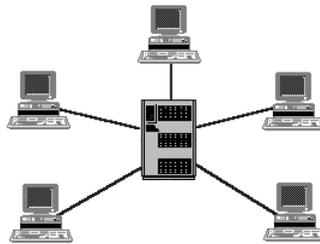
⁶ La velocidad máxima de transferencia de información, longitudes máximas por segmento, sensibilidad a interferencias, coste del cableado y de las interfaces de conexión, aplicaciones

Figura 1.3. Topología en bus.



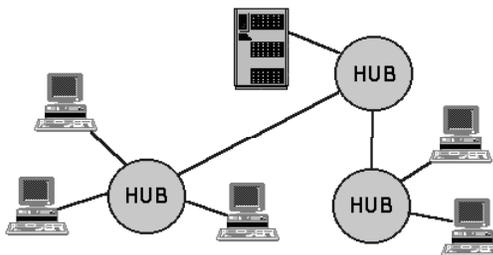
- **Estrella.** Todas las estaciones que integran el sistema se comunican entre sí a través de un dispositivo central de conmutación o distribución, como se encuentra en la Figura 1.4. El nodo central aísla a una estación de otra, resultando una configuración fiable frente a averías en las estaciones. Sin embargo, una avería en el nodo central deja totalmente bloqueada a la red, además permite incrementar o disminuir con sencillez el número de estaciones.

Figura 1.4. Topología en estrella.



- **Árbol o estrella ramificada.** los nodos de la red forman estrellas con la particularidad de que el centro de cada estrella puede conectarse a un nodo o al centro de otra estrella. En este caso, los centros de las estrellas se denominan concentradores o distribuidores. En la Figura 1.5 se observa que se usa un elemento llamado **HUB**⁷ como el centro de las estrellas.

Figura 1.5. Topología en árbol.



⁷ Este dispositivo es abordado en la parte de Interconexión de redes (1.4.3.1) de este trabajo

- **Métodos de control de acceso al medio.** Se refiere a los diferentes métodos que permiten que los elementos de la red puedan acceder a ésta de forma ordenada y espaciada en el tiempo garantizando la no existencia de colisiones. Los métodos de control de acceso pueden dividirse en tres tipos:
 - **Aleatorio.** Cada nodo compite con el resto por la utilización de la red sin garantía del tiempo de respuesta y teniendo que tratar con colisiones.
 - ✓ **ALOHA:** En la década de los 70, en la Universidad de Hawai se propuso un método para la asignación de un solo canal de transmisión para varias estaciones, principalmente porque el costo de asignar un canal a cada estación era muy elevado. Según este método si dos estaciones transmiten a la vez hay colisiones y la información que se pierde hay que retransmitirla, el medio se comparte sin importar si esta libre o no. Este sistema tiene una eficiencia baja de 18%, es decir hay una pérdida de paquetes del 82%, cuando se operan varias estaciones. En 1972 se realizó una mejora denominada ALOHA ranurado, que dividió el tiempo en intervalos, la sincronización se realiza mediante una estación especial que emite una señal al inicio de cada intervalo. Con esto se consiguió aumentar la eficiencia al 37%.
 - ✓ **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión*). Cada estación cuando quiere transmitir, "escucha" el medio para identificar si hay alguien transmitiendo. Realiza la espera de un tiempo aleatorio en caso de que el medio se encuentre ocupado. Si no hay nadie utilizando el canal, comienza a transmitir. Durante la transmisión se sigue a la escucha del medio. Con el fin de disminuir la probabilidad de posibles colisiones y retardar un poco más transmisión. Aunque este método es descentralizado, presenta serios inconvenientes como cuando el tráfico es elevado aumenta mucho los tiempos de espera y al ser un método probabilístico y no determinista, no garantiza tiempos máximos de espera lo que lo hace poco adecuado para trabajo en tiempo real (transmisión de voz, control de procesos, etc.).
 - ✓ **CSMA/CA** (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*) es un método de control de acceso al medio de bajo nivel, que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión. Cada equipo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos (comúnmente en redes

inalámbricas, ya que éstas no cuentan con un modo práctico para transmitir y recibir simultáneamente). De ésta forma, el resto de equipos de red sabrán cuando hay colisiones y en lugar de transmitir la trama cual el medio está libre, se espera un tiempo aleatorio adicional corto, y solamente si, tras ese corto intervalo el medio sigue libre, se procede a una transmisión reduciendo la probabilidad de colisiones en el canal.

➤ **Controlados.** Existe un tiempo máximo de espera para cada nodo para tener acceso a la red, y cuando esto ocurre se garantiza el uso en exclusividad. Se distinguen los siguientes métodos:

✓ Token passing (*paso de testigo*). Es una técnica distribuida en la que existe un testigo que circula continuamente por la red. Si una estación tiene el testigo puede transmitir. Al acabar, pasa el testigo a la siguiente. Cada estación conoce a sus estaciones contiguas. Con este tipo de control no hay posibilidad de colisión, por tanto, ese método corresponde a una situación de tráfico elevado y uniforme.

✓ Polling (*llamada selectiva*). Este método requiere un control centralizado de todas las estaciones de la red. La estación central llama a las estaciones secundarias de una en una para determinar si alguna de ellas tiene algún mensaje para transmitir. Si la respuesta es afirmativa, se autoriza la transmisión a la estación secundaria, o se le asigna un tiempo para realizar la transmisión. Si la estación no tiene ningún mensaje para transmitir debe contestar mediante un mensaje de control.

➤ **Dedicado**

✓ TDM (*Time Division Multiplexing*, Multiplexación por división de tiempo). En este método el canal se dedica a cada estación por un periodo de tiempo, es común en las redes celulares.

✓ FDM (*Frequency Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Frecuencia), es un tipo de multiplexación utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos. La forma de funcionamiento es la siguiente: se convierte cada fuente de varias que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias, a una banda distinta de frecuencias y se transmite en forma simultánea por un solo medio de transmisión. Así se pueden transmitir muchos canales de banda relativamente angosta por un solo sistema de transmisión de banda ancha. Este método es muy común en la transmisión de televisión por suscripción.

1.2.3.5 Protocolos de comunicaciones. Los protocolos de comunicaciones son reglas y procedimientos utilizados en una red para establecer la comunicación entre los nodos. En los protocolos se definen distintos niveles de comunicación. Las reglas de nivel más alto definen cómo se comunican las aplicaciones, mientras que las de nivel más bajo definen como se transmiten las señales por el cable. Los protocolos de comunicaciones más difundidos son:

- **ATM.** El protocolo de Modo de Transferencia Asíncrona (**ATM, Asynchronous Transfer Mode**), a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser encaminadas individualmente mediante el uso de los denominados *canales virtuales* y *trayectos virtuales*.
- **TCP/IP.** El protocolo TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*, Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet) nació en los años 70 con el apoyo del Departamento de Defensa de los EE.UU y su Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (**ARPA, Advanced Research Projects Agency**), como respuesta a la necesidad de interconexión de miniordenadores. Las convenciones desarrolladas por ARPA para especificar la forma en la que computadoras individuales podía comunicarse a través de la red se convirtió en TCP/IP. Es un conjunto de protocolos que definen como se intercambian datos entre las redes privadas e internet, con base en un modelo de capas.

1.2.3.6 Tipos de redes de Área Local. A continuación se describen los tipos de redes de área local más importantes:

1.2.3.6.1 Redes Ethernet. Ethernet es un sistema de transmisión de datos en banda base, diseñado por Xerox Corporation a mediados de la década de 1970. Ethernet utiliza el protocolo CSMA/CD para acceder a la red, esto es, cualquier estación o nodo puede mandar un mensaje a cualquier otra estación. Las estaciones vigilan la línea para determinar si está ocupada. Si una estación tiene que transmitir un mensaje, pero la línea se encuentra ocupada, espera a que haya la condición de inactiva, para transmitirlo. Si dos estaciones transmiten al mismo tiempo, sucede una colisión. En este caso la estación que primero siente la colisión manda una señal especial de atascamiento a las demás estaciones de la red. Todas las estaciones suspenden la transmisión y esperan un periodo aleatorio para intentar retransmisión. El tiempo aleatorio de retardo es distinto para cada estación, y en consecuencia permite priorizar las estaciones de la red. Este sistema de red de área local se ha convertido en uno de los estándares más difundidos del mercado de redes de área local. En conclusión, es una red de transmisión, con una velocidad de binaria de 10, 100 o 1000 Mbps, topología tipo bus o estrella y el sistema de control de acceso al medio CSMA/CD de acuerdo con la norma IEEE 802.3, adoptada por ISO como ISO 802.3.

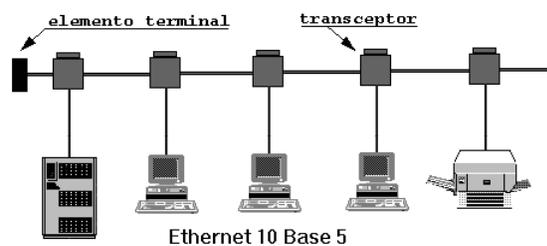
El comité IEEE 802.3 ha especificado diversas posibilidades para el nivel físico de Ethernet:

- **Ethernet 10Base-5.** La especificación IEEE 802.3 10Base5 fue la primera en establecerse y se conoce como *Thick Ethernet*. Funciona a una velocidad de 10 Mbps, conduce los datos en banda base es decir, sin portadora y la longitud máxima entre los extremos es de 500 metros.

El bus está constituido por un segmento de cable coaxial de 50 Ω de impedancia característica. En los extremos del bus deben colocarse unos elementos denominados "terminadores", con una impedancia de 50 Ω para minimizar la reflexión de la señal. La longitud máxima de un segmento del cable es de 500 metros. Para conectar un equipo terminal de datos al bus debe utilizarse un elemento denominado "*transceptor*" que realiza funciones como: Adaptación física, test de protección, además Indica al equipo terminal de datos si se producen colisiones en el bus. Utiliza la Función de Control o Prueba de Señal de Error (**SQE**, *Signal Quality Error*), que indica si el paquete recibido es o no correcto. Este tipo de red de muestra en la Figura 1.6.

El Ethernet 10 Base5 utiliza el MAU para conectar terminales con el cable. Cada conexión se llama salida y el cable que conecta una MAU con su terminal se llama derivación. Dentro de cada MAU, un transreceptor transfiere las señales eléctricas entre la derivación y el medio coaxial de transmisión.

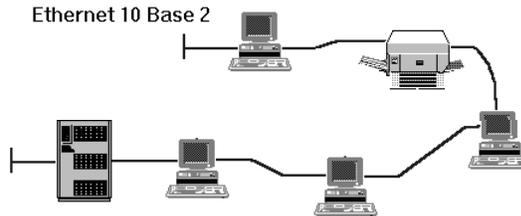
Figura 1.6. Norma Ethernet 10Base5.



- **Ethernet 10Base-2.** Debido al alto costo de instalación de sistemas thicknet y la inversión inicial grande a las que debía someterse las empresas, International Computer Ltda, Hewlett Packard y 3COM Corporation, desarrollaron una variación de Ethernet. Este estándar surgió a raíz del problema de flexibilidad y altos costos de material (transreceptores) y de instalación del cable grueso. Denominado *Thin Ethernet* por el cable coaxial fino que es más delgado y menos costoso, el RG – 58 de 50 Ω . Sin embargo la distancia entre repetidores se reduce a 200 metros. Las estaciones se conectan mediante una tarjeta de red con conexión tipo BNC; un conector en "T" permite enlazarla

con el cable coaxial para formar una cadena de hasta 30 estaciones. Un ejemplo está en la Figura 1.7.

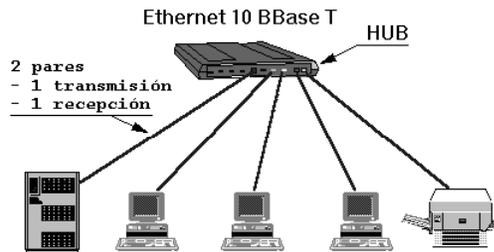
Figura 1.7. Norma Ethernet 10Base2.



- **Ethernet 10Base-T.** Esta norma permite implementar redes Ethernet sobre cables UTP. El estándar 10BaseT utiliza un elemento concentrador HUB, componente activo central, y conforma el cableado en forma de estrella, como lo mostrado en la Figura 1.8.

Se usa un cable como mínimo de dos pares, de la categoría 3 con 100Ω de impedancia, en el que se transmiten los datos separados entre sentido de transmisión y de recepción. La distancia máxima de un segmento es de 100 metros, aunque algunos fabricantes proporcionan cables o tarjetas que permiten aumentar la distancia hasta 150 metros.

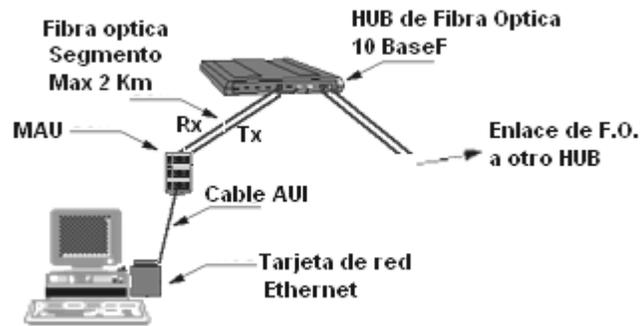
Figura 1.8. Norma Ethernet 10BaseT.



- **Ethernet 10Base-F.** Esta norma permite implementar redes Ethernet sobre cables de fibra óptica multimodo, soportando velocidades de hasta 10 Mbps. La distancia máxima de un segmento es de 1000 metros. Basadas en esta especificación existen otras normas tales como 10BaseFB, 10BaseFL o 10BaseFP.

La norma 10BaseF, fue sustituida posteriormente por la norma 10BaseFL. La cual puede superar fácilmente los 10 Mbps a 2000 metros sin sustituir el cableado. En la Figura 1.9 se pueden observar los elementos necesarios para implementar redes de éste tipo. Hace uso de HUB's Repeaters, además cada equipo de trabajo tiene una tarjeta de red provista de un conector AUI de 15 pines, conectado a un MAU (**FOMAU**, *Fiber Optic MAU*) mediante un cable AUI estándar. Dicho MAU se une mediante cable de fibra óptica al HUB.

Figura 1.9. Norma Ethernet 10BaseF.



- **10Base-FB.** Proporciona la capacidad de conexión de repetidores y segmentos adicionales a la red al proporcionar un canal de señalización síncrona. La distancia de los segmentos puede alcanzar los 2000 metros.
- **10Base-FL.** Está capacitada para operar con Enlaces de Fibra Óptica entre Repetidores (**FOIRL**, *Fiber Optic Inter Repeater Link*) y como sustitución de esta norma. Alcanza 1000 metros operando con FOIRL y 2000 metros en uso exclusivo.
- **10Base-FP.** Es la especificación para redes de fibra óptica pasivas, es decir, sin repetidores. La topología que utiliza es en estrella y la distancia máxima de segmento es de 500 metros
- **Ethernet 100Base-T ó Fast Ethernet.** Normalizado en el estándar IEEE 802.3u, es totalmente compatible con 10BaseT sin modificaciones ni traslación. Permite preservar la inversión actual en placas de conectividad y equipo lógico.

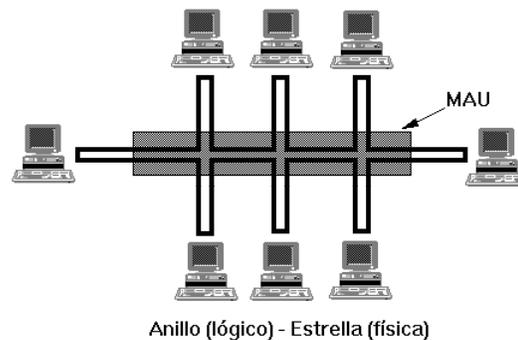
Está especialmente indicado para cableado estructurado UTP/STP categoría 5. Sus características radican en su velocidad de proceso de datos a 100 Mbps, la distancia máxima de un segmento es de 100 metros, tiene compatibilidad con Ethernet a 10 Mbps, bajo incremento del costo con respecto a 10BaseT.

1.2.3.6.2 Redes TokenRing. Este tipo de redes de área local, fue presentado por IBM en 1985. Es una red en banda base con topología funcional en anillo y con sistema de acceso por paso de testigo, de acuerdo con la norma IEEE 802.5.

Una segunda generación llamada TokenRing-II con soporte físico de cable coaxial y fibra óptica, presenta velocidades de hasta 16 Mbps, de los 4 Mbps que eran en un comienzo con cable de par trenzado.

Los elementos básicos de las redes TokenRing son: sistemas de cableado, diversidad en tipos de cable, normalizados cada uno con sus aplicaciones específicas, la Unidad de Acceso Multi-estación (**MAU**, *Multistation Access Unit*), que es un concentrador de dispositivos en estrella, la cual permite establecer la topología física en estrella a partir del anillo lógico como se puede ver en la Figura 1.10. Para poder conectar la MAU al PC, se requiere un adaptador, que es la tarjeta que se introduce en el PC.

Figura 1.10. Norma TokenRing.



La instalación de una red TokenRing que cubra un área más o menos amplia puede resultar, en ocasiones, dificultosa. Una topología de anillo es más complicada de instalar y requiere más metros de cable que una en bus, por lo cual los problemas que se pueden presentar son más variados. La diversidad de productos desarrollados para TokenRing contribuye a solucionar estos problemas, pero complica enormemente el diseño de la red. En cualquier caso, la problemática de instalación y configuración de una TokenRing es bastante compleja.

1.2.3.6.3 Redes TokenBus. Combina la estructura de bus de las redes Ethernet y el sistema de testigo de las TokenRing. El modo de transmisión es el de banda ancha sobre cable coaxial, las velocidades de canal varían entre 1 y 10 Mbps. Este tipo de redes está contemplado por el estándar IEEE 802.4, aunque su uso no está muy extendido.

1.2.3.6.4 Redes ARCNET. De las siglas en inglés *Attached Resource Computer NETWORK* (Arquitectura de red de área local) es una arquitectura de red desarrollada por Datapoint Corporation. Estas redes tienen como método de acceso el paso de testigo, en donde los nodos no compiten para tener derecho a transmitir datos; un paquete específico de datos llamado "testigo" circula por el anillo de estación en estación y siempre en la misma dirección. El testigo lo genera una estación designada llamada monitor activo. Para que se permita transmitir a una estación, primero debe poseer el testigo. Cada estación, por turno, adquiere el testigo y examina la trama de datos para determinar si lleva un paquete dirigido a ella. Si la trama contiene un paquete con la estación receptora, éste lo copia en su memoria, le agrega todos los mensajes que deba mandar y a continuación cede el testigo, retransmitiendo todos los paquetes de datos y el

testigo al siguiente nodo de red. Sin embargo esta tecnología de gran auge en los 80 empezó a decaer por el advenimiento de Ethernet que brindaba un mejor ancho de banda y costo.

1.2.4 Tendencias tecnológicas y del mercado. A continuación se describen algunas de las tendencias en redes de área local.

1.2.4.1 Ethernet 100 BaseVG. Propuesta por HP e IBM, conocida como *AnyLan* en entornos TokenRing. Recientemente aceptado por el IEEE como fundamento de un nuevo estándar IEEE 802.12, que pretende proporcionar una vía segura, económica, sencilla y fiable para que las redes Ethernet y TokenRing.

Está basada en protocolos Prioridad y Demanda (*Priority and Demand*). El HUB que trabaja en capa física, evoluciona a SWITCH trabajando en la capa de enlace, aplicando un sencillo esquema de arbitraje que reconoce por turno la demanda de la señal de cada estación y procede a darles salida, el paquete llega al *switch*, éste decodifica el destinatario del mismo y lo direcciona hacia el nodo correspondiente. Es decir, el switch da la autorización de transmisión. Es capaz de trabajar sobre categorías 3, 4 ó 5 de cableados de 4 pares sin apantallar o de 2 pares apantallados, así como en fibra óptica monomodo y multimodo.

1.2.4.2 Gigabit Ethernet. Basado en el estándar 802.3z. La tecnología Gigabit Ethernet supone el siguiente paso en la escala a *Fast Ethernet* con un aumento de la velocidad de procesado a 1000 Mbps, además tiene compatibilidad con 10BaseT y 100BaseT.

Los medios portadores y distancias que soportarán este tipo de tecnología son:

- 500 metros con fibra óptica multimodo
- 2000 metros con fibra óptica monomodo
- 25 metros con Coaxial
- 100 metros con UTP Categoría 5.

1.2.4.3 Redes inalámbricas (WLAN, Wireless LAN). El estándar IEEE 802.11 se considera como una solución para la implementación de redes de área local sin hilos tanto en edificios como en espacios abiertos con amplia cobertura y rendimiento.

Esta norma especifica un sistema para la conexión de quipos dentro de la red de área local, también establece un método de cómo los productos, bien dispositivos o puntos de acceso, de diferentes empresas pueden interactuar, mediante estandarización y certificación. Los medios físicos sobre los cuales se soporta esta tecnología son:

- Espectro Ensanchado con Secuencial Directa.
- Espectro Ensanchado con Salto de Frecuencia.⁸
- Infrarrojos.

El desarrollo del estándar para la capa de acceso al medio es, por lo tanto, bastante complejo, y proporcionará funciones de:

- Gestión de potencia.
- Encaminamiento multicanal.
- Seguridad.

A la fecha la tecnología desarrollada trabaja en el rango de frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz con velocidades de 2 Mbps a 54 Mbps para los protocolos de Espectro Ensanchado.

Las principales ventajas de esta tecnología, son:

- *Movilidad y flexibilidad* de cobertura y ubicación de usuarios.
- *Bajo coste en infraestructura* al no discurrir por un medio guiado.

Las mayores desventajas:

- *Menor fiabilidad* que otras soluciones sobre medios guiados.
- Actualmente relativamente *bajas velocidades de proceso*.

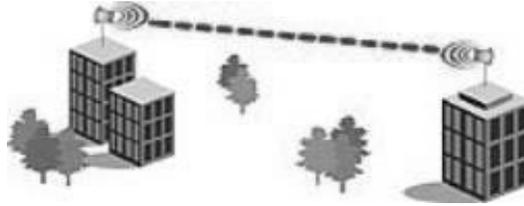
Las redes inalámbricas son organizadas en estas tres configuraciones, aplicables para ambientes locales, como ambientes metropolitanos:

- Enlaces punto a punto.
- Enlaces punto multipunto.
- Nubes multipunto a multipunto, rejilla o malla.

1.2.4.3.1 Enlace Punto a Punto (PTP, Point to Point). Esta opción se conoce como punto (nodo) a punto, va desde un lugar hacia otro como lo muestra en la Figura 1.11. La ventaja de este tipo de conexión se encuentra en la alta velocidad de transmisión y la seguridad que presenta al no existir conexión con otros usuarios. Su desventaja es el costo muy elevado de este tipo de red, cuando los usuarios a atender son de una cantidad significativa. Con antenas apropiadas y existiendo línea de vista, se pueden hacer enlaces punto a punto seguros de hasta 30 kilómetros.

⁸ Los métodos de secuencia directa y el salto en frecuencia serán abordados el numeral 3.1.2 de este trabajo

Figura 1.11. Enlace Punto a Punto.



1.2.4.3.2 Enlace Punto Multipunto (PTM, Point to Multipoint). Esta opción se conoce como punto multipunto, en donde hay un equipo base o central, desde el cual se trasmite hacia los otros nodos y ellos transmiten a él, como lo indicado en la Figura 1.12, es una solución para enlazar varios departamentos u oficinas. La ventaja consiste en el bajo costo, aunque pierde velocidad y seguridad.

Figura 1.12. Enlace Punto Multipunto.



1.2.4.3.3 Enlace de Malla. Esta configuración se le conoce como rejilla o malla en donde cada punto o nodo puede transmitir a cualquier otro que esté accesible (ver Figura 1.13). No hay una autoridad central. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí. La ventaja es que en este diseño, si algún nodo no es alcanzable desde otro punto de acceso, igual pueden comunicarse entre sí, además, existe la facilidad de agregar más nodos. Las desventajas de esta topología son: el aumento de la complejidad, la disminución del rendimiento y la seguridad dado que todos los nodos pueden potencialmente transportar el tráfico de los demás.

Figura 1.13. Enlace Tipo Malla.



Todos estos diseños de redes pueden ser usados para complementarse unos con otros en una gran red y, obviamente, también se pueden suplementar con técnicas tradicionales de cableado de redes. Cuando se diseña una red de datos, se pueden mezclar tanto líneas punto a punto como multipunto, y la transmisión se puede efectuar en modo simplex, Half-Duplex⁹ o Full-Duplex¹⁰.

1.3 ANÁLISIS DE LAS REDES DE ÁREA METROPOLITANA

1.3.1 Evolución histórica. En la década de los 90 las redes de área local dejaron de ser entes aislados y ofreciendo a las grandes organizaciones la posibilidad de crear redes virtuales extensas mediante nuevas tecnologías de interconexión de redes. Aquí la verdadera necesidad de interconexión de LANs a velocidades que permitan la integración de voz, datos e imágenes, como las videoconferencia o aplicaciones multimedia, así como de obtener servicios de datos a alta velocidad con LANs aisladas y la necesidad tener un proceso distribuido libre de limitaciones geográficas, surgieron las Redes de Área Metropolitana (**MAN**, *Metropolitan Area Network*) capaces de satisfacer esta demanda.

1.3.2 Concepto de una red de área metropolitana. Una red de área metropolitana es una red de alta velocidad (banda ancha) que dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión tales como medios guiados o no guiados a velocidades que van desde los 2 Mbps hasta 155 Mbps. Las aplicaciones principales de las redes de área metropolitana son: Interconexión LANs, interconexión de centrales telefónicas digitales, transmisión de vídeo e imágenes, transmisión de CAD¹¹ / CAM¹² y pasarelas para Redes de Área Extensa (**WAN**, *Wide Area Network*).

Una red de área metropolitana puede ser *privada* como un gran departamento o administración con edificios distribuidos por la ciudad, transportando todo el tráfico de voz, datos, video entre edificios por medio de su propia MAN o puede ser *pública* como la infraestructura de un operador de telecomunicaciones que ofrece servicios de banda ancha a sus clientes localizados en este área geográfica. Una MAN tiene las siguientes características, independiente si es pública o privada:

- **Ancho de banda.** Alto ancho de banda requerido por grandes ordenadores y aplicaciones compartidas en red, lo que permite integración de voz, datos y video, es decir tráfico multimedia.

⁹ Half-dúplex. La transacción se realiza en ambos sentidos, pero de forma alternativa, es decir solo uno puede transmitir en un momento dado, no pudiendo transmitir los dos al mismo tiempo.

¹⁰ Full-Dúplex. La transacción se puede llevar a cabo en ambos sentidos simultáneamente.

¹¹ CAD (Computer-Aided Design, Diseño Asistido por Computador). Uso de PC para diseño de productos,

¹² CAM (Computer-Aided Manufacturing, Manufactura Asistida por Computador). Una vez completado el diseño del producto, se alimentan las cifras a un programa que controla la fabricación.

- **Nodos y extensión de red.** Permiten superar los 500 nodos. Permiten alcanzar un diámetro entorno a los 50 Km (área metropolitana), entre nodos dependiendo el alcance entre ellos y del tipo de medio utilizado, así como de la tecnología empleada.
- **Tráfico en tiempo real.** Garantizan unos tiempos de acceso a la red mínimos, lo cual permite la inclusión de servicios síncronos necesarios para aplicaciones en tiempo real.
- **Alta disponibilidad.** Disponibilidad¹³ alta debido a que tienen mecanismos automáticos de recuperación frente a fallos.
- **Alta fiabilidad.** Fiabilidad referida a la tasa de error de la red mientras se encuentra en operación.

1.3.2.1 Escenarios de aplicación.

- **Interconexión de LANs en un área urbana.** No se refiere a una variante de una red privada, sino de una red de área metropolitana pública propiedad de un operador, el cual ofrece un servicio sobre toda la ciudad. Cuando las LANs que han de ser conectadas están dispersas por un área urbana, la red de área metropolitana está bajo el control de un operador público quien debe garantizar seguridad, privacidad y gestión de red a cada cliente que se conecte a la MAN.
- **Interconexión de LANs en un entorno privado de múltiples edificios.** Este escenario describe una organización consistente en varios cientos de personas ubicadas en diferentes edificios en una gran zona privada (campus, administración, etc.), requiriendo un sistema para interconectar las redes de área local ubicadas en estos lugares.

1.3.3 Conceptos y funcionalidades básicos.

1.3.3.1 Componentes de una red de área metropolitana. Los componentes de una red de área metropolitana son:

- **Puestos de trabajo.** Son las terminales desde las cuales los usuarios demandan las aplicaciones y servicios proporcionados por la red. Dentro de los puestos de trabajo se incluyen: las estaciones de trabajo, los ordenadores centrales, PCs o compatibles y equipos activos.
- **Nodos de red.** Dispositivos encargados de proporcionar servicio a los puestos de trabajo que forman parte de la red.

¹³ Referida al porcentaje de tiempo en el cual la red trabaja sin fallos

- **Medio de transmisión.** Se refiere al medio físico utilizado para conectar entre sí los nodos de red y los puestos de trabajo.
- **Protocolos de comunicación.** Las redes de área metropolitana soportan el nivel 1 y parte del nivel 2, de la jerarquía OSI para sistemas abiertos.

1.3.3.2 Gestión de redes. La gestión se está convirtiendo en un elemento esencial para asegurar la disponibilidad tanto física como lógica de las redes metropolitanas. La complejidad de las actuales redes impone la necesidad de utilizar sistemas de gestión capaces de controlar, administrar y monitorizar redes locales, metropolitanas y extensas, a la vez que dispositivos de interconexión, servidores y clientes.

La tendencia en la evolución de la tecnología de gestión de redes se encamina hacia el desarrollo de productos integrados capaces de gestionar conjuntamente subsistemas de voz, datos, videos y movilidad.

1.4 INTERCONEXIÓN DE REDES

1.4.1 Definición de interconexión de redes. La interconexión de Redes comprende la integración de redes de diferentes topologías, con el objeto de dar un servicio de comunicación de datos que sea de forma transparente para el usuario. Este concepto hace que las cuestiones técnicas particulares de cada red puedan ser ignoradas al diseñar aplicaciones que utilizaron los usuarios de los servicios. Los dispositivos de interconexión de redes sirven para superar las limitaciones físicas de los elementos básicos de una red, extendiendo las topologías de esta.

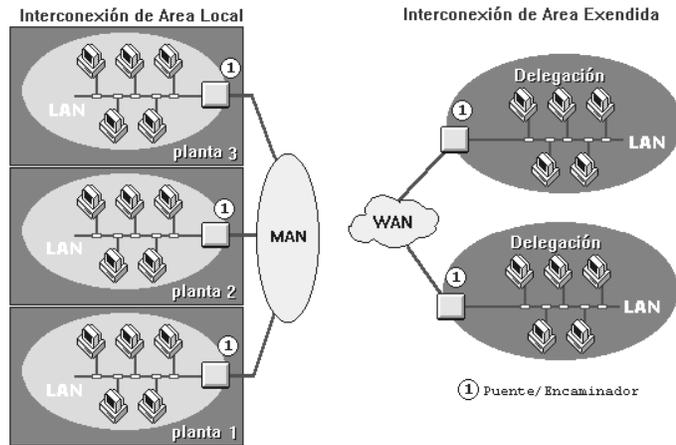
Con la interconexión de redes se puede obtener una reducción de costos, al utilizar recursos de otras redes, la coordinación de tareas de diversos grupos de trabajo así como el aumento de la cobertura geográfica.

1.4.2 Tipos de interconexión de redes.

1.4.2.1 Interconexión de área local (LAN con LAN). Una interconexión de Área Local conecta redes que están geográficamente cerca, como puede ser la interconexión de redes de un mismo edificio o entre edificios, creando una Red de Área Metropolitana.

1.4.2.2 Interconexión de área extensa (LAN con MAN y LAN con WAN). La interconexión de Área Extensa conecta redes geográficamente dispersas, por ejemplo, redes situadas en diferentes ciudades o países creando una Red de Área Extensa. La Figura 1.14 muestra las formas de interconexión de redes.

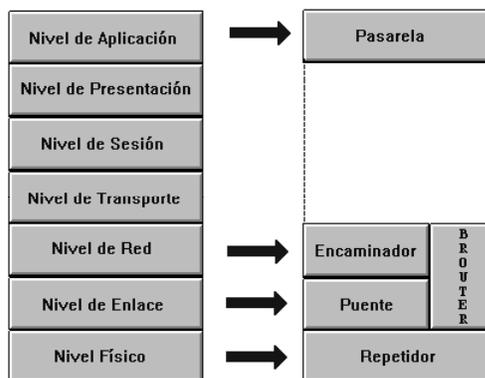
Figura 1.14. Tipos de Interconexión de Redes.



1.4.3 Dispositivos de interconexión de redes. Para superar las limitaciones físicas de los elementos básicos de una red, existen dispositivos cuyas funciones son las de extender las topologías de red. Estos elementos son: concentradores (hubs), repetidores conmutadores (switch), puentes (bridge), enrutadores (routers) y pasarelas (gateways). Estos dispositivos permiten ampliar el rango de distancia que puede alcanzar la red, definir los segmentos dentro de una red, y lograr la integración lógica de varias redes, haciendo esto transparente para el usuario.

En la Figura 1.15 se representa la relación de los dispositivos de interconexión con los niveles del modelo de referencia OSI.

Figura 1.15. Dispositivos de interconexión de redes y su relación con el modelo OSI.

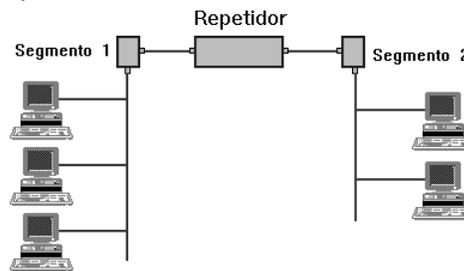


1.4.3.1 Concentradores (Hubs). El término concentrador, describe la manera en que las conexiones de cableado de cada nodo de una red se centralizan y conectan en un único dispositivo. Se suele aplicar a concentradores Ethernet, TokenRing y FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), Interfaz de Datos Distribuida por Fibra, soportando módulos individuales que conectan

múltiples tipos de funciones en un solo dispositivo. Normalmente los concentradores incluyen ranuras para aceptar varios módulos y un panel trasero común para funciones de encaminamiento, filtrado y conexión a diferentes medios de transmisión (por ejemplo Ethernet y TokenRing).

1.4.3.2 Repetidores. Como se puede observar en la Figura 1.16. El repetidor es un elemento que permite la conexión de dos tramos de red, teniendo como función principal regenerar eléctricamente la señal, para permitir alcanzar distancias mayores manteniendo el mismo nivel de la señal a lo largo de la red. Sólo se pueden utilizar para unir dos redes que tengan los mismos protocolos de nivel físico. Los repetidores no discriminan entre los paquetes generados en un segmento y los que son generados en otro segmento, por lo que los paquetes llegan a todos los nodos de la red. Debido a esto existen más riesgos de colisión y más posibilidades de congestión de la red. Los repetidores pueden ser locales, cuando enlazan redes próximas, y remotos cuando las redes están alejadas y se necesita un medio intermedio de comunicación.

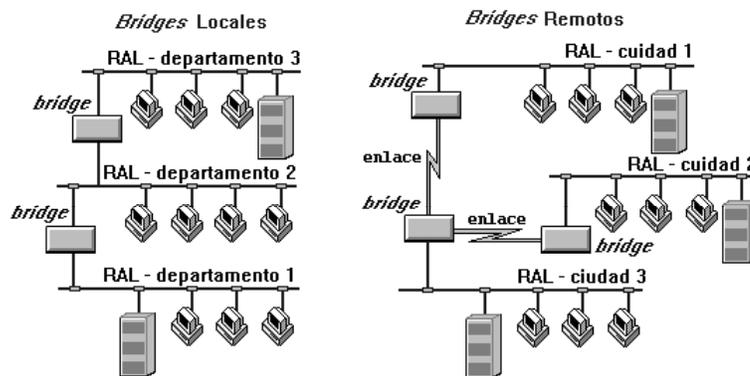
Figura 1.16. Esquema de un repetidor.



1.4.3.3 Puentes (Bridges). Son elementos inteligentes, constituidos como nodos de la red, que conectan entre sí dos subredes, transmitiendo de una a otra el tráfico generado no local. Al distinguir los tráficos locales y no locales, estos elementos disminuyen el mínimo total de paquetes circulando por la red por lo que, en general, habrá menos colisiones y resultará más difícil llegar a la congestión de la red. Estos dispositivos operan en el nivel de Enlace del modelo de referencia OSI y se utilizan para conectar o extender redes similares, es decir que tienen protocolos idénticos en los dos niveles inferiores OSI.

Se encargan de filtrar el tráfico que pasa de una a otra red según la dirección de destino y una tabla que relaciona las direcciones y la red en que se encuentran las estaciones asignadas. Las redes conectadas a través de puentes, aparentan ser una única red, ya que realizan su función transparentemente; es decir, las estaciones no necesitan conocer la existencia de estos dispositivos, ni siquiera si una estación pertenece a uno u otro segmento. Como se observa en la Figura 1.17. Los puentes pueden ser de tipo local, cuando sirven para enlazar directamente dos redes físicamente cercanas, y remotos o de área extensa, cuando se conectan en parejas, enlazando dos o más redes locales, formando una red de área extensa.

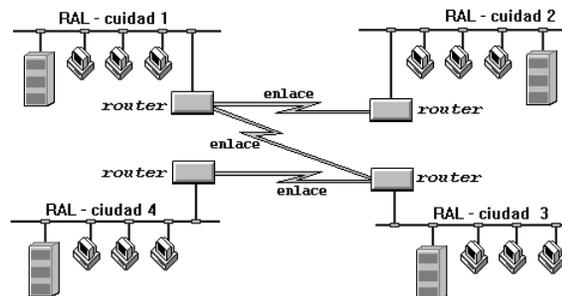
Figura 1.17. Tipos de Puentes. Bridges Locales y Bridges Remotos.



1.4.3.4 Enrutadores (Routers). Son dispositivos inteligentes que trabajan en el nivel de red del modelo de referencia OSI, por lo que son dependientes del protocolo particular de cada red. Envían paquetes de datos de un protocolo común, desde una red a otra.

Convierten los paquetes de información de la red de área local, en paquetes capaces de ser enviados mediante redes de área extensa. Durante el envío, el enrutador examina el paquete buscando la dirección de destino y consultando su propia tabla de direcciones, la cual mantiene actualizada intercambiando direcciones con los demás enrutadores para establecer rutas de enlace a través de las redes que los interconectan. Como lo mostrado en la Figura 1.18. Este intercambio de información entre *routers* se realiza mediante protocolos de gestión propietarios.

Figura 1.18. Rutas de interconexión entre enrutadores.



Los enrutadores, por su posibilidad de segregar tráfico administrativo y determinar las rutas más eficientes para evitar congestión de red, son una excelente solución para una gran interconexión de redes con múltiples tipos de redes y diferentes protocolos. Es una buena solución en redes de complejidad media, para separar diferentes redes lógicas, por razones de seguridad y optimización de las rutas.

1.4.3.5 Pasarelas (Gateways). Estos dispositivos están pensados para facilitar el acceso entre sistemas o entornos soportando diferentes protocolos. Operan en los niveles más altos del modelo de referencia OSI (Nivel de Transporte, Sesión, Presentación y Aplicación) y realizan conversión de protocolos para la interconexión de redes con protocolos de alto nivel diferentes. Las pasarelas incluyen los 7 niveles del modelo de referencia OSI, y aunque son más caros que un puente o un enrutador, se pueden utilizar como dispositivos universales en una red corporativa.

1.4.3.6 Conmutadores (Switches). Los conmutadores tienen la funcionalidad de los concentradores a los que añaden la capacidad principal de dedicar todo el ancho de banda de forma exclusiva a cualquier comunicación entre sus puertos. Esto se consigue debido a que el conmutador no actúa como repetidor multipuerto, sino que únicamente envía paquetes de datos hacia aquella puerta a la que van dirigidos. Esto es posible debido a que los equipos configuran unas tablas de encaminamiento con las direcciones MAC (nivel 2 de OSI) asociadas a cada una de sus puertas. Esta tecnología hace posible que cada una de las puertas disponga de la totalidad del ancho de banda para su utilización. Estos equipos habitualmente trabajan con anchos de banda de 10 y 100 Mbps, pudiendo coexistir puertas con diferentes anchos de banda en el mismo equipo.

1.4.4 Tendencias tecnológicas y del mercado. Las principales tendencias del mercado de sistemas de interconexión de redes son las siguientes:

- **Tendencias de encaminamiento.** El mercado está en expansión, cada vez hay más ofertas de productos y además estos incorporan nuevas facilidades de encaminamiento. Tanto los fabricantes de concentradores como los de multiplexores están incorporando en sus productos capacidades de encaminamiento, unos con redes de área metropolitana y extensa, y otros incorporando facilidades de interconexión de Redes de Área Local.
- **Equipos de interconexión a bajo precio.** Los fabricantes están presentando equipos de bajo costo que permiten la interconexión de dependencias remotas. Las soluciones de encaminamiento son de diversos tipos: integradas en servidores de red, en concentradores, en pequeños equipos enrutadores, etc. Todos estos productos son fáciles de gestionar, operar y mantener. Esto lo hacen routers multiprotocolo, interconexión con conmutadores de LAN/WAN, y equipos con gestión de tráfico avanzado.

1.4.5 Criterios técnicos para la interconexión de redes.

1.4.5.1 Diagnóstico y estudio de necesidades. En esta etapa se determinan las necesidades actuales y futuras de los usuarios, y las limitaciones o restricciones que ha de plantearse respecto al dimensionamiento de la red y los dispositivos de interconexión. Se determina si algunas de las ventajas que proporciona la interconexión de redes son aplicables a las necesidades de la

organización. La interconexión de redes proporciona diferentes ventajas tales como la compartición de recursos dispersos o de otras redes, la extensión de la red y el aumento de la cobertura geográfica, la segmentación de una red, la separación entre redes y la conversión de protocolos.

El conocimiento del número de redes a interconectar y las características específicas de cada uno de ellas, permitirá dimensionar correctamente tanto la estructura de la red final como los elementos necesarios para realizar la interconexión. También se han de analizar las necesidades de adquisición de nuevas redes o infraestructura de red para poder dar soporte a la futura red. Es necesario delimitar claramente el tipo de redes existentes y su topología, así como su distribución espacial en el entorno de operación (localización y distancias).

La interconexión de redes exige por lo general el tendido de cableado en las dependencias por las que se extienden las redes y ello es una labor cuya complejidad, impacto y costo depende de varios factores. Entre éstos habrá que considerar el área cubierta por las redes y por su interconexión (ubicaciones, departamentos y edificios a interconectar), sus topologías, las peculiaridades constructivas de los locales o edificios, y otras cuestiones que pueden afectar no sólo al costo sino incluso a la viabilidad de la implantación de la interconexión de redes.

1.4.5.2 Estimación del costo de adquisición, implementación, operación y mantenimiento. Los principales factores de coste son los siguientes:

- **Dispositivos físicos de la red.** Medio de transmisión, elementos de conexión de los nodos, conectores, tarjetas NIC, antenas, elementos activos de red, entre otros.
- **Dispositivos lógicos de la red.** Sistemas de gestión, control y mantenimiento.
- **Instalación.** Acondicionamiento de locales, canalización, tendido de cables (medios guiados), conexión de dispositivos, configuración de enlace (medios no guiados), entre otros.
- **Costos indirectos.** Redimensionamiento de nodos pasivos y activos, elementos complementarios, etc.

En ningún caso debe despreciarse a priori la importancia de ningún tipo de costos.

1.4.5.3 Pruebas de verificación y control del sistema implementado. Una vez el sistema ha sido implementado, es de suma importancia realizar la verificación de los componentes y equipos adquiridos. Este control se hace tanto en cantidad como con números de serie de los dispositivos.

También se debe supervisar la instalación como tal del sistema, que se adapte a los requerimientos del diseño propuesto y que cumpla con las normas óptimas de espacio y seguridad laboral que se apliquen para tal implementación. Las pruebas de instalación, serán realizadas sobre los equipos que forman la red de datos tan pronto como hayan sido instalados. Con estas pruebas se pretende comprobar el correcto estado de los equipos de modo aislado, y facilitar las tareas de análisis y resolución de los problemas que se detecten una vez que estos equipos entren en red.

Es también importante revisar toda la documentación tanto de los equipos como del diseño de tal forma que se facilite la reparación y el mantenimiento de la interconexión.

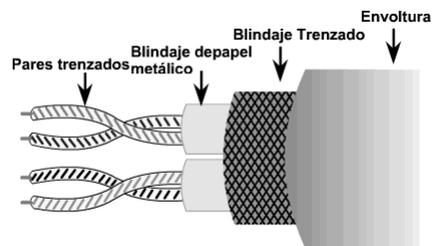
Para la verificación del cumplimiento de especificaciones, se podrán utilizar las listas de comprobación sobre factores críticos u otras que se hayan elaborado a partir de las anteriores, que en cualquier caso deberán ser coherentes con los requerimientos técnicos de la entidad. Las pruebas finales al sistema incluyen parámetros de funcionamiento normal, así como la respuesta ante fallos, y el funcionamiento de gestión de red.

2. ENLACE DE REDES DE DATOS POR MEDIOS GUIADOS

2.1 PAR TRENZADO

2.1.1 Construcción. Un par trenzado está compuesto por dos cables, cuyo espesor se encuentra entre 0,6 mm y 1,2 mm, aislados arreglados en un patrón regular. Cada conductor interno es de alambre de cobre, de tipo circular, aislado por una capa de polietileno coloreado y opcionalmente una cubierta metálica, cada una de sus partes puede ser observada en la Figura 2.1. Cada par de cables actúa como un canal de comunicación. Típicamente se juntan varios pares y se protegen exteriormente para formar un solo cable. El trenzado de los pares individualmente minimiza la interferencia electromagnética entre los pares, el efecto *Croosstalk*, además cada cable se hace menos susceptible al ruido externo, la diafonía.

Figura 2.1. Construcción del Par Trenzado.



2.1.2 Tipos de cable par trenzado.

2.1.2.1 Cable de par trenzado apantallado (STP, Shielded Twisted Pair). Cada par en STP va recubierto por una malla conductora que actúa de pantalla frente a interferencias y ruido eléctrico. Ofrece mayor protección ante perturbaciones externas que el cable no apantallado. Estos cables utilizan también cables más gruesos, por lo que permiten un rango de operación de hasta 500 metros sin la necesidad de repetidores. Es utilizado generalmente en las instalaciones de procesos de datos por su capacidad y sus buenas características contra las radiaciones electromagnéticas, pero el inconveniente es que es un cable robusto, costoso y difícil de instalar. La resistencia de un cable STP es de 150 Ω .

2.1.2.2 Cable par trenzado sin apantallado (UTP, Unshielded Twisted Pair). El cable par trenzado más simple y empleado, sin ningún tipo de pantalla adicional, por lo cual está sujeto a interferencia electromagnética tanto de los pares vecinos como del ruido generado en el ambiente externo, su vulnerabilidad se ve afectada mayormente en transmisiones a altas velocidades. Tiene una impedancia característica de 100 ohmios. Es el más liviano y flexible. Es muy fácil de instalar y

mantener. El par trenzado sin apantallar es común en la red telefónica, y se encuentra frecuentemente implementado en redes de datos Ethernet, TokenRing y otros tipos de redes.

2.1.3 Características de transmisión. El cable Par Trenzado ha sido el medio de transmisión guiado más utilizado para datos análogos y digitales, implementado principalmente tanto en la red telefónica donde los suscriptores se conectan a la red mediante este cable, así como en las comunicaciones de redes locales, las cuales fueron diseñadas para soportar tráfico de voz usando señales digitales, sin embargo, también pueden manejar tráfico de datos.

