



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ACCESO A INTERNET Y
DISEÑO DE UN PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET
INALÁMBRICO, EN LA BANDA NO REGULADA PARA LA CIUDAD
DE CAYAMBE**

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

QUIGUANGO CEDEÑO CARLOS EDUARDO

carlangasq6919@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS HERRERA

cherrera@mailfie.epn.edu.ec

Quito, Octubre 2013

DECLARACIÓN

Yo, Carlos Eduardo Quiguango Cedeño, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Carlos Eduardo Quiguango Cedeño

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Eduardo Quiguango Cedeño, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Herrera

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi papi Eduardo por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia; a *mi mamma* Florida por brindarme su amor y cariño en todo momento. Nunca sabré como pagarles todo lo que hacen por mí.

A mis hermanos por ser parte de una de las épocas más felices de mi vida, la infancia.

A mis tíos y primos, que siempre han estado conmigo a pesar de la distancia

A mis compañeros, profesores y amigos, por hacer que mi paso por la EPN sea una de las experiencias más gratas de mi vida.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Carlos Herrera por su apoyo y sus consejos en este Proyecto de Titulación.

Y principalmente a Dios y a la vida, por ponerlos a todos ustedes en mí camino.

Carlos Quiguango C.

DEDICATORIA

A mi familia, por nutrirme con su amor cada instante de mi vida. Juntos hasta el final
de los tiempos.

Carlos Quiguango C.

1.3.3.3	Determinación del marco de muestreo	11
1.3.3.4	Cálculo del tamaño maestra	13
1.3.3.5	Tamaño de la muestra para el sector urbano del cantón Cayambe	15
1.3.4	RECOPIACIÓN DE DATOS	16
1.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	17

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA Y DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS Y CARACTERÍSTICAS DE UN ISP	28	
2.1	TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS FIJAS	28
2.1.1	LDMS (<i>Local Multipoint Distribution Service</i>)	28
2.1.2	MMDS (<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>)	30
2.1.3	WLL (<i>Wireless Local Loop</i>)	31
2.1.4	PTP MICROWAVE (<i>Point-to-Point Microwave</i>)	32
2.1.5	TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS ÓPTICAS	33
2.2	CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIOENLACES	35
2.2.1	RADIOENLACE	35
2.2.2	PROPAGACIÓN