En redes locales que soportan computadores personales, la rata de datos puede alcanzar 10 Mbps (Ethernet) y 100 Mbps (Fast-Ethernet). Actualmente se está desarrollando un estándar que permitirá alcanzar 1000 Mbps (Gigabit-Ethernet). Para aplicaciones a mayor distancia, la rata de datos puede alcanzar más de 4 Mbps.

2.1.4 Categorías del cable UTP. En 1991, la Asociación de Industrias Electrónicas (**EIA**, *Electronic Industries Alliance*) publicó el estándar EIA-568, denominado “Commercial Building Telecommunications Cabling Standar”, que define el uso de pares trenzados sin apantallar de calidad telefónica y de pares apantallados como medios para aplicaciones de transmisión de datos en edificios. Sin embargo, gracias el interés en implementar redes de datos sobre medio no costosos, en 1995 se propuso el EIA-568A.

En el estándar EIA-568A se consideran cinco categorías de cables UTP. Cada una de ellas posee velocidades de transmisión y características eléctricas (atenuación, capacidad de la línea e impedancia) y características físicas (cantidad de pares, cantidad de trenzas a lo largo del conductor, grosor, peso) propias.

- **Categoría 3.** Especifica, cables, conectores y accesorios cuyas características de transmisión deben soportar hasta 16 MHz de ancho de banda. Se emplea en transmisiones de voz y datos con velocidades de hasta 10 Mbps (por ejemplo, IEEE 802.5 de 4Mbps e IEEE 802.5) consta de 4 pares trenzados con trece vueltas por metro. La categoría 4 difiere de la categoría 3 en que trabaja a 20 MHz.
- **Categoría 4.** Los cables, conectores y accesorios se especifican hasta 20 MHz de ancho de banda y se emplean para transmisiones de voz y datos con velocidades de hasta 16 Mbps (por ejemplo, el proyecto UTP de 4/16 Mbps que desarrolló el IEEE 802.5) consta de 4 pares trenzados.
- **Categoría 5.** Los cables, conectores y accesorios se especifican hasta 100 MHz de ancho de banda y se emplean normalmente en las nuevas instalaciones con velocidades de transmisión que llegan y quizá sobrepasen los 100 Mbps (por ejemplo, proyecto Ethernet

a 100 Mbps sobre cable de par trenzado). Consta de 4 pares trenzados. Soporta aplicaciones de multimedia, voz, datos y HDTV¹⁴.

- **Categoría 5e (enhanced).** Es una versión mejorada de la categoría 5. La categoría 5 define los parámetros de transmisión hasta 150 MHz. La diferencia fundamental con la categoría 5 normal es el agregar nuevas pruebas de certificación de manera de asegurar el soporte directo de la tecnología Gigabit Ethernet. Entre las principales aplicaciones de los cables de categoría 5 mejorada encontramos: voz, Ethernet 10Base-T, TokenRing, 100VG AnyLan, Fast Ethernet 100Base-TX, ATM 155 Mbps, ATM 622 Mbps y Gigabit Ethernet.
- **Categoría 6.** Supone un considerable avance en cuanto al rendimiento de líneas de cobre UTP/STP de alta velocidad se refiere, incrementando la frecuencia útil hasta 250 MHz y aprovechando al máximo la capacidad del cable de cobre con conectores del tipo RJ-45. Es un estándar de cables para Gigabit Ethernet y otros protocolos de redes. La categoría 6 posee características y especificaciones como crosstalk y ruido. La distancia máxima recomendada es de 100 metros.

En la Tabla 2.1 se observa algunas características de todas las categorías de cable UTP, cual sería las distancias máximas recomendadas sin sufrir atenuaciones que hagan variar la señal, ancho de banda, aplicación, como también el estado actual en la implementación de redes.

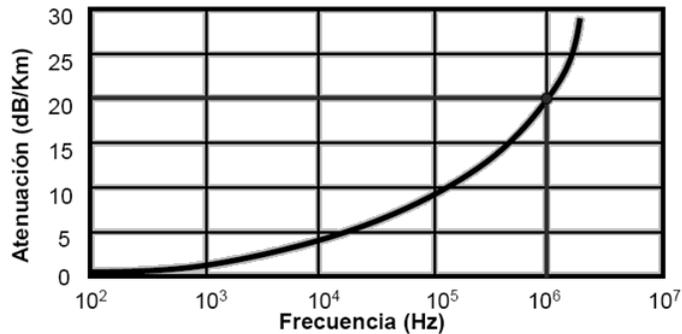
Tabla 2.1. Relación entre las categorías UTP.

CATEGORIA UTP	TOPOLOGÍA(S) SOPORTANDA(S)	VELOCIDAD MAX. DE TRANSFERENCIA	DISTANCIAS MÁXIMAS ENTRE REPETIDORES POR NORMA (metros)	ANCHO DE BANDA	ESTADO
3, 4	Voz Telefonía	10 Mbps	100	<100 MHz	Obsoleto
5	Ethernet y Fast Ethernet	100 Mbps	100	100 MHz	En proceso de discontinuarse
5e	Anteriores y ATM	165 Mbps	100	150 MHz	Actual
6	Anteriores y Giga Ethernet	1000 Mbps	100	200 MHz	En proceso de estandarizarse completamente

En la Figura 2.2, se puede observar en términos generales que la atenuación del par trenzado en la distancia es directamente proporcional a la frecuencia.

¹⁴ La televisión de alta definición (High Definition Television)

Figura 2.2. Diagrama típico de atenuación del par trenzado.



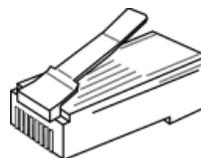
La distancia juega un papel muy importante, dado que es un parámetro determinante en la calidad de servicio de la red, en la Tabla 2.2, se indica la potencia recibida (PRx) que se tiene en una transmisión por par trenzado, de acuerdo a las diferentes distancias y la potencia de transmisión (PTx).

Tabla 2.2. Relación entre distancia y potencia recibida en Par Trenzado.

DISTANCIA RECORRIDA	ATENUACION	POTENCIA RECIBIDA PRx
100 m	2 dB	PTx/1,58 (63%)
500 m	10 dB	PTx/10 (10%)
1 Km	20 dB	PTx/100 (1%)
2 km	40 dB	PTx/10.000 (0,01%)

2.1.5 Conectores. El cable de par trenzado UTP se conecta utilizando un conector **RJ-45**, este conector es una pieza de plástico transparente como la indicada en la Figura 2.3. El RJ-45 es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado, (categorías 4, 5, 5e y 6). *RJ* es un acrónimo inglés de *Registered Jack*. Posee ocho "pines" o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado. Es utilizada comúnmente con estándares como TIA/EIA-568-B, que define la disposición de los pines o *wiring pinout*. Una aplicación común es su uso en cables de red Ethernet, donde suelen usarse 8 pines (4 pares).

Figura 2.3. Conector RJ-45.



Para el Cable STP utiliza una derivación de la anterior conectar RJ-45, incluye una platina de metal de separación entre la capa plástica de protección del cable y de los hilos. Es conocido como conector RJ-49.

El funcionamiento del conector modular RJ-45 está definido como un Circuito Abierto Terminado (**TOC**, *Terminated Open Circuit*) con unos valores de NEXT¹⁵ de entre 40 y 41,5 dB. Las pérdidas en los conectores dependen de la calidad del conector usado. Las pérdidas pueden variar entre 1 y 1,5 dB. Sin embargo, para evitar estas pérdidas, se recomienda el uso de conectores de calidad cuando sea posible, además de un buen crimpado¹⁶, debido a que puede ocurrir una desestabilización de la compensación y una reducción del rendimiento que ni siquiera satisfará los requerimientos de la categoría a que sea utilizado.

2.1.6 Uso de los hilos. De acuerdo con la aplicación, cada hilo realiza una función diferente, esto está indicado en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Uso de los hilos en par trenzado. (TX transmite, RX recibe, Bi Bidireccional).

APLICACIÓN	HILOS 1 Y 2	HILOS 3 Y 4	HILOS 4 Y 6	HILOS 7 Y 8
Voz			Tx / Rx	
ISDN / (RDSI)	Potencia	Tx	Rx	Potencia
10Base-T	Tx	Rx		
TokenRing		Tx	Rx	
100Base-T4	Tx	Rx	Bi	Bi
100Base-Tx	Tx	Rx		
1000Base-T	Bi	Bi	Bi	Bi

2.1.7 Tipos de red soportadas bajo par trenzado.

- **10Base-T.** Cable de par trenzado con una longitud aproximada de 500 metros, a una velocidad de 10 Mbps.
- **TokenRing.** Cable de par trenzado STP con velocidades de transferencia de 4 y 16 Mbps, se logra obtener una longitud de 100 metros, mientras que con cable UTP con velocidades de transferencia de 4 y 16 Mbps, se consigue 300 y 75 metros respectivamente.
- **10Base-5.** Cable de par trenzado con una longitud extrema de 500 metros a una velocidad de 1 Mbps.
- **100Base-T.** (Ethernet Rápida) Cable de par trenzado nuevo estándar que soporta velocidades de 100 Mbps y que utiliza el método de acceso CSMA/CD.

¹⁵ NEXT. Near-end Cross Talk.. Interferencia electromagnética causada por una señal generada por un par sobre otro par resultando en ruido.

¹⁶ Es el proceso de acondicionamiento de cables de telefonía. Se realiza por medio de un crimpador que cierra la conexión física RJ-11, RJ-45 o RJ - 49 con los 2 hilos(teléfonos típicos),4 hilos(telefonía y datos)

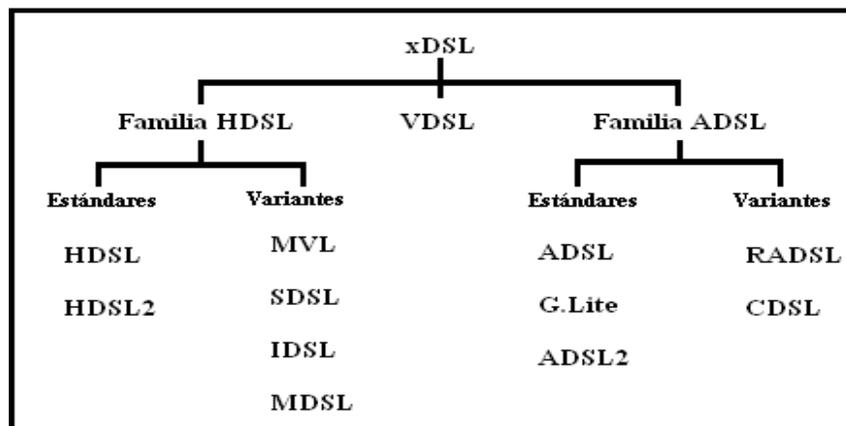
- **100VG-Anylan.** Nuevo estándar Ethernet que soporta velocidades de 100 Mbps utilizando un nuevo método de acceso por prioridad de demandas sobre configuraciones de cableado par trenzado.

2.2. XDSL

xDSL es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información a mayores velocidades, utilizando simplemente las líneas telefónicas convencionales. Para estas, la limitación está dado en su ancho de banda que tan solo llega a 4 KHz, pero en busca de solucionar el problema, nace la tecnología de Digitalización de la Línea de Subscriptor (**DSL, Digital Subscriber Line**), que soporta un gran ancho de banda con unos costes de inversión relativamente bajos, que trabaja sobre la red telefónica ya existente, y que convierte la línea analógica convencional en una línea digital de alta velocidad. Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red telefónica pública (circuitos locales de cable de cobre simples) sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, que permiten un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado¹⁷.

xDSL es una tecnología en la que se necesita un dispositivo módem xDSL terminal en cada extremo del circuito de cobre, que acepte flujo de datos en formato digital y lo superponga a una señal analógica de alta velocidad. La "x" en xDSL significa que hay distintas variedades de DSL (HDSL, ADSL, etc.), pero ADSL y xDSL se han estandarizado como términos genéricos para todos. La Tabla 2.4 y Figura 2.4, muestran la clasificación general de las diversas categorías de xDSL.

Figura 2.4. La familia xDSL.



¹⁷ El bucle de abonado es el par de cobre que conecta el terminal telefónico del usuario con la central local de la que depende.

Tabla 2.4. La familia xDSL.

DSL	Digital Subscriber Line	IDSL	Integrated Service Digital Network
ADSL	Asymmetric DSL	MDSL	Multirate DSL
RADSL	Rate Adaptative DSL	VDSL	Very-high-bit-rate DSL
SDSL	Symmetric DSL	HDSL	High-bit-rate DSL
CDSL	Consumer DSL	MVL	Multiple Virtual Line

DSL ofrece varias ventajas frente a otras soluciones de comunicaciones de alta velocidad. Por encima de todo se encuentra el precio. El mayor ahorro procede del hecho de que DSL se ejecuta sobre las líneas existentes de cobre, sin la necesidad de nuevos cables para ser instalados. La siguiente ventaja técnica consiste en soportar varios canales sobre un único par de cables. Basándose en esto, los operadores telefónicos proporcionan habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz.

Estos datos pasan por un dispositivo, llamado "splitter", que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico y del servicio xDSL. El splitter se coloca delante de los módems del usuario y de la central; está formado por dos filtros, uno paso bajo y otro paso alto cuya finalidad es la de separar las señales transmitidas por el canal en señales de alta frecuencia (datos) y señales de baja frecuencia (Telefónicas).

Las necesidades de un hogar con un solo usuario o dos equipos en una línea son muy diferentes de las necesidades de una red de negocios. Es entonces en respuesta a las diversas necesidades, es que existen los diferentes tipos de DSL.

2.2.1 Familia xDSL.

2.2.1.1 Línea Digital de Abonado Asimétrica (ADSL, Asimetric Digital Subscriber line). Esta diseñado para apoyar las diferentes velocidades en ambas direcciones a través de un solo par de cobre a distancias de hasta 6Km, debido a que no todos los usuarios requieren velocidades simétricas y además hay una gran demanda de alta velocidad de acceso a Internet lo que está fomentando la casi totalidad del actual mercado de ADSL. La velocidad de recepción o Downstream es de hasta 10 veces más rápida la velocidad de envío o Upstream.

La velocidad de transmisión de datos en ADSL depende en gran medida de la distancias entre el operador telefónico y el cliente. A una distancia de 3 Km con una velocidad de descarga de 8 Mbps. Mientras que al alcanzarse 5 km, sólo se alcanza 1,544 Mbps en bajada. Para velocidades de subida, velocidades máximas de 640 Kbps. ADSL fue diseñado para coexistir con una línea de teléfono regular que opera en frecuencias de hasta 4 KHz. ADSL opera a frecuencias superiores a 4 KHz, típicamente de 30 kHz a 1,1 KHz.

2.2.1.2 Línea Digital de Abonados de Tasa Adaptable (RADSL, Rate Adaptive Digital Subscriber Line). Es una versión inteligente de ADSL. Tiene la particularidad de adaptar la velocidad de transmisión de datos sobre la línea telefónica donde se encuentre instalado el servicio de ADSL por medio de software. Esto es necesario debido a que la calidad de las líneas telefónicas depende de la antigüedad, las técnicas de instalación, la proximidad con interferencias electromagnéticas, además de condiciones meteorológicas, la hora del día. Etc. Estos módems RADSL compensan la tasa de transmisión automáticamente para tales condiciones y así tener una velocidad óptima a costa de perder ancho de banda. Maneja velocidades de hasta 1 Mbps en la descarga y 160 Kbps en la subida.

2.2.1.3 Línea de Abonados Digital de Índice de Datos alto. (HDSL, High bit-rate Digital Subscriber Line). Opera simétricamente a velocidades de 1544 Mbps y 2048 Mbps, es decir, las mismas de T1¹⁸ y E1¹⁹ respectivamente, a distancias superiores y sin repetidores (3.65 km). Esta tecnología no es la más ideal para los servicios residenciales de banda ancha debido a que HDSL utiliza 2 líneas de cobre, y esto es económicamente inviable teniendo en cuenta que ADSL utiliza solo una. Además HDSL no puede coexistir con los servicios tradicionales de voz sobre el mismo par trenzado, tal como lo hace ADSL.

HDSL2 Es conocida como SHDSL o GshDSL, por la ITU. Es la evolución de HDSL debido a que tiene la capacidad de proveer velocidades de T1 o E1 utilizando un solo par trenzado y por lo tanto, los beneficios económicos son considerables. Otra de las especificaciones para esta tecnología incluye la opción de potencia variable adaptativa, es decir, varía y se ajusta de acuerdo de la línea para disminuir el ruido presente, reduciendo también los niveles de *Crosstalk* en líneas cercanas en un 50 o 70 %.

2.2.1.4 Línea de Abonados Digital Simétrica (SDSL, Symmetric Digital Line). Trabaja sobre una sola línea telefónica, ofrece velocidades de transmisión hasta de 2048 Mbps simétricamente, esto es, velocidades de subida iguales a velocidades de bajada, lo que implica una buena tecnología para aplicarse a empresas o instituciones debido a sus aplicaciones como servidores de correo electrónico, servidores Web, servidores FTP, donde la simetría en la tasa de velocidades sea una premisa necesaria. Pero no permite coexistencia de banda ancha y telefonía al mismo tiempo.

2.2.1.5 Red Digital de Servicios Integrados (IDSL o ISDN DSL, Integrated Services Digital Network). Tecnología que utiliza todo el ancho de banda para transmitir datos, transmite a una velocidad máxima de 144 Kbps. a una distancia máxima de 5.48 Km utilizando solo un par trenzado. Provee de un acceso dedicado, lo que hace que cumpla con los criterios de utilización de

¹⁸ T1: es aplicable en Estados Unidos

¹⁹ E1: es aplicable en Europa

una sola línea y cobertura amplia. No tienen compatibilidad entre servicios de voz y su reducido ancho de banda.

2.2.1.6 Línea Digital de Abonados de Tasa Muy Alta (VDSL, Very high rate Digital Subscriber line).

La más reciente de las tecnologías, supliendo muchas necesidades. Ofrece la posibilidad de transmitir datos a una velocidad máxima de descarga que oscila entre 13 y 52 Mbps, para distancias de 1.3 km como máximo, las velocidad es de subida se encuentran entre 1.6 y 2.3 Mbps para las mismas distancias. El hecho de que funcione para distancias muy pequeñas reduce los inconvenientes que la línea de transmisión presenta y por tanto la complejidad del modem o transceiver. En la Tabla 2.5 se presenta una comparación de las diferentes tecnologías de DSL.

Tabla 2.5. Comparación de las tecnologías de la familia xDSL.

TECNOLOGÍA	SIMETRÍA	VELOCIDAD MÁXIMA UP/DOWN	DISTANCIA MÁXIMA DE LA CENTRAL	COMPARTE USO DE TELÉFONO
ADSL	Asimétrico	9 Mbps/640 Kbps	6 Km	Si
SDSL	Simétrico	2.32 Mbps	6 Km	No
HDSL	Simétrico	2.32 Mbps	6 Km	No
SHDSL	Simétrico	2.32 Mbps	7 Km	No
IDSL	Simétrico	144 Kbps	12 Km	No
G. Lite	Asimétrico	1.5 Mbps/512 Kbps	6 Km	Si
RADSL	Asimétrico	9 Mbps/640 Kbps	6 Km	Si
VDSL	Asimétrico	52 Mbps/ 6 Mbps	1.5 Km	Si

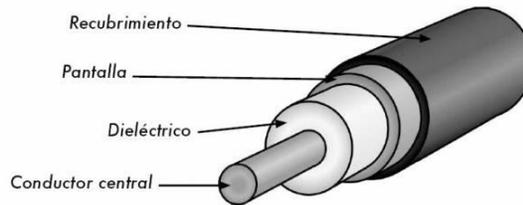
Este servicio actualmente lo facilitan, los operadores telefónicos, mediante una tarifa plana (precio fijo con independencia del tiempo de conexión), ofrece servicios de banda ancha sobre las conexiones permanentes que proporciona la tecnología ADSL.

2.3 CABLE COAXIAL

2.3.1 Construcción. El cable coaxial es un medio de trasmisión formado por dos conductores concéntricos, o que comparten el mismo eje. Como se puede apreciar en la Figura 2.5, generalmente está formado por cuatro capas: Un conductor central o núcleo, formado por un hilo sólido o trenzado de cobre, una capa aislante o dieléctrico, un conductor exterior en forma de tubo o vaina y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio y una cubierta aislante que sirve para la protección de todo el conjunto.

El recubrimiento en malla o pantalla junto con la cubierta exterior, evitan que la radiación electromagnética o las señales de otros cables afecten la información conducida a través del suyo.

Figura 2.5. Construcción del Cable Coaxial.



2.3.2 Características de transmisión. El cable coaxial se puede utilizar para transmitir tanto señales analógicas como digitales. El cable coaxial tiene una mejor respuesta en frecuencia que el par trenzado, permitiendo por tanto mayores velocidades de transmisión. El cable coaxial es entonces, menos susceptible a interferencias y diafonía. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico, y el ruido de intermodulación. El cable coaxial produce una buena combinación de un gran ancho de banda con una alta inmunidad al ruido. El ancho de banda que puede alcanzarse depende de la longitud del cable y del tipo, pudiendo ser de hasta 450 MHz. Así, un cable de 1 Km de longitud puede llegar a obtener velocidades de hasta 10 Mbps en banda base y hasta 150 Mbps en transmisiones en banda ancha. Por otro lado, la señal eléctrica se propaga, según el tipo cable, a una velocidad que varía entre el 66% y el 80% de la velocidad de la luz. La atenuación de los cables varía entre los 20 y los 60 dB/100 m a 400 MHz.

2.3.3 Tipos De Cable Coaxial. Existen dos tipos principales de cable coaxial:

- **Cable Thinnet (fino).** Es un cable coaxial flexible de 0.64 centímetros de grosor. Se puede utilizar para la mayoría de instalaciones de redes, ya que es un cable flexible y fácil de manejar. Puede transmitir señales hasta una distancia aproximada de 185 metros, antes de que comience a sufrir atenuación. De acuerdo a denominaciones específicas para los diferentes fabricantes de cables, thinnet está incluido en un grupo que se denomina familia RG – 58 y tiene una impedancia de 50 Ω. La Tabla 2.6 muestra las principales características de la familia RG-58.

Tabla 2.6. Características de la familia RG – 58.

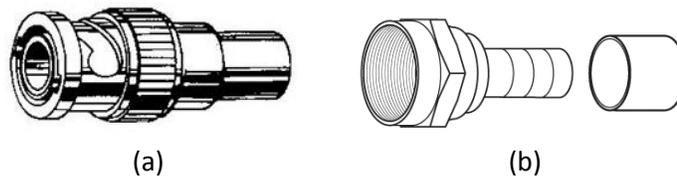
TIPO	CARACTERÍSTICA
RG – 58/U	Núcleo de Cobre sólido
RG-58 A/U	Núcleo de hilos trenzados.
RG-58 C/U	Especificación militar de RG-58 A/U.
RG-59	Transmisión de señales de televisión
RG-60:	Mayor diámetro y considerado para frecuencias más altas que RG-59.
RG-62	Redes ARCnet.

- **Cable Thicknet (grosso).** Es relativamente rígido de aproximadamente 1.27 centímetros de diámetro. El núcleo de cobre del cable Thicknet es más grueso que el cable Thinnet. Cuanto mayor sea el grosor del núcleo de cobre, puede transportar señales a mayor distancia y será más costoso. El cable Thicknet puede transmitir señales sin error hasta 500 metros. Por tanto debido a la capacidad de Thicknet para poder soportar transferencia de datos a distancias mayores, a veces se utiliza como enlace central o *Backbone*²⁰ para conectar varias redes más pequeñas basadas en thinnet.

2.3.4 Conectores. El tipo de conector más común para implementación de redes de cable coaxial es el BNC. BNC es un tipo de conector usado para cables RG -58 Y RG-59, básicamente, consiste en un conector tipo macho instalado en cada extremo del cable. Este conector tiene un centro circular conectado al conductor del cable coaxial y un tubo metálico conectado en la parte exterior del cable. Un anillo que rota en parte exterior del conector asegura el cable y permite la conexión a cualquier conector BNC tipo hembra. Los conectores BNC-T, los más populares, son conectores que usan para conectar el bus de la red a las interfaces en el estándar Ethernet 10Base-2.

Los conectores tipo N son otro tipo de conectores roscados para cable coaxial, funcionando dentro de las especificaciones hasta una frecuencia de 11GHz. En la Figura 2.6 se muestran los tipos de conectores para cable coaxial.

Figura 2.6. Conectores para cable coaxial. (a) Conector BNC (b) Conector Tipo N



2.3.5 Tipos de red soportadas bajo cable coaxial.

- **Redes ARCNET.** ARCENET utiliza el cable coaxial RG – 62, hubs pasivos en topología estrella pero lógica en bus. La distancia entre los hubs puede alcanzar los 600 metros. La velocidad de transmisión alcanza los 2 Mbps.
- **Redes Ethernet.** Los sistemas Ethernet 10Base-5 y 10Base-2 contenidos en la norma ANSI/IEEE 802.3, tienen como medio de transmisión el cable coaxial y fueron estudiados, aplicados y difundidos ampliamente en la industria y redes corporativas.

²⁰ El termino Backbone hace referencia a la conexión principal que une los segmentos de una red, y se aplica no sólo a internet, sino a interconexiones de redes para otros propósitos.

- **Ethernet 10Base-5.** Utiliza el cable coaxial grueso (thicknet) RG-11 de 50 Ω y doble blindaje como medio de transmisión. El sistema utiliza una topología de bus con varias derivaciones. El protocolo de banda base para 10Base-5 admite la velocidad de transmisión de 10 Mbps que usa una técnica de señalización llamada codificación Manchester. Este formato asegura que la corriente de bits codificados tendrá en valor alto; 50% del tiempo y en valor bajo 50% del tiempo, reduciendo así la carga desarrollada a través de la capacitancia inherente a la transmisión.
- **Ethernet 10Base-2.** Usa cable coaxial más delgado y menos costoso, el RG – 58 de 50 Ω . Sin embargo la distancia entre repetidores se reduce a 200 metros. Esta tecnología elimina las MAU utilizadas en 10Base-5 por Tarjetas de Interfaz de Red (**NIC**, *Network Interface Card*) que se montan dentro de los equipos, eliminando el costoso cable transreceptor.

El cable Coaxial es una alternativa de interconexión que se aplicó en las primeras redes LAN, sin embargo, debido a la popularización del cable UTP para estos ambientes, su uso se ha dedicado a la difusión de señales de televisión por suscripción.

2.4 FIBRA ÓPTICA

2.4.1 Características físicas. los cables ópticos están formados por dos componentes básicos:

- **Núcleo óptico.** Formado por un conjunto de fibras, conforma el sistema responsable de la transmisión de datos. Sus características vendrán definidas por la naturaleza de la red a instalar. Las fibras pueden ser de acuerdo al modo de propagación de la luz, monomodo o multimodo (ver Figura 2.7).
- **Elemento de protección.** Su misión consiste en proteger el núcleo óptico frente al entorno en el que está situado el cable, y consta de varios elementos (cubiertas, armadura, etc.) superpuestos en capas concéntricas a partir del núcleo óptico. En función de su composición, el cable será de interior, de exterior, para instalar en conductor, aéreo, etc.

2.4.2 Núcleo óptico y tipos de fibras.

2.4.2.1 Fibra óptica monomodo. Tiene un núcleo central, por donde sólo hay una trayectoria que puede seguir la luz para propagarse por el cable. Como los rayos que se propagan por la fibra toman aproximadamente la misma trayectoria, tardan aproximadamente el mismo tiempo para recorrer el cable. Por tanto, un pulso de luz que entra al cable se puede reproducir con mucha

exactitud en el extremo de recepción. Debido a esto se utilizan para aplicaciones de larga distancia (hasta 100 km) o gran ancho de banda. Se usan las siglas SM (Single Mode), seguida de la norma correspondiente (ver Tabla 2.7)

Figura 2.7. Modos de propagación en fibra óptica. (a) Multimodal de índice escalonado. (b) Multimodal de índice gradual. (c) Monomodo.

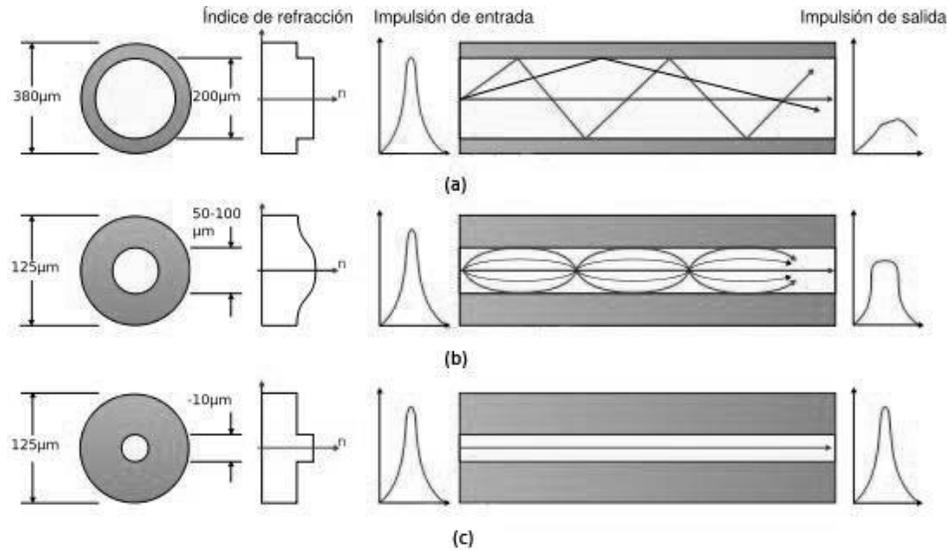


Tabla 2.7. Principales características de los tipos de fibra óptica monomodo comerciales.

TIPO DE FIBRA	Diámetro Campo Modal	Longitud de Onda	Atenuación
SM G652 B; SMG652D	9 -10 μm	1300nm	0.5dB/Km
SM G 655	7,5 μm	1550nm	0.35dB/Km

2.4.2.2 Fibra óptica multimodo. En este tipo de fibra, la señal se propaga reflejándose continuamente. Por tanto existen muchas trayectorias que puede seguir un rayo de luz al propagarse por la fibra. El resultado es que no todos los rayos de luz siguen la misma trayectoria, y en consecuencia, no tardan lo mismo para recorrer la longitud de la fibra. Por esto, existen grandes diferencias en sus tiempos de propagación, entonces los rayos que recorren esta clase de fibras tienden a extenderse y consecuencia existen una mayor distorsión.

Las fibras multimodo pueden ser de dos configuraciones: de índice escalonado cuando el índice de refracción es distinto entre fibra y revestimiento y de índice gradual, cuando el índice de refracción es variable y disminuye en forma gradual desde el centro hacia la orilla de la fibra. Se utilizan habitualmente en LANs, de vigilancia o seguridad. El nuevo estándar identifica a las fibras multimodo con las siglas MM (Multi-Mode) (ver Tabla 2.8),

Tabla 2.8. Principales Características Fibras Ópticas Multimodo comerciales.

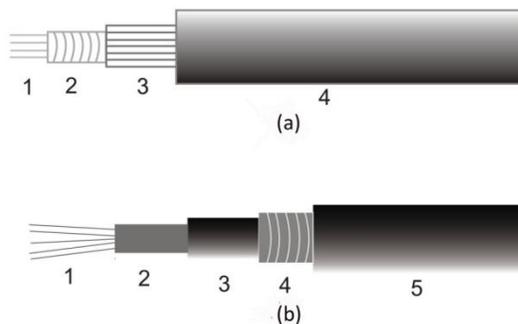
TIPO DE FIBRA	Diámetro del Núcleo	Longitud de Onda	Atenuación
EIA-492; ISO/IEC 793	62.5 μm	850/1300nm	3.2/0.8dB/km
MM G 651	50 μm	850/1550nm	3/0.82 dB/km

2.4.3 Tipos de construcciones.

2.4.3.1 Construcción ajustada. Consiste en dotar a cada fibra individualmente de una protección plástica directamente sobre ella, con un proceso de extrusión, hasta alcanzar un diámetro de 900 μm . Se sitúan hilaturas de Aramida o fibra de vidrio rodeando las fibras para conseguir la resistencia a la tracción necesaria (ver Figura 2.8 (a)). Con esta base se construye el cable. Su principal ventaja es una óptima protección anti-humedad y unas considerables flexibilidad y resistencia mecánica. Su principal inconveniente es la dificultad de elaborar cables de más de 24 fibras.

2.4.3.2 Construcción holgada. Las fibras individuales conservando su diámetro exterior de 250 μm son alojadas, en número hasta 24, en el interior de tubos plásticos conteniendo gel hidrófugo que actúa como protector anti-humedad. Los cables tipo – R cuentan con gel entre los diferentes tubos como protección suplementario. Este método permite la fabricación, utilizando estos tubos como elemento de base, de cable con gran número de fibras (monotubo hasta 24 fibras y multitubo en adelante, hasta 256 fibras ópticas) y diámetros exteriores relativamente reducidos. El núcleo óptico así construido, se complementa con un elemento para dotarlo de la resistencia a la tracción (varilla flexible metálica o dieléctrica como elemento central; o hilaturas de Aramida de vidrio situadas periféricamente) (ver Figura 2.8 (b)). Como inconvenientes, cabe señalar la posibilidad de desprotección frente a la humedad en tramos verticales, consecuencia de la fluidez del gel o la relativa fragilidad frente a una rotura a las fibras individuales.

Figura 2.8. Tipos de Construcciones de la fibra óptica. (a) Construcción Ajustada. 1 Bufer, 2. Recubrimiento, 3. Aramida, 4. Cubierta. (b) Construcción Holgada. 1. Tubos plásticos con fibra, 2. Elemento resistente periférico, 3. Cubierta Interior, 4. Armadura, 5. Cubierta exterior.



2.4.4 Elementos de protección.

2.4.4.1 Cubiertas. Son aquellas partes del cable que en contacto con su entorno, conforman una barrera frente a posibles agresiones de agentes externos. Construidas generalmente con diferentes materiales plásticos, toman la forma de cubierta única en los cables llamados de interior y de cubiertas interior (próxima al núcleo óptico) y exterior (en contacto con el medio) separadas por una armadura. Esta doble cubierta tiene como misión, mantener la protección del núcleo en el caso la destrucción de la primera; como puede suceder en el caso de ataque de roedores o punción accidental.

2.4.4.2 Las armaduras. Su misión, dentro del cable, consiste en proporcionar una protección suplementaria frente a determinadas agresiones, como puede ser el aplastamiento, los ataques de roedores, el fuego, etc. Consisten generalmente en elementos (varillas, hiladuras, trenzas o láminas) de acero o fibra de vidrio situada entre las dos cubiertas (si existen) o bajo la cubierta exterior en los cables de esta estructura. Las armaduras metálicas, quizás más eficaces como protección contra los roedores, presentan el inconveniente de suprimir una de las ventajas buscadas en un enlace de fibra óptica, su característica de enlace dieléctrico.

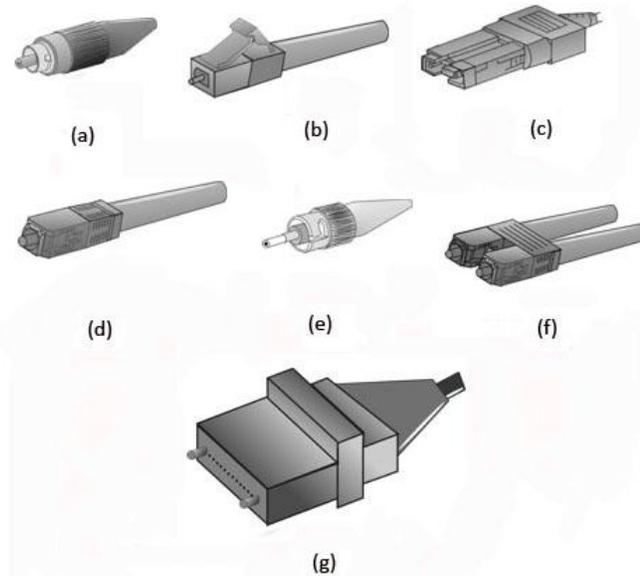
2.4.5 Componentes de la Fibra Óptica.

2.4.5.1 Tipos de conectores. Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya sea una estación o un elemento de interconexión de red (ver Figura 2.9). La Tabla 2.9 muestra las características principales de los conectores comerciales más usados en instalaciones de fibra óptica.

Tabla 2.9. Características de los tipos de conectores para fibra óptica.

Conector	Pérdidas de inserción	Repetitividad	Tipo de fibra	Aplicaciones
FC	0,50 - 1,00 dB	0,20 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos, Telecomunicaciones
FDDI	0,20 - 0,70 dB	0,20 dB	SM, MM	Redes de fibra óptica
LC	0,15 dB (SM), 0,10 dB (MM)	0,2 dB	SM, MM	Interconexiones de alta densidad
MT Array	0,30 - 1,00 dB	0,25 dB	SM, MM	Interconexiones de alta densidad
SC	0,20 - 0,45 dB	0,10 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos
SC Dúplex	0,20 - 0,45 dB	0,10 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos
ST	Típ. 0,40 dB (SM), Típ. 0,50 dB (MM)	Típ. 0,40 dB (SM), Típ. 0,20 dB (MM)	SM, MM	Edificios, Seguridad

Figura 2.9. Tipos de Conectores para instalaciones de fibra óptica. (a) FC, (b) LC, (c) FDDI , (d) SC, (e) ST, (f) SC-DUPLEX, (g) MT Array.



2.4.5.2 Emisores del haz de luz. Estos dispositivos se encargan de emitir el haz de luz que permite la transmisión de datos, estos emisores pueden ser de dos tipos:

- **LED.** Utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad es lenta, solo se puede usar en fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande, además de ser económicos. Sin embargo ha entrado en desuso por no producir un haz de luz coherente, lo que lo hace menos eficiente.
- **Laser.** Este tipo de emisor usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su uso es difícil, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los LEDs y también son mucho más costosos.

2.4.5.3 Conversores de luz a corriente. Este tipo de conversores convierten las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de onda de la señal moduladora.

Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductor P-N.

Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe de ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.
- Hay dos tipos de detectores los fotodiodos PIN y los de avalancha APD.

2.4.5.3.1 Detectores PIN. Su nombre viene de que se componen de una unión P-N y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (I), la cual mejora la eficacia del detector. Se utiliza principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.

2.4.5.3.2 Detectores APD. El mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón.

2.4.6 Interfaz de Datos Distribuida por Fibra (FDDI).

2.4.6.1 Definición. La Interfaz de Datos Distribuida por Fibra (**FDDI**, *Fiber Distributed Data Interface*) es un conjunto de estándares ISO y ANSI para la transmisión de datos en redes de computadoras de área extendida o local mediante cable de fibra óptica. Se basa en la arquitectura TokenRing y permite una comunicación tipo Full-Duplex. Dado que se puede abastecer a miles de usuarios, una red FDDI suele ser empleada como backbone para una WAN.

Se implementan normalmente mediante una topología física en estrella y lógica de anillo doble, cada uno transmitiendo en un sentido distinto, pero donde un anillo (back up) hace de respaldo al otro (anillo principal). Bajo las condiciones normales de funcionamiento, sólo el anillo primario conduce los datos y el secundario se usa como reserva, y sólo entra a operar si falla el primario.

Además, acepta la asignación en tiempo real del ancho de banda de la red, mediante la definición de tráfico síncrono, que puede consumir una porción del ancho de banda total de 100 Mbps de una red FDDI, mientras el tráfico asíncrono puede consumir el resto. En tanto, el tráfico asíncrono se asigna utilizando un esquema de prioridad de ocho niveles, a cada estación se asigna un nivel de prioridad asíncrono. El ancho de banda síncrono se asigna a las estaciones que requieren una capacidad de transmisión continua. Esto resulta útil para transmitir información de voz y video. El ancho de banda restante se utiliza para transmisiones asíncronas.

La FDDI, no es una norma IEEE, sin embargo, admite protocolos IEEE 802.2 de control de enlace lógico, y permite tener una interoperabilidad transparente de la capa tercera a séptima, con los protocolos que se apegan a la IEEE. Como en la norma IEEE 802 la FDDI usa un paso de testigo como método de acceso. Sin embargo, hay diferencias entre las dos técnicas, puesto que el FDDI aprovecha la ventaja del anillo doble de alta velocidad, para maximizar la eficiencia.

2.4.6.2 Dispositivos de una red FDDI. Las redes LAN con FDDI pueden soportar hasta 500 nodos separados por 2 Km, y todo el medio puede abarcar una distancia total de hasta 200 Km, si se usan repetidores al menos cada 2 Km.

Se distinguen en una red FDDI dos tipos de estaciones: las estaciones Clase B, o Estaciones de Conexión Simple (**SAS**, *Simple Attachment Station*), se conectan a un anillo, mientras las de Clase A, o Estaciones de Doble Conexión (**DAS**, *Dual Attachment Station*), se conectan a ambos anillos (ver Figura 2.10).

Las SAS se conectan al anillo primario a través de un concentrador que suministra conexiones para varias SAS. El concentrador garantiza que si se produce una falla o interrupción en el suministro de alimentación en algún SAS determinado, el anillo no se interrumpa. Esto es particularmente útil cuando se conectan al anillo dispositivos que se encienden y se apagan con frecuencia. Las estaciones de conexión simple no pueden usarse como respaldo el anillo secundario, si falla el primario. Así, si se interrumpe la conexión entre el concentrador y el anillo primario, todas las estaciones de conexión única se desconectan de la red. Las estaciones DAS, deben tener dos transmisores ópticos y dos receptores de ópticos, por lo cual es obvio que sean más costosas. En consecuencia muchas redes FDDI sólo tienen conexión dual los nodos más críticos, como el servidor de red, por ejemplo.

2.4.6.3 Características. La red FDDI tiene un ciclo de reloj de 125Mhz y utiliza un esquema de codificación 4B/5B²¹ que le permite al usuario obtener una velocidad máxima de transmisión de datos de 100 Mbps. La tasa de bits que la red es capaz de soportar efectivamente puede superar el 95% de la velocidad de transmisión máxima. Con FDDI es posible transmitir una trama de red, o diversas tramas de tamaño variable de hasta 4500 bytes durante el mismo acceso. El tamaño de trama máximo de 4500 bytes está determinado por la técnica de codificación 4B/5B de FDDI.

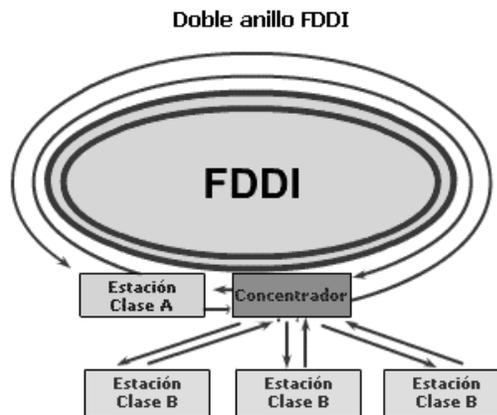
Las especificaciones de FDDI permiten que existan un máximo de 500 estaciones FDDI (conexiones físicas) directamente sobre cada anillo paralelo. Las estaciones FDDI utilizan una dirección de 45 bytes.

²¹ Es una codificación donde 4 bits se codifican como 5 para evitar que se transmitan más de tres ceros seguidos. Entonces 16 combinaciones son para datos y las restantes para control.

El cable de fibra multimodo con un diámetro exterior del núcleo de 62.5 μm y un diámetro exterior del revestimiento de 125 μm (62.5/125) es el tipo de medio con el que empezó a operar la red FDDI. Esto se debe a que el estándar FDDI especifica las características de estación a estación y de cable de planta sobre la base del cable MM 62.5/125 para proporcionar un puerto de referencia común que permite verificar si existe conformidad.

Las empresas que producen y diseñan estos productos como AT&T, DEC, etc., recomiendan la fibra 62.5/125. También cabe la posibilidad de utilizar otros tipos de cables de fibra óptica incluidos 100/140, 82.5/128 y 50/125. Existe una cantidad importante de fibra oscura²² 50/125 que ya se encuentra instalada en numerosas zonas. Este tipo de fibra es muy común en Europa y el lejano Oriente, especialmente en Japón.

Figura 2.10. Esquema principal de una red FDDI.



2.4.7 Redes híbridas de fibra óptica – coaxial.

2.4.7.1 Definición. Las Redes Híbridas de Fibra Óptica – Coaxial (**HFC**, *Hybrid Fiber Optic – Coaxial*) nacen de la necesidad de ofrecer mayores y mejores servicios que las redes basadas solamente, en cable coaxial. Se reemplaza entonces, parte de la red Coaxial con Fibra Óptica consiguiendo un mayor alcance y una mayor capacidad de transmisión.

Las redes HFC soportan los servicios de televisión analógica y digital, internet banda ancha, transmisión de datos, telefonía y video bajo demanda, entre otros.

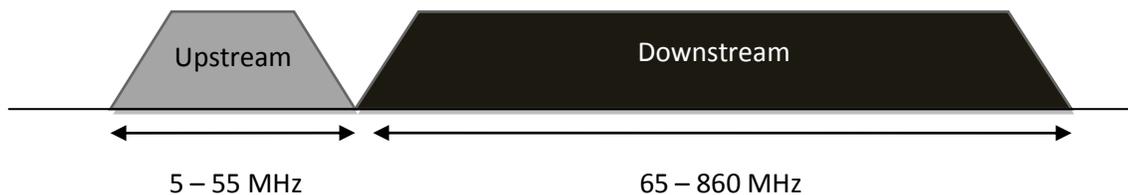
2.4.7.2 Estándares para redes HFC. Inicialmente las soluciones eran propietarias de los fabricantes, por lo que no había una manera de interoperabilidad, posteriormente frente a la

²² Se conoce como 'fibra oscura' a aquellas infraestructuras de fibra óptica que, instaladas por las compañías eléctricas o de agua por ejemplo, están actualmente sin utilizar.

necesidad de estandarizar tecnologías para abaratar costos, operadores y fabricantes crean Cable Labs, como un ente de regulación y desarrollo de estándares en este campo.

La Especificación de la Interfaz de Sistema de Datos sobre Cable (**DOCSIS**, *Data Over Cable System Interface Specification*) es un estándar creado por Cable Labs, en 1998, que permite introducir un sistema de datos sobre cable abierto que facilite la rápida definición, diseño, desarrollo e implementación de servicios. Este estándar es el más difundido a nivel Mundial para redes de HFC. En forma general, DOCSIS establece que los diferentes servicios se encuentran multiplexados en frecuencia, tanto en el sentido red – usuario (canal descendente o downstream) como en el sentido usuario – red (canal de retorno o upstream). La Figura 2.11 muestra la distribución del espectro de frecuencias para el estándar DOCSIS.

Figura 2.11. Distribución del espectro de frecuencias según el estándar DOCSIS para redes HFC.



2.4.7.3 Topología de una red HFC. La Figura 2.12 muestra un esquema general de la arquitectura de una red HFC que la componen tres secciones principales: la red troncal principal de fibra, la red de distribución de cable coaxial y la red interna del cliente.

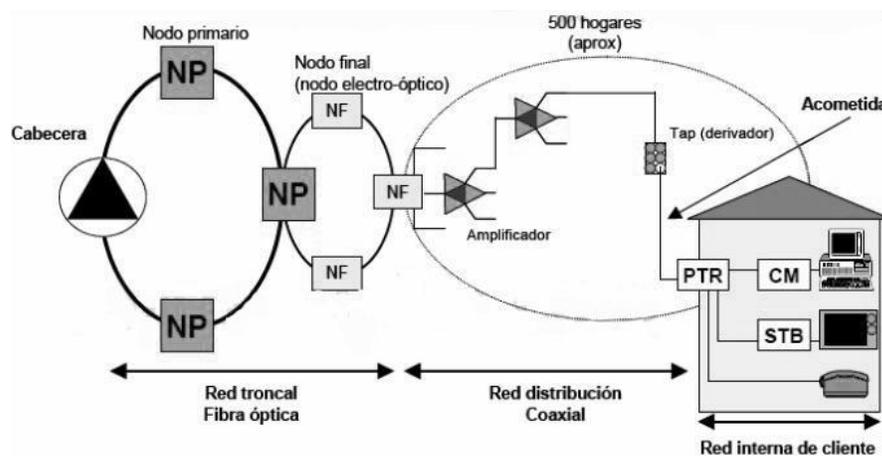
La cabecera se refiere al sistema de recepción y transmisión principal donde confluye el servicio que se desea prestar a la red (antenas, receptores satelitales, receptores de canales terrestres, transmisor y receptor de datos, transmisor y receptor de fibra óptica, entre otros).

El nodo primario (**NP**) consiste en la caja de empalmes de la fibra óptica, que permite encaminar las señales hacia los nodos ópticos finales. Se encuentran unidos entre sí por la fibra óptica troncal, formando un anillo redundante. Típicamente concentra los enlaces de 4 nodos finales, es decir 16 terminales de un anillo formado por un cable de fibra óptica de 8 hilos. Los nodos finales (**NF**) ó nodos ópticos terminales, son encargados de dar servicios a áreas de aproximadamente 500 usuarios. Recibe la señal descendente (Downstream) del NP, para realizar conversión Óptico – Eléctrica, amplificarse y reenviarla por la red de distribución coaxial. También, recibe la señal Ascendente (Upstream) de los equipos de abonado, las combina y realiza la conversión Eléctrico/Óptico para su remisión hacia el nodo primario. Típicamente posee 4 salidas en RF, que alimentan la red de Distribución Coaxial con un máximo de 2 amplificadores en cascada (Aproximadamente 125 usuarios por ramal).

La acometida comprende el tramo entre el Multitap y el Punto de Terminación de Red (**PTR**). Del PTR se distribuyen las señales hacia el cable modem (**CM**), decodificador de TV (**STB, Set Top Box**) y otros equipos de usuario.

2.4.7.4 Migración a redes HFC. La migración básicamente consiste en reemplazar la red Troncal Coaxial por una Red Troncal de Fibra Óptica. Implica mejorar las características de ancho de banda de la red de distribución hasta 860MHz/16GHz sustituyendo el cable RG11 por cable .500 o mejor y adaptar la red de distribución a máximo tres amplificadores en cascada.

Figura 2.12. Esquema general de una Red HFC.



2.4.8 Estándares Ethernet para fibra óptica. Ethernet 10Base-F utiliza fibra óptica como medio y pulsos de luz en vez de señales de corriente eléctrica. Un sistema Ethernet de fibra óptica es generalmente implementado como un segmento de enlace. Existen dos especificaciones de fibra óptica comúnmente usadas, el FOIRL y 10Base-FL.

La especificación FOIRL tiene como propósito, proveer un enlace entre dos repetidores que pudieran estar separados por una distancia de hasta 1 Km. Con el tiempo, varios vendedores adoptaron FOIRL para enlazar dispositivos de red directamente a puertos de fibra óptica en los concentradores y repetidores. En tanto 10Base-F es una actualización del conjunto de estándares para Ethernet en fibra óptica. Estos estándares permiten conexiones de fibra óptica entre dispositivos de red y repetidores.

2.4.8.1 Estándar 10Base-FL. También conocido como Enlace de Fibra Óptica Ethernet (Fiber Link Ethernet), reemplaza a FOIRL y está diseñada para inter-operar con el equipamiento FOIRL existente. Un segmento 10Base-FL puede ser utilizado entre dos dispositivos de red, dos repetidores, o entre un repetidor y un dispositivo de red. Si sólo se utilizan componentes 10Base-FL, un segmento de red puede tener una longitud de hasta 2 Km. Si los componentes 10Base-FL se

mezclan con componentes FOIRL, la longitud máxima de un segmento continua siendo la máxima para un segmento FOIRL, es decir 1000 metros. Esta tecnología se ha constituido como una de las de mayor aceptación e implementación.

2.4.8.2 Estándar 10Base-FB. La especificación 10Base-FB describe un segmento troncal o backbone de fibra óptica. 10Base-FB incrementa el número total de repetidores que pueden ser utilizados en un solo dominio de colisiones de Ethernet a 10 Mb/s. Los enlaces 10Base-FB son típicamente utilizados para interconectar repetidores en un sistema backbone de cadena tipo margarita que puede extenderse por largas distancias. Los enlaces individuales en la cadena pueden ser de hasta 2 km de longitud.

2.4.8.3 Estándar 10Base-FP. También conocido como sistema de fibra pasivo, 10Base-FP provee especificaciones para enlaces entre múltiples dispositivos sobre un canal de transmisión de fibra óptica sin la utilización de repetidores activos (con energía). Un segmento de 10Base-FP puede tener una longitud de hasta 500 metros y un solo Acoplador en Estrella (Star Coupler²³) puede enlazar hasta 33 dispositivos.

2.4.8.4 Estándares 100 Base-X. El estándar 100Base-X engloba a 100 Base-TX y 100Base-X. Ambos utilizan los estándares para medios físicos desarrollados por ANSI para FDDI. El estándar X combina los estándares Ethernet y FDDI. Utiliza el método de control de acceso al medio CSMA/CD de Ethernet y el tipo de transceptor de FDDI.

100Base-X contiene dos tipos de transceptores, par trenzado de cobre y fibra óptica multimodo. El Tipo de segmento TX opera sobre dos pares de par trenzado de grado para datos, es decir UTP categoría 5 o superior o STP-A 150 W. El tipo de segmento FX opera sobre dos fibras ópticas multimodo 62.5/125 µm. La técnica de señalamiento en 100Base-X transmite datos sobre dos vías de señales, una en cada dirección. Cada vía de señales provee una tasa transferencia de datos completa de 100Mb/s. La arquitectura 100Base-X preserva la naturaleza Full-Duplex del canal de comunicación subyacente. Cualquier transceptor 100Base-X puede ser usado para transmisiones Full-Duplex.

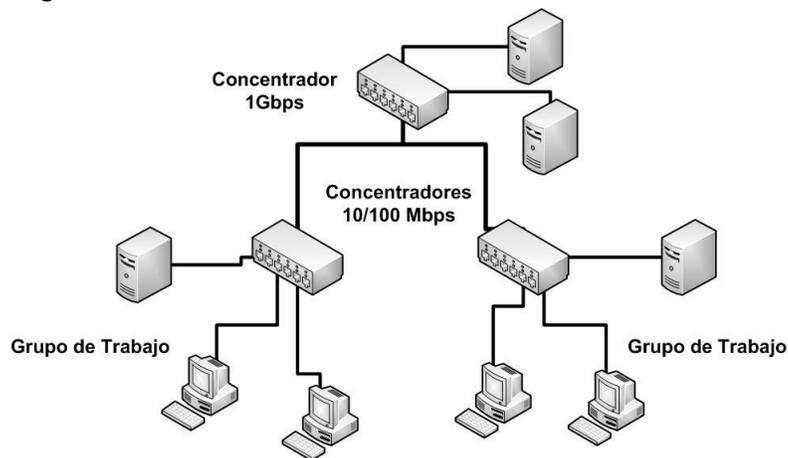
2.4.8.5 Gigabit Ethernet. Este estándar es compatible completamente con las instalaciones existentes de redes Ethernet. Reteniendo el mismo método de acceso CSMA/CD, soportará modos de operaciones como Full-Duplex y Half-Duplex. Gigabit Ethernet es aceptada para ser empleada como Backbone en redes existentes. Estas pueden ser usadas para agregar tráfico entre clientes, interconectando switches Fast Ethernet, estos pueden ser usados para interconectar estaciones de trabajo y servidores de aplicaciones de alto ancho de banda. La Figura 2.13,

²³ Coupler se refiere a componente óptico pasivo para transmitir luz entre la fuente lumínica y el conductor de fibras ópticas o entre varios de ellos. Posibilitan la configuración de redes con varios emisores y receptores.

muestra un ejemplo de una red con configuración Gigabit Ethernet y equipos Fast Ethernet. La familia de estándares Gigabit Ethernet que usan fibra óptica como medio de transmisión, la componen las normas 1000Base-SX, 1000Base-LX, 1000Base-CX Y 1000Base-T. Redes 10/100 Base-T se pueden unir bajo este estándar.

- **1000Base-SX.** El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000 Mbps (1 Gbps) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.
- **1000Base-LX.** El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000 Mbps (1Gbps) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm or 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.
- **1000Base-CX.** El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000 Mbps (1 Gbps) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m.

Figura 2.13. Red Gigabit Ethernet.

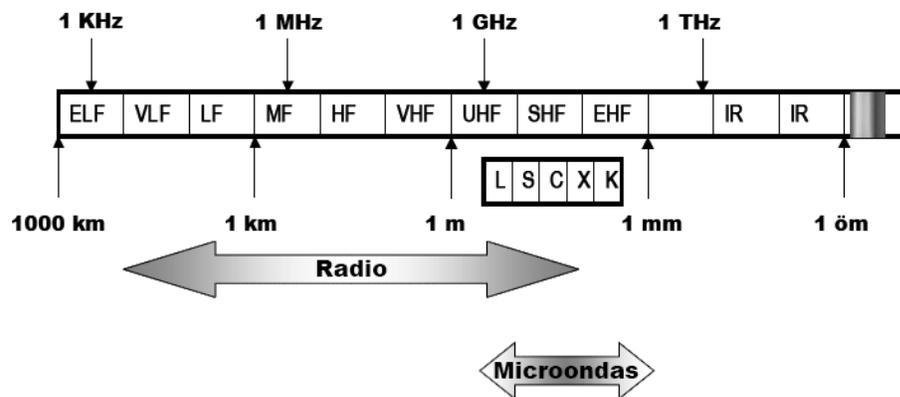


3. ENLACE DE REDES DE DATOS POR MEDIOS NO GUIADOS

3.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. El conjunto de todas las frecuencias se denomina espectro, mostrado en la Figura 3.1.

Figura 3.1. El espectro electromagnético.



Es necesario entender cómo se divide el espectro. Las ondas se clasifican por bandas. Las denominaciones de las bandas de frecuencia se pueden realizar por décadas, como por ejemplo MF, HF, VHF, UHF. En la Tabla 3.1 se observa las distintas bandas con sus respectivas frecuencias y longitudes de onda que abarcan.

Tabla 3.1. Nomenclatura de frecuencias y de longitudes de onda de radiofrecuencia.

BANDA	DENOMINACIÓN	FREC. MINIMA	FREC. MAXIMA	λ MAXIMA	λ MINIMA
ELF	Extremely Low Frequency	-	3 KHz	-	100 Km
VLF	Very Low Frequency	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km
LF	Low Frequency	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km
MF	Medium Frequency	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m
HF	High Frequency	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
VHF	Very High Frequency	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
SHF	Super High Frequency	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
EHF	Extremely High Frequency	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

En Televisión y FM se utilizan otras denominaciones como Banda I, Banda II, Banda III, IV y V. estas bandas se encuentra ubicadas sobre VHF y UHF como lo muestra la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Bandas usadas para radio y televisión.

BANDA	FREC. MÍNIMA	FREC. MÁXIMA	CANALES
I	47 MHz	68 MHz	2,3,4 VHF
II	88 MHz	198 MHz	FM
III	174 MHz	230 MHz	5 AL 12 VHF
IV	470 MHz	606 MHz	21 AL 37 UHF
V	606 MHz	862 MHz	38 AL 69 UHF

A frecuencias de microondas se utilizan otras denominaciones como se observa en la Tabla 3.3, denominaciones como bandas L, C, S, X, que provienen de los inicios del radar.

Tabla 3.3. Clasificación de las frecuencias de microondas.

BANDA	FREC. MÍNIMA	FREC. MÁXIMA	λ MAXIMA	λ MINIMA
L	1 GHz	2 GHz	30 cm	15 cm
S	2 GHz	4 GHz	15 cm	7,5 cm
C	4 GHz	8 GHz	7,5 cm	3,75 cm
X	8 GHz	12,4 GHz	3,75 cm	2,42 cm
Ku	12.4 GHz	18 GHz	2,42 cm	1,66 cm
K	18 GHz	26,5 GHz	1,66 cm	11,1 mm
Ka	26.5 GHz	40 GHz	11,1 mm	7,5 mm
mm	40 GHz	300 GHz	7,5 mm	1 mm

A frecuencias superiores se encuentra con la parte del espectro electromagnético correspondientes al infrarrojo, visible y ultravioleta, referidas en la Tabla 3.4. A frecuencias superiores está los rayos X y los rayos Gamma, de energía mayor y longitudes de onda más reducidas.

Tabla 3.4. Parte del espectro electromagnético, superior a 300 GHz.

BANDA	DENOMINACIÓN	FREC. MÍNIMA	FREC. MÁXIMA	λ MAXIMA	λ MINIMA
	Región submilimétrica	300 GHz	800 GHz	1 mm	0,4 mm
IR	Infrarrojo	800 GHz	400 THz	0,4 mm	0,8 μ m
V	Visible	400 THz	750 THz	0,8 μ m	400 μ m
UV	Ultra Violeta	750 THz	10000 THz	400 μ m	12 nm

3.1.1 Propagación en función de la gama de frecuencia.

3.1.1.1 Ondas kilométricas. Tienen una propagación a muy a baja altitud, por onda de suelo. Por la gran longitud de onda permite el rodeo de los obstáculos, lo que permite que el nivel de la señal recibida sea muy estable. Este nivel disminuye tanto más rápidamente cuanto más se eleve la frecuencia. Las ondas de frecuencia muy baja penetran un poco bajo la superficie del suelo o el mar, lo que permite comunicar con submarinos en inmersión. Aplicaciones corrientes: radiodifusión sobre grandes ondas, difusión de las señales horarias (relojes de radio-controladores). La potencia de estos emisores es enorme: a menudo varios megavatios para obtener un alcance que puede llegar hasta 1000 Km.

3.1.1.2 Ondas hectométricas. Las estaciones de radiodifusión sobre la banda de las Pequeñas Ondas (entre 600 y 1500 KHz) tienen potencias que pueden llegar hasta varios centenares de kilovatios. Apenas utilizan la onda de suelo para cubrir una zona que no sobrepasa una región pero se benefician después de la puesta del sol de los fenómenos de propagación ionosférica

3.1.1.3 Ondas decamétricas. Las ondas cortas, bien conocidas por los radioaficionados, permiten conexiones intercontinentales con potencias de algunos milivatios si la propagación ionosférica lo permite ya que la onda de suelo sobre 2 ó 3 MHz apenas lleva más allá de algunas decenas de kilómetros. Entre 1 y 30 MHz, la reflexión de las ondas sobre las capas de la ionosfera permite liberarse del problema del horizonte óptico y obtener con un único salto un alcance de varios millares de kilómetros.

Pero estos resultados son muy variables y dependen de los métodos de propagación, el ciclo solar, la hora del día o la temporada. Las ondas decamétricas cedieron el paso a los satélites aunque los cálculos de previsión de propagación permitieran predecir con una buena fiabilidad las horas de apertura, las frecuencias máximas utilizables y el nivel de la señal que se recibirá.

3.1.1.4 Ondas métricas. Las ondas métricas corresponden a frecuencias incluidas entre 30 y 300 MHz que incluye la banda de radiodifusión FM, las transmisiones VHF de los aviones, la banda radioaficionado de los 2 metros, 6 metros, etc. Se propagan principalmente en línea recta pero consiguen pasar los obstáculos de dimensiones que no superan algunos metros. Se reflejan sobre las paredes, rocas, vehículos y excepcionalmente sobre nubes ionizadas situadas en la capa E, hacia 90 Km de altitud lo que permite conexiones por más 1000 Km. En tiempo normal, el alcance de una emisora de 10 vatios en una antena omnidireccional es de algunas decenas de kilómetros pero sucede también que el índice de refracción para estas frecuencias haga curvarse hacia el suelo una onda que se habría perdido en el espacio. Son entonces posibles las conexiones con algunos centenares de kilómetros.

3.1.1.5 Ondas decimétricas e hiperfrecuencias. Mientras más aumenta su frecuencia, el comportamiento de esta onda se asemeja al de un rayo luminoso. Los haces hertzianos permiten conexiones a la vista, pero por todo el tiempo y con producciones de información de los mil millones de vez más elevado. Ningún obstáculo de tamaño superior a algunos decímetros debe encontrarse sobre el trayecto del haz.

Estas ondas se reflejan fácilmente sobre obstáculos de algunos metros de dimensión; este fenómeno es explotado por los radares, incluidos los utilizados en los bordes de las carreteras. Y gracias a los reflejos sobre los edificios es posible utilizar un teléfono portátil sin estar en vista directa con la antena de enlace, pero las interferencias entre ondas reflejadas dificultan la comunicación, obligando al usuario a cambiar de lugar o a desplazarse simplemente de algunos metros. Sobre 10 GHz con una potencia de algunos vatios y antenas parabólicas de menos de un metro de diámetro, es posible efectuar conexiones a varios centenares de kilómetros de distancia sirviéndose una elevada montaña como reflector. Arriba de 10 GHz, el fenómeno de difusión puede manifestarse sobre nubes de lluvia, permitiendo a la onda alcanzar lugares situados más allá del horizonte óptico.

3.1.2 La radiofrecuencia (RF). Cuando se piensa en RF (10 KHz – 300 GHz), la primera aplicación, es la comunicación inalámbrica, lo que hoy en día se conoce como *Wireless*.

La RF se refiere al campo electromagnético que se genera que cuando una corriente alterna entra a una antena. Este campo, también llamado un campo de RF o una onda de radio, se puede utilizar para la difusión y las comunicaciones sin hilos sobre una porción significativa del espectro de la radiación electromagnética, que está cerca de 10 KHz hasta los millares del Gigahertz. Mientras que la frecuencia se aumenta más allá del espectro del RF, la energía electromagnética toma la forma de luz infrarroja (**IR**), visible, de ultravioleta (**UV**), de rayos de X, y de rayos Gamas.

Internacionalmente, el espectro del RF es asignado por la Unión de Telecomunicación Internacional (**ITU**, *International Telecommunication Union*) a las varias clases del servicio según diversas regiones del mundo.

La técnica de la radiocomunicación consiste en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética soporte, llamada portadora. Esta onda modulada se envía al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento con el medio, denominado antena. Cuando la onda transmitida alcanza el punto o puntos de destino, accede al sistema receptor por medio de una antena de recepción, que capta una fracción de la energía. El alcance útil o cobertura de una emisión radioeléctrica depende del tipo e intensidad de las perturbaciones

Las antenas vienen en una gran variedad de formas y tamaños, y diseñadas para trabajar a determinadas frecuencias. Cada una de ellas tiene características particulares, por lo tanto podría decirse que existe una antena especial para cada situación. En general, *la selección de la antena es una de las consideraciones más importantes cuando se diseña un sistema de comunicaciones inalámbrico.*

La antena ideal es conocida como el radiador isotropico (Omnidireccional), su principal característica es que puede generar una esfera perfecta de energía a su alrededor con la misma intensidad en todas direcciones. Su concepto existe en la teoría pero no en la realidad, la analogía más cercana a este tipo de radiador sería el sol.

En la práctica, la antena real más simple es el dipolo elemental, que consiste en dos piezas iguales de cable cuya longitud depende de la frecuencia de resonancia. El patrón de radiación generado por un dipolo se asemeja mucho a una rosquilla, y debido a esto, al emitir la misma cantidad de energía que una antena isotrópica, la potencia promedio será 2.1 dB mayor, por el simple hecho de que tiene menos superficie que una esfera. Esto da como resultado que la antena se comporte como un amplificador, presentando una cierta ganancia. De este fenómeno se derivan dos términos muy utilizados en radiofrecuencia para especificar la ganancia de una antena, que son dBi y dBd. Dichos términos, se definen como la ganancia en dB con respecto al radiador isotropico (dBi) y la ganancia en dB con respecto al dipolo (dBd) (debido a que un dipolo tiene 2,1 dBi y 0 dBi de ganancia), es crucial conocer cuál de las dos referencias es utilizada por el fabricante de las antenas, pues esto tendrá efecto cuando se realicen los cálculos de potencia y pérdidas del enlace.

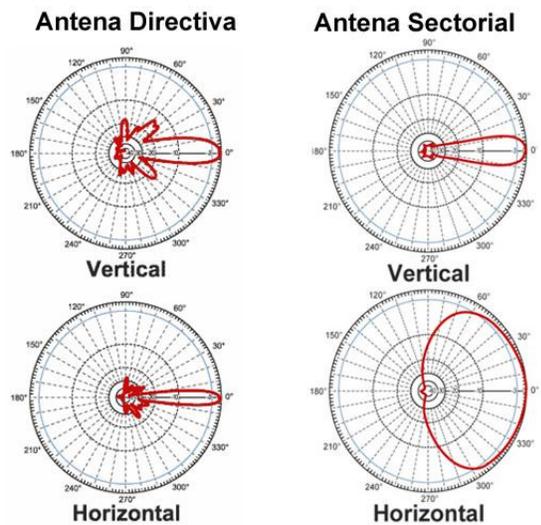
Por su patrón de radiación, los dipolos y las antenas isotrópicas son comúnmente llamadas *omnidireccionales*, esto significa que generan un campo de 360° a su alrededor. Sin embargo, existe un tipo de antena que está diseñada de tal forma que es capaz de concentrar la radiación en un sentido determinado, formando un patrón de radiación similar a un cono, esta antena se conoce como direccional

Debe tenerse en cuenta que las antenas tienen patrones de radiación definidos en dos planos: horizontal y vertical. Debido a que el patrón horizontal se considera *omnidireccional*, la manera en que los diseñadores logran obtener mayores ganancias, es reduciendo el tamaño vertical del lóbulo principal de la antena, el cual es utilizado como referencia para definir su ganancia. El lóbulo principal está caracterizado por los puntos de potencia mitad, que son los puntos por encima y por debajo del centro del haz principal, en donde la potencia cae en 3 dB. En antenas muy directivas dicho lóbulo puede ser reducido a menos de 10 grados, lo cual puede convertirse en un problema, pues, si la antena está ubicada a una altitud considerable sobre el área de cobertura, hay una gran posibilidad de que gran parte de la ganancia sea desperdiciada, pues, el lóbulo principal estará apuntando hacia el horizonte, y no a los receptores que se encuentran a nivel de la tierra. Por lo tanto, un parámetro muy importante a tener en cuenta en el diseño es lo

que se conoce como *electrical downtilt*, el cual hace referencia al grado de inclinación al que deben ser sometidas las antenas, con el objeto de que la energía se concentre en el área de cobertura deseada.

Las antenas direccionales están disponibles en diferentes patrones, cada uno apropiado para una situación específica, las configuraciones más comunes son de 120°, 90°, 45° y 30°. Este tipo de antena es muy útil para proporcionar una cobertura controlada a un área específica, algunas están hechas con reflectores parabólicos que permiten concentrar la energía en un haz que puede ser tan estrecho como 2°, siendo ideales para enlaces punto a punto de grandes distancias. Las antenas de 120° y 90° también conocidas como sectoriales, son especiales para la realización de celdas que brinden servicio a zonas determinadas, minimizando la pérdida de energía y aumentando la eficiencia del sistema. Un ejemplo de estos patrones de radiación puede verse en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Patrón de radiación de una antena direccional de 8° y 24 dBi, y una antena sectorial de 120° y 14 dBi.



Existen dos técnicas para distribuir la señal convencional en un espectro de propagación equivalente.

- **La secuencia directa.** En este método el flujo de bits de entrada se multiplica por una señal de frecuencia mayor, basada en una función de propagación determinada. El flujo de datos original puede ser entonces recobrado en el extremo receptor correlacionándolo con la función de propagación conocida. Este método requiere un procesador de señal digital para correlacionar la señal de entrada.

- **El salto de frecuencia.** Este método es una técnica en la cual los dispositivos receptores y emisores se mueven sincrónicamente en un patrón determinado de una frecuencia a otra, brincando ambos al mismo tiempo y en la misma frecuencia predeterminada. Como en el método de secuencia directa, los datos deben ser reconstruidos en base del patrón de salto de frecuencia. Este método es viable para las redes inalámbricas, pero la asignación actual de las bandas Industrial, Científico y Médico (**ISM, Industrial, Scientific and Medical**) no es adecuada, debido a la competencia con otros dispositivos, como por ejemplo la banda de 2.4 que es utilizada por hornos de Microondas.

3.2 NORMATIVIDAD DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA

Desde un comienzo la Constitución Política establece en su Artículo 75 que el “**Espectro Electromagnético**” es de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, cuya gestión²⁴, administración y control corresponden al Ministerio de Comunicaciones, el cual ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de todos los servicios del sector, garantizando la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Entre otras facultades del Ministerio están:

- La fijación del cuadro de frecuencias.
- La asignación y verificación de frecuencias.
- El otorgamiento de permisos para su utilización.
- La protección y defensa del espectro radioeléctrico.
- La comprobación técnica de emisiones radioeléctricas.
- El establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico.
- La detección de irregularidades y perturbaciones.

²⁴ Es la combinación de los procedimientos jurídicos, económicos, científicos, administrativos y técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento del número máximo factible de canales radioeléctricos por las estaciones de distintos servicios de radiocomunicaciones, en una parte dada del espectro de frecuencias radioeléctricas en cualquier momento dado, sin producir ni recibir interferencia perjudicial.

- La adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.

Es entonces en 1990, bajo el Decreto 1900, por el cual se reforman las normas y estatutos que regulan las actividades y servicios de telecomunicaciones y afines. En el artículo 20 del anterior decreto establece que el uso de frecuencias radioeléctricas requiere de permiso previo otorgado por el Ministerio de Comunicaciones y dará lugar al pago de los derechos que correspondan; estos valores están estipulados actualmente en el Decreto número 1972 del 2003, que mas adelante será analizado en la parte de contraprestaciones.

Con el fin de dar un uso racional y eficaz del espectro radioeléctrico, fue necesario contar con un **Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias**, de tal forma que los diversos servicios de telecomunicaciones del país, operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, a fin de asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias y permitir la coexistencia de servicios dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea del caso. Este cuadro es actualizado cada 3 años con el fin de mantener renovada la información de asignación de frecuencias y llevar mejor control, actualmente se cuenta con la actualización del 2007²⁵.

3.2.1 Frecuencias libres. Los estudios adelantados por el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL, determino que en razón de los adelantos tecnológicos se hace necesario designar y atribuir unas frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas para su uso libre por parte del público en general. Esto como una herramienta para la optimización del espectro radioeléctrico, en razón a la ocupación del mismo y a la demanda creciente de servicios y actividades de telecomunicaciones en los países americanos.

Cuando se habla de “uso libre del espectro” se refiere al uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones. Estas frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas, podrán ser utilizadas libremente por el público en general, en aplicaciones de: telemetría, telecomando, telealarmas, telecontrol vehicular, dispositivos de operación momentánea, microfonía inalámbrica y transreceptores de voz y datos, y radios portátiles de operación itinerante, que posean bajos niveles de potencia o de intensidad de campo, siguiendo unas características técnicas particulares.

Colombia en su Decreto 1705 de 1999 determina que el uso del espectro radioeléctrico para ISM y dispositivos electrónicos que por su baja potencia y corto alcance cuya instalación y operación

²⁵ El Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias vigente puede ser descargado de la página Web del Ministerio de Comunicaciones www.mincomunicaciones.gov.co.

sean autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones en las bandas y frecuencias atribuidas nacionalmente para el efecto, es libre. En ese momento y bajo Resolución número 797 del 2001, se atribuyen unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, estas son:

- Frecuencias y bandas de frecuencias para aplicaciones de telemetría y telecontrol con bajos niveles de potencia o de intensidad de campo.
- Bandas de frecuencias para dispositivos de operación momentánea.
- Bandas de frecuencias superiores a 1000 MHz prohibidas para dispositivos de operación momentánea.
- Frecuencias y bandas de frecuencias para la transmisión de voz con bajos niveles de potencia o de intensidad de campo.
- Frecuencias para aplicaciones de telemetría, telealarmas y telecontrol vehicular con bajos niveles de potencia o de intensidad de campo.
- Frecuencias radioeléctricas para radios portátiles de operación itinerante.
- Banda de frecuencias radioeléctricas para aparatos transreceptores con bajos niveles de potencia o de intensidad de campo.

Considerando la Resolución 797 del 2001 y el reconocimiento de que las bandas comprendidas entre 5,15 - 5,25 GHz, 5,25 - 5,30 GHz y 5,725 - 5,825 GHz se han desarrollado tecnologías inalámbricas de baja potencia y corto alcance, que se conocen en el mundo como Red Radio de Área Local de Alto Desempeño (**HiperLAN**, *High Performance Radio Local Area Network*) o Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia (**U-NII**, *Unlicensed National Information Infrastructure*) y que contribuyen al desarrollo de diferentes aplicaciones y usos de telecomunicación de beneficio general, ya que facilitan la incorporación de redes de banda ancha al interior de entidades públicas y privadas. En consecuencia, surge la Resolución número 689 del 2004 que tiene por objeto atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esa resolución. La utilización del espectro radioeléctrico en estas bandas de frecuencias, no requiere de habilitación, sin embargo existe obligatoriedad de obtener la concesión respectiva cuando con este espectro radioeléctrico se pretenda prestar servicios de telecomunicaciones a terceros.

Se atribuyen dentro del territorio nacional, los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas, para su libre utilización por los sistemas antes mencionados:

- Banda de 902 a 928 MHz
- Banda de 2400 a 2483,5 MHz
- Banda de 5150 a 5250 MHz
- Banda de 5250 a 5350 MHz
- Banda de 5470 a 5725 MHz
- Banda de 5725 a 5850 MHz

En el Artículo 6 de la Resolución 689, esta detallado cada una de las condiciones operativas que se debe cumplir para hacer libre uso de estas frecuencias.

Un análisis de estas condiciones determina que se tiene que establecer la separación entre las frecuencias portadores a partir del ancho de banda del canal para los sistemas de salto de frecuencia, además, los saltos a los canales deberá tener una determinada cantidad de frecuencias de salto que deben seguir a partir de una lista, de una manera ordenada pseudo-aleatoria y cumplir un tiempo exacto de ocupación de esa frecuencia. Otro punto clave que condiciona el uso de estas bandas, es la potencia de salida máxima del transmisor, que se encuentra comprendida entre 0.125 vatios y 1 vatio y no debe ser excedida.

En este decreto, se establece que la utilización de antenas omnidireccionales solo será permitida en sistemas inalámbricos cuya potencia radiada sea menor o igual a 100 mVatios. También se determina la ganancia que deberá tener la antena de trasmisión en operaciones fijas PTP. Sin embargo existen internacionalmente múltiples y diversos aparatos y dispositivos inalámbricos de banda ancha y baja potencia que utilizan antenas omnidireccionales con potencias iguales o algo superiores a los 100 mVatios, lo que en consecuencia bajo Resolución 1689 de 2007 se hace la respectiva derogación de este artículo.

3.2.2 Espectro ensanchado. Los sistemas que utilizan la tecnología de espectro ensanchado (SPREAD SPECTRUM), son sistemas de banda ancha, caracterizándose por transmisiones de baja densidad de potencia, que minimizan la posibilidad de interferencia, mejoran la utilización del espectro radioeléctrico, además, poseen una notable inmunidad a las Interferencias. Todas estas ventajas hicieron que sea necesaria la regulación de estos sistemas.

Bajo Resolución 3382 de 1995, se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado. El Ministerio de Comunicaciones autorizo para la utilización de sistemas de espectro ensanchado, con topología PTP y/o PTM para ser utilizados en áreas locales o rurales, únicamente las siguientes bandas de frecuencia:

- 902 - 924 MHz
- 2025 - 2400 Mhz.²⁶
- 2400 - 2483,5 MHz
- 5725 - 5875 MHz

Los sistemas de salto de frecuencia que operan en las bandas 2.025 -2.483,5 MHz y 5.725 - 5.850 MHz, deben usar por lo menos 75 frecuencias de intercalamiento. El ancho de banda a 20 dB máximo permitido del canal de intercalación corresponde a 1 MHz. El tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia no debe ser mayor que 0.4 segundo dentro de un periodo de 30 segundos. La máxima longitud de cualquier enlace que utilice técnicas de espectro ensanchado en el caso de áreas urbanas, no podrá exceder de las especificaciones descritas en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Especificaciones de espectro ensanchado.

TOPOLOGÍA	ANCHO DE BANDA AB)	LONGITUD MÁXIMA ²⁷
PTP, secuencia directa, e híbridos	$AB \leq 5,2\text{MHz}$	7,0 Kms.
PTP, secuencia directa, e híbridos	$5,2 < AB < 10,4\text{MHz}$	4,0 Kms.
PTP, secuencia directa, e híbridos	$AB \geq 10,4\text{MHz}$	1,0 Kms
PTP, Salto de frecuencia	Cualquiera	3,0 Kms.
PTM, Salto de frecuencia	$AB \geq 5,2\text{MHz}$	2,5 Kms de radio.
Telefonía Fija Inalámbrica por salto de Frecuencia	Cualquiera	2,0 Km de radio

3.2.3 Banda ancha. Bajo Resolución 1833 de 1998 se atribuyen en el ámbito nacional unas bandas de frecuencias para redes inalámbricas privadas de banda ancha, baja potencia y corto alcance conocidas en el ámbito internacional como Hiperlan o U-NII, estas bandas con su respectivo uso son:

- 5,15 - 5,25 GHz. Radionavegación Aeronáutica y Fijo por Satélite (Tierra-espacio)
- 5,25 - 5,255 GHz. Radio localización y servicio de Investigación espacial.
- 5,255 - 5,3 GHz. Radio localización
- 5,725 - 5,825 GHz. Radio localización, aficionados y servicios que utilicen sistemas de Espectro Ensanchado

3.2.3.1 Nuevas tecnologías de banda ancha inalámbricas.

3.2.3.1.1 WiMAX. La aparición en Colombia del estándar 802.16 Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (**WiMAX**, *Worldwide Interoperability Microwave Access*), requería ser reglamentado en este país y es en 2005 con la Resolución 2064, por la cual se atribuyen y

²⁶ Autorizada también para la utilización de sistemas de espectro ensanchado bajo Resolución 5927 DE 1996

²⁷ Longitud máxima medida entre los extremos de cualquier enlace.

planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución PTP y PTM para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y siendo así con la Resolución 2070 se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico así como determinar la forma de otorgamiento de los permisos para el uso del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen estos sistemas de distribución, en la banda de 3400 MHz a 3600 MHz.

Las banda de frecuencias radioeléctricas atribuida y comprendida entre los 3400 MHz a los 3600 MHz, se divide en 12 canales que se distribuye en rangos de frecuencias radioeléctricas de tal forma que para área de servicio nacional sean asignados 6 canales de 21 MHz de ancho de banda, y para área de servicio departamental 4 canales de 14 MHz de ancho de banda. Los dos canales restantes son reservados por el Ministerio.

3.2.3.1.2 LMDS. Otro adelanto tecnológico, para el cual fue necesario atribuir unas bandas de frecuencias dentro del territorio nacional para su utilización en redes radioeléctricas de distribución PTM de banda ancha, es la Tecnología de Sistema de Distribución Local Multipunto (**LMDS**, *Local Multipoint Distribution Service*). En el Decreto 1418 DE 1998 se atribuyen dichas frecuencia y se reglamenta los criterios y términos de su concesión, su uso exclusivo para la prestación de servicios de telecomunicaciones y condiciones económicas para el pago de los derechos, tasas o tarifas que correspondan.

Una actualización de las bandas asignadas para LMDS, se encuentra en el Decreto número 99 de 2000 y es el que actualmente continua en vigencia. Las bandas comprendidas entre 27,5 GHz y 28,350 GHz son divididas en 6 canales y cada uno de 145 MHz de ancho de banda, son las asignadas para dicha tecnología.

Cabe destacar que uno de los requisitos para obtener el uso del espectro para aplicar tecnologías WiMAX y LMDS es ser persona jurídica constituida en Colombia y que acredite que en su objeto social esté incluida la prestación de servicios de telecomunicaciones. También debe ser autorizado por el Ministerio bajo concesión²⁸, siguiendo la respectiva reglamentación.

3.2.3.1.3 Wi-Fi. Esta tecnología fue desarrollada pensando en aplicaciones de área local, *hotspots*, redes internas para empresas, *campus* universitarios, entre otros, pero siempre pensando en dispositivos de utilización masiva y de bajo costo, por lo cual hace uso de las bandas sin licencia disponibles dentro del espectro y que son apropiadas para ofrecer servicios de banda ancha.

²⁸ Acto mediante el cual el Ministerio de Comunicaciones otorga en forma temporal a una persona natural o jurídica, pública o privada la facultad de prestar servicios de telecomunicaciones o desarrollar actividades de telecomunicaciones.

- **802.11 b/g.** Esta tecnología trabaja en la banda ISM de 2.4 Ghz, asignada a nivel mundial para todo tipo de aplicaciones tanto empresariales, educativas y de entretenimiento. Entonces el equipo certificado WiFi 802.11 b/g no requiere de una licencia de las autoridades competentes para su puesta en marcha. Esta tecnología ocupa 11 canales sobre la banda, empezando en 2.412 Ghz hasta 2.462 Ghz en pasos de 5 Mhz. Debido a que cada canal ocupa 22 Mhz, solo los canales 1, 6 y 11 se consideran libres de interferencia, y son factibles de utilizar en áreas pequeñas. La Tabla 3.6 resume los canales para 802.11 b/g.

Tabla 3.6. Asignación de canales para 802.11 b/g.

CANAL	FRECUENCIA INFERIOR (GHZ)	FRECUENCIA CENTRAL (GHZ)	FRECUENCIA SUPERIOR (GHZ)
1	2.4010	2.4120	2.4230
2	2.4060	2.4170	2.4280
3	2.4110	2.4220	2.4330
4	2.4160	2.4270	2.4380
5	2.4210	2.4320	2.4430
6	2.4260	2.4370	2.4480
7	2.4310	2.4420	2.4530
8	2.4360	2.4470	2.4580
9	2.4410	2.4520	2.4630
10	2.4460	2.4570	2.4680
11	2.4510	2.4620	2.4730

Aunque aquí solo se han presentado 11 canales, en realidad se encuentran disponibles 14, pero dado que la regulación colombiana, que sigue los lineamientos de la Comisión Federal de Comunicaciones estadounidense (**FCC**, *Federal Communications Commission*), solo acepta esta canalización.

- **802.11a.** La versión *a* del estándar 802.11 puede utilizar la banda ISM de 5.8 Ghz (5.725 Ghz – 5.825 Ghz) o la parte alta de la banda U-NII. Esta banda tiene asignados 300 Mhz de espectro y esta dividida en tres secciones de 100 Mhz. Las dos primeras son adyacentes y la tercera esta 375 Mhz por encima del tope de la segunda. La Tabla 3.7 describe esos canales.

Aunque las bandas sin licencia presentan una gran oportunidad de negocio, esto no quiere decir que aquellos interesados en operar en ellas no deban someterse a ciertas reglas técnicas, y obviamente constituirse como empresas legalmente establecidas para la prestación de servicios de valor agregado o telefonía, lo cual también conlleva la adquisición de una licencia ante el organismo regulador de servicios de telecomunicaciones de cada país.

A su vez, los equipos utilizados deben estar debidamente aprobados y certificados por los organismos de regulación internacionales, lo cual es de gran importancia para garantizar una correcta interoperabilidad entre diferentes fabricantes y poder brindar una mayor versatilidad al despliegue de la red.

Tabla 3.7. Asignación del espectro para la banda ISM y U-NII.

BANDA/PARTE DEL ESPECTRO	COMIENZO (GHZ)	FINAL (GHZ)
Parte 87	0.4700	10.5000
Parte 97	2.3900	2.4500
Parte15	2.4000	2.4830
Parte 18	2.4000	2.5000
Parte 80	2.4000	9.6000
ISM 802.11b/g	2.4010	2.4730
Parte 74	2.4500	2.4835
Parte 101	2.4500	2.5000
Parte 90	2.4500	2.8350
Parte 25	5.0910	5.2500
U-NII Baja	5.1500	5.2500
U-NII Media	5.2500	5.3500
Parte 97	5.6500	5.9250
U-NII Alta	5.7250	5.8250
ISM 802.11a	5.7250	5.8500
Parte 18	5.7250	5.8750

Con el objetivo primordial de continuar la masificación en la utilización y prestación de servicios soportados en banda ancha inalámbrica, el Ministerio de Comunicaciones realiza ciertos ajustes en el pago de contraprestaciones, incentivando y promoviendo el desarrollo de banda ancha y el uso del espectro radioeléctrico en dichas bandas de frecuencia. Siempre y cuando sea utilizado de manera eficaz y eficiente, sin que se lleguen a producir interferencias que perjudiquen la operación de las redes de telecomunicaciones, y que mediante los procedimientos de planeación y coordinación de frecuencias, y de compatibilidad entre estaciones radioeléctricas, permitan acomodar el máximo número de usuarios en las redes, el conveniente cubrimiento radioeléctrico de las áreas geográficas de servicio, y la adecuada prestación de los servicios de telecomunicaciones, de conformidad con las normas de telecomunicaciones nacionales, el Reglamento de Radiocomunicaciones y las Recomendaciones de la ITU.

3.2.4 Contraprestaciones. Actualmente, los pagos por el uso de el espectro está estipulado en el Decreto 1972 de 2003, por el cual se establece el régimen unificado de contraprestaciones, por

concepto de concesiones, autorizaciones, permisos y registros en materia de telecomunicaciones y los trámites para su liquidación, cobro, recaudo y pago.

Los objetivos del régimen unificado de contraprestaciones son:

- Promover el desarrollo de los servicios públicos de telecomunicaciones, así como los planes y programas de telecomunicación social.
- Promover la competencia y garantizar la igualdad y acceso para los distintos usuarios del espectro radioeléctrico.
- Promover el uso racional y eficiente del espectro radioeléctrico.
- Cumplir con los acuerdos y convenios internacionales, así como propender a la convergencia y globalización de las redes y servicios de telecomunicaciones en igualdad de condiciones.
- Facilitar liquidaciones, cobros, pagos y procesos expeditos de recaudo.
- Evitar la evasión de las contraprestaciones e incrementar los ingresos del Fondo de Comunicaciones del Ministerio de Comunicaciones.
- Propiciar el desarrollo de la red de telecomunicaciones del Estado.

Los criterios generales que tiene El Ministerio de Comunicaciones para la determinación de las contraprestaciones, están en base a, unidades de volumen de tráfico, velocidad de transmisión, ancho de banda asignado, unidades de medida radioeléctrica, establecimiento de obligaciones especiales, planes de expansión y cobertura o cualquiera otra medida técnica; así mismo mediante una combinación de los distintos criterios. El otorgamiento de permisos para usar el espectro radioeléctrico asignado, destinado a la prestación de servicios de telecomunicaciones, da lugar al pago por parte del titular del permiso de una contraprestación equivalente al valor que resulte de aplicar, según sea el caso, las siguientes fórmulas:

3.2.4.1 Por el uso de frecuencias radioeléctricas para cubrimiento y/o enlaces PTM. El valor anual de contraprestación por el uso de frecuencias radioeléctricas de cubrimiento y/o enlaces PTM se liquidará con base en la siguiente fórmula:

$$VAC = \frac{AB \times N(SMLMV) \times Z(\%)}{1(MHz)} \quad (3.1)$$

Donde:

VAC: Valor Anual de la Contraprestación.

AB: Ancho de Banda Asignado en MHz.

N (SMLMV): Valor de 1 MHz de acuerdo con la posición del ancho de banda asignado en el espectro radioeléctrico y con los sistemas y servicios de telecomunicaciones. Se define en salarios mínimos legales mensuales vigentes.

Z: Valor relativo del espectro de acuerdo con el mercado del área de servicio para la cual se asignó el ancho de banda (AB).

Los valores de N y Z se adoptan en el Tabla 3.6 y la Tabla 3.7, respectivamente. Esta fórmula aplica para cada área de servicio, sea esta de ámbito municipal, departamental o nacional, según sea el caso.

3.2.4.2 Por el uso de frecuencias radioeléctricas para enlaces PTP. El valor anual de contraprestación por el uso de frecuencias radioeléctricas para enlaces PTP se liquidará con base en la siguiente fórmula:

$$VAC(SMLM) = k \times (AB)^n \times e^{[-0,00002 \times F (MHz)]} \quad (3.2)$$

Donde:

VAC: Valor Anual de la Contraprestación

AB : Ancho de Banda Asignado en MHz, corresponde al tamaño de cada segmento de espectro radioeléctrico asignado por el Ministerio de Comunicaciones

F: Frecuencia central del segmento en MHz

k: Constante igual a

3,5 para enlaces cuyo AB es menor a 1 MHz.

3,3 para enlaces cuyo AB es mayor o igual a 1 MHz y menor a 10 MHz.

0,65 para enlaces cuyo AB es mayor o igual a 10MHz.

n: Constante igual a

0,2 para enlaces cuyo AB es menor a 1 MHz.

0,22 para enlaces cuyo AB es mayor o igual a 1 MHz y menor a 10 MHz.

0,95 para enlaces cuyo AB es mayor o igual a 10MHz.

Esta fórmula debe aplicarse para cada segmento de espectro radioeléctrico asignado en cada enlace, entendiéndose por enlace, la conexión vía radiofrecuencia (RF) entre dos estaciones situadas en puntos fijos determinados.

De acuerdo con la posición del ancho de banda asignado en el espectro radioeléctrico y con los sistemas y servicios de telecomunicaciones, se adoptan los siguientes valores de N en la Tabla 3.8

Tabla 3.8. Valores de N.

BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	N	BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	N
VHF	$30 < F \leq 300$	2600	SHF	$10\ 800 < F \leq 11\ 400$	600
UHF	$300 < F \leq 512$	3000	SHF	$11\ 400 < F \leq 12\ 000$	550
UHF	$512 < F \leq 806$	3500	SHF	$12\ 000 < F \leq 12\ 600$	500
UHF	$806 < F \leq 2\ 300$	3600	SHF	$12\ 600 < F \leq 13\ 500$	450
UHF	$2\ 300 < F \leq 2\ 700$	3500	SHF	$13\ 500 < F \leq 14\ 100$	400
UHF	$2\ 700 < F \leq 3\ 000$	3250	SHF	$14\ 100 < F \leq 15\ 000$	350
SHF	$3\ 000 < F \leq 3\ 300$	3000	SHF	$15\ 000 < F \leq 15\ 600$	300
SHF	$3\ 300 < F \leq 3\ 600$	2700	SHF	$15\ 600 < F \leq 16\ 500$	250
SHF	$3\ 600 < F \leq 3\ 900$	2400	SHF	$16\ 500 < F \leq 17\ 400$	200
SHF	$3\ 900 < F \leq 4\ 200$	2100	SHF	$17\ 400 < F \leq 18\ 300$	150
SHF	$4\ 200 < F \leq 4\ 500$	2000	SHF	$18\ 300 < F \leq 19\ 500$	100
SHF	$4\ 500 < F \leq 4\ 800$	1800	SHF	$19\ 500 < F \leq 19\ 800$	70
SHF	$4\ 800 < F \leq 5\ 100$	1500	SHF	$19\ 800 < F \leq 20\ 400$	60
SHF	$5\ 100 < F \leq 5\ 400$	1400	SHF	$20\ 400 < F \leq 21\ 000$	50
SHF	$5\ 400 < F \leq 5\ 700$	1300	SHF	$21\ 000 < F \leq 21\ 600$	40
SHF	$5\ 700 < F \leq 6\ 000$	1200	SHF	$21\ 600 < F \leq 22\ 200$	30
SHF	$6\ 000 < F \leq 6\ 300$	1100	SHF	$22\ 200 < F \leq 22\ 800$	25
SHF	$6\ 300 < F \leq 6\ 600$	1050	SHF	$22\ 800 < F \leq 23\ 400$	20
SHF	$6\ 600 < F \leq 7\ 200$	1000	SHF	$23\ 400 < F \leq 23\ 700$	17
SHF	$7\ 200 < F \leq 7\ 500$	950	SHF	$23\ 700 < F \leq 24\ 000$	15
SHF	$7\ 500 < F \leq 8\ 100$	900	SHF	$24\ 000 < F \leq 24\ 300$	14
SHF	$8\ 100 < F \leq 8\ 700$	850	SHF	$24\ 300 < F \leq 24\ 900$	13
SHF	$8\ 700 < F \leq 9\ 000$	800	SHF	$24\ 900 < F < 25\ 350$	12
SHF	$9\ 000 < F \leq 9\ 600$	750	SHF	$25\ 350 < F < 27\ 500$	10
SHF	$9\ 600 < F \leq 10\ 200$	700	SHF	$27\ 500 < F < 30\ 000$	7
SHF	$10\ 200 < F \leq 10\ 800$	650	EHF	$30\ 000 < F$	10

De acuerdo con el ámbito del área de servicio, se adoptan los siguientes valores de Z en la tabla 3.9:

Tabla 3.9. Valores de Z.

ÁREA DE SERVICIO		Z
Nacional		1
Departamental (Nariño)		0,060
Municipal (Pasto)	Urbano	0,030
	Rural	0,0040

3.2.5. Servicios. Por otra parte, los servicios de comunicaciones, son reglamentados por un organismo regulador específico. El Congreso de Colombia bajo la Ley 142 de 1994 establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. Es decir bajo esta ley regula toda clase de servicios (entre estos los relacionados con comunicaciones) y define la entidad a cargo de su control. En su Artículo 69. Hace esta clasificación de las entidades y las define como Unidades Administrativas Especiales, con independencia administrativa, técnica y patrimonial, y adscritas al respectivo ministerio. Son denominadas Comisiones de regulación. Es entonces para dar control sobre los servicios de comunicaciones que se crea la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (**CRT**), adscrita al Ministerio de Comunicaciones.

La CRT es un organismo regulador del mercado de las telecomunicaciones en Colombia. Cumple la misión de promover la competencia y la inversión así como proteger los derechos de los usuarios y acorde con los lineamientos del estado, garantizar la prestación efectiva de los servicios de telecomunicaciones y el desarrollo del sector en el marco de la convergencia y la sociedad de la información. En el Artículo 74 de esta ley, define las funciones especiales de las comisiones de regulación. Para la CRT en su parte 74.3 define sus funciones, entre ellas esta:

- Promover competencia e impedir abusos reglamentando la prestación de servicios
- Resolver con conflictos entre entidades
- Establecer los requisitos generales a que deben someterse los operadores de
- Servicios para tener el derecho de utilizar las redes de telecomunicaciones el estado
- Reglamentar la concesión de licencias y señalar las fórmulas de tarifas que se cobrarán por la concesión.
- Definir la tarificación que deba cobrar la empresa de servicios públicos a los usuarios, así mismo velar por sus derechos.

3.3 ONDAS DE RADIO.

Se caracterizan por ser omnidireccionales. Utilizan la banda comprendida entre 30 MHz – 1 GHz. Correspondiente a las bandas en el espectro de HF, VHF y UHF. Este rango de frecuencias es el más adecuado para transmisiones simultáneas. Las perturbaciones que sufriremos en este tipo de comunicaciones son provocadas por las reflexiones que se producen tanto en la tierra como en el mar, debidas a interferencias multitrayecto.

Los costos iniciales de los equipos son moderados, mas barato que los equipos satelitales, como Terminal satelital de Apertura muy Pequeña (**VSAT**, *Very Small Aperture Terminal*). Es decir, los costos operacionales son una fracción de los costos de operación vía satélite. El cliente no dependerá al proveedor satelital internacional, teniendo su propia infraestructura de telecomunicación.

3.3.1 Banda de HF (3-30MHz). Permite comunicaciones de larga y muy larga distancia gracias al fenómeno de propagación ionosférica, consistente en la reflexión de las señales de radiofrecuencia en las capas altas de la atmósfera (situada a 250 km de altitud). El principal inconveniente de esta banda es la baja calidad de los canales, puesto que las señales transmitidas se encuentran expuestas a efectos de absorción atmosférica, elevado ruido y un acusado multicamino (multipath). Además, las condiciones de transmisión dependen de muchos factores²⁹.

Algunas características³⁰ del canal HF, hacen difícil trabajar con él, por lo que los modems de HF hasta ahora han sido extraordinariamente caros, o muy lentos (típicamente de 100 a 300 bps para los de radioaficionados). Para aprovechar el escaso espectro disponible es necesario trabajar en profundidad en la modulación a utilizar, los canales suelen ser de 3 KHz y la modulación en banda lateral única, mucho menos robusta que la FM y sometida además a desvanecimientos ocasionados por las incertidumbres de la propagación.

3.3.2 Banda de VHF (30-300MHz). En esta banda se produce generalmente la propagación por onda espacial troposférica, Las antenas utilizadas en los sistemas que operan en esta banda suelen ser el monopolo, el dipolo o las antenas yagi. Las características de estas frecuencias son ideales para comunicaciones terrestres de corta distancia, con un alcance general, un poco más allá de la simple línea de visión desde el transmisor. A diferencia de frecuencias altas (HF), la ionosfera no suele reflejar las ondas de radio de VHF, por tanto, las transmisiones se limitan a la zona local. En la banda de radioaficionados de 6 metros, cuando la propagación es favorable es posible contactar estaciones a miles de kilómetros con alrededor de 52 MHz de ancho de banda. Las distancias están limitadas por la potencia de transmisión y la altura de las antenas, que deberán compensar la curvatura de la tierra y salvar los obstáculos, aunque tiene bastante tolerancia a los mismos. Los sistemas inalámbricos de VHF siempre cuestan menos que los sistemas inalámbricos de UHF, es decir, para las instalaciones inalámbricas más grandes, el coste de las antenas, los cables, los divisores de antenas y los pre-amplificadores normalmente es mucho menor en los sistemas de VHF y el rendimiento es generalmente bueno. Su consumo de potencia mantiene también valores por debajo del UHF.

3.3.3 Banda de UHF (300MHz-3GHz). En esta banda se produce la propagación por onda espacial troposférica. En UHF hay menos probabilidad de interferencia debido al mayor espectro de frecuencia disponible. Las interferencias debidas a las salidas de otro equipo de radio frecuencia son menos problemáticas en las frecuencias de UHF porque hay menos transmisores operando en frecuencias que causen problemas. Las interferencias debidas al equipo eléctrico, los dispositivos digitales, computadoras y otro equipo electrónico también son generalmente menores en las

²⁹ Factores como momento del día, estación del año, actividad de las manchas solares, tormentas ionosféricas.

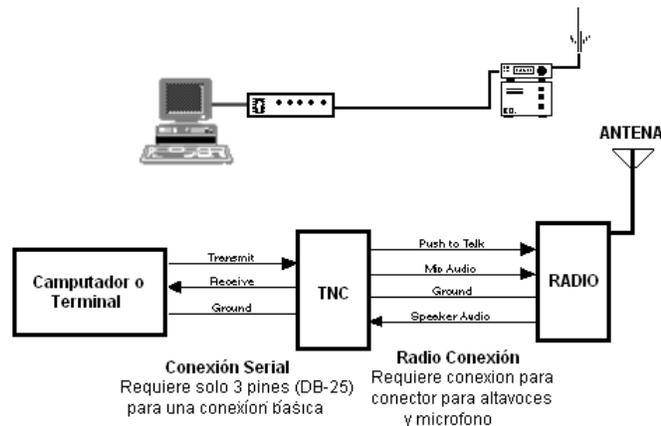
³⁰ Características como ruido, bajo ancho de banda, desvanecimientos, etc

frecuencias de UHF. Pero aunque tiene sus ventajas en cuestión a interferencias, hay que tener en cuenta que los efectos de la atenuación aumentan de acuerdo a la frecuencia, es por eso que las señales UHF son comúnmente más degradadas que VHF. La diferencia que existe en el coste de equipos de UHF con respecto a VHF se debe a la necesidad de usar componentes más caros de ultra-alta frecuencia, el mayor número total de componentes requeridos y a la necesidad de técnicas de construcción más costosas. Otros costes de fabricación también son más altos, sobre todo la cantidad de tiempo requerido para ajustar el equipo y verificar su funcionamiento. Pero pese al coste, el tamaño del equipo de transmisión y recepción (particularmente antenas), es más pequeño y menos evidente

Hay una gran diversidad de situaciones donde los sistemas de VHF proporcionarán un excelente rendimiento a precios substancialmente más bajos que para los sistemas de UHF. Sin embargo, hay ciertas situaciones, como cuando es probable que la interferencia sea un problema significativo donde los sistemas de UHF serán la opción lógica. La velocidad de funcionamiento utilizado en el VHF y UHF en la actualidad es de 1200 bps y 9600 bps respectivamente, con un ancho de canal de RF de aproximadamente 12,5 kHz. Aunque las investigaciones muestran que usando radio por paquetes, la velocidad puede llegar a 64 Kbps.

3.3.4 Packet Radio. La tecnología de Paquetes por Radio (**PR**, *Packet Radio*), es un modo particular de comunicación entre radio aficionados, que permite la transmisión de voz y de información que proviene de una computadora o terminal, la cual es transformada a paquetes y enviada a otra estación a través de ondas de radio. Para la transmisión de información se debe contar con un equipo integrado por una computadora o terminal, un Controlador de Nodo Terminal (**TNC**, *Terminal Node Controller*) y un radio transceiver. En la Figura 3.3 se puede observar los componentes de una estación de paquetes por radio

Figura 3.3. Arquitectura de una estación de Packet Radio.



En una Red de Paquetes por Radio (**REDPR**) los mensajes son enviados desde una estación, hacia otra estación similar; estaciones equipadas con radio transceptores y antenas omnidireccionales, un paquete transferido entre dos estaciones distantes debe ser retransmitidos por estaciones intermedias o nodos. Así, en una red de múltiple saltos (multihop), un paquete puede viajar largas distancias. La data enviada es a ráfagas y en forma de paquetes. Cada paquete contiene direccionamiento, chequeo de errores e información de control. La información de direccionamiento incluye la señal de llamada de la estación que envía el paquete, así como la señal de la estación a quien va dirigida el paquete. La dirección puede incluir señales de las estaciones que están siendo usadas para distribuir paquetes. El TNC convierte código ASCII a tonos modulados y convierte los tonos demodulados a ASCII.

Para realizar la transmisión de paquetes a través del aire es importante considerar no sólo los elementos de hardware ya mencionados, sino también el software. Al emplearse un TNC se necesita un programa de comunicaciones montado sobre la computadora o terminal. En este software se tiene que especificar el puerto de comunicaciones a emplear y establecer la velocidad de datos, ya sea entre el terminal y el TNC, y los datos sobre el aire

Paquetes por radio es usado mayormente a frecuencias altas (VHF), el intervalo de transmisión es limitado y está influenciado por la potencia del transmisor, por el tipo y ubicación de la antena, por la frecuencia empleada, la longitud de la línea de alimentación de la antena y la existencia de obstrucciones como colinas, grupo de edificios, etc.

La mayoría de las actividades de paquetes por radio se llevan a cabo en la banda VHF sobre los 2 metros de longitud de onda. La velocidad que se obtiene en VHF de 145,010 MHz y UHF de 439,025 MHz es 1200 bps y VHF de 145,090 MHz es 9600 bps.

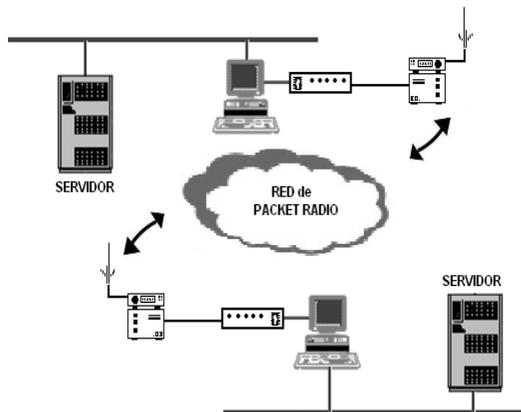
Utilizando radios de muy alta frecuencia (VHF) entre saltos, el alcance es limitado. Este por lo general está determinado por la curvatura del radio terrestre, también influyen elementos como la fuente de poder y el tipo y la localización de la antena así como también, la frecuencia utilizada. Otros factores importantes son las montañas, grupos de edificios, etc. De este modo para una antena de dos metros (144-148 MHz) el rango puede estar entre 15 a 150 Km dependiendo de la combinación específica de las variables mencionadas anteriormente.

Radio paquete, a diferencia de las comunicaciones de voz, puede soportar múltiples conversaciones sobre la misma frecuencia al mismo tiempo, ya que se hace una compartición del canal en el tiempo. Eso no quiere decir que no se produzcan colisiones, las transmisiones ocurren cuando no existe ninguna conversación en el canal. Radio paquete usa un protocolo llamado AX.25 para llevar a cabo la compartición del canal. AX.25 es considerado el protocolo estándar por defecto para radio-aficionados, sin embargo, hay otros estándares como TCP/IP que es usado en algunas áreas de la transmisión por radio. AX.25 fue desarrollado en 1970 y está basado en el

protocolo de redes cableadas X.25. Debido a las diferencias en el medio de transporte (radio vs. cable) y en los esquemas de direccionamiento, X.25 fue modificado a los requerimientos de los radio aficionados. Una de las ventajas de X.25 es que cada paquete enviado contiene la señal de la estación que envía y la señal de la que recibe el paquete, dando identificación a las estaciones con cada transmisión.

Las REDPRs pueden correr TCP/IP lo que virtualmente les permite ser parte de redes para acceso a Internet. En la Figura 3.4 se ilustra una red TCP/IP vía radio. Esta solución es ineficiente en ancho de banda y no funciona bien, debido al desconocimiento por parte de TCP de un medio semiduplex de elevada tasa de error, latencia y probabilidad de colisión, lo que ocasiona repeticiones innecesarias de paquetes y falsas detecciones de congestión es por eso que uso se aplica a trasmisión de datos como mensajes o e-mails, solamente.

Figura 3.4. Modelo para Acceso a Internet usando PR.



3.4 MICROONDAS

3.4.1 Definición. Se denomina microondas a la porción del espectro radioeléctrico que cubre las frecuencias, que corresponde a la longitud de onda en vacío, entre 10 cm y 1 mm; esto es cubre las bandas de Frecuencia Súper Alta (**SHF**, *Super-High Frequency*) (3-30 GHz) y Frecuencia Extremadamente Alta (**EHF**, *Extremely High Frequency*) (30-300 GHz).

3.4.2 Generación. La generación de microondas ha evolucionado de los sistemas basados en tubos de vacío, a los dispositivos de estado sólido basados en semiconductores de silicio o arseniuro de galio, e incluyen transistores de campo (FET), transistores de unión bipolar (BJT), diodos Gunn³¹ y diodos IMPATT³².

³¹ Diodo Gunn es un generador de microondas y no un rectificador como el común de los diodos. Esta conformado por un semiconductor que genera el llamado "Efecto Gunn". Usualmente se usan placas de Arseniuro de galio (GaAs) a

3.4.3 Clasificación. Debido al gran rango de frecuencia que cubren las microondas y para mayor facilidad de identificar equipos y sistemas de radiocomunicación, éstas se han agrupado por bandas, como lo muestra la Tabla 3.3, en la parte de 3.1 de este trabajo donde se analiza el espectro electromagnético

3.4.4 Configuraciones. El equipo modulador de radiofrecuencia puede ser clasificado a grandes rasgos en tres categorías: interior, mixto y externo. Pueden ser vistos en la Figura 3.5.

3.4.4.1 Equipo para ubicación en interiores. Conocidos como equipos “todo en interior” (All Indor) están albergados en un bastidor metálico (rack), en la sala de equipos de transmisión. Conexión vía cable coaxial o guía de onda transporta la señal RF a la antena montada en una torre. El equipo es a menudo de construcción modular, para propósito de mantenimiento. Diferentes diseños son normalmente requeridos para diferentes capacidades y bandas de frecuencia. Los equipos para ubicación en interiores son apropiados para rutas de gran distancia que requieren una alta potencia de salida y arreglos para ramificación de multi-frecuencia.

3.4.4.2 Equipo mixto. En esta configuración, el equipo de red se encuentra en los gabinetes de la edificación, mientras que el generador de RF y la antena se encuentran en el exterior. Esta reducción de distancia entre la unidad RF y la antena, permite que exista una menor atenuación en la guía de onda que conecta estos dos dispositivos, consiguiéndose así un mayor ancho de banda y una mejor eficiencia en el enlace.

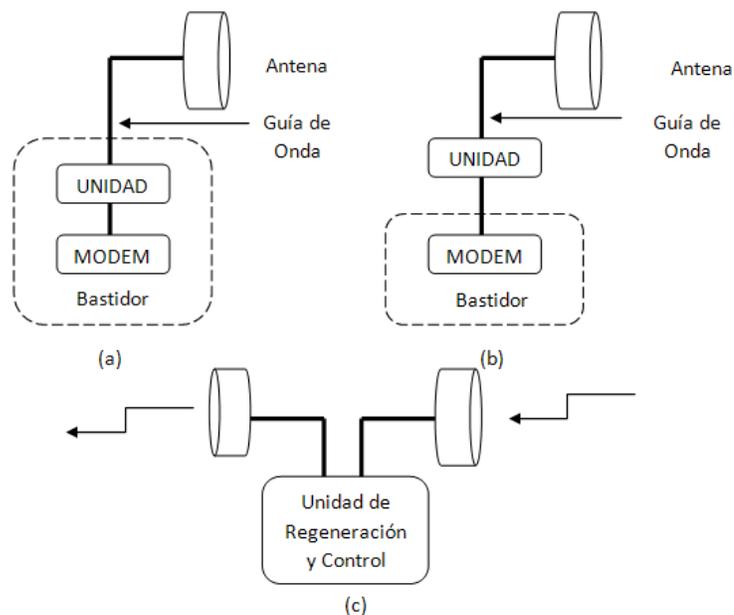
3.4.4.3 Equipo exterior. Esta configuración es usada por los repetidores, quienes permiten reorientar el enlace para lograr una mayor distancia o permitir la comunicación entre sitios donde no existe línea de vista directa.

3.4.5 Diagrama de bloques de un sistema básico de microondas. Una forma adecuada de explicar el funcionamiento de un sistema de microondas es descomponiéndolo en tres elementos básicos: transmisor, trayecto y receptor. Como se observa en la Figura 3.6 el equipo de red en el transmisor se refiere al concentrador, switch o dispositivo de red, donde recae la conexión principal de los equipos o terminales del enlace. El modulador es el dispositivo que permite adecuar la señal digital a una frecuencia intermedia, y el up-converter, lleva esta señal a la frecuencia RF con la potencia necesaria para ser irradiada por la antena.

las cuales al aplicar una tensión eléctrica (mayor a los 3,3 voltios/cm.) y combinado con circuitos resonantes genera oscilaciones de alta frecuencia entre los 5 y los 140 GHz.

³² El diodo IMPATT también conocido como diodo Read, se suele operar en régimen pulsante, polarizándose negativamente con una tensión DC, próxima a la ruptura y una señal RF superpuesta, de tal manera que durante los semi-ciclos positivos de RF se produce la avalancha.

Figura 3.5. Configuraciones de equipo microondas. (a) Interior. (b) Mixto. (c) Exterior.

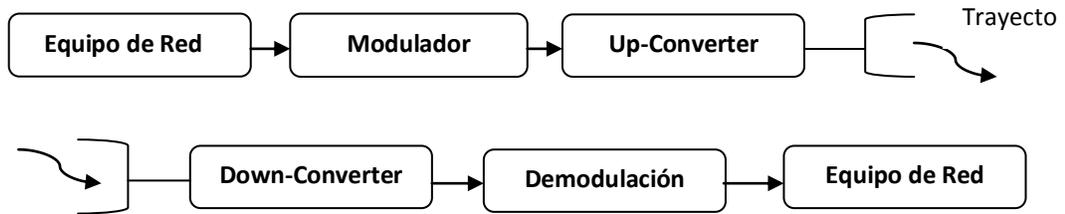


El trayecto representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor. El factor limitante de la propagación de señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima de obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. La señal de microondas transmitida es distorsionada y atenuada mientras se propaga desde el transmisor hasta el receptor por fenómenos de reflexión y refracción, debido a obstáculos, superficies reflectoras y pérdidas atmosféricas.

En el receptor la portadora modulada es alterada a una frecuencia intermedia por el Down-Converter, mientras que el demodulador transforma la señal para que el Equipo de Red la pueda interpretar. El conjunto de transmisor y receptor, para aplicaciones de redes de datos, viene en un solo dispositivo llamado transceiver, que distinguiendo entre dos frecuencias, básicamente, opera el envío y recepción de datos.

Figura 3.6. Diagrama de Bloques básico de un sistema de microondas.



3.4.6 Características de los enlaces por microondas. A pesar de la reducción en cuanto a capacidad de canal o ancho de banda, los enlaces por microondas se implementan cuando no es económicamente conveniente la conexión de las estaciones por medios guiados, también cuando la legislación impide la instalación por razones de uso del espacio público.

Las instalaciones de microondas no afectan significativamente el entorno, debido a que los equipos se ubican en edificios o torres, donde los trabajos de excavación y reposición de pavimentos son mínimos. La inversión en un sistema de microondas es recuperable a corto plazo y los sistemas pueden ser reutilizados, por ejemplo cuando se utilizan como solución temporal mientras se instala un backbone con fibra óptica, el sistema de microondas puede ser desconectado y utilizado para otra aplicación. Los enlaces de microondas no tienen un perfil de costo lineal, esto es a mayor distancia, por lo general, no implican un aumento proporcional en el costo.

3.4.7 Planificación de frecuencias. Deben escogerse bandas de frecuencias apropiadas para los enlaces y sus aplicaciones para obtener las autorizaciones deben ser hechas a la autoridad reguladora (Ministerio de Comunicaciones de Colombia). Las bandas para los enlaces son normalmente asignadas de acuerdo al servicio proporcionado y el ancho de banda de sistema requerido. El espectro es un bien escaso y por consiguiente el organismo regulador los asignará tan racionalmente como sea posible los tamaños de cada canal. El éxito de un proyecto de enlace microondas puede a veces estar determinado por la disponibilidad de frecuencias adecuadas. Por consiguiente para una gran red, es esencial discutir por adelantado los requerimientos de ancho de banda con el ente regulador y con un plan detallado con el organismo regulador. Una vez que los diseños de los enlaces están completos y se ha escogido bandas RF convenientes, entonces se debe hacer una aplicación para el par de frecuencias especificando el salto que será autorizado. El organismo regulador normalmente requerirá coordinar el sitio, la altura del sitio, altura de antenas y la calidad de servicio requerido para hacer la asignación de frecuencias. El organismo regulador verificará los cálculos de interferencia y los asuntos relacionados al par de frecuencias con una polarización designada por salto. La máxima potencia radiada (EIRP) normalmente está limitada por razones de interferencia.

3.4.8 Características del equipo de microondas.

3.4.8.1 Detalles de radio frecuencia.

3.4.8.1.1 Rango. El equipo de radio está diseñado para operar sobre cierto rango de frecuencia. Cuando el equipo no cubre en totalidad la banda de frecuencia, entonces se utiliza más de un trans-receptor, para las bandas altas y bajas.

3.4.8.1.2 Separación entre frecuencia de transmisión y recepción. Es el mínimo espaciamento entre las frecuencias de envío y recepción, permitido por el equipo. Este valor es función del filtrado RF y el aislamiento de ramificación³³.

3.4.8.1.3 Espaciamento de los canales. Es necesario verificar que el canal requerido es soportado por el equipo. El filtrado y la técnica de demodulación determinarán el espaciamento del canal. Los filtros del canal, los cuales forman parte de la ramificación, son a menudo requeridas en las frecuencias bajas para encontrarse en los límites de ancho de banda fijados por la ITU.

3.4.8.1.4 Estabilidad en frecuencia. La estabilidad de la portadora RF es normalmente especificada en partes por millón (ppm). Una ppm corresponde a un 1 KHz en 1 MHz o 1 KHz en 1 GHz.

3.4.8.2 Características del transmisor.

3.4.8.2.1 Potencia de salida del transmisor. Es usualmente especificada en el módulo de salida de transmisión o sobre la antena en dBm. En el último caso, las pérdidas de ramificación de transmisión ya están incluidas.

3.4.8.2.2 Control de potencia transmitida. La potencia de salida de transmisión puede a menudo ser atenuada usando fijaciones de software en el equipo de radio. Un control adaptativo de potencia de transmisión llamado Control Automático de Potencia de Transmisión (APTC) es usado para disminuir la interferencia atenuando la potencia de transmisión bajo condiciones de bajo desvanecimiento (fading) y viceversa. Esto se hace monitoreando el nivel de recepción y devolviendo esta información al transmisor.

3.4.8.2.3 Espectro de salida y emisiones no deseadas. Para reducir la interferencia en otros sistemas, las emisiones espurias de un transmisor necesitan ser atenuadas con un filtro adecuado. Estas emisiones limitan a la frecuencia de portadora especificada en los estándares del equipo.

³³ La unidad de ramificación es un término genérico para describir la circuitería de las interfaces de la antena al trans-receptor.

3.4.8.3 Características del receptor.

3.4.8.3.1 Umbral del receptor. Es un parámetro crítico de obtener dado que éste es usado para determinar el margen de desvanecimiento. El valor típico es de 10^{-3} , pero generalmente se prefiere 10^{-6} como nivel de calidad mínimo para datos. Los valores de umbral típicos están en el rango de -70dBm a -90dBm.

3.4.8.3.2 Nivel máximo de recepción. Se refiere a la potencia máxima que puede ser recibida, si el nivel de la señal es muy fuerte, pueden ocurrir errores debido a la saturación de los circuitos del receptor. Si los niveles son extremos, o prolongados, pueden ocurrir daños irreversibles. Los fabricantes de equipos especifican el máximo nivel de sobrecarga del receptor. Niveles máximo son típicamente de -15dBm.

3.4.8.4 Relación portadora interferencia (C/I Carrier To Interference). El planeamiento de frecuencia requiere algunos parámetros de equipo para el cálculo de interferencia. La relación C/I mínima que el modulador puede tolerar es importante, como lo es la red de filtros de discriminación.

3.4.8.5 Interfaces digitales. Es importante especificar la interface de banda base que el equipo de radio requiere porque existen diferentes estándares. La interface normal de radio cumple con la ITU – T G.703 y puede ser una conexión coaxial de 75 Ω desbalanceado o una conexión de cable par trenzado de 120 Ω balanceada. Esto frecuentemente necesita ser especificado antes de entregar el equipo, sin embargo, en algunos equipos ambas opciones están soportadas y se puede seleccionar mediante software.

3.4.8.6 Interface de administración y alarma. Los equipos recientes para microondas son configurables mediante software usando un computador. Usualmente un enlace puede ser fijado, configurado y monitoreado sin tener que hacer algún ajuste físico al equipo, esto se puede realizar gracias a puertos Ethernet y asignación de direcciones IP a cada terminal. La mayoría de radios además tienen varias entradas y salidas de alarmas. Esta puede ser además de una estación de alarmas tal como una alarma de puerta o una luz en la torre. Las interfaces de alarma y administración son usualmente dispuestas en el panel frontal del equipo en conectores tipo DB o tipo Ethernet.

3.4.9 Características del sistema de energía eléctrica.

3.4.9.1 Rango de voltaje de entrada. La mayoría de equipos de telecomunicaciones de microondas operan con 48VDC; sin embargo muchos sitios todavía tienen fuentes de poder de 24VDC. Algunos equipos de radio tienen un amplio rango de entrada que acepta fuentes de 24 o 48VDC en ambas polaridades. Sin embargo, un convertidor externo de energía puede ser requerido para el equipo que no cubre este rango.

3.4.9.2 Consumo de potencia. Es el consumo de Watts requeridos el total de los equipos y fuentes de energía del sistema de microondas.

3.4.9.3 Certificación de los equipos. La certificación se refiere al aval que quedan las entidades reguladoras de telecomunicaciones para la puesta en marcha de un equipo de microondas, esto en base al cumplimiento de estándares de transmisión y aspectos relacionados con el medio ambiente.

3.4.9.4 Sistema de puesta a tierra. Puesta a tierra significa la conexión de un equipo a través de un conductor hacia tierra. La tierra está compuesta por muchos materiales, los cuales pueden ser buenos o malos conductores de la electricidad, pero la tierra como un todo se considera como un buen conductor. Por esta razón y como punto de referencia, al potencial de tierra se le asume cero. La resistencia de un electrodo de tierra, medido en ohmios, determina que tan rápido, y a que potencial, la energía se equipara. De esta manera, la puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los objetos al mismo nivel de tierra. Para sistemas de microondas se requiere de una resistencia de 2Ω o menos para la adecuada operación de los equipos.

3.4.9.5 Sistema eléctrico de protección y emergencia. Se refiere a todos los sistemas y equipos que permiten un servicio eficiente, continuo y seguro del suministro de energía para los equipos de microondas. Los sistemas eléctricos de emergencia actúan de forma automática ante la pérdida del fluido eléctrico y los sistemas de protección están orientados principalmente a contrarrestar fallos por transitorios, descargas atmosféricas y disturbios en el voltaje de alimentación, entre otros.

3.4.10 Entorno tecnológico. Los sistemas de microondas han evolucionado a través del tiempo, ofreciendo cada vez mejores características, con precios en descenso. Estos sistemas han logrado un mayor campo de aplicación como en la transmisión de televisión, servicios de voz e interconexión de redes de datos.

En la Tabla 3.10 se muestran las tecnologías más usadas actualmente para la transmisión de datos por microondas y sus principales características.

La tecnología **Wi-Fi** (Wireless-Fidelity) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Por su parte el estándar **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) se fundamenta en la norma IEEE 802.16. PRE-WiMAX, lo constituyen soluciones propietarias, que se implementaron antes de consolidarse WiMAX como un estándar. Este tipo de tecnologías o soluciones de interconexión se basan en técnicas de espectro expandido con modulaciones DSSS Y OFDM. Estándares que serán descritos más adelante.

La tecnología de Tasas de Datos Mejoradas para Evolución de GSM (**EDGE**, *Enhanced Data rates for GSM Evolution*,) es una tecnología de la telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes de segunda y tercera generación (2G y 3G). Se considera una evolución del Servicio General de Paquetes de Radio (**GPRS**, *General Packet Radio Service*). Esta tecnología funciona con redes de Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (**GSM**, *Global System for Mobile Communications*). Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias, además no todos los teléfonos móviles soportan esta tecnología. EDGE soporta servicios de voz, video, datos y conexión a internet.

Las redes de Evolución de Datos Optimizados (**EVDO**, *Evolution Data Optimized*) es un estándar de comunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de redes de telefonía celular. Está clasificado como un acceso de banda ancha y utiliza técnicas de multiplexación como Acceso Múltiple por División de Código (**CDMA**, *Code Division Multiple Access*) para maximizar la cantidad de información transmitida.

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (**UMTS**, *Universal Mobile Telecommunications System*) es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación sucesora del GSM, que busca mejorar los servicios existentes, de voz y datos incrementando su calidad, confiabilidad, velocidad, a expensas de un menor costo final para el usuario y de operación para las empresas de equipos celulares.

Una tecnología de gran aceptación para la interconexión de sedes de empresas, dispuestas a pagar costos de licencia, es LMDS, que es una tecnología de conexión vía microondas que permite, gracias a su ancho de banda, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda, operando en una banda relativamente alta de las microondas (25 – 40 GHz), donde son considerables los efectos de lluvia y atenuación, por lo que es necesario que los equipos posean adaptación dinámica de potencia y modulación, así como sistemas más fiables de corrección de errores. Esta tecnología será estudiada posteriormente en la sección 3.6.

Tabla 3.10. Principales características de tecnologías bajo microondas.

TECNOLOGÍA	Wi-Fi	WiMAX	PRE-WiMAX	EDGE	EVDO	UMTS	LMDS
ESTÁNDAR	802.11g	802.16d 802.16g	Sistemas propietarios	2.5G	3G	3G	4G
APLICACIÓN	WLAN	WMAN	WMAN	WMAN	WMAN	WMAN	WMAN
MOVILIDAD	Limitada	SI	NO	SI	SI	SI	Limitada
VELOCIDAD	<54Mbps	<75Mbps	<20Mbps	<384Kbps	<2.4Mbps	<2Mbps	<8Mbps
COBERTURA/ ALCANCE DE CELDA	<100m	<15Km	<5KM	10Km	10Km	10Km	10Km
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	2.4GHZ	2- 11GHZ	2-6GHz	800-1900 MHz	800-1900 MHz	1900Mhz	28GHz
REQUERIMIENTO DE LICENCIA	No	SI/NO	SI/ NO	SI	SI	SI	SI

3.5 WIFI Y WIMAX

3.5.1 Principales sistemas de modulación.

3.5.1.1 Espectro ensanchado. El Espectro Ensanchado (**SS**, *Spread Spectrum*) es una técnica por la cual la señal transmitida se ensancha a lo largo de una banda muy ancha de frecuencia, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se quiere enviar (ver Figura 3.7). Las comunicaciones por espectro ensanchado no son medios eficientes de utilización del ancho de banda, sin embargo, rinden al máximo cuando se les combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia. Las señales SS pueden coexistir con señales de banda estrecha, ya que sólo les aporta un pequeño incremento de ruido. En lo que se refiere al receptor de SS, él no traduce las señales de banda estrecha, ya que está interpretando una señal con un ancho de banda mucho más amplio gracias a una secuencia de código preestablecido. La implementación práctica de los sistemas SS ha sido relativamente reciente, y ha logrado constituirse como una solución de gran aceptación en el mercado puesto que resiste a interferencias externas, opera con baja densidad espectral de energía, proporciona capacidad de acceso múltiple y un canal seguro e inaccesible para estaciones no autorizadas.

3.5.1.2 Técnicas de ensanchado del espectro.

3.5.1.2.1 Sistemas de secuencia directa. En la técnica de Secuencia Directa de Espectro Ensanchando (**DSSS**, *Direct Sequence Spread Spectrum*), una portadora en banda estrecha se modula mediante una secuencia pseudoaleatoria. Como se aprecia en la Figura 3.8. En esta técnica se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal, entonces cada bit establecido en un nivel lógico "1" es reemplazado por una

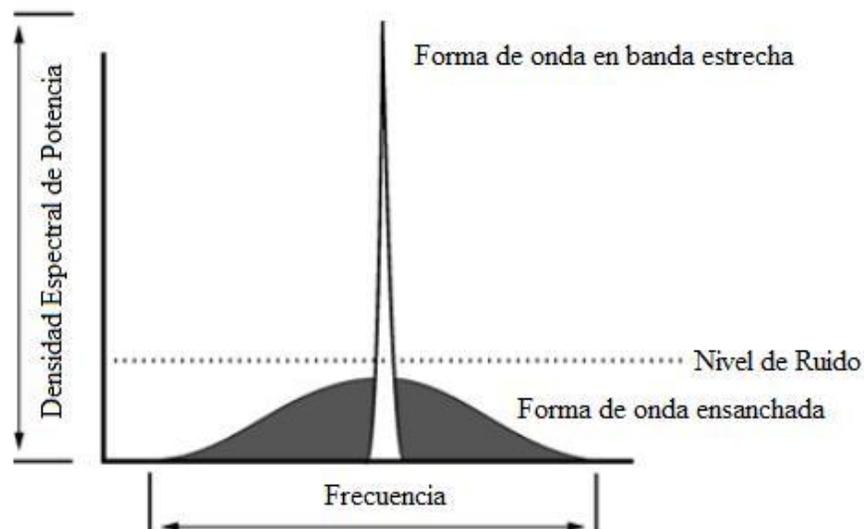
secuencia de bits y cada bit establecido en "0" es remplazado por su complemento. Cuando mayor sea esta señal, mayor será la resistencia a interferencias.

El estándar 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En la recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica DSSS, Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase (**DBPSK**, *Differential Binary Phase Shift Keying*) y la Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial (**DQPSK**, *Differential Quadrature Phase Shift Keying*), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

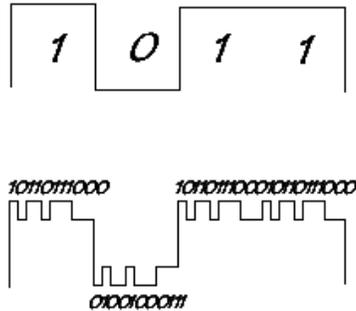
Una evolución de DSSS, es La técnica de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa de Alta Velocidad (**HR-DSSS**, *High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*) permite obtener velocidades de hasta 11 Mbps.

Figura 3.7. Comparación señal en banda estrecha con señal en espectro ensanchado.



3.5.1.2.2 Sistemas de Salto de Frecuencia. En la técnica de Espectro Ensanchado por salto de Frecuencia (**FHSS**, *Frequency Hopping Spread Spectrum*) la frecuencia portadora del transmisor cambia (o salta) abruptamente de acuerdo a una secuencia pseudoaleatoria. El orden de las frecuencias seleccionadas por el transmisor viene dictado por la secuencia de código. El receptor autorizado, está en sincronía con el transmisor y por tanto puede rastrear estos cambios y recuperar la información, mientras que los receptores no autorizados escucharán una señal ininteligible.

Figura 3.8. Señal Original y Señal “Chip” para la técnica DSSS.



3.5.1.2.3 **CCK**. La técnica de Clave de Código Complementaria (**CCK**, *Code Complementary Keying*) permite codificar directamente varios bits de datos en un solo chip al utilizar ocho secuencias de 64 bits. Por lo tanto el método CCK puede alcanzar una velocidad máxima de 5,5 Mbps al codificar 4 bits de una sola vez o hasta 11 Mbps, al codificar 8 bits de datos.

3.5.1.2.4 **OFDM**. En la técnica de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (**OFDM**, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), se envía la información modulando en QAM o PSK un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias. Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir errores producidos en la transmisión, por lo que a esta modulación se le denomina COFDM (Coded OFDM).

3.5.2 Estándar IEEE 802.11. El estándar IEEE 802.11 se basa en el mismo marco de estándares que Ethernet, garantizando un nivel de interoperatividad excelente y asegurando una implantación sencilla de las funciones y dispositivos de interconexión Ethernet/WLAN. El estándar 802.11 y sus derivados (tales como 802.11a, 802.11b, 802.11g) se han desarrollado ampliamente en escenarios de LAN comerciales, gubernamentales y residenciales y en algunas aplicaciones en redes de servicio público, principalmente Hotspots³⁴, proporcionando cobertura del rango de cientos de metros; las características generales de estos se indican en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Características Generales del 802.11(a, b y g).

ESTÁNDAR	802.11a	802.11b	802.11g
AÑO DE APROBACIÓN	1999	1999	2003
FRECUENCIA	5GHz	2.4GHz	2.4GHz
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	<54Mbps	<11Mbps	<54Mbps

³⁴ Un *Hotspot* es un punto de acceso inalámbrico público donde los usuarios pueden conectarse a Internet; se puede encontrar de forma gratuita o pagando una tarifa por el acceso.

3.5.2.1 Estándar 802.11a. La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 sub-portadoras OFDM con una velocidad máxima de 54 Mbps, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de hasta 20 Mbps. La velocidad de datos se reduce a 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps dependiendo de las condiciones del enlace. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede operar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

Dado que la banda de 2.4 Ghz tiene gran uso³⁵, el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

3.5.2.2 Estándar 802.11b. La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CD definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CD, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP³⁶.

Aunque también utiliza una técnica de ensanchado de espectro basada en DSSS, en realidad la extensión 802.11b introduce CCK, para llegar a velocidades de 5,5 y 11 Mbps (tasa física de bit). El estándar también admite el uso de Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes (**PBCC**, *Packet Binary Convolutional Coding*) como opcional. Los dispositivos 802.11b deben mantener la compatibilidad con el anterior equipamiento DSSS especificado a la norma original IEEE 802.11 con velocidades de bit de 1 y 2 Mbps.

3.5.2.3 Estándar 802.11g. En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Que es la evolución del estándar 802.11b. Este utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, que en promedio es de 22.0 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar IEEE 802.11b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del

³⁵ Debido a que es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos.

³⁶ UDP. User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario).

estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar IEEE 802.11g la presencia de nodos bajo el estándar 802.11b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b. Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 km con antenas parabólicas apropiadas.

3.5.2.4 Estándar 802.11n. En enero de 2004, el IEEE, anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 Task Group N (**TGn**) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología de Multiple Entrada – Multiple Salida (**MIMO**, *Multiple Input – Multiple Output*), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de diversidad de antenas. A principios de 2007 se aprobó el segundo borrador del estándar. Anteriormente ya había dispositivos adelantados al protocolo y que ofrecían de forma no oficial éste estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar cuando el definitivo estuviera implantado).

A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en 802.11n permite alcanzar un mayor rendimiento.

La Tabla 3.12 resume las principales técnicas de modulación utilizadas en WLAN y las relaciona con las velocidades alcanzadas; Igualmente, otras revisiones a la tecnología 802.11 con algunas características principales se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.12. Técnicas de modulación empleadas en WLAN.

ESTANDAR WLAN	MODULACIÓN	VELOCIDAD (MBPS)
802.11	DBPSK, DQPSK, DSSS, FHSS	<2
802.11a	BPSK	6-9
	QPSK	12-18
	16-QAM	24-36
	64-QAM	48-54
802.11b	CCK	<2
	HR-DSSS	<11
802.11g	CCK	<11
	OFDM	<54

Tabla 3.13. Revisiones del estándar 802.11.

REVISIÓN AL ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
802.1d	Especificaciones para diferentes dominios de regulación
802.11e	Proporciona QoS y permite velocidades hasta 54Mbps entre 2 y 5GHz
802.11f	Comunicación entre puntos de Acceso
802.11h	Incorporación de selección dinámica de canal (DCS, Dynamic Channel Selection) y control de potencia de transmisión (TPC, Transmission Power Control)
802.11i	Mejoras en seguridad basadas en autenticación y encriptación.
802.11j	Coexistencia entre IEEE, ETSI, HyperLAN2, la Asociación de Industrias y Negocio de Radio y la Red de Acceso Inalámbrico de Alta Velocidad Tipo a (HISWANA, High Speed Wireless Access Network Type a).
802.11n	Correcciones y recomendaciones para mantenimiento de redes inalámbricas.

3.5.3 Wi-Fi. Alianza de Fidelidad Inalámbrica (**WI-FI**, *Wireless Fidelity Alliance*) se refiere a la clase de Ethernet especificada bajo los estándares IEEE 802.11 para operación de redes de área local en la banda no licenciada de los 2,4 y 5 GHz. Esta tecnología de reciente implementación, surgió por la necesidad de establecer un mecanismo de conexión inalámbrica que fuera compatible entre los distintos aparatos.

En busca de esa compatibilidad fue que en 1999 las empresas 3com, Airones, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies se reunieron para crear la Alianza para la Compatibilidad de Redes Ethernet Inalámbricas (**WECA**, *Wireless Ethernet Compability Alliance*), actualmente llamada Wi-Fi Alliance.

Al año siguiente de su creación la WECA certificó que todos los aparatos que tengan el sello Wi-Fi serán compatibles entre sí ya que están de acuerdo con los criterios estipulados en el protocolo que establece la norma IEEE 802.11.

3.5.4 Estándar IEEE 802.16. El 802.16 es una norma emergente para acceso inalámbrico de banda ancha global, con capacidad, robustez y desempeño altos para dar soporte a tecnologías fijas, portables y móviles, sobre coberturas extensas; trabaja en bandas licenciadas como no licenciadas y tiene la posibilidad de desenvolverse en escenarios que no reúnen condiciones de línea de vista.

Este estándar especifica una capa MAC pero presenta diferentes capas PHY (*Physical*, Capa Física) debido a las regiones de espectro diferentes que cubre, que se extienden en las microondas milimétricas desde los 2 GHz hasta los 66 GHz. A diferencia de los estándares que gobiernan las Redes WLAN tales como el IEEE 802.11 y sus derivados (802.11a, 802.11b y 802.11g), el 802.16 no exhibe tasas de rendimiento fijas para usuarios individuales sino que presenta en promedio un máximo teórico de 70 Mbps para un ancho de banda de canal de 20 MHz.

La Tabla 3.14 muestra las principales características de la familia de estándares 802.16 y su evolución hasta el 802.16e.

Tabla 3.14. Características principales de los estándares 802.16.

ESTÁNDAR	802.16	802.16a	802.16-2004	802.16e
ESPECTRO	10 - 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz	< 6 GHz
FUNCIONAMIENTO	Solo con visión directa	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
TASA DE BIT	32 - 134 Mbit/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	11Mbps con dos canales de 3.5MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5 MHz
MODULACIÓN	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 sub-portadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM con 256 sub-portadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	S-OFDMA ³⁷ , 2048 sub-portadoras QPSK, 16QAM, 64QAM
MOVILIDAD	Sistema fijo	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
ANCHOS DE BANDA	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz
RADIO DE CELDA TÍPICO	2 - 5 km aprox.	5 - 10 km aprox. (alcance máximo de unos 50 km)	2 - 5 km aprox.	2 - 5 km aprox.

3.5.5 PRE-WiMAX. Se consideran PRE-WiMAX aquellos que equipos o sistemas de microondas, que siguen las recomendaciones del estándar 802.16 pero que aun no se han certificado como

³⁷ Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal Escalable (S-OFDMA, Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access) hace que equipos que trabajen bajo 802.16e sean incompatibles con equipos 802.16-2004 debido a la diferencia en el número de portadoras que soportan.

WiMAX para ser compatibles con otros fabricantes. Por tanto estos equipos también se les consideran como soluciones propietarias. Entre los principales fabricantes de equipos PRE-WiMAX se encuentran: Motorola, Alvarion, Aperto, Axxelera e HyperLink entre otros.

No se consideran PRE-WiMAX aquellas soluciones que se basan en Wi-Fi, LMDS o tecnologías propietarias de mono-portadora CDMA.

3.5.6 WiMAX. Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (**WiMAX**, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es una organización sin ánimo de lucro, fundada en abril de 2002, por algunos promotores del 802.16. La misión del foro WiMAX es abogar por la estandarización y aceptación del nuevo protocolo WMAN a través de la confirmación de estándares uniformes que permitan la compatibilidad e interoperabilidad de componentes y sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (**BWA**, *Broadband Wireless Access*).

Hoy, existen aproximadamente 300 compañías que participan en el Foro WiMAX, incluyendo algunos operadores y varios de los principales Fabricantes de Equipos Originales (**OEM**, *Original Equipment Manufacturer*) como Intel, Motorola, Alcatel, Ericsson, Lucent, Nortel y Siemens.

El proyecto general de WiMAX actualmente incluye al 802.16-2004 y al 802.16e. El 802.16-2004 utiliza OFDM, para servir a múltiples usuarios en una forma de división temporal en una especie de técnica circular, pero llevada a cabo extremadamente rápido de modo que los usuarios tienen la sensación de que siempre están transmitiendo o recibiendo. El 802.16e utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Vector Ortogonal (**OFDMA**, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) y puede servir a múltiples usuarios en forma simultánea asignando grupos de “tonos” a cada usuario.

En las oportunidades de mercado para WiMAX se encuentran las siguientes:

- Reemplazo y extensión de DSL y cable módem
- Backhaul inalámbrico en una red celular
- Backhaul inalámbrico en una red LAN/Wi-Fi
- Cobertura portátil o móvil

3.6 LMDS

3.6.1 Definición. Sistema de Distribución Local Multipunto (**LMDS**, *Local Multipoint Distribution Service*). LMDS es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que se basa en una concepción celular, es decir utilizan estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, generando una estructura basada en células, también llamadas áreas de servicio,

donde cada célula tiene un radio de aproximadamente 4 Km, pudiendo variar dentro de un intervalo en torno a los 2-7 km. Son redes de acceso inalámbricas fijas, donde el equipo del usuario final no requiere de movilidad alguna, así que no hay movilidad entre células, por ejemplo un PC.

El acrónimo LMDS es derivado de:

- **L (local)**. Al área potencial de cobertura se limita a una celda debido las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias.
- **M (multipunto)**. Indica que las señales son transmitidas según un método PTM; el enlace inalámbrico entre el suscriptor y la estación es una transmisión es PTP.
- **D (distribución)**. Se refiere a la distribución de las señales, las cuales pueden ser tráfico simultáneo de voz, datos, Internet y video.
- **S (servicio)**. Servicios múltiples de voz y datos con diferentes calidades de servicio y ancho de banda dinámico.

LMDS está enmarcada en la tercera generación de redes de Bucle Local Inalámbrico (**WLL**, *Wireless Local Loop*). Se basa en comunicaciones PTM entre la estación emisora y los receptores del servicio. Debido a que funcionan a alta frecuencia en dos bandas, una a 3,5 GHz y otra a 26-28 GHz, poseen elevados anchos de banda posibilitando múltiples servicios de banda ancha como: TV (analógica, digital y VoD³⁸), telefonía, acceso a Internet, servicios interactivos, etc. LMDS (banda 28 GHz), se utiliza fundamentalmente en zonas urbanas, en centro de ciudades e inclusive en un ámbito rural.

Esta tecnología tiene un gran potencial real de ofrecer completa capacidad, en entornos urbanos de alta densidad de población (de más de 12000 hogares/Km²). Es decir, dar servicio a aproximadamente 80.000 abonados. Dadas sus enormes posibilidades en banda ancha, el potencial de LMDS en el escenario de las telecomunicaciones inalámbricas, se compara en algunos sectores con la ruptura que supuso en su momento la fibra óptica en el mundo del cableado; de hecho, se le confiere el carácter de “fibra óptica virtual”.

LMDS permite el acceso a Internet de alta velocidad, tanto para el sector residencial³⁹ como para el empresarial, gracias a las técnicas digitales. Finalmente, esta tecnología presenta un importante potencial como tecnología de acceso (especialmente compatible con las redes de fibra óptica, redes HFR, (*Hybrid Fibre Radio*) para nuevos operadores que no dispongan de grandes recursos Financieros.

³⁸ VoD. Video on demand , vídeo bajo demanda

³⁹ No tiene masificación en zonas residenciales debido al elevado coste de tarificación

3.6.2 Estandarización la tecnología LMDS. El estándar IEEE 802.16 WirelessMAN (*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*) define los niveles físico y de acceso al medio, MAC para un acceso inalámbrico de banda ancha. 802.16 admite dos métodos de Multiplexación: en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo. En el primer caso se utilizan dos portadoras diferentes, una para el enlace ascendente y otra para el descendente, ambas de 28 MHz, mientras que en el segundo caso, ambos enlaces comparten una única portadora, con una anchura de canal igualmente de 28 MHz.

3.6.3 Optimización tecnológica. LMDS utiliza la banda de 28 GHz, logrando superar dificultades como la atenuación debida a la lluvia, y las altas potencias de emisión necesarias en para lograr un cierto alcance de la señal, por lo que se creía era inviable económicamente utilizar estas frecuencias, dada la dificultad y coste de emitir y recibir con la calidad adecuada y la potencia de señal necesaria. LMDS hace uso de tres claves técnicas para la optimización en esas altas frecuencia: el teorema de Shannon de equivalencia entre ancho de banda y potencia, la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias.

Por el teorema de Shannon de equivalencia exponencial entre potencia y ancho de banda, si se duplica el ancho de banda utilizado, sólo es necesario emitir la raíz cuadrada de la potencia para lograr la misma relación señal a ruido en recepción. En bajas frecuencias no sería posible esto, debido a la saturación del espectro, y a lo que se recurre es a emisiones de alta potencia para compensar la limitación de ancho de banda. Como el ancho de banda espectral en esas frecuencias altas es un recurso más abundante (se dispone de 1 , 2 o 3 GHz), se utilizan sistemas de modulación en banda ancha para transmitir la señal (por ejemplo, modulación FM). Esto permite utilizar potencias mucho más bajas.

Este ahorro de potencia en emisión y recepción permite utilizar equipos más pequeños y baratos, lo que también hace a un sistema LMDS, un contribuyente a favor de la saturación electromagnética, y asimismo se minimiza el posible efecto nocivo para la salud de las personas en las cercanías de los emisores.

La otra clave es la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable. Emitiendo un haz con polarización muy estable, y captando solamente el haz de mayor potencia recibido en la antena (detección de haces muy estrechos, con discriminación de polarización), se desechan las contribuciones secundarias de señal procedentes de múltiples reflexiones, lo que suprime interferencias e imágenes "fantasma".

Las otras dos claves del sistema son la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias. Emitiendo un haz con polarización muy estable, y captando solamente el haz de mayor potencia recibido en la antena (detección de haces muy estrechos, con discriminación de polarización), se desechan las contribuciones secundarias de

señal procedentes de múltiples reflexiones, lo que suprime interferencias e imágenes "fantasma". Además, esto proporciona robustez adicional frente a la lluvia. Por último, utilizando simultáneamente polarización opuesta y desplazamientos de las frecuencias centrales por canal, tanto para difusión en células adyacentes como para canales de retorno de banda ancha en la propia célula, se consigue duplicar el ancho de banda efectivo del sistema, por lo que en LMDS a 28 GHz no es necesario alternar frecuencias entre células adyacentes, algo imprescindible en otros sistemas celulares; con el consiguiente ahorro de este recurso natural escaso y de creciente valor.

3.6.4 Atenuación. La lluvia produce un efecto de degradación de la señal conocido como "*rain fade*" que afecta a señales de frecuencia elevada y en principio es un problema para LMDS. La forma de solucionarlo es aumentando la potencia de transmisión⁴⁰, reduciendo el tamaño de la célula o mediante la aplicación de los dos métodos al tiempo. De hecho, en células con radio menor de 8 Km el *rain fade* no aparece. Otros agentes meteorológicos, como la nieve o el hielo, no introducen ningún tipo de deterioro en la señal.

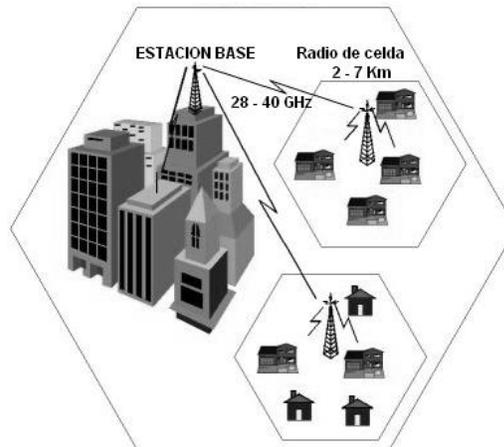
Las señales de elevada frecuencia no son adecuadas para las comunicaciones terrestres debido a que experimentan reflexiones cuando encuentran obstáculos, originando las zonas de sombra a las que no llega la señal; sin embargo, estas frecuencias altas ofrecen importantes ventajas en términos de ancho de banda fundamentalmente y bajo nivel de saturación del espectro. Como consecuencia directa de trabajar con las frecuencias más elevadas del espectro, LMDS requiere la existencia de Línea de Vista (**LOS**, *line of sight*) o camino sin obstáculos entre la estación base y la antena situada en el lugar de ubicación del usuario o abonado para que la señal no sufra reflexiones y pueda llegar a su destino. Por ello, LMDS se considera un sistema LOS en el sentido de que el camino entre los dos puntos entre los que se establece la transmisión debe aparecer libre de obstáculos. Para tratar de disminuir el nivel de sombra en una determinada zona se basan en la utilización de reflectores y amplificadores y en redes más extensas, en el solapamiento de células.

3.6.5 Arquitectura y topología de red. El carácter innovador fundamental de la tecnología LMDS consiste en que trabaja en el margen superior del espectro electromagnético, en la banda Ka de 28 GHz, generalmente en el intervalo 27,5 GHz - 29,5 GHz, y en la banda de 31 GHz (para algunos países) utilizada habitualmente para control de tráfico y vigilancia meteorológica, concretamente en el intervalo 31,0 GHz - 31,3 GHz. Estas frecuencias se utilizan en el contexto de las comunicaciones por satélite, he ahí la innovación de LMDS en su utilización en las comunicaciones terrestres. Con este sistema se pueden obtener velocidades de hasta 30 Mbps, dependiendo del ancho de banda del enlace.

⁴⁰ Se utilizan normalmente sistemas de potencia variable que, asociados a equipos de detección de lluvia, aumentan la potencia de transmisión de forma automática cuando se produce la lluvia.

LMDS tiene concepto de radiodifusión, en concreto PTM, una estación base, ubicada en un lugar apropiado, ofrece cobertura a un conjunto de estaciones de abonado (hogares y oficinas), que entran dentro de su zona de cobertura, como lo mostrado en la Figura 3.9. La particularidad aparece aquí, en que la comunicación se puede establecer en los dos sentidos simultáneamente (two-way) desde la estación central a los diferentes puntos de emplazamiento de usuario y viceversa. Esto es posible gracias a la tecnología digital, que ha sido en realidad lo que ha conferido toda la importante potencia tecnológica y estratégica que presenta los sistemas LMDS.

Figura 3.9. Celda en LMDS.



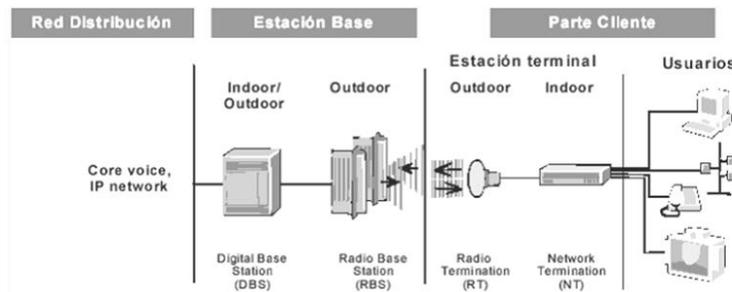
La tecnología LMDS utiliza el método de modulación de Cambio de Fase en Cuadratura (**QPSK**, *Quadrature Phase Shift Keying*) que permite reducir las interferencias y aumentar casi hasta el cien por cien la reutilización del espectro. El ancho de banda conseguido gracias a estas características se acerca a 1 Gbps. Por otra parte, en lo que respecta al contexto de protocolos, LMDS aparece como un sistema especialmente neutro, lo cual aumenta su potencial integrador. LMDS puede trabajar en entornos ATM, TCP/IP y MPEG-2.

Los elementos a tener en cuenta para evaluar la viabilidad de un proyecto LMDS se encuentra el número de usuarios o abonados, del cual se permite obtener la potencia de la estación base y el tamaño de la célula; este último se establece también en función de las zonas de sombra, condiciones meteorológicas relativas a lluvia, y tecnología utilizada en los equipos.

La arquitectura de red LMDS (ver Figura 3.10) consiste principalmente en cuatro partes:

- Centro de operaciones y administración de la Red o Cabecera.
- Backbone.
- Estación Base EB.
- Equipamiento del Cliente, CPE.

Figura 3.10. Arquitectura de la red LMDS.



3.6.4.1 Equipamiento del cliente CPE. El Equipamiento del Cliente (**CPE**, *Customer Premises Equipment*) incluye elementos que soporta el estándar LMDS IEEE 802.16. Las funciones del equipamiento del cliente, son dotar al usuario⁴¹ de un canal bidireccional de datos, y de una interfaz que posibilite la integración de todos los servicios, bajo un único enlace fijo vía radio. Las partes más generales son:

- **Antena.** Tipo disco de reducido diámetro (10-15 cm de diámetro banda de 26 GHz) ó cuadrada y plana (25x25 cm banda 3,5 GHz).
- **Receptor / Transmisor RF.** Equipo que transmite y recibe la información. Para aplicaciones simétricas de tráfico, como telefonía, datos e Internet.
- **Receptor RF.** Equipo que transmite y recibe señales, denominado Bloque Amplificador de Bajo Ruido (**LNB**, *Low Noise Block*). Usado para aplicaciones asimétricas.
- **Equipamiento adaptador.** Adapta las señales RF para su recepción decodificada por el terminal del usuario, siendo una interfaz a la red de acceso inalámbrica.

En términos muy generales, en el CPE la antena capta la señal emitida por la estación base y la unidad de interfaz de red la convierte en voz, vídeo y datos, y la distribuye por todos los cables existentes en la planta del edificio, según sea su origen y su aplicación.

3.6.4.2 Estación base EB. Consistente en una torre de varios metros de altura dónde se instalan dos antenas que dan cobertura a los usuarios ubicados en las cercanías (hasta 6 Km). Se pretende que la estación base proporcione cobertura omnidireccional, por lo que se emplean dos antenas que cubren sectores de 180 grados cada una.

- **La antena sectorizada.** Su modo de funcionamiento se basa en dividir el diagrama de radiación de la antena en sectores, de forma que se puedan crear diferentes nodos de

⁴¹ Usuarios. se refiere a los usuarios finales sean Residencial y/o empresarial, con sus respectivos terminales como teléfono, televisor, u PC.

área de servicio, lo que permite reutilizar frecuencias, lo cual produce un notable incremento de la capacidad global del sistema, en particular, en lo que concierne a la generación de servicios en dos sentidos. La sectorización se realiza en cuadrantes, normalmente utilizando polaridades alternadas horizontal y vertical en cada sector.

- **Backbone o red de transporte.** Tiene la función de conectar la cabecera con otras redes de todo tipo (voz, datos, Internet ó TV). En la estación base, por lo general las células están conectadas con anillos SDH de fibra óptica y/o enlaces PTP de microondas. Además existen interconexiones con redes telefónicas tradicionales y a Internet. El Backbone realiza la conversión de la infraestructura de fibra a la infraestructura inalámbrica.
- **Centro de operaciones y administración de la Red o Cabecera.** Soporta ó facilita la transmisión de los diferentes servicios ofertados (voz, datos, TV, Internet), procesando la información y enviándola a todas las estaciones base.

3.6.5 Capacidad, alcance y celularización. La capacidad de un sistema LMDS (bastante similar a cualquier otro sistema inalámbrico) se refiere a la velocidad total que puede proporcionar y la cantidad máxima de instalaciones de clientes. El alcance de un sistema radioeléctrico es el factor principal en la capacidad del mismo. De hecho casi todos los componentes que determinan la capacidad de un sistema están relacionados con el alcance, a continuación se mencionan los puntos que caracterizan a LMDS deben ser tenidos en cuenta:

- **Ancho de banda.** En la banda de 27 GHz, el ancho de banda asignado a cada operador por El Ministerio Comunicaciones de Colombia es de 145 MHz. Que podrá ser repartido según el re-uso de frecuencia y según la sectorización. El ancho de banda para cada usuario depende del la modulación.
- **Atenuación de la señal.** Factor que depende de Frecuencia de la señal y distancia entre transmisor y receptor. Debido a que la atenuación debida a la frecuencia es función del cuadrado de la misma, por ejemplo señales de la banda comercial de FM que transmiten cerca de los 100 MHz: Una señal LMDS se atenúa casi 80.000 veces más que dicha FM. La distancia también provoca atenuaciones que sigue una ley cuadrática, es decir la atenuación es directamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- **Potencia efectiva de transmisión.** Se la denomina **EIRP** (*Potencia Efectiva Radiada Isotrópicamente*), depende de la potencia (eléctrica) de las señales generadas en el transmisor, y ganancia de la antena transmisora. Aquí se debe tener en cuenta las limitaciones por regulación.

- **Método de modulación.** Una modulación de menor densidad, aunque proporcione menor velocidad, permite trabajar con mayor relación señal a ruido, lo que implica que trabajar con menor eficiencia de modulación permite un aumento en la cobertura del sistema. Por ejemplo, con un sistema 64QAM que teóricamente da un rendimiento de 6 bps/Hz, sólo alcanzará efectivamente un máximo de 5 bps/Hz. Y otro como el QPSK que opera con 2 bps/Hz en bruto sólo proporcionará un máximo de 1,6 bps/Hz en forma efectiva. LMDS trabaja con QPSK para así poder usar células de 3,2 Km, debido a que una menor eficiencia permite mayores distancias.
- **Efectos de la lluvia.** Anteriormente se había mencionado el efecto de la lluvia sobre señales de alta frecuencia, el efecto se pone de manifiesto básicamente cuando el tamaño de las gotas es comparable con la longitud de onda de las señales. En la banda de 28 GHz, por ejemplo, estamos hablando de algo menos de 11 mm.
- **Celularización y re-uso de frecuencias.** Para aumentar el alcance del sistema de radio LMDS, se recurre al mecanismo de interconectar células. Haciendo uso de la reutilización de frecuencias, es decir, se pueden establecer células no contiguas usando una misma frecuencia.
- **Sectorización del patrón de transmisión.** Consiste en sectorizar el patrón de transmisión de una estación base. Para ello en lugar de una radiación de 360 grados (omnidireccional) se usan antenas direccionales con cobertura fraccionaria, pero que se completa con múltiples antenas sectorizadas secuencialmente. La sectorización puede hacerse en haces que se estrechan desde 90 a 15 grados, con lo que la célula se divide en valores que van desde 4 hasta 24 sectores respectivamente. También puede usarse una sectorización basada en *polarizaciones ortogonales* (horizontal y vertical) de las señales. La cuestión pasa por el hecho que las señales radioeléctricas puede polarizarse, es decir, responder a señales cuyo campo eléctrico se expande con un frente horizontal o bien con un frente vertical. Con sistemas de antenas ideales, una señal emitida con una determinada polarización no será captada por una antena receptora con la polarización cruzada (es decir, la otra) aunque trabajen en la misma frecuencia.
- **Acceso a la red.** Para acceder a una red como LMDS se pueden usar los sistemas más populares como TDMA y FDMA.
- **Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service).** Durante la planificación de celdas para una red LMDS, hay que tomar en cuenta la calidad de servicio. La calidad del servicio se encuentra afectada por varios factores como por ejemplo: la obstrucción del camino de transmisión, el solapamiento de celdas (15% es normal) y redundancia del sistema.

3.6.6 Ventajas y desventajas. Las principales ventajas de LMDS son:

- Menor inversión que los sistemas de telecomunicaciones tradicionales. Al ser el medio de transmisión vía radio, se hace fácil desarrollar la infraestructura necesaria para el establecimiento del servicio. Además maneja bajos costos de mantenimiento, manejo y operación del sistema.
- El tiempo de ejecución de la infraestructura es mucho menor, lo cual implica que los costes de establecimiento se reducen enormemente, puesto que con una sola estación transmisora se cubren todos los posibles clientes que entren dentro de la extensa área de cobertura de la misma.
- Puesto que es un sistema de transmisión de datos, toda la información que se pueda digitalizar será susceptible de ser transmitida por él. Y además al ser un sistema de transmisión de banda ancha, se posibilita la integración de los servicios sobre el mismo medio de transmisión. Por lo tanto, utilizando la misma tecnología, un mismo usuario puede recibir servicios muy diferentes tales como acceso a Internet, telefonía, información multimedia bajo demanda, datos, etc. Al permitir la bidireccionalidad, se pueden ofrecer servicios como la TV multicanal, la telefonía ó el acceso a Internet conjuntamente mediante una plataforma única. Otras tecnologías inalámbricas tales como MMDS o el satélite no lo permiten.

En conclusión. Permite un despliegue de red más rápido y fácil; entrega del servicio en corto espacio de tiempo; un servicio de ancho de banda en función de las necesidades de cada cliente; un ancho de banda simétrico, fiable y garantizado; lo que se traduce en un uso más eficiente de los recursos. Habilidad para manejar múltiples puntos de acceso de alta capacidad, con tiempos de instalación reducidos sin la preocupación de obtener los derechos de instalar cableados externos. Desde un punto de vista funcional, es capaz de prestar los mismos servicios que las tecnologías de cable, pero es mucho más barata, sencilla y rápida de desplegar. Velocidades de acceso de hasta 70 Mbps. Redistribución del ancho de banda entre clientes a tiempo real. Plataforma multi- servicios. Alta confiabilidad. El sistema LMDS permite ofrecer, con gran fiabilidad y calidad de señal, prácticamente los mismos servicios que las redes de fibra óptica y cable coaxial

Las desventajas de la utilización de LMDS como tecnología de enlace son:

- La necesidad más clara que tiene este sistema es la necesidad de línea de vista, además de tener un alcance limitado. Por ser una tecnología nueva trae consigo dificultades en la emisión a altas frecuencias y alto coste de fabricación de los equipos.
- Altos costos del uso del espectro si es para redes privadas.

3.7 SEGURIDAD EN REDES INALÁMBRICAS

3.7.1 Riesgos de las redes inalámbricas. La irrupción de la tecnología de comunicación basada en redes inalámbricas ha proporcionado nuevas expectativas para el desarrollo de sistemas de comunicación, así como nuevos riesgos. La utilización del aire como medio de transmisión de datos mediante la propagación de ondas de radio, ha proporcionado nuevos riesgos de seguridad. La salida de estas ondas fuera del edificio donde está ubicada la red permite la exposición de datos a posibles intrusos que podrían obtener información sensible a la empresa a la seguridad informática de la misma.

Varios son los riesgos derivables de este factor. Por ejemplo, se podría perpetrar un ataque por inserción, bien de un usuario no autorizado o por la ubicación de un punto de acceso ilegal más potente que capte las estaciones cliente en vez del punto de acceso legítimo, interceptando la red inalámbrica. También sería posible crear interferencias y una más posible denegación de servicio con solo introducir un dispositivo que emita ondas de radio a la frecuencia de la red inalámbrica. La posibilidad de comunicar estaciones cliente directamente, sin pasar por el punto de acceso permitiría atacar directamente a una estación cliente, generando problemas si esta estación cliente ofrece servicios TCP/IP o comparte ficheros. Existe también la posibilidad de duplicar las direcciones IP o MAC de estaciones cliente legítimas. Los puntos de acceso están expuestos a un ataque de “fuerza bruta” para averiguar las contraseñas, por lo que una configuración incorrecta de los mismos facilitaría la irrupción den una red inalámbrica por parte de intrusos.

3.7.2 Mecanismos de seguridad Wi-Fi. A pesar de los riesgos anteriormente expuestos, existen soluciones y mecanismos para impedir que cualquiera con los materiales suficiente pueda introducirse en una red.

3.7.2.1 WEP (Wired Equivalent Protocol). Es un sistema de encriptación estándar propuesto por el comité 802.11, implementada en la capa MAC y soportada por la mayoría de fabricantes de soluciones inalámbricas. Con WEP la tarjeta de red encripta el cuerpo y la cabecera de cada trama antes de la transmisión utilizando el algoritmo de encriptación RC4, proporcionado por RSA Security. La estación receptora, sea un punto de acceso, o una estación cliente es la encargada de desencriptar la trama. La vulnerabilidad de WEP reside en la insuficiente longitud del Vector de Inicialización (IV) y lo estáticas que permanecen las llaves de cifrado, pudiendo no cambiar en mucho tiempo. Por ejemplo si se utilizan solamente 24 bits, WEP utilizar el mismo IV para paquetes diferentes, pudiéndose así repetir a partir de un cierto tiempo de transmisión continua. Es a partir de entonces cuando un intruso puede, una vez recogido suficientes tramas, determinar incluso la llave compartida. A pesar de todo WEP proporciona un mínimo de seguridad para pequeños negocios o instituciones educativas, si no esta deshabilitada, como se encuentra por defecto en los distintos componentes inalámbricos.

3.7.2.2 OSA (Open System Authentication). Es otro mecanismo de autenticación definido por el estándar 802.11 para autenticar todas las peticiones que recibe. El principal problema que tiene es que no realiza ninguna comprobación de la estación cliente, además las tramas de gestión son enviadas sin encriptar, aún activando WEP, por lo tanto es un mecanismo poco fiable.

3.7.2.3 WPA (WI-FI PROTECTED ACCESS). Este protocolo fue diseñado para utilizar un servidor de autenticación que distribuye claves diferentes a cada usuario. La información es cifrada utilizando el algoritmo RC4 (debido a que WPA no elimina el proceso de cifrado WEP, solo lo fortalece), con una clave de 128 bits y un vector de inicialización de 48 bits. Una de las mejoras sobre WEP, es la implementación del Protocolo de Integridad de Clave Temporal (**TKIP, Temporal Key Integrity Protocol**), que cambia claves dinámicamente a medida que el sistema es utilizado. Cuando esto se combina IV mucho más grande, evita los ataques de recuperación de clave (ataques estadísticos) a los que es susceptible WEP.

3.7.2.4 WPA2. Esta basada en el estándar 802.11i, WPA, por ser una versión preiva, que se podría considerar de “migración” no incluye todas las características del IEEE 802.11i, mientras que WPA2 se puede inferir que es la versión certificada del estándar 802.11i. WPA2 utiliza el Estándar de Encriptación Avanzada (**AES, Advanced Encryption Standard**) el cual incrementa aún más la seguridad y lo hace prácticamente imposible de quebrantar.

3.7.3 Seguridad WiMAX. Los aspectos claves para la seguridad en redes WiMAX son los siguientes:

3.7.3.1 Soporte de privacidad. Los datos del usuario son encriptado usando técnicas criptográficas de gran solides para proveer privacidad. Los algoritmos AES y el Estándar de Tripe Cifrado de Encriptación de Datos (**3DES, Triple Data Encryption Standard**). La clave de 128 o 256 bits que se usa para el cifrado, se genera durante la fase de autenticación y se actualiza periódicamente para protección adicional.

3.7.3.2 Autenticación dispositivo/usuario. WiMAX proporciona un medio flexible para la autenticación de estaciones suscriptoras y los usuarios para prevenir el uso no autorizado. Pude usar sistemas a base de nombres de usuario y contraseñas; certificados digitales y tarjetas inteligentes.

3.7.3.3 Administración de claves flexible: El Protocolo de Privacidad y Administración de Claves Versión 2 (**PKMv2, Privacy and Key Management Protocol Version 2**) es usado para transferir información de claves desde la estación base a la estación móvil, periódicamente re-autorizando y actualizando las claves.

4. ESCENARIO DE APLICACIÓN

4.1 ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO

La Alcaldía de Pasto, es la entidad que gobierna al municipio, lidera y administra el territorio, asegura la satisfacción de necesidades públicas y genera las condiciones de desarrollo que mejoran la calidad de los pobladores, mediante una gestión efectiva, fundamentada en la equidad, participación, respeto y transparencia. Entre sus funciones, se encuentra, administrar los asuntos municipales y prestar los servicios públicos que determine la Ley, ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal, así como hacer cuanto pueda hacer por sí mismo, en subsidio de sí misma y de otras entidades territoriales.

4.2 SEDES DESCENTRALIZADAS FÍSICAMENTE DE LA ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO

Gran parte de las dependencias de la Alcaldía de Pasto, operan en el sector de Anganoy en el Centro Administrativo Municipal (C.A.M, Anganoy), el resto de dependencias se ubican sobre siete sedes descentralizadas físicamente y ubicadas sobre el perímetro urbano de la ciudad. La Tabla 4.1 muestra las principales funciones que se realizan en cada una de las sedes descentralizadas.

Tabla 4.1. Principales funciones desarrolladas en las sedes de la Alcaldía de Pasto.

SEDE	FUNCIONES
Casa de Don Lorenzo	Dirección Municipal de Juventud Pasto visión Dirección de Control Interno Disciplinario Archivo Municipal Dirección de Espacio Público Oficina de Bienes Inmuebles Comité Local de atención de desastres Contraloría
Casona Secretaria de Educación Municipal	Secretaria de Educación Municipal Concejo Municipal
Centro Cultural Pandiaco	Coordinación Cultural Escuelas de Formación artística Planeación y Proyectos Coordinación de Fiestas Patronales
Centro del Adulto Mayor	Programa de Adulto Mayor Programa Nidos Nutrir Oficina de Veeduría

Ventas Populares Calle 16	Inspecciones Observatorio del delito Subsecretaria de seguridad y justicia inspección de salubridad, precios, pesas, medidas, rifas, juegos y espectáculos
Casa de Justicia	Inspecciones civiles y penales Comisarias de Familia Orientación y Apoyo Psicológico Trabajo social Centro de Conciliación Municipal Instituto de Medicina Legal Consultorios jurídicos Personería municipal delegada Defensoría del pueblo
Pasto Deporte	Dirección Logística Área Técnica

4.3 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Las sedes descentralizadas de la Alcaldía de Pasto, se ubican sobre el área urbana del municipio, las direcciones, coordenadas geográficas y alturas⁴² se relacionan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Situación geográfica de las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto.

SEDES	NOMENCLATURA URBANA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS ⁴³	ALTURA (msnm ⁴⁴)
C.AM. Anganoy	Rosales II - vía Anganoy	975295mE 625544mN	2690
Casa de Don Lorenzo	Cra. 25 No. 18-97	977686mE 626147mN	2524
Casona Secretaria de Educación Municipal	Calle 18 No. 25 - 29	977556mE 626228mN	2539
Consejo Municipal ⁴⁵	Calle 18 No. 25 - 29	977556mE 626228mN	2539
Centro Cultural Pandiaco	Calle 19A 42-30	976686mE 627801mN	2507

⁴² Datos Tomados con GPS GARMIN 76CS

⁴³ Coordenadas, de acuerdo al Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM, Universal Transverse Mercator)

⁴⁴ Msnm. metros sobre el nivel de mar

⁴⁵ El Consejo Municipal se encuentra en la misma planta física de la Secretaria de Educación Municipal, pero se encuentra aislado ya que son organismos independientes de la Alcaldía Municipal de Pasto.

Centro del Adulto Mayor	Cra. 26 5 Sur avenida Mijitayo	975777mE 624974mN	2650
Ventas Populares Calle 16	Calle. 16 No. 24-38	977428mE 625939mN	2536
Casa de Justicia	Calle. 14 No. 30-25	977024mE 626364mN	2531
Pasto Deporte	Coliseo Sergio Antonio Ruano Avenida Boyacá	977541mE 624925mN	2573

Las sedes de Casa de Don Lorenzo, Secretaria de Educación Municipal y Ventas Populares Calle 16 se encuentran en pleno centro de la ciudad por lo que están rodeadas de edificaciones e instalaciones de sistemas de comunicación de red celular o de otros propietarios. De acuerdo a la toma de datos que se realizaron con GPS, y el uso del mapa digital de Pasto, se estimaron las distancias entre las sedes de la Alcaldía de Pasto, esta información se resume en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Distancias entre las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto (Km).

	CAM	Centro Cultural Pandiaco	Centro Adulto Mayor	Pasto Deporte	Ventas Populares Calle16	Secretaría de Educación	Casa de Don Lorenzo	Casa de Justicia
CAM		2,65	0,75	2,33	2,17	2,36	2,47	1,92
Centro Cultural Pandiaco	2,65		2,99	3,02	2,02	1,81	1,94	1,49
Centro Adulto Mayor	0,75	2,97		1,76	1,91	2,18	2,24	1,87
Pasto Deporte	2,33	3,00	1,76		1,03	1,31	1,24	1,54
Ventas Populares 16	2,17	2,00	1,91	1,02		0,32	0,33	0,59
Secretaría de Educación	2,36	1,80	2,18	1,30	0,32		0,15	0,55
Casa de Don Lorenzo	2,47	1,93	2,24	1,23	0,33	0,15		0,70
Casa de Justicia	1,91	1,49	1,87	1,53	0,59	0,55	0,70	

La distancia más corta entre sedes se presenta en el centro de la ciudad con la Casa de Don Lorenzo y la Secretaria de Educación con 150 metros. La mayor distancia entre las sedes y CAM se presenta con el Centro Cultural Pandiaco a una distancia de 2,65 Km.

Dentro del diagnóstico de las sedes, el estudio de sus distancias se hace con el fin de determinar las posibilidades de interconexión de las sedes.

4.4 EQUIPO DE COMUNICACIONES Y TERMINALES DE DATOS

Las sedes de la Secretaria de Educación Municipal y la Casa de Justicia, poseen una estructura de red de datos bajo normas de cableado estructurado, mientras que en las otras sedes se recurre a conexiones directas a equipo ASDL en comodato con Colombia Telecomunicaciones S.A. o

switches propios, pero sin cumplir normas mínimas de cableado estructurado y en algunos casos, ni siquiera se dispone de algún equipo de comunicación ni de servicio de internet.

El proyecto Diseño de Red de Voz y Datos para las Sedes Descentralizadas de la Alcaldía Municipal de Pasto, llevado a cabo por Andrés Mauricio Ruiz Gómez, propone un diseño bajo normas de cableado estructurado teniendo en cuenta una expansión a futuro, en cuanto a equipos terminales en cada de sede. Las tablas desde la Tabla 4.4 hasta la Tabla 4.10, muestran la situación actual y proyectada de las redes de datos de las sedes descentralizadas de la Alcaldía de Pasto.

Tabla 4.4. Situación actual y diseño propuesto⁴⁶ - sede Casa de Don Lorenzo.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Bajo Switch y canaleta plástica en dos dependencias. Topología estrella	2 Armarios Cableado Estructurado Topología Estrella Extendida Cable UTP Categoría 6
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	1 Modem ADSL Huawei Echolife HG510 2 Switch Encore 908-nwy 8 puertos	2 3Com Baseline Switch 2924
TERMINALES DE TRABAJO	23, 8 equipos en red	30
SERVICIO DE INTERNET	ADSL 500 Kbps Colombia Telecomunicaciones	No especificado

Tabla 4.5. Situación actual y diseño propuesto - sede Secretaria de Educación.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN Implementada Cableado estructurado por ductería y canaleta. Cable UTP Categoría 5e Topología Estrella Extendida	Red LAN Implementada Cableado estructurado por ductería y canaleta. Cable UTP Categoría 6 Topología Estrella Extendida
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	Parabólica satelital Router de banda ancha satelital Hughes dw7000 Router Quidway ar28-1 Switch 3com 24 puertos Patch panel qpcom 48 puertos	2 3Com Baseline Switch 2924
TERMINALES DE TRABAJO	77, 42 equipos en red	87
SERVICIO DE INTERNET	Satelital a 256 Kbps MPSAT S.A.	No especificado

⁴⁶ En el diseño propuesto no se especifica el servicio de internet para las sedes puesto que este se limita a las redes de datos y no a los servicios que se pretenden implementar sobre éstas.

Tabla 4.6. Situación actual y diseño propuesto - Centro Cultural Pandiaco.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN no implementada	Red LAN Implementada Cableado estructurado Cable UTP Categoría 6 Topología Estrella
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	NO	3Com Baseline Switch 2924
TERMINALES DE TRABAJO	6	11
SERVICIO DE INTERNET	ADSL 500 Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

Tabla 4.7. Situación actual y diseño propuesto - sede Centro del Adulto Mayor.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN no implementada	Red LAN Implementada Cableado estructurado Cable UTP Categoría 6 Topología Estrella
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	NO	3Com Baseline Switch 2924
TERMINALES DE TRABAJO	6	10
SERVICIO DE INTERNET	Internet Conmutado 56 Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

Tabla 4.8. Situación actual y diseño propuesto - sede Ventas Populares Calle 16.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN implementada Cableado no estructurado Cable UTP Categoría 5e Topología Estrella	Red LAN implementada Cableado estructurado Cable UTP Categoría 6 Topología Estrella
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	Encore FNH916P-NWY 16 Puertos	Conservar el existente
TERMINALES DE TRABAJO	15, 4 conectadas a red	15
SERVICIO DE INTERNET	Internet Conmutado 56 Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

Tabla 4.9. Situación actual y diseño propuesto - sede Casa de Justicia.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN Implementada Cableado Estructurado Cable UTP Categoría 5e Topología Estrella	Red Lan Implementada Cableado Estructurado Cable UTP Categoría 6 Topología Estrella
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	1 Switch QPCOM QP – 724X 24 Puertos. 1 Patch Panel 48 Puertos 1 MODEM HUAWEI SmartAX MT840	Conservar los existentes
TERMINALES DE TRABAJO	18, 7 equipos en red	18
SERVICIO DE INTERNET	ADSL 500 Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

Tabla 4.10. Situación actual y diseño propuesto - sede Concejo Municipal.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO
RED	Red LAN no implementada	Red LAN Inalámbrica WI-FI
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	1 MODEM ADSL HUAWEI SmartAX MT 840	Router inalámbrico LinkSys WRT54G Antena de 7 DBI 12 Tarjetas Wireless PCI
TERMINALES DE TRABAJO	12	12
SERVICIO DE INTERNET	ADSL 500Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

Tabla 4.11. Situación actual y diseño propuesto - sede Pasto Deporte.

	SITUACIÓN ACTUAL	DISEÑO PROPUESTO⁴⁷
RED	Red LAN no implementada Cableado no estructurado pero existen segmentos con canaleta	Red LAN Inalámbrica WI-FI
EQUIPO DE COMUNICACIÓN ELECTRÓNICA	1 MODEM ADSL HUAWEI SmartAX MT 840	Router inalámbrico LinkSys WRT54G Antena de 7 DBI 15 Tarjetas Wireless PCI
TERMINALES DE TRABAJO	11	15
SERVICIO DE INTERNET	ADSL 1000Kbps Colombia Telecomunicaciones S.A.	No especificado

⁴⁷ Este diseño es propuesto por los desarrolladores de este proyecto, debido a que no está documentado en el trabajo de grado de Andrés Ruiz, y es un ambiente de trabajo similar al que se presenta en la sede Concejo Municipal.

4.5 ESTUDIO DE NECESIDADES

4.5.1 Necesidades y expectativas. La urgente necesidad de la Alcaldía Municipal de Pasto de interconectar sus sedes descentralizadas mediante el enlace de la Red de Datos y mantener la comunicación permanente entre ellas, da lugar a tomar la iniciativa de estudiar la viabilidad de ese proyecto. Es importante tener la visión clara de que se es necesario para este tipo de sistemas, que clase de alternativas y posibilidades, sujeto claro, a parámetros establecidos y limitaciones, con el fin de proyectar y presupuestar el alcance de este enlace en Plan de Desarrollo Municipal.

Es por eso, que en la Alcaldía de Pasto con su Oficina de Sistemas de Información, da su visión de requerimientos que el diseño del enlace debe cumplir:

- Es sistema debe tener en cuenta la utilización razonable de recursos económicos, generando el menor impacto posible a las finanzas propias de municipio.
- El sistema debe propender por un impacto social positivo, al interior de cada sede y a nivel de la comunidad en general. Con el fin de que su implementación no traiga consigo malestar y disconformidad.
- El sistema debe ser un recurso propio de la alcaldía, con el fin de tener total autonomía en el manejo de su red.
- El sistema, debe tener todas las especificaciones básicas en cuanto a seguridad, confiabilidad y redundancia.
- El sistema debe proyectarse a futuras ampliaciones, sea por parte de cada una de las sedes, introduciendo nuevos equipos, así como también la inclusión de otros nodos.
- El sistema debe estar acorde a las tendencias del actual mercado de la interconexión empresarial y cumplir con la normatividad vigente.
- Al interior de la nueva Administración, se tiene planteada⁴⁸ la posibilidad de un traslado de la sede de Planeación junto con su Oficina de Sistemas de Información (lugar donde reside el servidor principal de CAM) a la nueva sede ubicada en el centro de la ciudad en el sector de la Plaza del Carnaval de la ciudad de Pasto. Por esto, el sistema debe permitir la movilidad de equipos de una manera ágil y una fácil adecuación con el fin de que el ajuste del nuevo enlace no retrase las funciones establecidas.

⁴⁸ Proyección de cambio hacia 4 años o mas

4.5.2 Necesidades de las sedes. Se realizó una encuesta en las diferentes sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto, indagando sobre la necesidad en cuanto a interconexión de redes de datos que posee el personal que opera en estas dependencias, esto es muy importante en el planeamiento y diseño de los enlaces, puesto que se definen prioridades y se establecen expectativas para los servicios que la red pueda soportar.

La Tabla 4.12 muestra las necesidades y servicios por implementar que sugieren los encuestados en cada sede descentralizada de la Alcaldía Municipal de Pasto.

Tabla 4.12. Necesidades y servicios de cada sede descentralizada.

SEDE	DEPENDENCIA	ENCUESTADOS	NECESIDADES Y EXPECTATIVAS
Casa de Don Lorenzo	<i>Archivo Municipal</i>	Euler Rodríguez	Sistema de bases de datos historia laboral de los funcionarios. Rediseño de red interna con su propio servidor. Mayor disponibilidad y optimización del servicio de internet. Conexión Telefónica directa con C.AM. Compartir informes de gestión y datos de presupuesto. Comunicación con otras entidades estatales.
	<i>Dirección de Espacio Público</i>	Yeny Coral	
	<i>Dirección Municipal de Juventud</i>	Nathaly Burbano Muñoz	
	<i>Pastovision</i>	Darío Villota	
	<i>Dirección de Control Interno Disciplinario</i>	Carmen Eugenia Arellano	
	<i>Dirección de Prevención y Atención de Emergencias y Desastres</i>	Orlando Mora	
	<i>Oficina de Bienes Inmuebles</i>	Walter Vallejo	
Casona Secretaria de Educación Municipal	<i>Sistemas de Información</i>	Ing. Andrés Ortiz	Establecimiento de una intranet donde converjan todos los aplicativos de la Secretaria de Educación y demás organismos de la Alcaldía. Ampliar los puntos de red. Servicios de voz y video en red.
Consejo Municipal	<i>Secretaría General</i>	Dr. Silvio Rolando Bravo Pantoja	Conexión directa con los órganos de control del municipio para llevar a cabo el plan de desarrollo.
Centro Cultural Pandiaco	<i>Dirección de Cultura</i>	Julián bastidas Urresty	Sistema de documentación, trámites y permisos.
	<i>Área Financiera</i>	Clara Inés Ortega Guerra	Sistema que permita observar y controlar la gestión la ejecución presupuestal en los proyectos del municipio.
Centro del Adulto Mayor	<i>Proyectos Sociales</i>	Catalina de los Ríos	Sistema de bases de datos y sistema información a los usuarios de los programas sociales. Conexión a internet de mayor capacidad y menor costo.

SEDE	DEPENDENCIA	ENCUESTADOS	NECESIDADES Y EXPECTATIVAS
Ventas Populares Calle 16	<i>Inspecciones</i>	Luis Eduardo Collazos	Mantener una comunicación permanente con C.A.M y con la Casa de Justicia. donde se encuentran otras inspecciones. Acceso a Internet.
	<i>Observatorio del Delito Subsecretaria de</i>	Germán Chaves	
	<i>Seguridad y Justicia</i>	Boris Guerrero	
	<i>Inspección de Salubridad, precios, pesas, medidas, rifas, juegos y espectáculos</i>	Doris Meléndez Burbano	
Casa de Justicia	<i>Comisaria primera de familia</i>	Sofía Bastidas	Comunicación con Secretaria de Gobierno, Planeación y Control interno. Comunicación con la sede Ventas Populares Calle 16. Acceso a red para más usuarios. Acceso a internet para más dependencias.
	<i>Centro de Conciliación Municipal</i>	Maura Marcillo	
	<i>Inspecciones</i>	Beatriz Reyes	
	<i>Instituto de Medicina Legal</i>	Edwin Mora	
Pasto Deporte	<i>Área financiera</i>	Francisco Patiño	Acceso más eficiente a la oficina de Planeación. Secretaria de Salud, con Pasto Salud y con la Oficina de Prensa. Acceso directo a modificaciones en la página de la Alcaldía Municipal.
	<i>Coordinación</i>	Victoria Buchely	

4.6 PLANIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS Y ANCHO DE BANDA REQUERIDO

La capacidad del ancho de banda total para los servicios puede ser calculada, considerando la expresión:

$$Capacidad BW_T = \sum_{i=1}^N \left[Servicio_i \times \frac{Usuarios}{Servicio_i} \times \frac{BW}{Usuario} \right] \quad (4.1)$$

Donde:

Capacidad BWT: Capacidad de ancho de banda para todos los servicios.

Usuarios: Cantidad de terminales a atenderse.

BW: Capacidad de ancho de banda por servicio.

El ancho de banda estimado para los servicios a implementar en la Alcaldía Municipal de Pasto se relaciona en la Tabla 4.13. Se tiene en cuenta, tanto las necesidades actuales, en cuanto a interconexión de redes, como la futura implementación de sistemas de VoIP y videoconferencia.

Tabla 4.13. Ancho de banda estimado para los servicios soportados por el enlace por estación.

SERVICIO	BW servicio
INTERNET	100Kbps
APLICATIVOS WEB	28Kbps
VOIP	64Kbps
MULTIMEDIA	400Kbps
CAPACIDAD TOTAL	592Kbps

En la Tabla 4.14 se estima el ancho de banda requerido por las sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto. Teniendo en cuenta que en la práctica, la capacidad del backhaul, corresponde a la décima parte de la capacidad agregada de todos los extremos a interconectar⁴⁹.

Tabla 4.14. Ancho de banda estimado necesario para cada una de las sedes.

SEDE	CANTIDAD DE EQUIPOS	CAPACIDAD REQUERIDA BW _T	CAPACIDAD REQUERIDA BW _T PRÁCTICA
Casa de Don Lorenzo	30	17.8Mbps	1.78Mbps
Secretaria de Educación Municipal	87	51.5Mbps	5.15Mbps
Consejo Municipal	12	7.1Mbps	0.71Mbps
Centro Cultural Pandiaco	11	6.5Mbps	0.65Mbps
Centro del Adulto Mayor	10	5.9Mbps	0.59Mbps
Ventas Populares Calle 16	15	8.9Mbps	0.89Mbps
Casa de Justicia	18	10.6Mbps	1.06Mbps
Pasto Deporte	15	8.9Mbps	0.89Mbps

La tecnología de enlace y las especificaciones del fabricante seleccionado tienen que tener en cuenta que el ancho de banda que ofrezca la solución debe ser igual o mayor a la capacidad práctica requerida. Para equipos de acceso inalámbrico, el manejo del ancho de banda es una cuestión más crítica que en interconexiones con medios guiados, por lo que la estabilidad del sistema, dependerá de la administración apropiada de los recursos de red.

⁴⁹ MONTOYA LEÓN, A. Criterios para interconexión de sitios remotos bajo los estándares IEEE 802.11 y 802.16, Popayán: Universidad del Cauca, 2004.

5. ANÁLISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE

5.1 PARÁMETROS A EVALUAR

5.1.1 Impacto ambiental y urbanístico. Es el efecto sobre el medio ambiente y elementos de la estructura urbana debida a la instalación y operación del sistema de comunicaciones. Este impacto es medido por el grado de espacio urbano público o privado que requiera, los usos conexos que propicia y sobre el tráfico vehicular que genera.

5.1.2 Cobertura. Se refiere a la distancia en línea recta, o área de cobertura que soporta el sistema de comunicaciones, manteniendo un funcionamiento óptimo.

5.1.3 Afectación meteorológica. Los equipos de comunicaciones presentan un rango de operación recomendado en cuanto a factores meteorológicos (precipitación, humedad relativa, temperatura, descargas eléctricas, entre otros). Los sistemas de comunicación pueden verse gravemente afectados por estos factores, cuando el ambiente de operación no es el propicio para éstos.

5.1.4 Especificaciones técnicas.

5.1.4.1 Ancho de banda y capacidad de transmisión. El ancho de banda es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que soporta el sistema de comunicaciones. La capacidad de información es una medida de cuanta información se puede transferir de un sistema de comunicaciones en un determinado tiempo. La cantidad de información que se puede propagar en un sistema de transmisión es una función del ancho de banda y del tiempo de transmisión.

5.1.4.2 Atenuación. Es la pérdida de potencia (generalmente en decibeles) que tiene el enlace por unidad de distancia. Las pérdidas son inherentes al medio de transmisión, frecuencia de operación y elementos de acople que se requieran implementar. Para el caso de medios no guiados, la atenuación se presenta por la dispersión de las ondas, desvanecimiento por lluvias y otros factores climáticos.

5.1.4.2 Disponibilidad del sistema. Los parámetros Tiempo Medio Entre Fallos (**MTBF**, *Mean Time Between Failure*) y el Tiempo Medio Para Reparar (**MTTR**, *Mean Time to Repair*), tiene un papel importante en el cálculo real para estimar los tiempos de un sistema o equipo.

Considerando el tiempo de servicio como el valor MTBF y el tiempo fuera de servicio como el valor de MTTR, la indisponibilidad (U) se obtiene como:

$$U = \frac{MTTR}{(MTBF+MTTR)} \quad (5.1)$$

En tanto la disponibilidad del sistema (A) se define como:

$$A = 1 - U \quad (5.2)$$

5.1.4.3 Requerimientos de línea de vista. Se aplican para enlaces por medios no guiados. Los sistemas con Línea De Vista (**LOS**, *Line of Sight*) requieren que las antenas estén orientadas, alineadas y se liberen las zonas de Fesnel. Los sistemas Sin Línea De Vista (**NLOS**, *Non Line of Sight*) permiten la conexión de forma eficiente sin el rigor de éste requerimiento.

5.1.5 Costos. Es la inversión que se debe realizar para la adquisición, instalación y mantenimiento del sistema de comunicaciones. Incluye también costos de arrendamiento y permisos que se necesiten para operar el enlace. Para el escenario de operación de éste proyecto, puesto que no se aplica a una distribución de servicios pagada por los usuarios, la recuperación de la inversión se verá reflejada en el beneficio que genere para la modernización de la entidad y la calidad de atención al usuario.

Se deben tomar en cuenta los costos de personal a cargo de las labores de diseño de red, instalación del sistema, administración de los recursos de red, capacitación a los técnicos y usuarios, control del acceso físico y mantenimiento de la red.

5.1.6 Licencias. Se aplica para medios inalámbricos donde existen según la regulación del Ministerio de Comunicaciones, bandas libres y bandas licenciadas. Este es un parámetro muy importante porque con el espectro licenciado se incurre en un costo adicional para la operación del equipo. En tanto que trabajar en espectro libre implica exposición a interferencias y saturación de canales de frecuencias.

5.1.7 Compatibilidad e interoperabilidad. Se refiere la adopción de estándares por parte de los fabricantes, para la implementación de sistemas de enlace con compatibilidad de diferentes fabricantes. Sin embargo, aún existen muchas soluciones propietarias, las cuales pese a la incompatibilidad con equipos de otros fabricantes, ofrecen ventajas significativas en cuanto a eficiencia con equipos estandarizados ya que modifican algunos parámetros del estándar para lograr mayores prestaciones.

5.2 IMPACTO AMBIENTAL Y URBANÍSTICO

El impacto que generan las instalaciones de enlaces por medios no guiados es significativamente menor al que se incurre en instalaciones de medios guiados. Esto porque los equipos de transmisión y recepción requieren de una pequeña extensión de terreno. Las tecnologías emergentes de microondas, como WI-FI, WIMAX y soluciones propietarias, debido a las frecuencias que manejan requieren antenas cada vez más pequeñas, reduciendo en gran parte la colocación de torres y por tanto reduciendo el impacto urbanístico. La afectación ambiental que puede presentar la implementación de estas tecnologías, es la tala de árboles para facilitar la línea de vista entre los transmisores, pero en caso que no fuese posible, se puede utilizar un repetidor que sirva de puente entre las dos estaciones, evitando este obstáculo natural.

En tanto que instalaciones de cable o fibra, inciden sobre la estética de la ciudad, sobre todo en el Centro Histórico, con la limitante de no poder perturbar las fachadas, implementar postes o anclajes adicionales. Si la instalación se hace subterránea se tiene un problema adicional de tráfico vehicular que incidiría sobre el normal desarrollo de actividades en el área afectada.

5.3 COBERTURA

La Tabla 5.1 muestra las características en cuanto a cobertura que ofrecen las tecnologías de enlace por medios guiados.

Tabla 5.1. Distancia máxima para tecnologías de enlace con medios guiados.

TECNOLOGÍA	MEDIO DE TRANSMISIÓN	DISTANCIA MÁXIMA (KM)
Ethernet 10Base-T	UTP	0.5
Token Ring	STP	0.3
Ethernet 1Base -5	UTP	0.5
100Base – T	UTP-Categoría 5e	0.1
100AVG-Anylan	UTP-Categoría 6	0.1
ADSL	UTP-Categoría 3	6
ARCENET	Coaxial RG-11	0.6
Ethernet 10BASE -5 ⁵⁰	Coaxial RG-11	0.5
Ethernet 10BASE -2	Coaxial RG-58	0.2
HFC ⁵¹	Fibra Óptica + Red Cable Coaxial	10
FDDI	Fibra Óptica Multimodo 62.5µm	2
Gigabit Ethernet	Fibra Óptica Monomodo	5
	Fibra Óptica Multimodo 62.5µm	0.55

⁵⁰ Con el uso de Repetidoras se puede lograr distancias de hasta 2.5Kms.

⁵¹ Las redes HFC con el uso de fibras monomodo y repetidoras pueden alcanzar hasta los 80Kms, desde la estación principal hasta el usuario final.

Las tecnologías que usan como medio de transmisión el cable coaxial y el par trenzado UTP, no soportan la distancia necesaria (sin usar algún tipo de dispositivo adicional) para los enlaces de las redes de datos del escenario de aplicación propuesto, excepto ADSL. Las redes HFC están pensadas para aplicaciones de distribución masiva de servicios, por lo cual no se adaptan a las necesidades de interconexión de la Alcaldía Municipal de Pasto.

En tanto, las redes con tecnologías ADSL, FDDI y Gigabit Ethernet, si soportan el requerimiento de cobertura del enlace.

En la Tabla 5.2 se muestra el alcance máximo en cuanto a distancia de las tecnologías de enlace por medios no guiados.

Tabla 5.2. Distancia máxima para tecnologías de enlace con medios no guiados.

TECNOLOGÍA	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	DISTANCIA MÁXIMA (KM)
Packet Radio	VHF 145MHz/UHF 439Mhz	160
Wi-Fi	Microondas 2.4/5GHz	0.1
PRE-WiMAX	Microondas 2-7GHz	5
WiMAX	Microondas 2 – 11GHz	10
LMDS	Microondas 28GHz	10

Se destaca de la Tabla 5.2 que el requerimiento de cobertura, lo cumplen todas las tecnologías, incluso Wi-Fi ya que con el uso de nuevos equipos, antenas de alta ganancia, se pueden lograr distancias de hasta 10 Km. Por lo tanto la selección de la tecnología de enlace debe trasladarse a otros aspectos para escoger la solución más adecuada.

5.4 AFECTACIÓN METEOROLÓGICA

La ciudad de Pasto, se encuentra en la región Andina a una altura promedio de 2530 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 14°C y una humedad relativa en el rango del 70% a 90%. Sin embargo el clima suele tornarse muy variable y la temperatura puede ascender a los 24°C y la humedad puede llegar hasta un 93%⁵².

La humedad es uno de los factores más importantes para evitar en los medios de transmisión guiados, ya que en el cobre como en el dióxido de silicio (SO₂) usado en la fibra óptica, presentan degradación debido a la presencia de moléculas de agua. Por lo que los cables suelen tener varios recubrimientos para evitar la absorción de agua. Otro método es la presurización en los cables

⁵² Información obtenida del sitio web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, <http://www.ideam.gov.co>

para lograr retirar la mayor cantidad de partículas de agua en el material. En cuanto a las temperaturas los materiales son muy resistentes, con un rango desde -5°C hasta 60°C.

Los enlaces por microondas se ven afectados por la lluvia y condiciones climáticas adversas en función de la frecuencia de operación de los equipos. Es así como el desvanecimiento de la señal es mayor para los sistemas LMDS (28 GHz) que para los sistemas WI-FI (2,4 o 5,8GHz).

Otro factor a tener en cuenta son las descargas eléctricas que pueden afectar el equipo de comunicación, para esto se suelen instalar para-rayos sobre la terraza que evitan en primera instancia este fenómeno, junto a esto se suelen conectar dispositivos contra picos de corriente en las antenas como medida adicional de protección el equipo de transmisión. Es importante que la instalación cuente con una puesta a tierra apropiada.

5.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

5.5.1 Ancho de banda y capacidad de transmisión. La Tabla 5.3 relaciona las tecnologías de enlace bajo medios guiados, con la velocidad de transmisión máxima que soportan.

Tabla 5.3. Velocidad máxima para tecnologías de enlace con medios guiados.

TECNOLOGÍA	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN MÁXIMA ⁵³
Ethernet 10Base-T	10Mbps
Token Ring	16Mbps
Ethernet 1Base -5	1Mbps
Ethernet 100Base – T	100Mbps
100AVG-Anylan	100Mbps
ADSL	8Mbps
ARCENET	2Mbps
Ethernet 10BASE -5	10Mbps
Ethernet 10BASE -2	10Mbps
HFC	1Mbps
FDDI	100Mbps
Gigabit Ethernet	1000Mbps

Todas estas tecnologías cumplen con los requerimientos mínimos de ancho de banda estimados en la sección 4.6. Deben tenerse en cuenta aspectos adicionales para poder seleccionar la tecnología de enlace adecuada para la interconexión de las sedes descentralizadas físicamente de

⁵³ La velocidad real es menor que la indicada en la tabla, debido a la congestión que se presente en la red, calidad del medio de transmisión, conectores, protocolos utilizados, entre otros.

la Alcaldía Municipal de Pasto. La Tabla 5.4 muestra las tecnologías de enlace inalámbricas con la tasa de transmisión máxima que soportan.

Tabla 5.4. Velocidad máxima para tecnologías de enlace con medios no guiados.

TECNOLOGÍA	VELOCIDAD MÁXIMA DE TRANSMISIÓN
Packet Radio	9600 bps
WI-FI	54 Mbps
PRE-WIMAX	20 Mbps
WIMAX	75 Mbps
LMDS	30 Mbps

5.5.2 Atenuación. En los enlaces por medios guiados la atenuación viene dada por las pérdidas en el medio, frecuencia de trabajo, más las inducidas por los conectores, acoples y derivaciones que se necesiten implementar. La Tabla 5.5 relaciona las principales pérdidas de atenuación con las tecnologías más comunes de interconexión de redes.

Tabla 5.5. Valores típicos de atenuación en tecnologías de enlace por medios guiados de cobre.

TECNOLOGÍA	MEDIO	FRECUENCIA	ATENUACIÓN
Ethernet 10Base-T	UTP – Cat. 3	16MHz	200dB/Km
Token Ring	STP	4MHz	80dB/Km
Ethernet 1Base -5	UTP – Cat 3	2MHz	100dB/Km
Ethernet 100Base – T	UTP-Cat. 5e	100MHz	670dB/Km
100AVG-Anylan	UTP-Cat.6	100MHz	40dB/Km
ADSL	UTP-Cat. 3	1.1MHz	12dB/Km
ARCENET	Coaxial RG-62	2MHz	20dB/Km
Ethernet 10BASE -5	Coaxial RG-11	16MHz	30dB/Km
Ethernet 10BASE -2	Coaxial RG-58	16MHz	50dB/Km

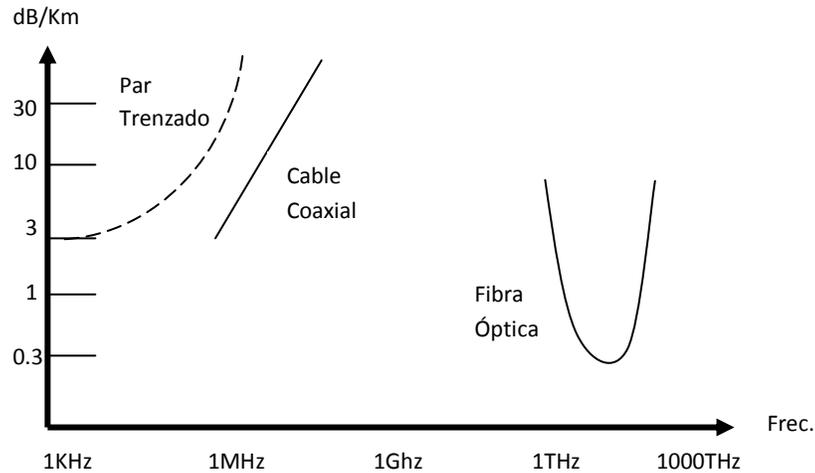
Para la fibra óptica, lo más usual es trasladar el concepto de frecuencia, al de longitud de onda, la Tabla 5.6 muestra las pérdidas de atenuación para las tecnologías de enlace por fibra óptica.

Tabla 5.6. Pérdidas de atenuación en tecnologías de enlace por fibra óptica.

TECNOLOGÍA	MEDIO	LONGITUD DE ONDA	ATENUACIÓN
FDDI	Fibra Óptica Multimodo 62.5µm	1300 nm	0.8dB/Km
Gigabit Ethernet	Fibra Óptica Monomodo	1300 nm	0.5dB/Km
	Fibra Óptica Multimodo 62.5µm		0.8db/Km

La Figura 5.1 muestra las figuras de atenuación para los principales medios guiados. Como se puede apreciar la atenuación para la fibra óptica es mucho menor que la atenuación que presentan los medios por cobre, por lo que hace que se use en aplicaciones de distancias considerables.

Figura 5.1. Atenuación en los medios guiados típicos.



Para sistemas inalámbricos la atenuación o pérdida neta del trayecto (A) se estima como:

$$A(dB) = A_p + A_r + A_b + F_m - G_t - G_r \quad (5.3)$$

Donde:

- A_p : Pérdida propagación de espacio libre.
- A_r : Pérdida en el sistema de alimentadores (Feeders).
- A_b : Pérdida en el sistema ramificación (branching).
- F_m : Margen de desvanecimiento.
- G_t : Ganancia de la antena transmisora.
- G_r : Ganancia de la antena receptora.

Para este modelo, la pérdida de espacio libre A_p es la pérdida relacionada con la pérdida de transmisión debida solo a efectos de la propagación, excluyendo las consideraciones de reflexión, absorción y ductos. Este parámetro en función de la distancia y la frecuencia se puede estimar como:

$$A_p(dB) = 92.4 + 20 \log(D) + 20 \log(F) \quad (5.4)$$

Donde:

- D: Distancia (Km).
- F: Frecuencia (GHz).

Tomando como referencia una distancia de 1 Km, en la Tabla 5.7 se estiman los valores de pérdida en espacio libre para las tecnologías de enlace inalámbrico más comunes.

Tabla 5.7. Pérdida en espacio libre para tecnologías de enlace inalámbrico a 1Km.

TECNOLOGÍA	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	PERDIDAS EN ESPACIO LIBRE (DB)
Packet Radio	VHF 145MHz	75dB
	UHF 439Mhz	85dB
WI-FI	Microondas 2.4 GHz	100 dB
	Microondas 5.8 GHz	107 dB
PRE-WIMAX	Microondas 2 – 7 GHz	98.42dB– 109.30dB
WIMAX	Microondas 2 – 11 GHz	98.42dB – 113.22 dB
LMDS	Microondas 28 GHz	121.34 dB

La pérdida de los alimentadores (feeders) de antena, A_r dependerá del tipo y longitud de los alimentadores utilizados. Este valor se determina por las curvas dadas por los fabricantes. Las pérdidas debidas a los circuitos de ramificación (branching) A_b se determinan por las características del equipo de radio. Para ciertos tipos de radio, la potencia transmitida y la figura de ruido del receptor pueden especificarse incluyendo los efectos de los circuitos branching, por lo que este término puede desaparecer de los cálculos.

El margen de desvanecimiento es un “factor ficticio”⁵⁴ que se incluye en la ecuación de atenuación del trayecto para tener en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, como por ejemplo, la propagación por múltiples trayectorias y la sensibilidad del terreno. Estas características son causa de condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran las pérdidas en la trayectoria de espacio libre, y por lo general, son perjudiciales para la eficiencia general del sistema. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad de un sistema. El modelo que permite estimar el margen de desvanecimiento en un radio enlace, viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (5.4)$$

Donde:

- F_m: Margen de desvanecimiento (dB).
- D: Distancia (Km).
- f: Frecuencia (GHz).
- R: Confiabilidad en decimales (0 a 1).
- A: Factor de aspereza (4 sobre agua o terreno muy liso, 1 sobre terreno promedio, 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso).

⁵⁴ TOMASI, W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Prentice Hall. México. 1997. Pag 784

B: Factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual (1 para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses, 0.5 para áreas cálidas o húmedas, 0.25 para áreas continentales promedio y 0.125 para áreas muy montañosas).

Los parámetros de ganancia G_t y G_r pueden tomarse de los datos de fabricante. La atenuación por lluvia deja de ser despreciable para frecuencias mayores a 10 GHz y para su cálculo se recurre a métodos recomendados por la UIT-R en el informe 338 – 5⁵⁵.

5.5.3 Disponibilidad del sistema. Los sistemas por medios guiados, son más estables que los radioenlaces, dada la inexistencia de desvanecimiento. Un enlace por fibra presenta una mayor seguridad en la transmisión de información, pero ante un daño o falla, requiere un tiempo de recuperación y normalización mucho mayor. Para lograr un sistema altamente inmune a las fallas, puede utilizarse una configuración redundante y pueden incorporarse diversas rutas de cable o fibras a ser utilizadas como reemplazo inmediato. Un sistema de comunicaciones de alta capacidad deberá poseer una Tasa de Error (**BER, Bit Error Rate**) que supere los valores de 10^{-6} , aunque en la práctica pueden lograrse valores de $BER = 10^{-10}$. Logrando de éste modo, disponibilidades del 99.99%.

Para los sistemas inalámbricos, se debe tener en cuenta las pérdidas por trayecto y desvanecimiento que puedan ocasionar que el sistema presente interrupciones. Los valores de disponibilidad generalmente los fabricantes lo suministran en porcentajes. En la recomendación de la ITU 556-1, se define que el objeto de disponibilidad es del 99.7%. La disponibilidad se puede incrementar con el uso de sistemas redundantes con dos o más canales RF de trabajo.

5.5.4 Requerimientos de línea de vista. Tradicionalmente, los enlaces de redes se implementaban con línea de vista; los avances técnicas de modulación, multiplexación y acceso al medio, permiten ahora una operación óptima con NLOS, orientada a ambientes urbanos para distribución de servicios de telecomunicaciones, o cuando se dificulta la implementación de sistemas con LOS. En la Tabla 5.8 se identifican las tecnologías que trabajan con LOS y NLOS.

Tabla 5.8. Requerimientos de línea de vista para las tecnologías de enlace inalámbrico.

TECNOLOGÍA DE ENLACE	OPERACIÓN LOS	OPERACIÓN NLOS
Packet Radio	SI	NO
WI-FI	SI	SI
PRE-WIMAX	SI	SI
WIMAX	SI	SI
LMDS	SI	NO

⁵⁵ Sistemas de Microondas Digitales. Universidad del Cauca.

5.6 COSTOS

La Tabla 5.9 se resume la comparación de las tecnologías de enlace, teniendo en cuenta los aspectos de inversión que son necesarios para la implementación de estas tecnologías.

Tabla 5.9. Inversión en sistemas de enlace de redes de datos.

DIFERENCIADOR	ADSL	FIBRA	WIFI	PREWIMAX	WIMAX	LMDS
COSTO DE INSTALACIÓN	US\$20.000	US\$40.000-200.000	US\$100-200	US\$100-200	US\$100-200	US\$150
COSTO DE EQUIPOS CLIENTE	US\$ 50	US\$150	US\$200	US\$200 – 1000	US\$200-1000	US\$1000-4000
INVERSIÓN DE CAPITAL	Media no gradual	Alta no gradual	Baja gradual	Media gradual	Media gradual	Media gradual
RETORNO DE LA INVERSIÓN	Mediano Plazo	Largo Plazo	Corto Plazo	Mediano Plazo	Mediano Plazo	Mediano Plazo
NIVEL DE CAPACITACIÓN	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio	Alto

Fuente: Eurescom

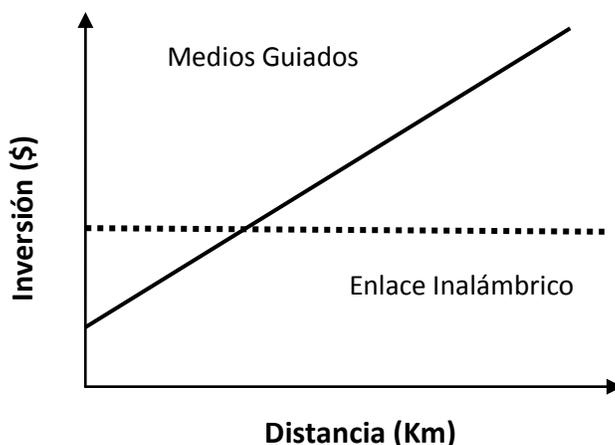
Los enlaces por medios guiados implican una inversión proporcional a la distancia entre las estaciones que se desean conectar, es inviable debido a los enormes costos de la obra civil, implica una mayor infraestructura, puesto que se necesita proteger el medio de transmisión llevándolo por postes o por excavación subterránea, lo que implica una inversión inicial muy alta que retornará a largo plazo. Así mismo el personal capacitado necesario para el diseño y la implementación es mucho mayor para lograr desarrollar el proyecto en un periodo de tiempo óptimo. Los costos, a pesar de que los equipos de comunicación no representen una gran inversión, el mantenimiento y reparación de estas redes implican un costo alto, con la posibilidad de indisponibilidad del sistema mientras se repara el daño.

Una alternativa para el uso de estas tecnologías con menores inversiones es el arrendamiento de la infraestructura, ya sea mediante el alquiler de postes o tubos subterráneos para instalar medios de transmisión propios, o haciendo uso de la red ya implementada, mediante de cesión de fibras o canales de uso privado.

Los enlaces inalámbricos presentan ventajas muy significativas en este aspecto con respecto a los medios guiados, puesto que la relación entre distancia de conexión y costo es mucho menor (siguiendo el modelo básico de la Figura 5.2), así como la cantidad de personal requerida para el diseño, implementación y mantenimiento del enlace.

Con la estandarización los costos de equipos para las estaciones base y los usuarios, ha reducido aún más los costos, debido a alta competencia de los fabricantes por imponer sus soluciones de interconexión en el mercado.

Figura 5.2. Relación entre inversión y distancia para enlaces por medios guiados e inalámbricos.



5.7 LICENCIAS

La implementación de sistemas inalámbrico, requiere el uso del espectro electromagnético, reconocido como un bien de dominio público de propiedad exclusiva del Estado. El Estado otorgara los permisos para su utilización, siempre y cuando se realice el pago correspondiente por los derechos que correspondan según la normatividad antes vista, exceptuando los casos de utilización de bandas libres bajo las características impuestas por el Ministerio de Comunicaciones para esta clase de sistemas.

La Tabla 5.10, resume para cada tecnología inalámbrica analizada, el tipo de banda en el que puede operar y el grado de costos que representa la no tenencia de esta.

Tabla 5.10. Determinación de la utilización de frecuencias licenciadas.

TECNOLOGÍA DE ENLACE	OPERACIÓN EN FRECUENCIAS LICENCIADAS	OPERACIÓN EN FRECUENCIAS NO LICENCIADAS	COSTO
Packet Radio	NO	SI	Bajo
WI-FI	SI	NO	Ninguno
PRE-WIMAX	SI	SI	Medio
WIMAX	SI	SI	Moderadamente Alto
LMDS	NO	SI	Alto

Para la implementación de un enlace donde una de los requerimientos importantes a ser tenidos en cuenta es la de utilizar en mínima parte los recursos económico, se destaca el uso de Wi-Fi como alternativa de interconexión. Permitiendo destinar los costos que acarrarían los derechos de la utilización de frecuencias licenciadas, en mantenimiento y mejoras propias del sistema.

5.8 COMPATIBILIDAD E INTEROPERABILIDAD

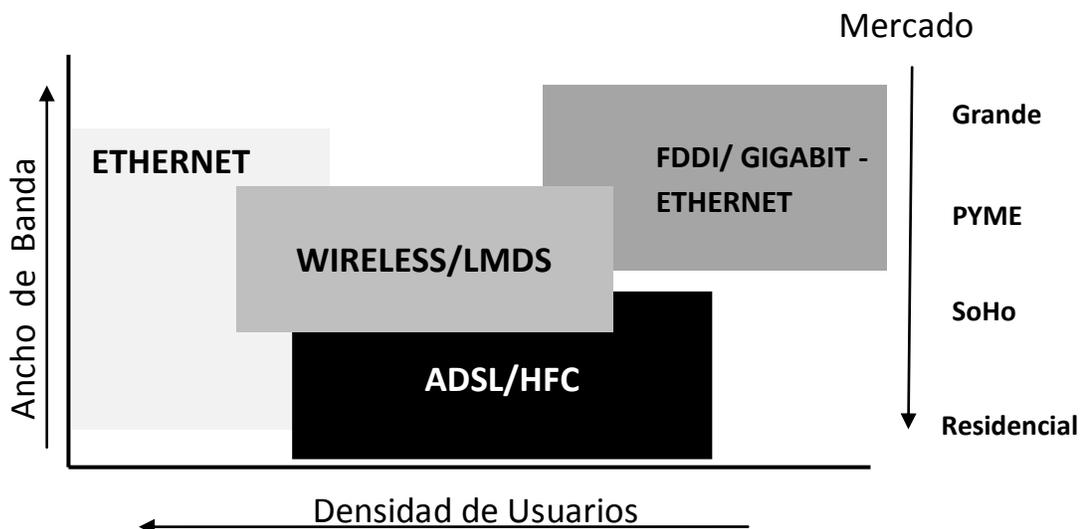
Para el caso de los medios guiados, usados actualmente, tanto Ethernet, Gigabit Ethernet, como FDDI son estándares bien definidos, que permiten el uso de equipos de diferentes fabricantes para la implementación de enlaces, ofreciendo así una amplia gama de opciones en el diseño de interconexiones.

En los sistemas inalámbricos, la certificación WI-FI permitió integrar un gran número de fabricantes de equipos de radio bajo el estándar IEEE 802.11, esfuerzo que se está logrando mediante el foro WiMAX, que pretende hacerlo bajo la norma IEEE 802.16. Sin embargo las soluciones propietarias como PRE-WiMAX y LMDS, pese a no ofrecer compatibilidad con otros fabricantes, debido a las modificaciones que realizan a los estándares, pueden ofrecer mayores prestaciones, que los equipos certificados.

5.9 TENDENCIAS

La Figura 5.3 muestra la relación entre la capacidad de transmisión, el mercado principal y la densidad de usuarios para las tecnologías de enlace de redes de datos, lo que se constituye en el posicionamiento de tecnologías para grupos de aplicaciones específicas.

Figura 5.3. Posicionamiento de las tecnologías de enlace actuales.



De la grafica se puede inferir que las tecnologías Ethernet tienen gran acogida en todos los mercados gracias a su popularización debido a la estandarización y abaratamiento de equipos, en tanto las soluciones ADSL y HFC permiten implementar soluciones dirigidas a ambientes de pequeña oficina o redes caseras (SoHo, Small Office, Home Office) a un costo razonable. Las implementaciones con tecnologías de acceso con fibra óptica tienen un mercado más selecto debido a su alto costo de implementación.

Como puede apreciarse las soluciones WIRELESS han tenido gran acogida en las pequeñas y medianas empresas (PYMES), con densidades de usuarios considerables, debido a costos y tiempo de puesta en marcha menores. Un sistema inalámbrico puede activarse en promedio en tiempos de 90 a 120 días⁵⁶.

5.10 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE

De acuerdo al análisis comparativo realizado anteriormente, se decide utilizar la tecnología de enlace inalámbrico bajo la norma 802.11a, para el diseño del enlace de las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto, las razones se describen a continuación:

5.10.1 Tendencias e implementación. Los sistemas inalámbricos 802.11a tienen una gran acogida en la implementación en redes de empresas públicas y privadas, debido al compromiso entre ancho de banda, servicios y costos, que presenta esta tecnología de enlace.

5.10.2 Escalabilidad y seguridad. La tecnología de enlace seleccionada soporta la expansión de estaciones a futuro, sin alterar la calidad del enlace y los servicios implementados. Esto es, dado el caso, que se necesite conectar otra sede, bastaría con configurar el equipo y engancharlo a la red principal.

Pese a operar sobre un medio inalámbrico, las técnicas de modulación OFDM y la implementación de algoritmos de seguridad hace casi imposible la vulnerabilidad de la información transmitida sobre el enlace.

5.10.3 Afectación urbanística y del medio ambiente. Dado el tamaño reducido de los equipos y la infraestructura, las instalaciones de equipos 802.11a no representan una gran incidencia para el medio ambiente y el espacio urbano. Esto además ayuda a que los sistemas entren a operar en un tiempo muy inferior al de los medios guiados.

⁵⁶ Tecnologías en las Redes de Acceso. Damian Traverso. 2006

5.10.4 Bandas de frecuencias. Los sistemas 802.11a también conocidos como Wi-Fi, trabajan en la bandas U-NII de 5GHz, las cuales se encuentran para libre uso de sistemas de espectro ensanchado y modulación digital de banda ancha y baja potencia en el territorio colombiano⁵⁷.

La masiva implementación de sistemas Wi-Fi, que operan en la banda libre de 2,4GHz, debida principalmente al costo y facilidad de configuración de los equipos, ha ocasionado, que cada vez los canales disponibles sean más escasos y las comunicaciones presenten un menor rendimiento debido a la interferencia. Un estudio experimental sobre el uso de la banda de 2,4Ghz por sistemas 802.11b/g se presenta en el Anexo A. Esta es otra razón por la cual se optó por el diseño bajo 802.11a, ya que presenta una mayor cantidad de canales no solapados (8), reduciendo así la posibilidad de que el sistema sea interferido por otros.

5.10.5 Ancho de banda. El ancho de banda que soporta la tecnología 802.11a a distancias medianas (11 Mbps por estación) como las que se presentan en el escenario de aplicación del proyecto, es suficiente para soportar los servicios que se desean implementar sobre este enlace, que se analizaron la sección 4.6 de este trabajo.

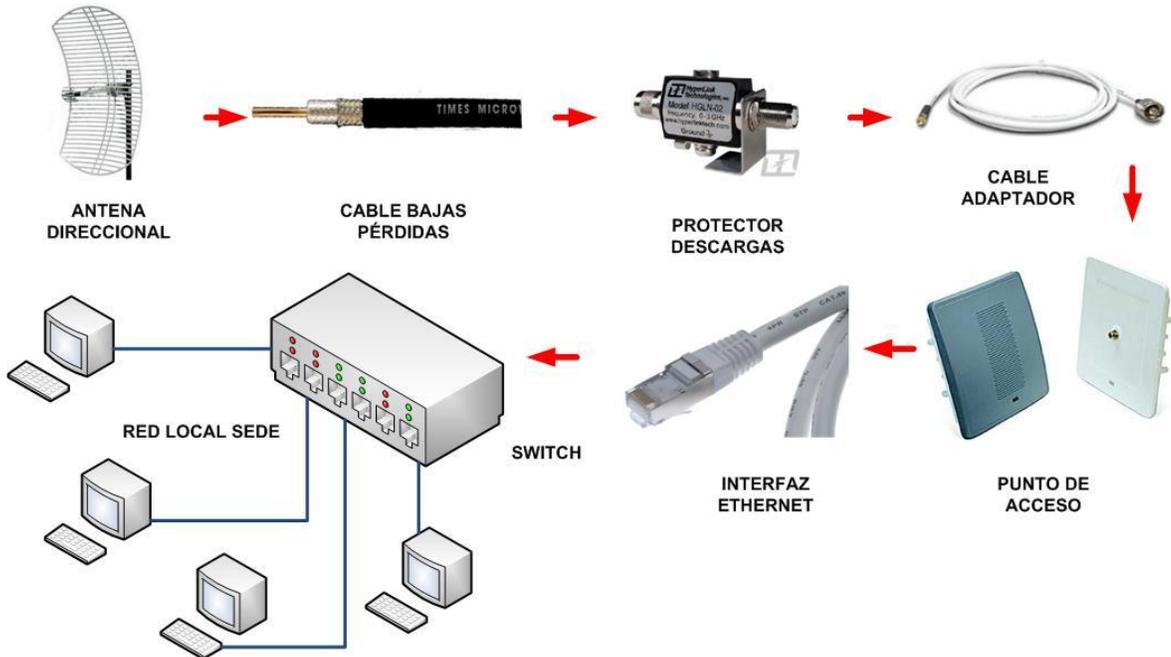
5.10.6 Costos. Dado que es un sistema inalámbrico los costos de instalación y mantenimiento son significativamente menores que los de sistemas con medios guiados. La tecnología 802.11a hace un compromiso entre los sistemas 802.11b/g de bajo precio y las costosas implementaciones WIMAX o sistemas propietarios bajo el estándar 802.16, ofreciendo un buen rendimiento a un costo razonable. La inversión inicial se recupera rápidamente, y se ve compensada, con el bienestar que genere tanto para los funcionarios de la institución como los usuarios de la misma. Además el uso de frecuencias licenciadas, permite destinar el pago por derechos del espectro, a mantenimiento y sostenimiento del sistema.

5.11 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

La figura 5.4 muestra la arquitectura de hardware con que cada debe contar para vincularse a la red de datos integrada de la Alcaldía Municipal de Pasto. La red local, acorde al diseño proyectado estudiado en la sección 4.4, se enlaza al AP mediante una interfaz Ethernet, a la salida RF de éste equipo se conecta el cable adaptador de antena, con una longitud no mayor a 60cms para controlar la atenuación. El protector de descargas eléctricas protege al equipo de comunicaciones, ante un aumento espontaneo en la corriente de la antena, generada por los fenómenos atmosféricos. El cable de bajas pérdidas permite la conexión directa de la antena con el elemento protector y debe tener una atenuación por unidad de longitud mínima para no afectar la calidad del enlace.

⁵⁷ Resolución 689 de 2004. Ministerio de Comunicaciones de Colombia. Diario Oficial 45.553 28 de Abril de 2004.

Figura 5.4. Arquitectura de la solución para las sedes de la Alcaldía de Pasto.



6. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL ENLACE

6.1 IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE EMPLAZAMIENTO

Con la herramienta Google Earth V4, se determinaron posibles sitios de emplazamiento, edificaciones con ubicación estratégica para un nodo principal que cubra la mayor parte de sedes con línea de vista, así como posibles inconvenientes, que se podrían originar al utilizar estos sitios. Con esta información inicial se realizó un recorrido por todas las sedes y edificios claves para la interconexión como Hotel Agualongo, Edificio Cámara de Comercio de Pasto, Edificio Sindamanoy y los centros comerciales Valle de Atríz y Bomboná.

Los sitios donde se instalarán los equipos de comunicación, como se muestra en la Figura 6.1, incluyen puntos en las sedes descentralizadas de la Alcaldía, y los edificios de Planeación de la Alcaldía Municipal de Pasto, Cámara de Comercio, Centro Comercial Bomboná y Centro Comercial Valle de Atríz. Para determinar los sitios se tuvo en cuenta tanto el aspecto técnico (línea de vista, altura, distancia); así como el aspecto económico y financiero en que se incurre al arrendar espacios para emplazamiento de equipos.

Figura 6.1. Sitios de emplazamiento para el enlace. (a) Casa de Don Lorenzo. (b) Secretaría de Educación. (c) Centro Cultural Pandiaco. (d) Centro del Adulto Mayor. (e) Ventas Populares Calle 16. (f) Casa de Justicia. (g) Pasto Deporte. (h) Edificio Cámara de Comercio. (i) Centro Comercial Valle de Atríz. (j) Centro Comercial Bomboná. (k) Edificio de Planeación Alcaldía de Pasto.





(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)

6.2 TOPOLOGÍA DEL ENLACE

La topología y esquema lógico seleccionados para el enlace de las sedes de la Alcaldía de Pasto, se muestra respectivamente en la Figura 6.2 y la Figura 6.3. El diseño consta de enlaces PTP utilizando antenas direccionales y dos enlaces en modo repetidor. Esta topología tuvo en cuenta, las limitaciones técnicas (LOS, frecuencia de trabajo, ganancia del sistema, entre otras) así como condicionamientos regulatorios para este tipo de enlaces (potencia máxima permitida, bandas de frecuencia libre, entre otras). El elemento enrutador conectado al elemento conmutador (switch) permite una mejor gestión de la red mediante tablas de enrutamiento y control de permisos sobre servicios y protocolos.

Figura 6.2. Topología del enlace de las sedes descentralizadas de la Alcaldía Municipal de Pasto.

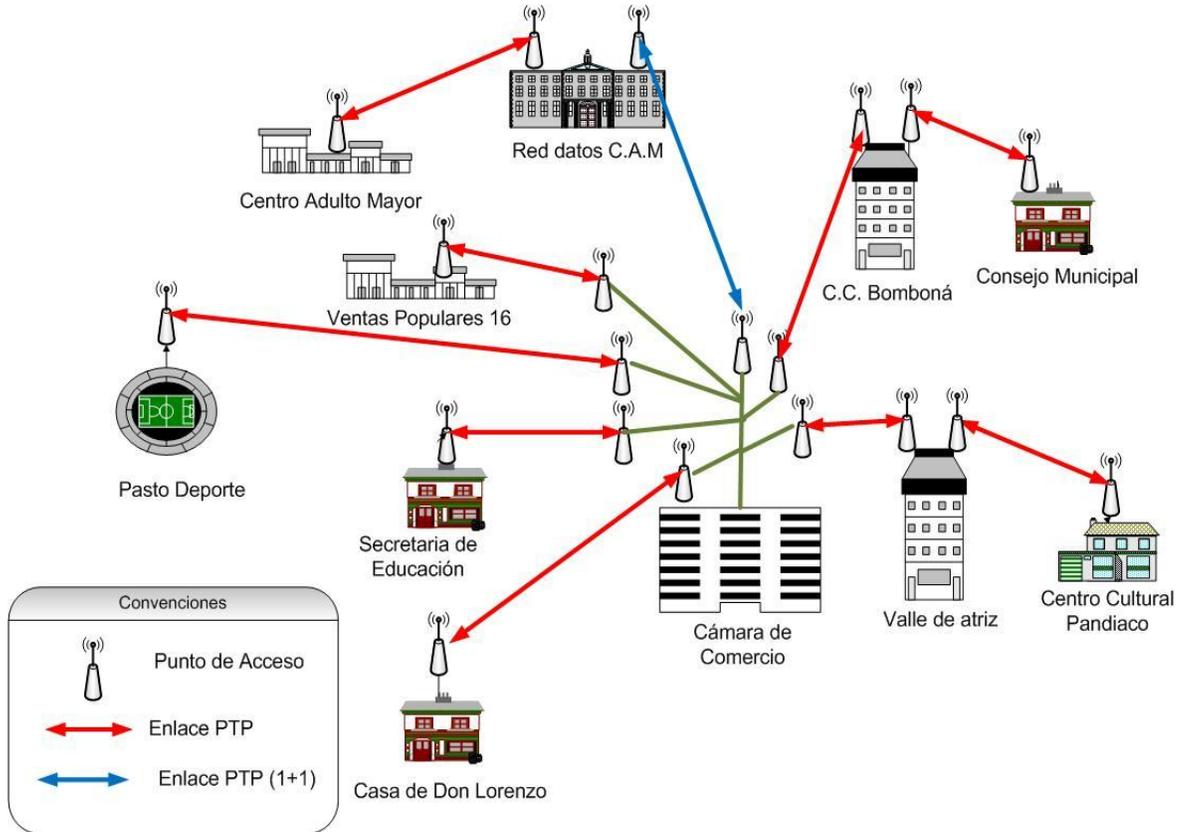
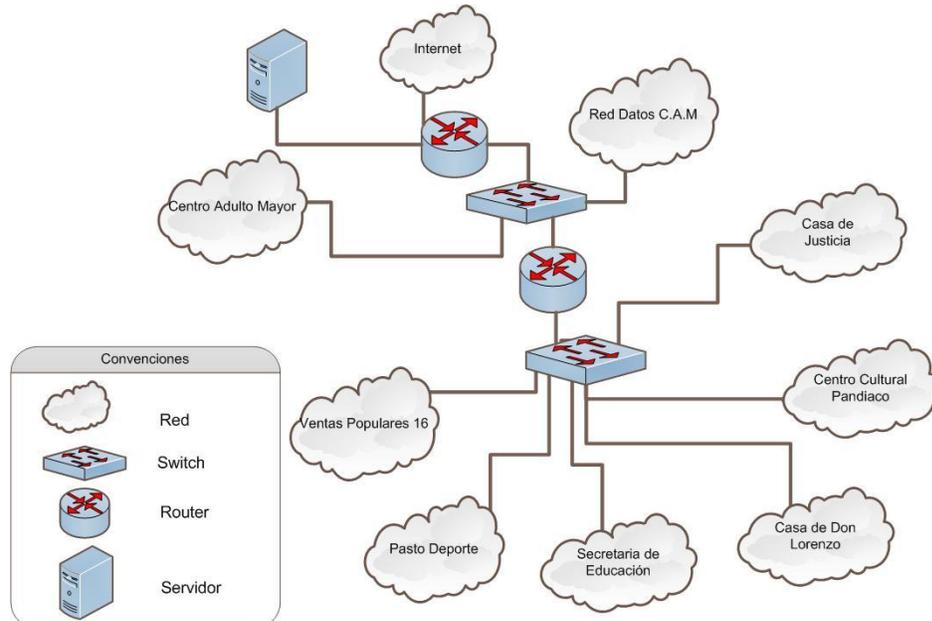


Figura 6.3. Esquema lógico básico de la red de datos integrada de la Alcaldía Municipal de Pasto.



El enlace Redes de Datos C.A.M. – Cámara de Comercio es de configuración PTP (1+1), es decir con redundancia de un enlace de respaldo, con una configuración en los Puntos de Acceso (**AP. Access point**) de puente transparente, con lo que se tiene una mayor fiabilidad, eficiencia (debido a que no se está negociado constantemente la autenticación como en el modo PTM) y por seguridad la información. El AP del Edificio de Planeación se conecta al conmutador principal de esta sede, en tanto que el AP en Cámara de Comercio se enlaza físicamente con el router que administra el tráfico del switch donde convergen las redes de datos de otras siete sedes de la Alcaldía. Otro enlace PTP se proyecta entre la sede Centro del Adulto Mayor y el Edificio de Planeación, debido a la relativa cercanía y LOS entre éstos sitios, evitando conectarse al Edificio de Cámara de Comercio.

Para el enlace de las sedes Ventas Populares – Calle 16, Pasto – Deporte, Secretaría de Educación y Casa de Don Lorenzo con Cámara de Comercio, se utilizan enlaces PTP con bridge transparente, lo que permite, a pesar de incrementar el costo, aumentar la seguridad y fiabilidad de los enlaces, cumpliendo con el marco regulatorio expuesto en la sección 3.2.

Debido a que no existe línea de vista entre el edificio de Cámara de Comercio y el Centro Cultural Pandiaco, se utiliza un par de AP, con antenas direccionales, ubicado en el Centro Comercial Valle de Atríz, para lograr la integración de la red de esta sede. Para la conexión con Casa de Justicia, se utiliza el edificio del Centro Comercial Bomboná, como lugar de emplazamiento del par de puntos de acceso, de manera similar al caso anterior. De ésta forma se enlazan estas dos sedes al AP ubicado en Cámara de Comercio como puede apreciarse en la Figura 6.2.

6.3 LEVANTAMIENTO DE LOS SITIOS DE EMPLAZAMIENTO

En esta fase se evalúa el ambiente disponible para el enlace, y las modificaciones que son necesarias realizar, para que este se lleve a cabo. Los aspectos más importantes para tener en cuenta son:

- Posible ubicación de equipos, antenas y acometida del cableado a desde el AP hasta el cuarto de equipos.
- Accesibilidad a los sitios.
- Espacio disponible.
- Existencia de elementos cercanos que sean focos de interferencia.
- Elevación de las antenas sobre el nivel del Suelo.
- Definición de las Coordenadas Geográficas con ayuda del GPS.
- Línea de Vista entre los dos puntos.
- Elección Adecuada de los Mástiles y definición de Trabajos Adicionales de ser requeridos.
- Condiciones ambientales.
- Verificación o Instalación de Tierra Física y Protección Eléctrica.

6.3.1 Equipamiento. Los equipos disponibles usados para el levantamiento del sitio son:

- GPS GARMIN 76CS.
- Computador portátil.
- Binoculares.
- Cámara de video.
- Cámara fotográfica de alta resolución.

Otros recursos utilizados para llevar a cabo el levantamiento del sitio son:

- Mapa digital de la ciudad de Pasto, en formato dwg para Autocad.
- Sistema de Información Geográfica (**GIS**) Google Earth versión 4.2.
- Simulador de enlaces de radio RadioMobile versión 9.1.0.
- Herramienta NetStumbler versión. 0.4.0: detector de redes inalámbricas bajo estándar IEEE 802.11b/g.

6.3.2 Edificio Planeación. La Tabla 6.1, resume los datos obtenidos del levantamiento realizado al Edificio de Planeación. Este sitio fue escogido, debido a que en él se encuentran los servidores y equipos de red de la Alcaldía Municipal de Pasto, y por tener LOS directa con el edificio Cámara de Comercio, lo que facilita la conexión al armario de comunicaciones y a su vez el enlace inalámbrico requerido. Como se puede apreciar en la figura 6.4 la acometida al edificio del cableado, se hace desde la parte superior hacia las oficinas del segundo piso, protegido con canaleta y bajan a la primera planta donde se encuentra el cuarto de equipos. El recorrido escogido para el cableado tiene una longitud de 20 metros.

Tabla 6.1. Levantamiento de sitio Edificio de Planeación Municipal.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°12'45.7"N 077°18'10.4"O
ALTURA	2690 metros
EQUIPO A INSTALAR	2 Puntos de Acceso 802.11a 2 Antenas Direccionales
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Antenas anclada a pared del Edificio (ver Figura 6.4)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio y Centro del Adulto Mayor
CONEXIÓN A TIERRA	Disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.4 Lugar de emplazamiento equipo de comunicaciones para Edificio de Planeación.



6.3.3 Centro del Adulto Mayor. La Tabla 6.2, muestra el resumen del levantamiento que se realizó a la sede Centro del Adulto Mayor. De esta sede sobresale, la relativa cercanía con el Edificio de planeación (750m) y la necesidad de asegurar el equipo de comunicaciones contra robos, ya que por el sitio escogido, que es óptimo para comunicación con línea de vista, estaría muy expuesto. Es necesaria, no solo la puesta a tierra para los transmisores inalámbricos, sino también para proteger el equipo de computo y de red de la sede.

Tabla 6.2 Levantamiento de Sitio para la Sede Centro de Adulto Mayor

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°12'16.6"N 077°17'44.6"O
ALTURA	2563 metros
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Espacio en plancha de cemento sobre el techo de la edificación parte posterior a oficinas. (ver Figura 6.5(a))
LÍNEA DE VISTA	Directa con Edificio de Planeación (ver Figura 6.5(b))
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil Seguridad ante robos para el equipo de comunicación.
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

En la figura 6.5 (a) se puede observar el sitio escogido como lugar de emplazamiento de la antena dirigida hacia el edificio de Planeación con el que tiene vista directa, como se puede apreciar en la figura 6.5 (b). Los cables de alimentación, cable de tierra y datos van a salir del AP por la parte superior de la edificación, como se muestra en la figura 6.5 (c), entrando por una perforación hacia el espacio destinado como cuarto de equipos, recorriendo un total de 15 metros.

Figura 6.5. Levantamiento de sitio Sede Centro del Adulto Mayor. (a) Lugar seleccionado para emplazamiento de equipos. (b) Verificación de línea de vista con Edificio de Planeación C.A.M. (c) Recorrido del Cableado desde el interior de la sede hacia el equipo de transmisión.



(a)



(b)



(c)

6.3.4 Pasto Deporte. La Tabla 6.3, resume el levantamiento que se realizó sobre la sede Pasto Deporte, que presenta una fácil accesibilidad, línea de vista directa con el punto de acceso (Cámara de Comercio). Es necesaria la implementación de puesta a tierra para proteger los equipos de comunicación así como los de computación de la dependencia. Para enlazar el AP con el conmutador en la sede, es necesario tender los cables de datos, alimentación y tierra por la parte superior del Coliseo protegido por canaleta, pasando por el techo del bloque de oficinas y entrando por una perforación cercana a al ventana como se observa en la figura 6.6 (c). El cableado hace un recorrido de 65 metros desde el AP hasta el cuarto de equipos.

Tabla 6.3. Levantamiento de Sitio para la Sede Pasto Deporte.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°12'16.7"N 077°16'45.9"O
ALTURA	2586 metros
EQUIPO A INSTALAR	Puntos de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Plancha de Cemento sobre el Coliseo (ver Figura 6.6(a))
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio (ver Figura 6.6(b))
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Motores en talleres cercanos a la sede.

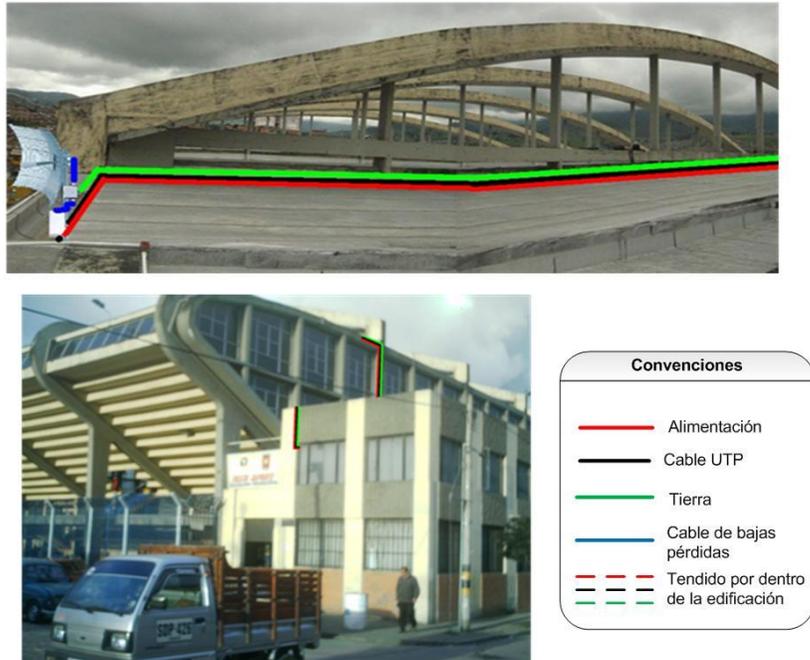
Figura 6.6. Levantamiento de Sitio Sede Pasto – Deporte. (a) Lugar seleccionado para emplazamiento de equipos. (b) Verificación de línea de vista con Edificio Cámara de Comercio. (c) Recorrido del cable desde la parte superior del coliseo, hasta las oficinas de la Sede.



(a)



(b)



(c)

6.3.5 Edificio Cámara de Comercio de Pasto. La Tabla 6.4, resume el levantamiento que se realizó sobre la terraza del Edificio Cámara de Comercio. El sitio se escogió por facilidad de acceso, espacio disponible, costo de arrendamiento, línea de vista con la mayoría de puntos a interconectar (ver figura 6.8), y por la poca probabilidad de interferencia para los equipos de telecomunicación. Es importante realizar una fijación apropiada del Punto de Acceso y las antenas, puesto que el viento debido a las corrientes altas que se generan en los edificios, puede perjudicar la estabilidad del enlace.

Como se observa en la figura 6.7 (b), el espacio necesario por arrendar tiene 2 x 3 metros y se ubica en la terraza de la edificación, lindando con la calle 18. El mástil tiene una altura de 3 metros, y tiene 7 derivaciones, una por cada antena. Para evitar una posible descarga, cada antena lleva un supresor que desvía todas las corrientes no deseadas a tierra. No es necesaria la instalación de pararrayos puesto que existe uno a un metro del lugar de colocación del mástil sobre el helipuerto.

El rack o armario de equipos, se ubica al lado del mástil, y está soportado sobre una base metálica que permite que en caso de lluvia, el agua no se estanque. En este rack es donde se ubicarán el enrutador y el conmutador que se estimaron en la topología de la sección 6.2, así como la UPS que se activará en caso de pérdida de corte de energía eléctrica por parte de la empresa proveedora del servicio.

Tabla 6.4. Levantamiento de Sitio para Edificio Cámara de Comercio.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'05.4"N 077°16'48.6"O
ALTURA	2563 metros
EQUIPO A INSTALAR	8 Puntos de Acceso 802.11a 8 Antenas Direccionales Enrutador Switch Soporte de Energía UPS
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Terraza/Helipuerto de la edificación (ver Figura 6.7)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Pasto – Deporte, Casa de Don Lorenzo, Secretaría de Educación, Ventas Populares Calle 16, Edificio de Planeación C.A.M, Centro Comercial Bomboná y Centro Comercial Valle de Atriz. (ver Figura 6.8)
CONEXIÓN A TIERRA	Instalación de EPM Telecomunicaciones S.A E.S.P.
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Instalación de Mástiles
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Nodos de Acceso WIMAX en la edificación. Equipos de Transmisión en Terraza Edificio Sindamanoy. Motores Helicoptero (Caso poco probable)

Figura 6.7. Levantamiento de Sitio para Edificio Cámara de Comercio. (a) Identificación del lugar de emplazamiento. (b) Disposición de equipos en el espacio planeado por arrendar.



(a)



(b)

Figura 6.8. Verificación de línea de vista desde el edificio Cámara de Comercio hacia los otros puntos de emplazamiento. (a) Pasto Deporte. (b) Casa de Don Lorenzo. (c) Centro Comercial Bomboná. (d) Secretaría de Educación. (e) Ventas Populares Calle 16⁵⁸. (f) Centro Comercial Valle de Atriz.

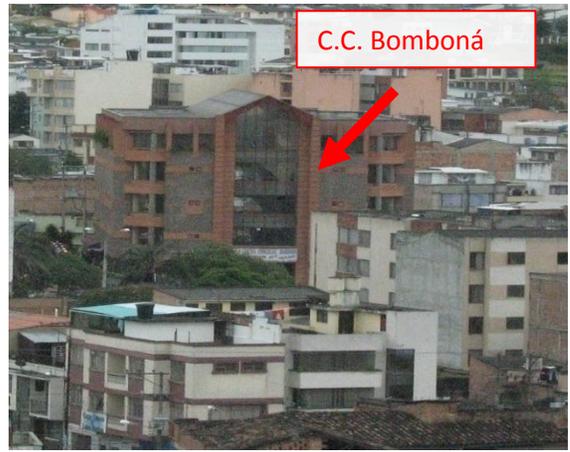


(a)

⁵⁸ No existe línea de vista directa desde el punto más alto de la Sedes, sin embargo es viable la instalación de mástil para poder alcanzar este requisito. En la figura 6.7(b) de la sección 6.3.6 se apreciará mejor este hecho.



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

6.3.6 Ventas Populares Calle 16. La Tabla 6.5, resume el levantamiento que se realizó sobre la sede Ventas Populares Calle 16, que presenta una buena accesibilidad y espacio. La sede no tiene línea de vista directa con el AP en Cámara de Comercio, pero puede instalarse un mástil que alcance la altura necesaria para cubrir este requisito. La figura 6.9 (a) muestra la ruta que debe tener el cableado hacia el cuarto de equipos en la sede.

Tabla 6.5. Levantamiento de Sitio para la Sede Ventas Populares Calle 16.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°12'48.8"N 077°16'48.6"O
ALTURA	2568 metros
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Mástil apoyado sobre muro de edificación adyacente (ver Figura 6.9(a))
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio Mediante mástil (ver Figura 6.9(b))
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Equipos Wireless Alvarion Instalados en el edificio adyacente

Figura 6.9. Levantamiento de sitio Sede Ventas Populares Calle 16. (a) Lugar seleccionado para emplazamiento, y ruta del cableado hacia el cuarto de equipos. (b) Verificación de línea de vista con Edificio Cámara de Comercio.



(a)



(b)

6.3.7 Centro Comercial Bomboná. La Tabla 6.6, muestra los datos obtenidos en el levantamiento del Centro Comercial Bomboná, se utiliza este punto como lugar de emplazamiento de la estación Cliente para la Sede Casa de Justicia, puesto que ésta no tiene línea de vista con Cámara de Comercio y para alcanzarla se requeriría de una torre de comunicación de gran altura y alto costo. Se estudio la posibilidad de tender cable UTP, desde el AP del edificio a la sede debido a la cercanía, pero iría en contra de las normas de cableado estructurado, y se necesitaría el arriendo de postes, incurriendo en gastos adicionales permanentes. Por tanto se instalaran dos radios con sus respectivas antenas, una orientada hacia Cámara de Comercio y otra orientada hacia la sede, logrando así el enlace de la Casa de Justicia con el nodo principal (Cámara de Comercio).

Tabla 6.6. Levantamiento de Sitio para el Edificio Centro Comercial Bomboná.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'00.4"N 077°17'03.0"O
ALTURA	2551 metros
EQUIPO A INSTALAR	2 Puntos de Acceso 802.11a 2 Antenas Direccionales
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Terraza de la Edificación (ver Figura 6.10(a))
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio (ver Figura 6.10(b))
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.10. Levantamiento de sitio Centro Comercial Bomboná. (a) Lugar seleccionado para emplazamiento de equipos. (b) Verificación de línea de vista con Edificio Cámara de Comercio.



6.3.8 Casa de Justicia.

La tabla 6.7 muestra el levantamiento de sitio que se realizó a la Sede Casa de Justicia. La instalación del equipo inalámbrico, se hará sobre una plancha ubicada en el techo de la edificación y con acometida de cables protegidos por canaleta y apoyado sobre la viga, se introducirá a la sede por el tejado alcanzando las oficinas de la primera planta, y de ahí se conduce hasta llegar al cuarto de equipos como se observa en la figura 6.11, con un recorrido total de 53 metros.

Tabla 6.7. Levantamiento de sitio para la sede Casa de Justicia.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'12.5"N 077°17'14.5"O
ALTURA	2531 metros
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Plancha en cemento sobre el tejado del edificio (Ver figura 6.11)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Centro Comercial Bomboná
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.11 Levantamiento de sitio Casa de Justicia. Lugar de Emplazamiento del equipo de radio y recorrido del cableado. Foto tomada desde terraza Centro Comercial Bomboná.

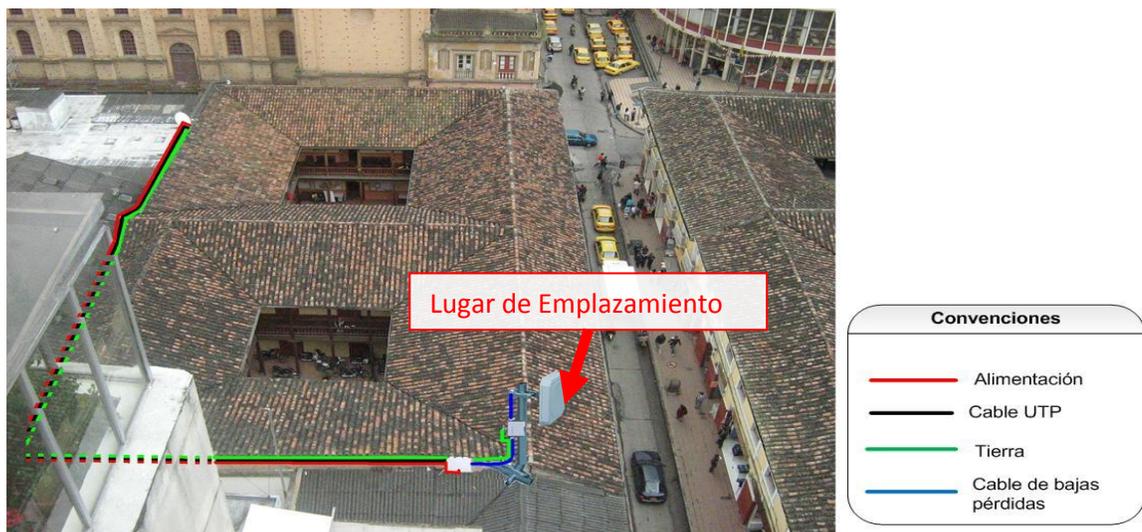


6.3.9 Secretaría de Educación – Concejo Municipal. En la Tabla 6.7, se muestra un resumen sobre el levantamiento de sitio que se realizó a la casona donde se encuentran las sedes Secretaría de Educación y Concejo Municipal. Debido a que todo el tejado es en barro, el equipo de comunicación debe anclarse sobre los muros que soportan este techo. Pese a que la sede tiene disponible una conexión a tierra, debe revisarse su estado, puesto que la carga de equipos que soporta es grande. El tendido del cable se hace sobre la parte superior de la edificación protegido por canaleta, y desembocando al cuarto de equipos por el mismo canal implementado para la antena satelital, (Figura 6.12). Teniendo así un recorrido para el cableado de 60 metros.

Tabla 6.8. Levantamiento de sitio para la Sedes Secretaría de Educación – Concejo Municipal.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'08.0"N 077°16'57.3"O
ALTURA	2539 metros
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Estructura en Cemento sobre el techo de la edificación (ver Figura 6.12)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio
CONEXIÓN A TIERRA	Disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.12. Lugar de Emplazamiento de equipo de acceso inalámbrico en la sede Secretaría de Educación – Concejo Municipal.

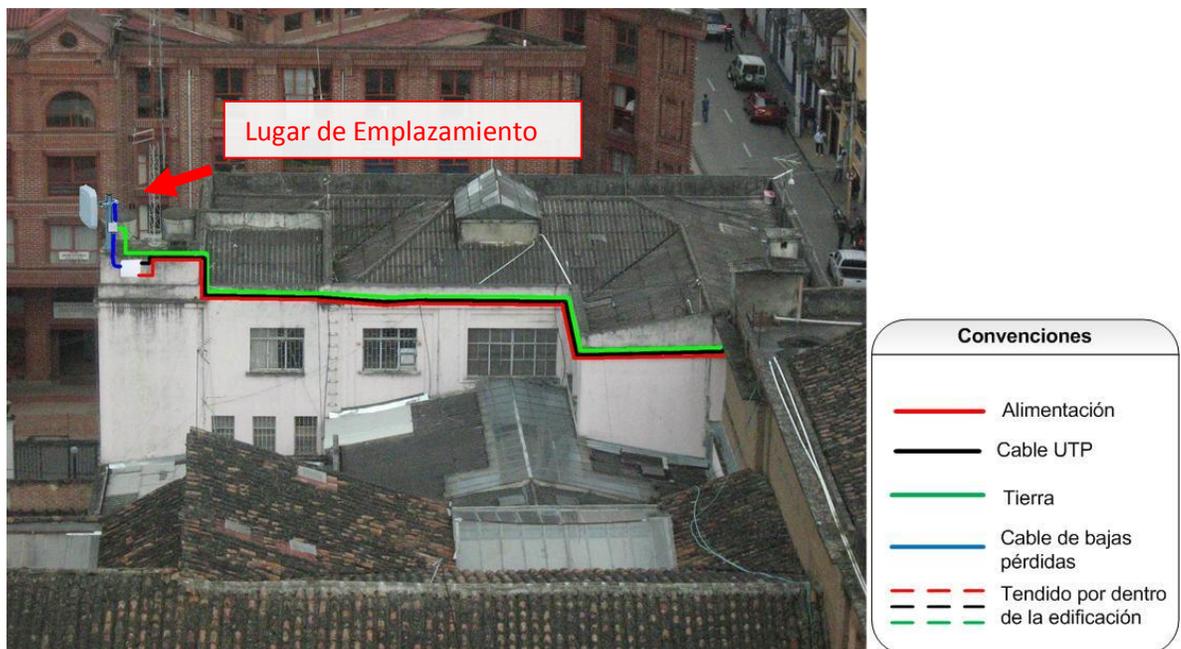


6.3.10 Casa de Don Lorenzo. La Tabla 6.8, resume el levantamiento de sitio llevado a cabo en la sede Casa de Don Lorenzo. La edificación posee una buena accesibilidad, línea de vista sin obstáculos con Cámara de Comercio. Sin embargo deben llevarse tareas adicionales como la instalación de puesta a tierra y pararrayos que actualmente no se encuentran implementados. La figura 6.13 muestra el recorrido del cableado desde el AP hasta el cuarto de equipos, que se hace por exteriores con canaleta con una distancia total de 25 metros.

Tabla 6.9. Levantamiento de sitio para la sede Casa de Don Lorenzo.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'05.4"N 077°16'53"O
ALTURA	2535 metros
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a Antena Direccional
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Plancha en la terraza de la edificación (ver Figura 6.12)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio
CONEXIÓN A TIERRA	No Disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Instalación Puesta a tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.13. Lugar de Emplazamiento de equipos sede Casa de Don Lorenzo.

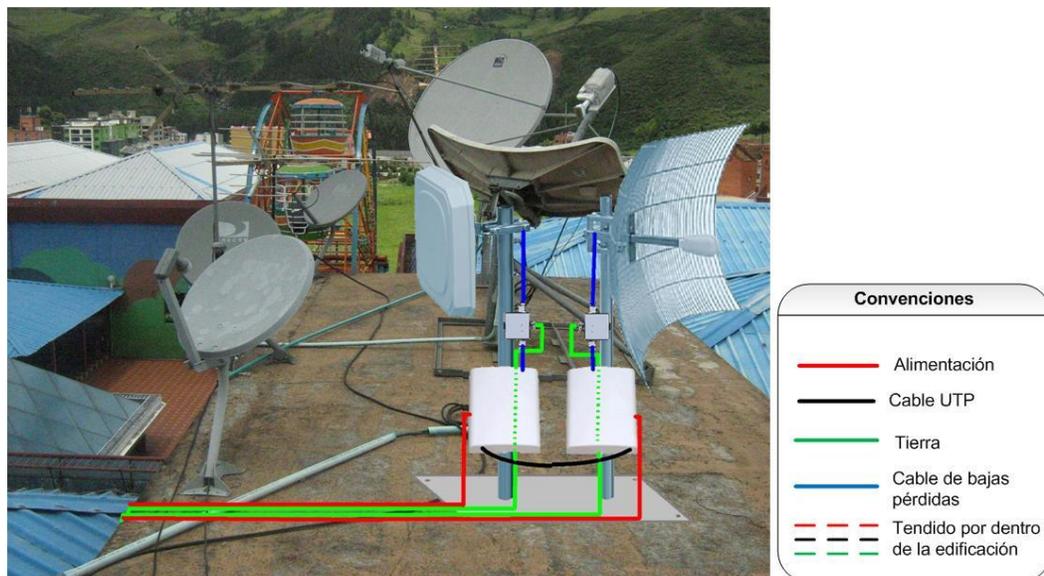


6.3.11 Centro Comercial Valle de Atríz. La Tabla 6.9 muestra los resultados obtenidos en el levantamiento de sitio para el Edificio Centro Comercial Valle de Atríz. Este lugar fue seleccionado por su ubicación clave para el enlace de la sede Centro Cultural Pandiaco con el Edificio Cámara de Comercio, ya que cuenta con línea de vista con ambos sitios. La figura 6.14 muestra el lugar de emplazamiento y la forma en que los equipos quedarán instalados, con sus respectivas conexiones (datos, tierra, alimentación).

Tabla 6.10. Levantamiento de sitio para el Centro Comercial Valle de Atríz.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'38.1"N 077°17'10.2"O
ALTURA	2533 metros
EQUIPO A INSTALAR	2 Punto de Acceso 802.11a 2 Antenas Direccionales
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Plancha en la terraza de la edificación (ver Figura 6.14)
LÍNEA DE VISTA	Directa con Cámara de Comercio y Centro Cultural Pandiaco
CONEXIÓN A TIERRA	Disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Equipo de comunicación satelital

Figura 6.14. Lugar de emplazamiento de equipos en el Edificio Valle de Atríz.



6.3.12 Centro Cultural Pandiaco. La Tabla 6.10 muestra los datos obtenidos del levantamiento de sitio realizado a la Sede Centro Cultural Pandiaco. La sede no posee línea de vista directa con ninguna sede, por lo que fue necesario verificar este requisito con el Edificio Valle de Atriz que actúa como repetidor, en el enlace con Cámara de Comercio.

El mástil se fijará con un soporte anclado sobre la pared y llegando al cuarto de equipos con el cableado protegido con canaleta, por un orificio cercano a la ventada, haciendo un recorrido total de 5 metros.

Tabla 6.11. Levantamiento de sitio para Centro Cultural Pandiaco.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	01°13'51.1"N 077°17'11.5"O
ALTURA	2533
EQUIPO A INSTALAR	Punto de Acceso 802.11a
LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	Asegurada a Muro Segundo Piso Oficinas (Figura 6.14(a))
LÍNEA DE VISTA	Directa con Valle de Atriz (ver Figura 6.14(b))
CONEXIÓN A TIERRA	No disponible
INFRAESTRUCTURA ADICIONAL REQUERIDA	Conexión a Tierra Pararrayos Instalación de Mástil
POSIBLES FOCOS DE INTERFERENCIA	Ninguno

Figura 6.15. Levantamiento de sitio Centro Cultural Pandiaco. (a) Lugar de Emplazamiento de equipo. (b) Verificación Línea de Vista con Centro Comercial Valle de Atriz.



(a)

6.4 REVISIÓN Y SELECCIÓN DE FABRICANTES

Para la selección de los equipos para el enlace, es primordial conocer las soluciones de los fabricantes de equipos 802.11a, evaluando tanto los aspectos técnicos como económicos, que se ajusten de la mejor forma a las necesidades de interconexión para las sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía de Pasto. En esta sección se hará una revisión de las soluciones que ofrecen los fabricantes más representativos de equipos con tecnología 802.11a, escogiendo de cada catálogo los que aplican para el diseño de enlace propuesto en la sección 6.3.

6.4.1 3COM. Posee un amplio catálogo y soluciones para interconexión de edificios (Building to Building) manejando equipos certificados Wi-Fi 802.1a/b/g. Entre las empresas distribuidoras en el país están Comware S.A. y Global Technology Services Gts Ltda, de los cuales se tomaron las especificaciones y precios que se relacionan en la Tabla 6.11.

Tabla 6.12. Solución de interconexión con equipos 3COM.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Punto de Acceso 3COM Wireless 8760	Interfaces: RJ-45, IEEE 802.11a. Usuarios soportados: Hasta 128 usuarios. Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Alcance operativo: 802.11a: hasta 50 metros Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET Alimentador de energía: 24 VDC, 300 mA Consumo de alimentación PoE: 6W máx. Banda de frecuencia: 802.11a: 5 GHz Sensibilidad de recepción: 6 Mbps: =-87 dBm /9 Mbps: =-86 dBm /12 Mbps: =-84 dBm /18 Mbps: =-82 dBm /24 Mbps: =-79 dBm /36 Mbps: =-75 dBm /48 Mbps: =-72 dBm /54 Mbps: =-71 dBm Temperatura de funcionamiento: de -10 a 40°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 26,7 cm, Anchura: 8,3 cm, Fondo: 3,2 cm Peso: 200 g Antena: 2 conectores externos R-SMA	\$1'278.350
Antena Banda Dual 18/20Dbi	Márgenes de frecuencia: 2300 - 2500 MHz y 5000 - 5800 MHz Ganancia de 2,4 GHz: 18 dBi Ganancia de 5 GHz: 20 dBi Tipo de conector: N hembra Cable: Cable plenum RG58/U de 30,5 cm (12") Salida máxima de potencia: 20 vatios Anchura del haz en el plano vertical de 3dB: 19° Anchura del haz en el plano horizontal de 3dB: 18° Relación frontal/trasera: >25 dB Margen de temperatura: de -40° C a 80° C Dimensiones: Anchura: 13 cm, Altura: 12 cm, Fondo: 4 cm Peso: 230 g (8 onzas)	\$213.450

ROTUER 3COM-5012	Puertos: 1 10/100BASE-T, Serial, Consola, MIM Puertos de Expansión: 2 slots para SICs (Smart Interface Cards) 1 slot para MIM Enrutamiento WAN: ISDEN, Frame Relay, X.25, PPP, Ethernet, IP, IPX, OSPF, BGP-4. Seguridad: VPN (L2TP, GRE, IPSec), Stateful Firewall, ACLs, NAT, RADIUS, TACACS+, PAP/CHAP Convergencia: QoS (CAR, GTS, PQ, and others), Multicast (PIM-SM, PIM-DM), IEEE 802.1Q VLAN, Inter-VLAN Routing, Multi-links, compression, MPLS Ccapa 2 y capa 3 VPN SDRAM: 128MB FLASH: 32MB Dimensiones: 4.3cm x 44cm x 31.5cm Peso: 6Kg Voltaje de Alimentación: 110/220VAC Consumo de Potencia: 60vatios.	\$1'791.000
Switch 3COM 4500	Conectores: 24 10/100BASE-TX 2 10/100/100BASE-TX Rendimiento: capacidad de conmutación de 8.8Gbps, 8000 direcciones MAC, latencia: 10µs. Soporta IPv4 e IPv6. Gestión: HTTP/TELNET/VIA MODEM Temperatura de Funcionamiento: 0 -40°C Humedad: 10 -95% (sin condensación) Voltaje de Alimentación: 110/220VAC	\$1'611.000
Cable de Bajas Pérdidas 6m N-to-N	Ganancia: 6dBi (5 GHz) Connector: N-type male to N-type male	\$113.850

6.4.2 PROXIM. La línea de productos PROXIM para enlaces inalámbricos compatibles con IEEE 802.11a se denomina ORINOCO y se compone principalmente de puntos de acceso configurables según la topología necesaria (puente o infraestructura) y antenas direccionales externas para extender el rango de cobertura. El distribuidor en Colombia es la empresa ANIXTER S.A. con sede en Santafé de Bogotá D.C. la cual suministró los datos técnicos y precio de los equipos relacionados en la Tabla 6.12.

Tabla 6.13. Solución de interconexión con equipos PROXIM.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Punto de Acceso ORINOCO 4000	Interfaces: RJ-45, IEEE 802.11a, RS232 Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24Mbps Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET/SERIAL Alimentador de energía: 24 VDC, 300 mA Consumo de alimentación PoE: 6W máx. Banda de frecuencia: 802.11a: 5 GHz Temperatura de funcionamiento: de 0 a 55°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 11,4 cm, Anchura: 9,3 cm, Fondo: 2,8 cm Peso: 0.9Kg Antena: Tipo N no incluida.	\$1'578.450

Antena ORINOCO AP 4900M	Tipo de Antena: Direccional Márgenes de frecuencia: 4900 – 5800 Mhz Ganancia: 10 dBi Impedancia: 50 Ohms Tipo de conector: N hembra Cable: Cable plenum RG58/U de 30,5 cm (12") Salida máxima de potencia: 2 vatios Anchura del haz en el plano vertical de 3dB: 45° Anchura del haz en el plano horizontal de 3dB: 45° Margen de temperatura: de -40° C a 80° C Dimensiones: Anchura: 8cm, Altura: 36.99cm , Fondo: 7.73 cm Peso: 106 g Cable de Bajas Perdidas: incluido	\$350.000
-------------------------	---	-----------

6.4.3 SMC Networks. Posee una solución con Puntos de acceso configurables en modos PTP y PTMP, para interconexión de redes empresariales. Los sistemas SMC Networks permiten la interconexión de hasta 3 antenas, permitiendo obtener un gran rango de cobertura con un solo equipo. El contacto se realizó con SMC Networks Colombia, vía correo electrónico y los datos suministrados por el asesor se encuentran resumidos en la Tabla 6.13.

Tabla 6.14. Solución de interconexión con equipos SMC Networks.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Punto de Acceso Empresarial SMC2891W-AG	Interfaces: RJ-45 (Soporta PoE), IEEE 802.11a. Usuarios soportados: Hasta 64 usuarios. Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Alcance operativo: 802.11a: hasta 50 metros con la antena incorporada de fábrica. Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET Alimentador de energía: 24 VDC, 300 mA Consumo de alimentación PoE: 6W máx. Banda de frecuencia: 5.15 – 5.35 GHz, 5.725 – 5.825GHz. Sensibilidad de recepción: -71dBm a 54Mbps Temperatura de funcionamiento: de -40 a 60°C Humedad: de 15 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 19,5 cm, Anchura:19 cm, Fondo: 7,4 cm Peso: 1.54Kg Antena: Direccional 17dBi y 2 salidas TIPO – N para antenas externas.	\$908.200
Antena Direccional SMCANT-DIFP18	Márgenes de frecuencia: 4900 – 5800 MHz Ganancia: 18 dBi Tipo de conector: N hembra Salida máxima de potencia: 10 vatios Anchura del haz en el plano vertical de 3dB: 20° Anchura del haz en el plano horizontal de 3dB: 20° Margen de temperatura: de -40° C a 80° C Dimensiones:	\$213.450

	Anchura: 25 cm, Altura: 10.2 cm, Fondo: 10.2 cm Peso: 198 g (8 onzas)	
Router Barricade SMCBR21VPN	Puertos: 2 WAN, 1DMZ, 1LAN Interfaces: 4 10/100BASE –T Seguridad: SPI, NAT, DoS, IP/PORT/MAC Adress/URL VPN: Soportado (50) Dimensiones: 21.9 x 14.8 x 3.7cm Peso: 1Kg Temperatura de Operación: 0 – 40°C Humedad: 10 – 90% (sin condensación) Voltaje de Alimentación: 100 – 110VAC Estándares: IEEE 802.3 10BASE – T Ethernet, 802.3u 100BASE – TX Fast Ethernet, IEEE 802.3x Control de flujo.	\$569.400

6.4.4 SPARKLAN. Esta compañía ofrece entre sus soluciones para exteriores el AP – BW2250, que es compatible con IEEE 802.1a, posee capacidad para 2 antenas externas. Las especificaciones técnicas que se relacionan en la Tabla 6.14, se encuentran en la página web del fabricante y mediante comunicación vía correo electrónico se realizó la cotización del mismo.

Tabla 6.15. Solución de interconexión con equipos SPARKLAN.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Punto de Acceso para exteriores BW2250	Interfaces: RJ-45 (Soporta PoE), IEEE 802.11a, Puerto de Consola Usuarios soportados: Hasta 100 usuarios. Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET/SNMP/AP Tool Alimentador de energía: 24 VDC, 300 mA Consumo de alimentación PoE: 6W máx. Banda de frecuencia: 5.15 – 5.35 GHz, 5.725 – 5.825GHz. Sensibilidad de recepción: -90dBm@6Mbps -70dbm @ 54Mbps. Temperatura de funcionamiento: de -30 a 70°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 23 cm, Anchura:20 cm, Fondo: 6.5 cm Peso: 1.54Kg Antena: Omnidireccional 5 dBi y 2 salidas TIPO – N para antenas externas.	\$1.057.100

6.4.5 SMART BRIDGES. La Tabla 6.15 relaciona las especificaciones técnicas y el costo de la solución SMART BRIDGES, que consiste en la implementación de unidades de acceso principales llamadas AirPoint al cual se enlazan equipos CPE (*Client Permission Equipment*) denominados AirClient. AVISS es el distribuidor de los equipo Smart Bridges en el país, y se mantuvo contacto mediante correo electrónico con el asesor de ventas Mauricio Salcedo.

Tabla 6.16. Solución de interconexión con equipos SMART BRIGDES

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
AirPoint Nexus TOTAL 551	Interfaces: RJ-45 (Soporta PoE), IEEE 802.11a Usuarios soportados: Hasta 128 usuarios. Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET/SNMP/AP Tool Adaptador PoE: Incluido 110VAC/48VDC 32vatios Banda de frecuencia: 5.15 – 5.35 GHz, 5.725 – 5.825GHz. Potencia de Transmisión: 37dBm a 14dBm @ 1 Mbps, 32dBm a 14dBm @ 54 Mbps. Sensibilidad de recepción: -102 @ 6 Mbps, -87 @ 54 Mbps Temperatura de funcionamiento: de -30 a 70°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 30 cm, Anchura:30 cm, Fondo: 15 cm Peso: 1.54Kg Antena: Interna 14dBi polarización vertical V/H = 60°/15°. Antena externa con conector tipo N.	\$2'135.250
AirClient TOTAL 551	Interfaces: RJ-45 (Soporta PoE), IEEE 802.11a Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET/SNMP/AP Tool Adaptador PoE: Incluido 110VAC/48VDC 32vatios Banda de frecuencia: 5.15 – 5.35 GHz, 5.725 – 5.825GHz. Potencia de Transmisión: 20dBm a 0dBm @ 6 Mbps, 15dBm a 0dBm @ 54 Mbps Sensibilidad de recepción: -90 @ 6 Mbps, -71 @ 54 Mbps Temperatura de funcionamiento: de -30 a 60°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones & Peso: Altura: 30 cm, Anchura:30 cm, Fondo: 15 cm Peso: 2.1Kg Antena: Interna 18dBi polarización vertical V/H = 20°/20°. Antena externa con conector tipo N (50Ohm).	\$967.950

6.4.6 HYPERLINK. Esta compañía está especializada en la fabricación de los equipos, elementos y accesorios para redes inalámbricas, ofreciendo calidad a un costo razonable. Los precios y características de los elementos que corresponden al diseño propuesto se muestran en la Tabla 6.16.

Tabla 6.17. Dispositivos HYPERLINK para redes inalámbricas.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Antena direccional grilla HG5822G	Frecuencia de Operación: 5725 -5850 MHz Ganancia: 22dBi Polarización: Horizontal o Vertical Apertura Horizontal: 10° Apertura Vertical: 13°	\$118.000

	Impedancia: 50Ohm Potencia máxima de entrada: 100 vatios Peso: 1.4Kg Dimensiones Grilla: 30cm x 40cm Temperatura de Operación: -40°C a 85°C Conector: Tipo N hembra	
Antena direccional panel plano HG5819P	Frecuencia de Operación: 5725 -5850 MHz Ganancia: 19dBi Polarización: Horizontal o Vertical Apertura Horizontal: 16° Apertura Vertical: 16° Impedancia: 50Ohm Potencia máxima de entrada: 200 vatios Peso: 0.72Kg Dimensiones: 11,35 x 11,35 x 2.53cm Temperatura de Operación: -40°C a 85°C Conector: Tipo N hembra	\$130.000
Antena direccional panel plano HG5811P	Frecuencia de Operación: 5725 -5850 MHz Ganancia: 11dBi Polarización: Horizontal o Vertical Apertura Horizontal: 30° Apertura Vertical: 60° Impedancia: 50Ohm Potencia máxima de entrada: 200 vatios Peso: 0.72Kg Dimensiones Grilla: 30cm x 40cm Temperatura de Operación: -40°C a 85°C Conector: Tipo N hembra	\$95.200
Protector de Descargas ALTELICON AL6-NFNFB-9	Frecuencia de Operación: 0 – 6GHz Pérdida de inserción: 0.5dB Impedancia: 50Ohm Voltaje de Ruptura: 90V Máxima corriente soportada: 5KA Conector: Tipo N hembra Dimensiones: 6.4 x 23 x 34cm	\$ 44.900
Cable de Bajas Pérdidas para antena HyperGain 400 series	Modelo: CA3N020 Longitud: 6m Pérdidas de inserción: 0.22dB/m Conectores: Tipo N hembra	\$50.382
Cable de Bajas Pérdidas para antena LMR-900	Modelo: CA – 9NMNF025 Longitud: 7.6m Pérdidas de inserción: 0.097dB/m Conectores: Tipo N hembra	\$364.500

6.4.7 CISCO SYSTEMS. Esta reconocida marca, ofrece la solución para interconexión inalámbrica AIRONET, que con el empleo de antenas externas puede alcanzarse un amplio rango de cobertura, con una alta capacidad de transmisión, a un precio razonable para la implementación en negocios en crecimiento. SISALTEC es el distribuidor local de equipos CISCO brindando soporte técnico en la instalación y mantenimiento. La Tabla 6.17 relaciona los equipos de acceso inalámbrico,

enrutador y conmutador, escogidos de esta marca para su uso en el diseño del enlace, mostrando sus principales especificaciones y costo.

Tabla 6.18. Solución de interconexión CISCO, ofrecida por SISALTEC .

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRECIO
Cisco Aironet 1410 Wireless Bridge	Interfaces: 2 RJ-45 IEEE 802.11a Velocidades de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps Seguridad: Encriptación WEP/WPA/WPA2/ AES/TKIP Gestión de red: HTTP/TELNET Banda de frecuencia: 5.15 – 5.35 GHz, 5.725 – 5.825GHz. 12 Canales no solapados. Potencia de Transmisión: 12 – 24 dBm Sensibilidad de recepción: -83 @ 6 Mbps, -70 @ 54 Mbps Temperatura de funcionamiento: de -40 a 85°C Humedad: de 10 a 95% (sin condensación) Dimensiones: 29 x 29 x 9 cm Peso: 5Kg Conector Antena: 1 tipo RP – TNC Voltaje de operación: 110/220VAC (Fuente de poder), 48VDC +/-2V	\$1'836.000
Antena Direccional AIR-ANT58G10SSA-N	Frecuencia de Operación: 5725 -5850 MHz Ganancia: 9.5dBi Polarización: Horizontal o Vertical Apertura Horizontal: 60° Apertura Vertical: 60° Impedancia: 50Ohm Potencia máxima de entrada: 100 vatios Peso: 0.6Kg Dimensiones: 6.4cm x 6.4cm x 4.5cm Temperatura de Operación: -20°C a 60°C Conector: Tipo N hembra	\$630.000
Enrutador CISCO 2801	Interfaces: 2 RJ 45 para red y RJ 45 para gestión Procesador: Motorola MPC860 50MHz RISC Memoria: RAM 128 MB expandible a 384MB Memoria Flash: 64 MB expandible a 28MB Velocidad de Transferencia de datos: 1000Mbps Protocolos de Interconexión: Ethernet, Fast – Ethernet Protocolo de Transporte: TCP/IP, SNA, Apple Talk, UDP/IP, IP/IPX Protocolo de direccionamiento: OSPF, BGP Protocolo de gestión remota: RMON Voltaje de Operación: 100 – 240VAC Consumo de Potencia: 120W Temperatura de funcionamiento: 0°C a 45°C Humedad: 10 - 85%	\$ 4'100.000
Switch Cisco Catalyst 2960	Puertos: 20 Ethernet 10/100/1000 BASE-TX Velocidad de Transferencia: 1Gps Puertos auxiliar de red: 4x 10/100/1000BASE-T/SFP Gestión: SNMP 1, RMON, Telnet, SNMP3, SNMP2c Modo de Comunicación: Half-Duplex / Full Duplex	\$1'630.0000

	Memoria RAM: 64MB Memoria Flash: 32MB Tamaño de table de dirección MAC: 8000 entradas Método de autenticación: RADIUS, TACACS+, Secure Shell v.2 (SSH2) Voltaje de operación: 120/230VAC Consumo de Potencia: 75 vatios Temperatura de funcionamiento: 0°C a 45°C Humedad: 10 - 85%	
UPS CDP UPO 3KVA	Voltaje de Operación: 60 – 138VAC Frecuencia: 56 – 64 Hz Forma de Onda de Salida: Senoidal Baterías: 8 x 12V / 7.2Ah Autonomía: 15 minutos	\$2'510.000
UPS PEI 3KVA	Voltaje de Operación: 60 – 138VAC Frecuencia: 56 – 64 Hz Forma de Onda de Salida: Senoidal Autonomía: 3 horas	\$8.000.0000

6.4.8 Selección de fabricantes. La Tabla 6.18, muestra los dispositivos seleccionados para el diseño propuesto de interconexión de sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto.

Se escogió a SISALTEC como el proveedor principal de equipos, por sus precios razonables, soporte técnico con tiempo mínimo de espera por estar ubicado en la ciudad, y por la garantía que ofrece sobre sus productos. Las antenas y accesorios se adquirirán de Hyperlink, puesto que maneja precios bajos, con antenas de alta calidad.

Tabla 6.19. Dispositivos seleccionados para el enlace.

ELEMENTO	REFERENCIA	FABRICANTE	PROVEEDOR
Punto de Acceso 802.11a	Aironet 1410 Wireless Bridge	CISCO	SISALTEC
Antena Direccional Gilla	HG5822G	HYPERLINK	HYPERLINK
Antena Direccional Panel Plano	HG5811P	HYPERLINK	HYPERLINK
Enrutador	CISCO 2801 Integrated Services Router	CISCO	SISALTEC
Switch	Catalyst 2960	CISCO	SISALTEC
UPS	UPS CDP 3KVA	CDP	SISALTEC

6.5 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

Debido al vertiginoso desarrollo actual de las tecnologías de telecomunicaciones y al auge de la competencia en el sector empresarial, el uso de herramientas de simulación resulta imprescindible

ya que permite la reducción de costos de diseño, mejora su calidad, y en definitiva disminuye el tiempo que tardan de implementarse los sistemas de comunicaciones.

En el marco de la complejidad que caracteriza las recientes redes de telecomunicaciones, está claro que el análisis de resultados previos a su instalación no son viables, o siendo optimistas, tan solo sirven para brindar una idea aproximada que sirva como punto de partida. Por eso la necesidad de herramientas de simulación⁵⁹.

Existe en el mercado una gran variedad de herramientas de simulación para redes, dependiendo principalmente de la capa en la que se quiera diseñar. Para el cálculo del radioenlace interesa un simulador que trabaje en la capa física, esto es que se dedique al estudio del área de cobertura, niveles de potencia de antenas, análisis de obstáculos, entre otros.

6.5.1 Radio Mobile. Este software de libre distribución, bajo la plataforma Windows. Es una herramienta para ayudar en la elaboración de redes de comunicación de radio. Antes de implementar una red, éste puede ser usado para verificar el rendimiento de los enlaces de radio de la red. El programa se basa en las características de los equipos de radio, así como en el modelo de propagación de ondas de radio mediante el algoritmo de predicción Longley – Rice⁶⁰.

Los datos del terreno del enlace se toman de la base de mapas **STRM** (*Shuttle Radar Topography Mission*) que es un tipo de cartografía digital con imágenes descargables gratuitamente con conexión a internet, preferiblemente de banda ancha.

La versión 9.1.0 (empleada en el presente proyecto), permite la inclusión de pérdidas adicionales debida al entorno urbano y por bosque, así como datos de refractividad de la superficie, conductividad del suelo y permitividad relativa al suelo. Los datos climáticos también se tienen en cuenta para el algoritmo computacional.

6.5.2 Rendimiento del radioenlace. En Radio Mobile, el rendimiento (*performance*) del enlace se calcula con la relación:

$$M(\text{dB}) = (T - L1 + A1 - P + A2 - L2) - R \quad (6.1)$$

Donde:

M(dB) = Rendimiento del enlace de radio o Margen de Operación del Sistema (SOM).

T (dBm) = $10 \log_{10}$ (potencia transmitida en Watts) + 30.

L1 (dB) = Pérdidas de línea en el transmisor.

⁵⁹ BENAVIDES, C. Diseño y Simulación de una Red Wlan Multicelda “outdoor” con soporte para 802.11e. Trabajo de Grado. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Popayán 2007. Pag. 78.

⁶⁰ LONGLEY A. Radio Propagation in Urban Areas. Institute of Telecommunication Sciences. 1982. U.S.A. 1982.

- A1 (dBi) = Ganancia de la antena transmisora.
- P (dB) = Pérdida de propagación de radio, Longley-Rice.
- A2 (dBi) = Ganancia de la antena receptora relativa a una antena isotrópica.
- L2 (dB) = Pérdidas de línea en el receptor.
- R (dBm) = $20 \log_{10} (\text{Umbral del receptor en microvolts}) - 107$.

El valor P(dB) el programa lo asimila como la suma de las pérdidas en espacio libre y atenuación por obstrucción, ambiente urbano, árboles y variabilidad de los terminales.

El valor de rendimiento recomendado para enlaces microondas es de 20dB o mayor, para garantizar la estabilidad del enlace ante atenuaciones por multi – trayecto y condiciones atmosféricas adversas, y se tendrá en cuenta como valor de referencia para el posterior cálculo de los radioenlaces.

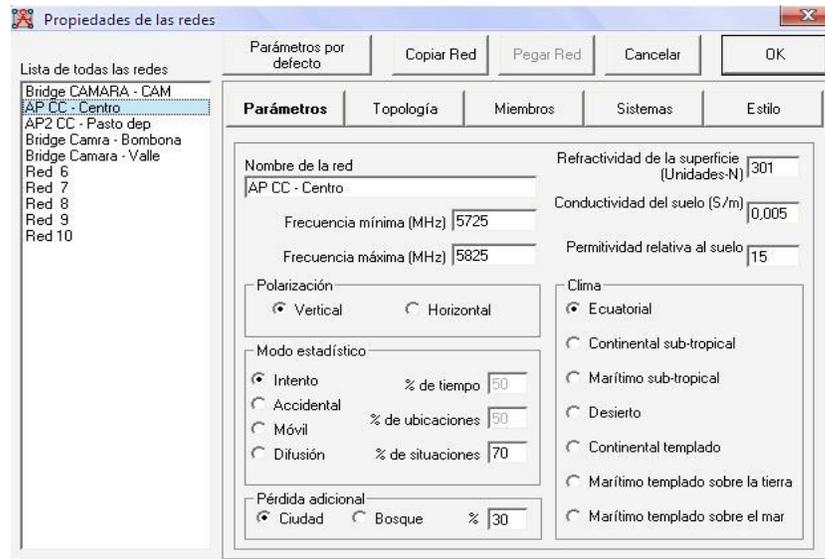
6.6 CÁLCULO DE RADIO-ENLACES USANDO RADIO MOBILE

6.6.1 Parámetros generales para los radioenlaces. La Tabla 6.20 presenta los parámetros de entorno utilizados para estimar la eficiencia de todos los radioenlaces propuestos en la sección 6.2 para la integración de las redes de datos de la Alcaldía Municipal de Pasto. Estos valores se incluyen en la ventana “Propiedades de Redes” del menú “Archivo” de la aplicación, en la ficha parámetros; como se puede ver en la Figura 6.16.

Tabla 6.20. Parámetros utilizados en la simulación de los radioenlaces.

PARÁMETRO	VALOR
Coordenadas punto central mapa	01°13'51.1"N 077°17'11.5"O
Ancho del mapa	4Km
Rango de frecuencia de operación	5725 – 5825 GHz
Topología	Red de Datos
Polarización	Vertical
Modo variabilidad	Fijo
Polarización	Vertical
Pérdida adicional	Ciudad = 25%
Refractividad de la superficie	301 (Unidades – N)
Conductividad del Suelo	0,005 (S/m)
Permitividad relativa	15
Topología	Red de datos
Clima	Ecuatorial

Figura 6.16. Ventana de Propiedades de las Redes de Radio Mobile.

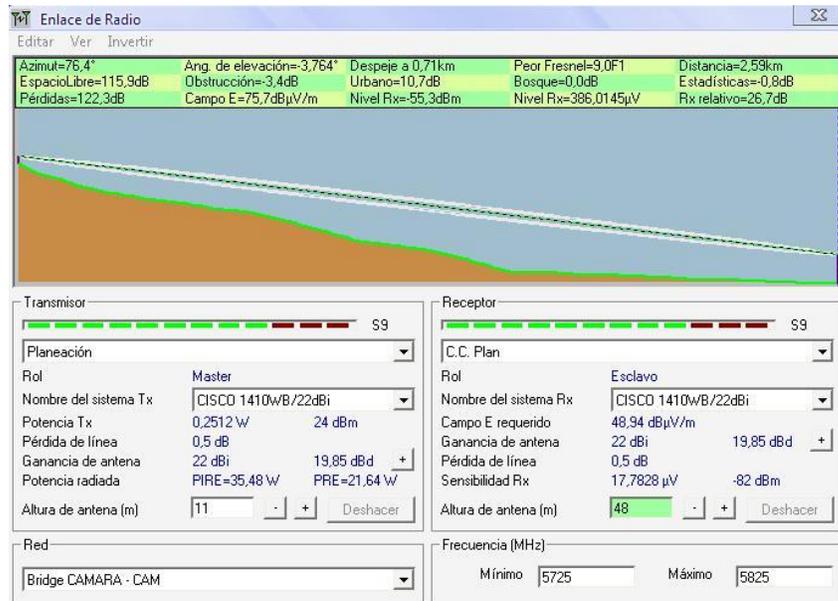


6.6.2 Enlace Edificio de Planeación Municipal – Cámara de Comercio. Para el enlace de Red de Datos C.A.M. – Cámara de Comercio se utilizan los parámetros de fabricante del equipo CISCO Aironet 1410, y de la antena de girilla Hyperlink HG5822G. Se utilizó esta direccional de alta ganancia, puesto que así se obtiene un SOM óptimo. La Figura 6.17 muestra el perfil de trayecto y el despeje de zona de fresnel, en tanto que la Tabla 6.21 muestra los resultados obtenidos para el cálculo del enlace por el programa.

Tabla 6.21 Resultados Simulación enlace Edificio de Planeación – Cámara de Comercio.

	Edificio Planeación	Cámara de Comercio
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	22dBi
Azímüt Verdadero	76,4°	256,42°
Ángulo de elevación antena	-3.76	3.74°
Pérdida en la línea	0.5dB	0.5dB
Altura de la antena sobre el suelo	11m	48m
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	1m	3m
Distancia entre sitios	2,6 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	9.01 F1 a 0.7Km del Edificio de Planeación.	
Pérdida de Espacio Libre	115,9 dB	
Pérdida por Obstrucción	-3.4 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10.7dB	
Pérdidas por variabilidad	-0.8dB	
Pérdida de propagación total	122.3 dB	
Ganancia del Sistema	149.0 dB	
SOM	26,7dB	

Figura 6.17. Perfil del trayecto enlace Edificio de Planeación – Cámara de Comercio

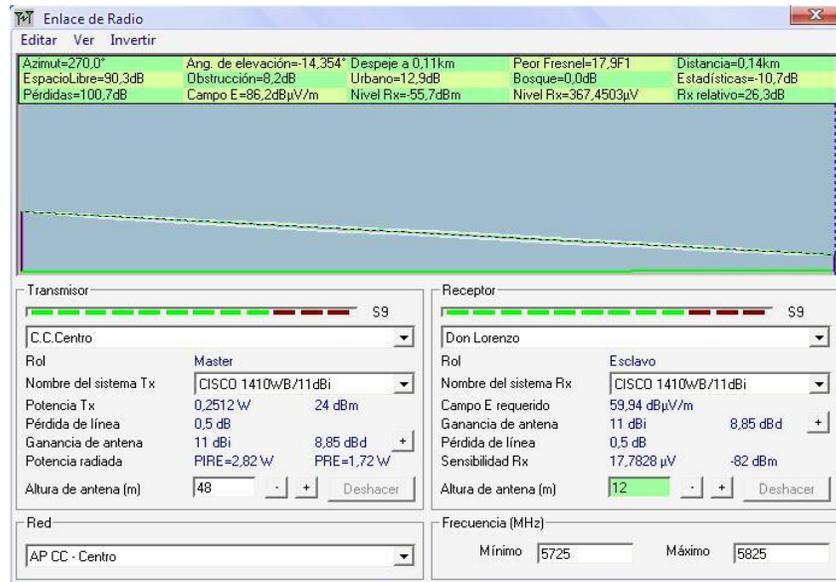


6.6.3 Enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo. Este enlace se simuló bajo los parámetros del AP CISCO Aironet 1410 en ambos extremos y antenas direccionales Hyperlink HG5811G, debido a que la distancia es relativamente corta y basta con una antena de ganancia media, para garantizar un valor aceptable de SOM. Los resultados obtenidos en la simulación y el perfil del trayecto del enlace se muestran en la Tabla 6.22 y Figura 6.18 respectivamente.

Tabla 6.22. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo.

	Cámara de Comercio	Casa de Don Lorenzo
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	11dBi	11dBi
Azimut Verdadero	270°	89,9°
Ángulo de elevación antena	-14,02°	14,02°
Pérdida en la línea	0.5dB	0.5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	12
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	3
Distancia entre sitios	0.4 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	17.71 F1 a 0.1 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	90,3dB	
Pérdida por Obstrucción	8,2 dB	
Pérdida por entorno Urbano	12.9dB	
Pérdidas por variabilidad	-10.7dB	
Pérdida de propagación total	100,7dB	
Ganancia del Sistema	127 dB	
SOM	26,3 dB	

Figura 6.18. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Casa de Don Lorenzo.

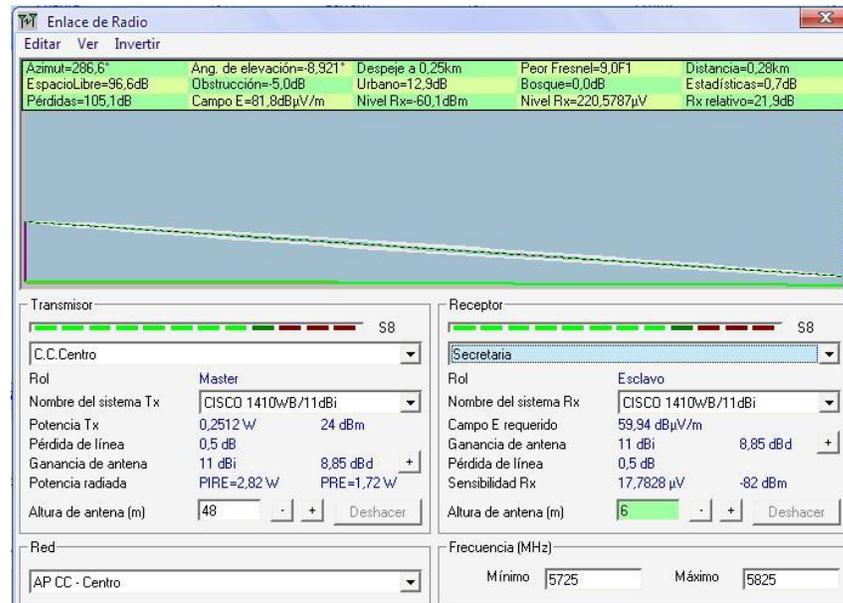


6.6.4 Enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación. El enlace se estableció en el programa de acuerdo a las características del AP CISCO Aironet 1410 en ambos sitios y antenas direccionales Hyperlink HG5811P, como en el caso de Casa de Don Lorenzo, la distancia permite establecer un enlace óptimo con antenas menos costosas. El perfil de trayecto se presenta en la Figura 6.19 y los datos obtenidos en la simulación en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación.

	Cámara de Comercio	Secretaría de Educación
Potencia de transmisión	24dBm	24 dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	11dBi	11dBi
Azimut Verdadero	286,5°	106,48°
Ángulo de elevación antena	-14,02°	14,02°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	6
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	0,5
Distancia entre sitios	0.3 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	9,0 F1 a 0.3 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	96,6dB	
Pérdida por Obstrucción	-5,0 dB	
Pérdida por entorno Urbano	12,9dB	
Pérdidas por variabilidad	0,7 dB	
Pérdida de propagación total	105,1 dB	
Ganancia del Sistema	127 dB	
SOM	21,9dB	

Figura 6.19. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Secretaría de Educación.

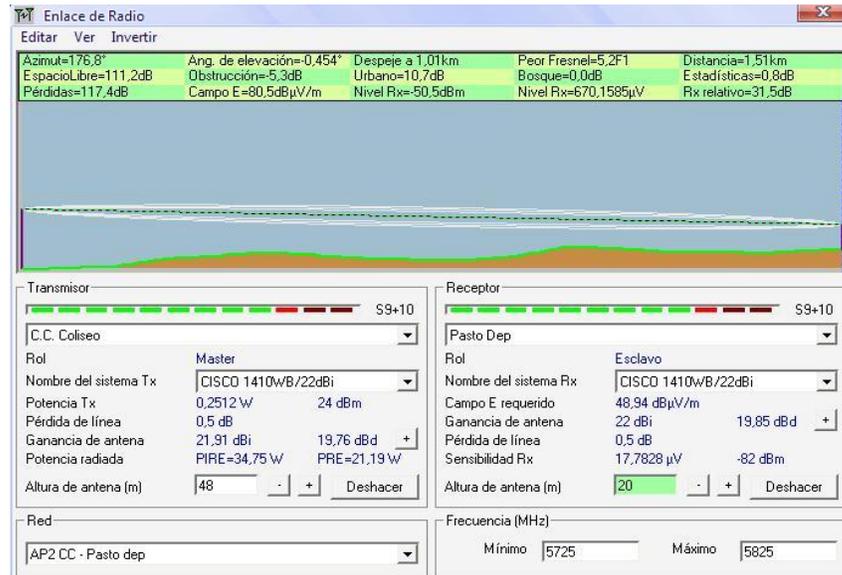


6.6.5 Enlace Cámara de Comercio – Pasto Deporte. En la simulación de este enlace se requirió de antenas de alta direccionalidad, para lograr un enlace aceptable, esto debido a la distancia y atenuación por obstáculos que presenta este enlace, el equipo AP utilizado en ambos extremos es el CISCO AIRONET 1410, con antenas Hyperlink HG5822G. El perfil de trayecto se presenta en la Figura 6.20 y los datos obtenidos en la simulación en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Pasto Deporte.

	Cámara de Comercio	Pasto Deporte
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	22dBi
Azimut Verdadero	176,83°	356,83°
Ángulo de elevación antena	0,07°	-0,09°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	20
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	0,5
Distancia entre sitios	1,5 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	5,2 F1 a 1 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	112,2dB	
Pérdida por Obstrucción	-5,3 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	0,8 dB	
Pérdida de propagación total	117,4 dB	
Ganancia del Sistema	148,9 dB	
SOM	31,5 dB	

Figura 6.20. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Pasto Deporte.

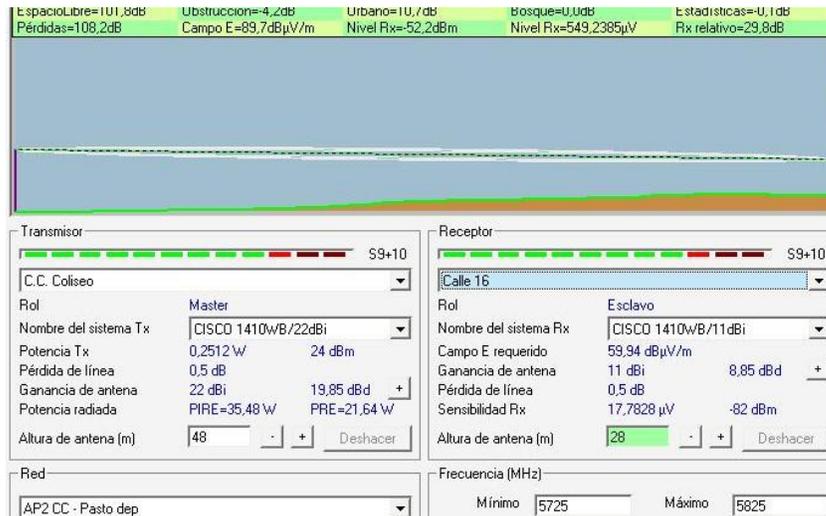


6.6.6 Enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16. Debido a que no existe LOS directa con la sede, el sitio de emplazamiento de la antena será sobre el muro en la construcción contigua, previo permiso por parte de los dueños, para lograr este requisito. Los parámetros utilizados son los del equipo CISCO Aironet 1240AG, y de la antenas Hyperlink HG5811P y HG5822G, puesto que con esta antena se logra un SOM aceptable. El perfil de trayecto se presenta en la Figura 6.21 y los datos obtenidos en la simulación en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16.

	Cámara de Comercio	Ventas Populares Calle 16
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	11dBi
Azimut Verdadero	180°	0°
Ángulo de elevación antena	-0,77°	0,77°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	28
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	0,5
Distancia entre sitios	0,5 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	13,1 F1 a 0,3 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	101,8dB	
Pérdida por Obstrucción	-4,2 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	-0,1dB	
Pérdida de propagación total	108,2 dB	
Ganancia del Sistema	138 dB	
SOM	29,8	

Figura 6.21. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Ventas Populares Calle 16.



6.6.7 Enlace Cámara de Comercio – Casa de Justicia. Para este enlace se utilizaron datos de las antenas Hyperlink HG5822G y HG5811P, puesto que la antena plana permitiría una fácil instalación sobre el muro del Centro Comercial y con esta combinación se obtiene un SOM óptimo, tanto para los enlaces entre la Cámara de Comercio y Bomboná, como para el enlace Bomboná Casa de Justicia. Los valores de potencia de transmisión y sensibilidad se toman del AP CISCO AIRONET 1410, como en los casos anteriores. Los datos obtenidos están en la Tablas 6.26 y 6.27, mientras que los perfiles de trayecto en las Figura 6.22 y 6.23.

Tabla 6.26. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – Centro Comercial Bomboná.

	Cámara de Comercio	Centro Comercial Bomboná
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	11dBi
Azimut Verdadero	250,8°	70,83°
Ángulo de elevación antena	-2,28°	2,27°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	20
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	0,5
Distancia entre sitios	0,5 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	12,3 F1 a 0,4 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	101,8dB	
Pérdida por Obstrucción	-5,1 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	6,3dB	
Pérdida de propagación total	113,0 dB	
Ganancia del Sistema	138,0 dB	
SOM	25,0dB	

Figura 6.22. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Centro Comercial Bomboná.

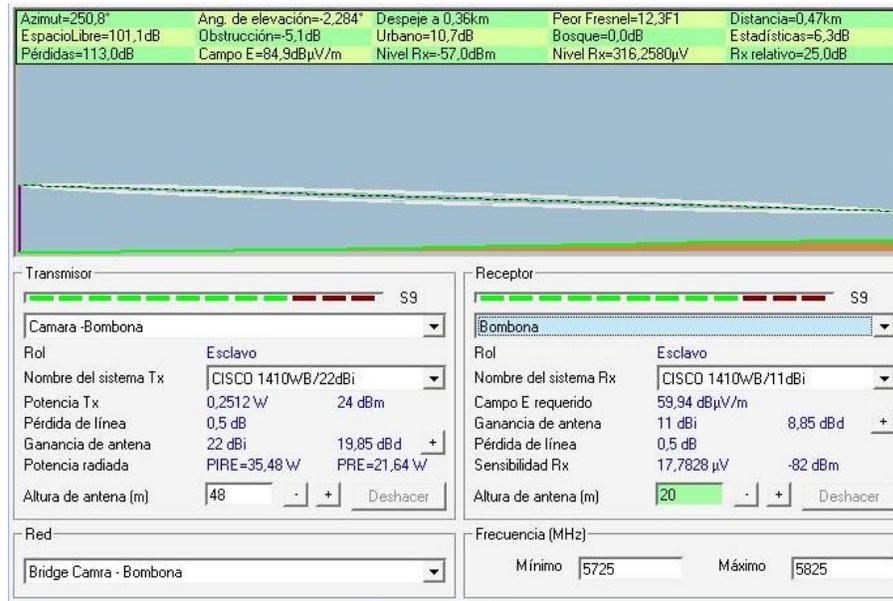
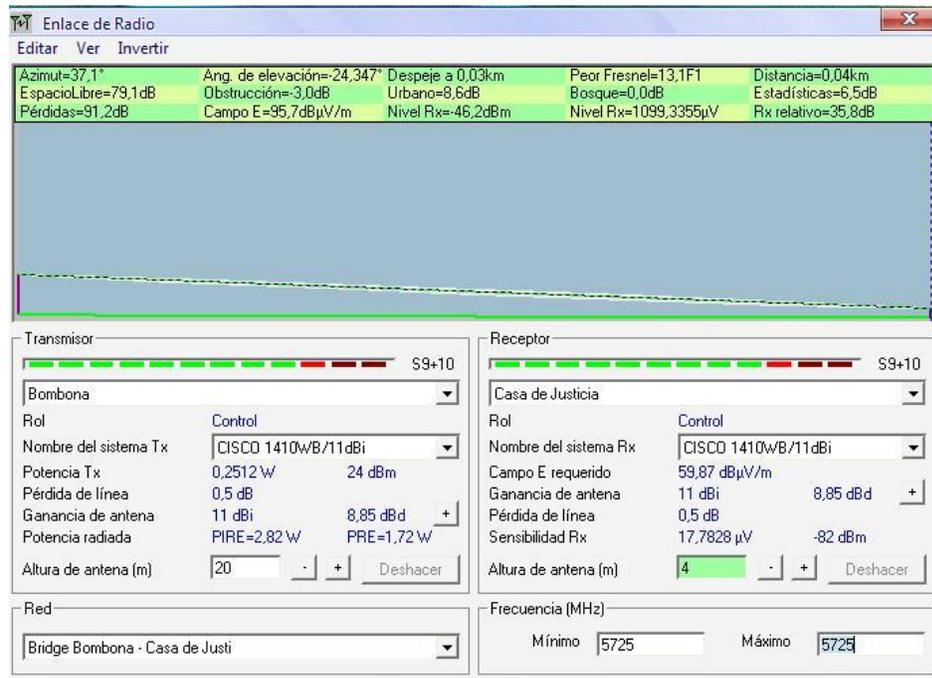


Tabla 6.27. Resultados simulación enlace Centro Comercial Bomboná – Casa de Justicia

	Cámara de Comercio	Centro Comercial Bomboná
Potencia de transmisión	24dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	11dBi	11dBi
Azimut Verdadero	37.1°	217.10°
Ángulo de elevación antena	-24,34°	24.34
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	20	4
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	1	1
Distancia entre sitios	0,03 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	2.1 F1 a 0,0 Km de Centro Comercial Bombona	
Pérdida de Espacio Libre	79.1 dB	
Pérdida por Obstrucción	3 dB	
Pérdida por entorno Urbano	8.6 dB	
Pérdidas por variabilidad	6.5 dB	
Pérdida de propagación total	91.2 dB	
Ganancia del Sistema	127 dB	
SOM	35,8 dB	

Figura 6.23 Perfil del trayecto enlace Centro Comercial Bomboná – Casa de Justicia.



6.6.8 Enlace Cámara de Comercio – Centro Cultural Pandiaco. Este enlace consta de dos saltos, puesto que no existe línea de vista directa entre los dos sitios. Se determinó el Centro Comercial Valle de Atriz, por su ubicación estratégica, por tener una zona adecuada para operar el equipo de comunicación y por el costo de arriendo que es razonable para aplicación que se quiere implementar. La Figura 6.24 muestra el enlace Cámara de Comercio – Centro Cultural Pandiaco, representado sobre el mapa de Radio Mobile.

Par el primer salto se simulo con los valores de fabricante del AP CISCO AIRONET 1410, y antenas Hyperlink HG5822G, para obtener un enlace aceptable.

El AP ubicado en Valle de Atriz debe configurarse en modo repetidor, y debido a la cercanía con el Centro Cultural Pandiaco, se puede utilizar antenas de ganancia media como la Hyperlink HG5811P, manteniendo un SOM óptimo.

Los resultados de los dos saltos se muestran en las Tablas 6.28 y 6.29 respectivamente, en tanto que los perfiles de trayecto donde se evidencia el despeje de la zona de Fresnel, se presenta en las Figuras 6.25 y 6.26.

Figura 6.24. Enlace Cámara de Comercio – Centro Cultural Pandiaco en Radio Mobile.

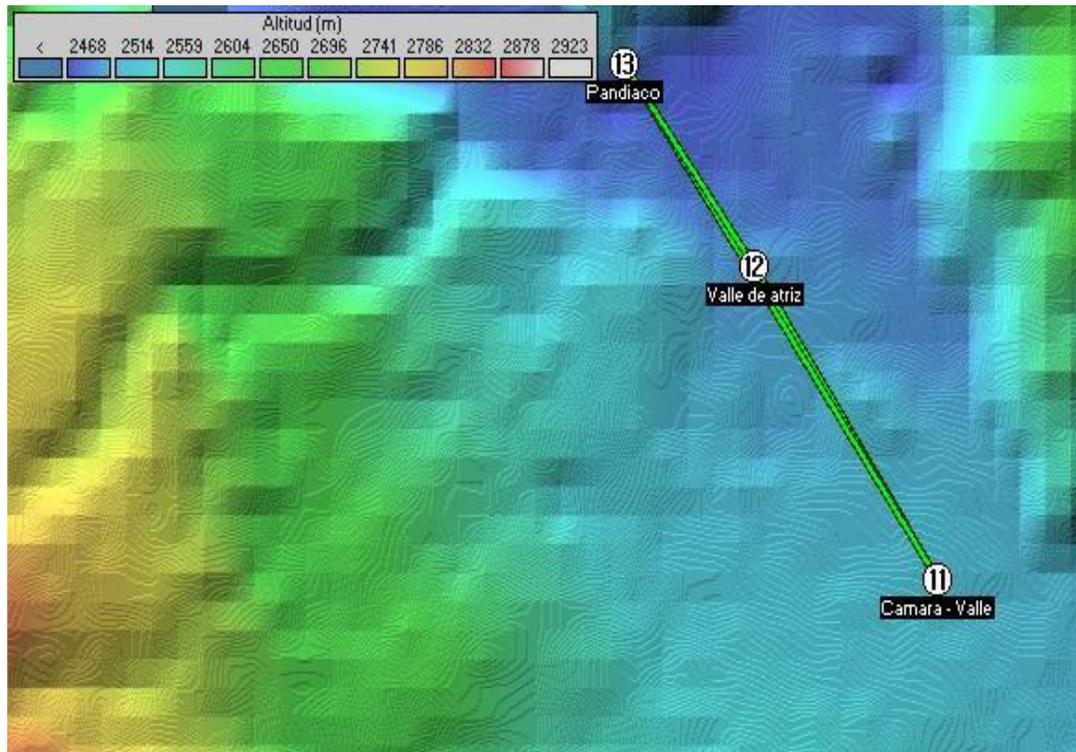


Tabla 6.28. Resultados simulación enlace Cámara de Comercio – C.C. Valle de Atriz.

	Cámara de Comercio	C.C. Valle de Atriz
Potencia de transmisión	17dBm	17dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	22dBi
Azimut Verdadero	326,57°	146,57°
Ángulo de elevación antena	-1,52°	1,51°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	48	30
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	0,5
Distancia entre sitios	0,5 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	7,5 F1 a 0,6 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	109,3 dB	
Pérdida por Obstrucción	-5,0 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	6,6dB	
Pérdida de propagación total	121,6 dB	
Ganancia del Sistema	149,0 dB	
SOM	27,4dB	

Figura 6.25. Perfil del trayecto enlace Cámara de Comercio – Valle de Atriz.

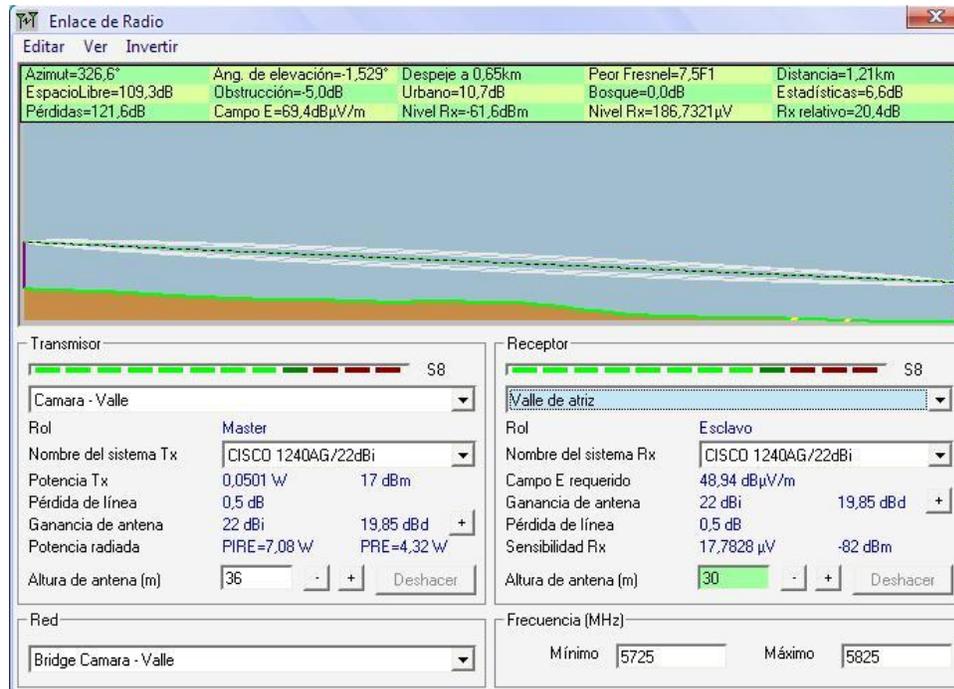
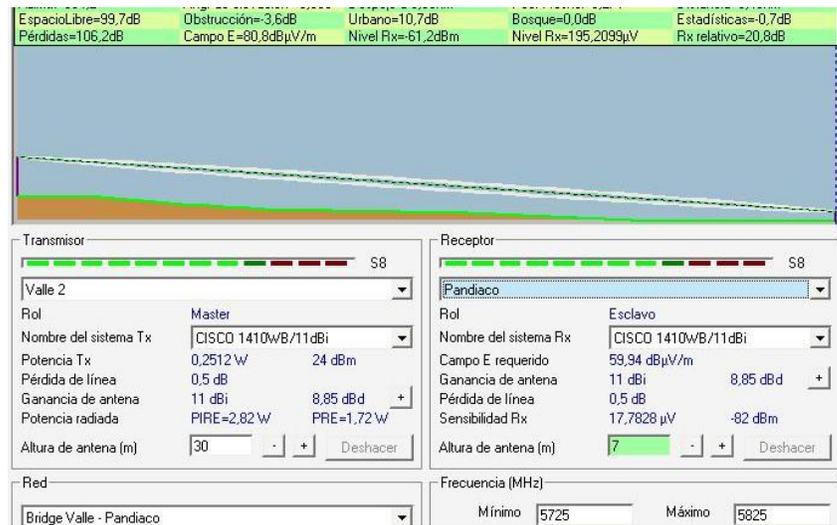


Tabla 6.29. Resultados simulación enlace C. C. Valle de Atriz – Centro Cultural Pandiaco.

	C.C. Valle de Atriz	Centro Cultural Pandiaco
Potencia de transmisión	24 dBm	24dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	11dBi	11dBi
Azimut Verdadero	354,21°	174,21°
Ángulo de elevación antena	-6,06°	6,06°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	30	7
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	0,5	0,5
Distancia entre sitios	0,4 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	8,21 F1 a 0,4 Km de Cámara de Comercio	
Pérdida de Espacio Libre	99,7 dB	
Pérdida por Obstrucción	-3,6 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	-0,7dB	
Pérdida de propagación total	106,2 dB	
Ganancia del Sistema	127,0 dB	
SOM	20,8 dB	

Figura 6.26. Perfil del trayecto enlace Valle de Atriz – Centro Cultural Pandiaco.

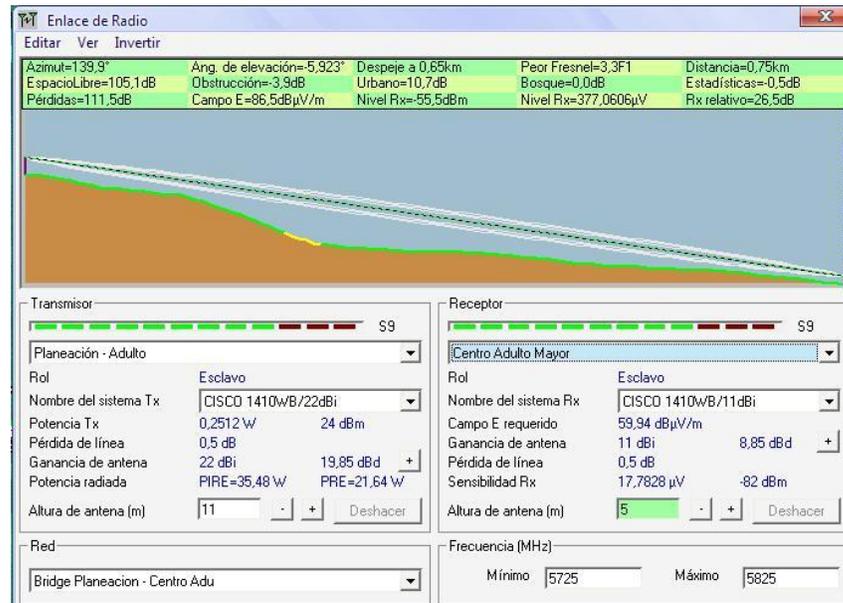


6.6.9 Enlace Edificio de Planeación – Centro del Adulto Mayor. Para este enlace se tiene línea de vista directa entre ambos sitios, las alturas de antenas fueron estimadas para aumentar el SOM a un nivel óptimo ya que en el trayecto del enlace existe una buena porción de vegetación que puede afectar el enlace. La cercanía entre los sitios permite limitar la ganancia del sistema con el uso de una antena de ganancia intermedia (Hyperlink HG5811P) y otra de ganancia alta (Hyperlink HG5822G). La Tabla 6.30 presenta los resultados obtenidos de la simulación y la Figura 6.27 el perfil de trayecto para el enlace.

Tabla 6.30. Resultados simulación enlace Edificio de Planeación – Centro del Adulto Mayor.

	Edificio Planeación	Centro del Adulto Mayor
Potencia de transmisión	24 dBm	24 dBm
Sensibilidad	-82dBm	-82dBm
Ganancia de la Antena	22dBi	11dBi
Azimut Verdadero	139,86°	319,86°
Ángulo de elevación antena	-5,92°	5,91°
Pérdida en la línea	0,5dB	0,5dB
Altura de la antena sobre el suelo	11	5
Altura de la antena sobre el sitio de emplazamiento	3	1
Distancia entre sitios	0,75 Km	
Mínimo Despeje Zona de Fresnel	3,3 F1 a 0,1 Km de Edificio de Planeación	
Pérdida de Espacio Libre	105,1 dB	
Pérdida por Obstrucción	-3,9 dB	
Pérdida por entorno Urbano	10,7dB	
Pérdidas por variabilidad	-0,5dB	
Pérdida de propagación total	111,5 dB	
Ganancia del Sistema	138,0 dB	
SOM	26,5 dB	

Figura 6.27. Perfil del trayecto enlace Edificio Planeación – Centro Adulto Mayor.



7. PRESUPUESTO

7.1 CRITERIOS PARA ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO

Posterior al diseño y selección de los equipos, se está en capacidad de establecer el presupuesto final, en términos de inversión, para el enlace de interconexión; por lo tanto al valorar este ítem, se trasciende de la parte técnica a la financiera. El presupuesto de incluir los siguientes rubros:

- Relación de cantidades y precios de elementos para la red.
- Mano de Obra y Costo de Instalación
- Costos de Arrendamiento
- Costo de Mantenimiento y Soporte Técnico
- Costos de Capacitación a usuarios de la red
- Imprevistos

Otro parámetro para tener en cuenta en el análisis financiero es el Retorno de la Inversión (**ROI**, Return of Investment⁶¹), que también debe aplicarse a los casos de negocio basados en soluciones de ingeniería, para estimar el tiempo en que se recuperará la inversión realizada en el sistema; para este caso específico, cómo los sistemas se pagan por si mismos y cómo justifican en el tiempo la inversión inicial realizada al diseñarlos e implementarlos.

La expresión básica para calcular el ROI es la siguiente:

$$ROI = \frac{Beneficios - Costos}{Costos} \times 100\% \quad (7.1)$$

No obstante, el cálculo del ROI puede ser un poco complicado en el mercado de las telecomunicaciones inalámbricas, porque estas evolucionan constante y rápidamente, al mismo tiempo que el entorno competitivo.

7.2 INVERSIÓN REQUERIDA

La tabla 7.1 muestra el cuadro de presupuesto para la implementación del enlace de las sedes de la Alcaldía Municipal de Pasto.

⁶¹ Método de medida de la rentabilidad aplicado generalmente al entorno empresarial y que evalúa la relación entre los ingresos netos y la inversión total.

Tabla 7.1 Estimación presupuestal para el enlace de las sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto.

ELEMENTO	REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
Equipos				
Punto de Acceso	Cisco Aironet 1410	18	\$ 1'954.600	\$ 39' 092.000
Enrutador	Cisco 2801	1	\$ 4'326.800	\$ 4' 326.800
Switch	Cisco Catalyst 2960	1	\$ 1'630.000	\$ 1' 630.000
UPS	CDP 3KVA	1	\$2'813.000	\$ 2'813.000
Contador 110V Monofasico ⁶²		3	\$ 80.000	\$ 240.000
Antenas				
Antena Grilla	Hyperlink HG5822G	9	\$118.000	\$ 1'062.000
Antena Plana	Hyperlink HG5811G	11	\$ 95.200	1'047.200
Cables y Conectores				
Cable bajas perdidas	HyperGain LMR 400 * 5mts	10	\$ 86.000	\$ 860.000
Conector tipo TNC	Hyperlink ANM -1406	40	\$ 5.980	\$ 239.200
Cable UTP CAT 6 x 350m		1	\$ 292.000	\$292.000
Conectores RJ 45		50	\$400	\$20.000
Accesorios				
Mastil 4 derivaciones		1	\$ 350.000	\$ 350.000
Mastil 2 derivaciones		1	\$ 250.000	\$ 250.000
Armario de equipos		1	\$ 1'500.000	\$ 1'500.000
Soporte Antena		20	\$ 80.000	\$ 1'600.000
Canaleta 32 x 12	Tiros por 2 metros	150	\$3.900	\$585.000
Arriendo de espacios⁶³				
Cámara de Comercio				\$21.600.000
C.C. Valle de Atriz				\$3'600.000
C.C. Bomboná				\$3'600.000
Mano de Obra				
Trabajos de adecuación y emplazamiento				\$2'000.000
Servicio Técnico				
Instalación y Configuración				\$ 5'000.000
Mantenimiento				\$ 2'000.000
Capacitación				\$2'000.000
TOTAL				\$95'102.200
IMPREVISTOS 5%				\$4'755.110
TOTAL CON IMPREVISTOS				\$100'462.310

7.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

La estimación del ROI para este diseño en particular es compleja, porque si bien puede tenerse una idea clara de la cantidad de inversión requerida, no pasa lo mismo con el concepto de recuperación de ésta en un tiempo dado, puesto que no se trata de una aplicación comercial, sino

⁶² Certificado por CEDENAR S.A. E.S.P.

⁶³ Valores anuales sujetos a negociación.

que su propósito es dotar de un medio efectivo para mejorar los procesos en la Alcaldía Municipal de Pasto, por lo cual no se obtiene lucro alguno. Más bien desde el punto de vista financiero, el diseño propuesto podría beneficiar económicamente a la entidad, al reducir los costos en servicio de internet, telefonía, papelería y correo urbano.

Lo que si es concluyente es que una implementación de este tipo, contribuiría ampliamente al mejoramiento de los procesos de comunicación y acceso a la información de los funcionarios, redundando en un mejor servicio a la comunidad del Municipio de Pasto.

CONCLUSIONES

La investigación y el análisis determinaron que la tecnología más apropiada, para el enlace de las sedes descentralizadas físicamente de la Alcaldía Municipal de Pasto, se basa en equipos que cumplen con el estándar IEEE 802.11a, operando en el rango de frecuencia libre de 5.725GHz a 5.825GHz que permite un mayor ancho de banda, más canales disponibles, seguridad en la información a transmitir, menores posibilidades de interferencia, redundancia; logrando de este modo enlaces confiables con un rendimiento óptimo a un bajo costo. Este diseño cumple con las necesidades y expectativas en cuanto a servicios y aplicaciones que requiere la entidad. El estudio tuvo en cuenta como condición principal la necesidad de la entidad de contar con una infraestructura propia en cuanto a comunicaciones de datos, así como el volumen proyectado de terminales, servicios y aplicaciones soportadas, tendencias en el mercado corporativo y la inversión que sería necesaria realizar para implementar la solución. Cumpliendo además con la condición de que el sistema diseñado es escalable y modular, permitiendo con facilidad ampliar los puntos de conexión o trasladar los equipos si en algún momento es necesario.

Es claro que no hay una fórmula que determine con precisión cual tecnología es la mejor para cada situación, existen un gran número de variables además de los aspectos técnicos que deben ser tenidos en cuenta en el momento de realizar la implementación de una red de este tipo. Es necesario disponer de una visión objetiva para poder determinar con certeza cuál es la mejor posibilidad para la interconexión de sedes. Y es solo analizando cada una de las características de cada opción tecnológica, así como analizar el escenario de aplicación, que se consigue determinar la opción óptima para la implementación. Se debe tener en cuenta las necesidades, la situación económica de la empresa, el ambiente urbano incluso el entorno político y cultural. La culminación exitosa del proyecto se fundamenta en un correcto proceso de diseño y planeación.

El conjunto de criterios generados para la planeación y diseño de interconexión entre sedes se convierte en un aporte valioso para orientar soluciones efectivas que conlleven a satisfacer las necesidades de conectividad entre entornos apartados, porque además de fundamentarse en un análisis previo y completo de las normas implicadas, señala una metodología organizada que ofrece pautas claras y concretas sobre la conveniencia de recurrir a una u otra tecnología, como base de un proceso consistente para posteriores implementaciones y despliegues con las tecnologías de interés. Debido a esto, este proyecto es útil como marco referencial para el diseño de interconexión de redes datos.

Las innovaciones en tecnologías inalámbricas y su implementación, se convierten en un factor primordial para el desarrollo de la sociedad, puesto que su utilización confiere beneficios

innumerables que satisfacen sus necesidades nuevas y cada vez más exigentes, más aún cuando las soluciones cableadas tradicionales no son factibles, ni oportunas en ambientes urbanos, reduciendo el impacto ambiental. Todo esto se aprecia cuando se resalta la incursión de nuevas tecnologías y donde los esfuerzos de instituciones de dicha envergadura (como IEEE, EIA, ITU y WiMAX, entre otras) impulsan el surgimiento y la adopción de tecnologías cada vez más óptimas, cuya utilización masificada ayuda a disminuir la brecha tecnológica existente entre naciones desarrolladas y en vía de desarrollo, mejorando en consecuencia, las oportunidades de difusión, apropiación y generación de conocimiento.

La generación de estándares nuevos por parte de los organismos de telecomunicaciones, como los creados por el IEEE, en especial 802.11 y 802.16, ofrece un impacto fuerte sobre la demanda actual de soluciones inalámbricas con capacidades altas (en ancho de banda, rendimiento y cobertura, entre otras), por cuanto la adopción de estos en las tecnologías de comunicación garantiza soluciones coexistentes y ubicuas, acordes con la evolución del mercado y con la transformación continua de los requerimientos de cada entorno, mejorando la efectividad de los beneficios alcanzados tanto a nivel técnico, como industrial, político y social. Sin embargo, Wi-Fi ofrece gran capacidad, altas velocidades, seguridad al mismo tiempo con una inversión menor.

Ofrecer servicios inalámbricos para interconexión empresarial no solo significa ajustar adecuadamente las herramientas, los estándares, las bandas de operación y la capacidad de transmisión, sino que es necesaria una orientación correcta basada en el cliente y una apreciación atenta del entorno en que se trabaja. Ofreciendo una visión objetiva que puede asegurar en gran porcentaje el éxito de cualquier solución inalámbrica.

La herramienta RADIO MOBILE para analizar, planificar, calcular y diseñar el funcionamiento del sistema de radiocomunicaciones planteado para dar solución a la interconexión de las sedes descentralizadas de la Alcaldía, muestra un comportamiento cercano a la realidad, partiendo del hecho que la simulación la realiza directamente sobre el mapa digital topográfico de la ciudad de Pasto, pudiendo identificar las elevaciones del terreno, definiendo las ubicaciones precisas de las estaciones de Radiocomunicación y que junto con la inclusión de las especificaciones técnicas de los equipos, las condiciones meteorológicas, y algunos algoritmos, que desarrollan modelos de propagación de radio enlace, logra obtener los niveles de señal en distintos puntos bien de un trayecto o de los nodos de la red.

RECOMENDACIONES

Insistir en la formulación de un proyecto de “Segmentación, Gestión de Aplicaciones y Ancho de Banda, Monitoreo, y Control de la Red de Datos Integrada de la Alcaldía Municipal de Pasto”, basándose en el presente proyecto de enlace y en el de redes locales, para lograr así cubrir todos los niveles del modelo de comunicaciones, permitiendo una mejor administración de los recursos presupuestados.

Realizar una instalación temporal con propósitos de prueba, esta es una práctica conveniente que permitirá realizar un análisis del desempeño de los equipos y en consonancia con los resultados obtenidos, verificar si es necesario llevar a cabo ajustes en el diseño para cumplir con las metas propuestas.

Fomentar e impulsar la creación de un Grupo de Investigación en Comunicaciones Electrónicas, mediante el cual se creen ambientes propicios para un trabajo mancomunado entre los diferentes proyectos del área de telemática en la Universidad de Nariño, para que la unión de esfuerzos permita maximizar el potencial investigativo y refleje resultados de mayor impacto académico y social, considerando que el surgimiento vertiginoso de tecnologías de esta naturaleza ofrece opciones de innovación amplias en el sector de telecomunicaciones. Este marco de trabajo facilitaría la orientación y canalización de recursos (humanos, técnicos y financieros) para la viabilidad práctica de los proyectos, creando y/o estrechando los vínculos con organismos y empresas nacionales e internacionales, como aval para la participación de la Universidad en espacios nuevos a nivel regional y nacional.

Otorgar el reconocimiento al Ingeniero Electrónico formado bajo los lineamientos la Universidad de Nariño como un profesional integral, capaz de asumir el reto de realizar estudios, proyectos, dar soporte técnico y asesoría, realizar diseños e implementaciones optimas en aras de dar solución a problemas de la comunidad. Es por eso la invitación a que empresas públicas y privadas a que integren e incentiven la participación activa de los estudiantes en sus empresas, con fin de hacer partícipes del proceso evolutivo que presenta la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWS, Jeffrey. Fundamentals of WiMAX. Westford, Pearson Education, 2007.

ANDUEZA UNANUA, Ángel María. Tecnologías Acceso Basadas en Acceso Fijo Inalámbrico LMDS. Trabajo final. Universidad Pública de Navarra. España, 2003.

ANTTALAINEN, Tarmo. Introduction to Telecommunications Network Engineering. Nordwood, Artech House, 2003.

BENAVIDES MARTINEZ, Christian; GOMEZ ORDOÑEZ, Javier Andres. Diseño y Simulación de una Red WLAN Multicelda “outdoor” con Soporte para 802.11e. Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. . Universidad del Cauca. Facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones. Popayán, 2007.

CARBALLAR, Jose A. Cómo Construir una Red Inalámbrica. Alfaomega Grupo Editor. España, 2004.

Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. Normatividad. Disponible en internet: <URL:<http://www.crt.gov.co/CRT.htm>>

ESCOBAR LEDESMA, Diego Alejandro; RENDÓN CHACON, Darwin Arley. Criterios Técnicos para el Diseño e Implementación de Wi-Fi y WiMAX como Soluciones de Acceso Metropolitano de Banda Ancha para el Entorno Colombiano. Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones. Popayán, 2007.

ESCUADERO, Alberto. Guía para simulación de Radioenlaces en Exteriores. CEPES. Disponible en internet:<URL: http://www.eslared.org.ve/tricalcar/09_es_simulacionredesguia_v015B1%5D.pdf>

FOROUZAN, Behrouz A. Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones. McGraw–Hill. Madrid, 2001.

GUERRON MELO, Juan Pablo. Aspectos Regulatorios y Técnicos que Influyen en la Penetración de WiMAX como Nueva Tecnología de Acceso de Banda Ancha. Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ingeniería Electrónica. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Bogotá, 2006.

HENÁNDEZ, Juan. Cálculo de ancho de banda necesario para una empresa. Tabasco – México: Universidad “Juarez” Autónoma de Tabasco, 2002.

LONGLEY, Anita. Radio Propagation in Urban Area. Boulder Colorado: Institute of Telecommunication Sciences, Office of Telecommunications, 1982.

MARTÍNEZ, Iveth. Diseño de red de datos y cableado estructurado para la Alcaldía Municipal de Pasto Sede C.A.M. Manizales: Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2007.

Ministerio de Comunicaciones. Legislación. Disponible en internet:
<URL:http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?page=../mods/legislacion/legislacion_user_list>

MONTOYA LEON, Antonio Andres; ORTEGA SOLARTE, Jhenny Milena. Criterios para Interconexión de Sitios Remotos Bajo los Estándares IEEE 802.11 y 802.16. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad del Cauca, 2005.

MULLER, Nathan. Wireless A to Z. Estados Unidos, Mc Graw Hill. 2003.

OHRTMAN, Frank; ROEDER, Konrad. Wi-Fi Handbook: Building 802.11b Wireless Networks. McGraw-Hill, United States, 2003.

Pinar del Río: Universidad Pinar del Río – Facultad de Informática y Telecomunicaciones, 2003.

POOR, H. Vincent; WORNELL, Gregory W. Wireless Communications. Prentice Hall. New Jersey, 1998.

REGIS, Bates. Broadband Telecommunications Handbook. McGraw-Hill Telecommunications. United States, 2002.

RUIZ, Andrés. Diseño de red de voz y datos para las sedes descentralizadas de la Alcaldía municipal de Pasto. Manizales: Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2007.

STALLINGS, William. Comunicaciones y Redes de Computadores. Prentice Hall. España, 1995.
SWEENEY, Daniel. WiMax Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks. Springer. United States of America, 2006.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de Computadores. Pearson Educación. México, 1997.

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Prentice Hall. Mexico 2003.

VENTO, José; REDONDO, Juan. Red de Acceso al Nodo de Información Energética en Pinar del Río.

ANEXO A

SISTEMAS IEEE 802.11B/G DETECTADOS EN EL ESCENARIO DE APLICACIÓN DEL PROYECTO.

Sede	Sistemas Detectados			
	Total	SSID	Canal	SNR
C.A.M. Anganoy	12	brcaisan	1	14
		mfme	11	16
		todot	4	17
		hmpss	6	17
		WiFi_OttoJr	9	17
		WiFi_DJRL	9	16
		WiFi_2006	9	17
		Prodltda_12	11	23
		IPT3	10	17
		Prodltda_11	6	17
		IPT_Bachue04	11	19
		ND	5	14
Pasto Deporte	22	IPT34	8	21
		DLINK_WIRELESS	6	8
		Wifi_OttoJr	9	16
		IPT_6	4	19
		TROJAN	6	6
		JOSCAMI	11	27
		IPT38	11	23
		IPT_20	11	19
		IPT41	6	19
		Trucan	6	14
		Wlinux8	4	14
		ACOSTA	6	10
		Prodltda_12	11	27
		KenworthPasto	6	17
		DOMÍNGUEZ	10	17
		IPT03	10	21
		Prodltda_10	1	28
		OscarDLaP	6	19
		Todot	4	25
Villarosero	6	23		
WOOPHHY07	3	17		
Centro del Adulto Mayor	1	CHEO	1	8
Secretaria de Educación, Casa de Don Lorenzo	18	INTERNET_HOME	1	12
		Prodltda_07	1	14
		Brsinobo	11	16
		Prodltda_04	1	17
		ALVARO	6	12

Sede	Sistemas Detectados			
	Total	SSID	Canal	SNR
		Prodltda_11	6	28
		WiFi_OttoJr	9	16
		WiFi_DJRL	9	12
		WiFi_2006	9	16
		Prodltda_12	11	19
		Prodltda_10	1	28
		Prodltda_03	11	44
		Prodltda_01	1	39
		NETSKY	1	21
		Goza Network	6	8
		Braicedo	6	30
		Prodltda_02	6	33
		Bittorrent_1	6	19
	Casa de Justicia	28	Brcaisan	1
		Telecom	6	8
		Wlan-g	6	21
		ISDNW2	6	23
		ND	9	8
		Prodltda_10	1	25
		IPT_BACHUE04	11	16
		Unadbiblioteca	6	19
		ND	5	10
		Brsinobo	11	25
		Familia Burbano	6	16
		Prodltda_01	1	33
		ACFESP	6	16
		Wlinux3	1	30
		ND	11	12
		Prodltda12	11	30
		Prodltda_02	6	37
		Prodltda_11	6	33
		Sivalderimo	6	6
		Carlos_Oviedo	6	10
		Sistemas	6	16
		FLIAREINA	6	23
		Prodltda_07	1	33
		MSI	11	17
		Prodltda_09	11	30
		Prodltda_08	6	33
		Dixi718	6	14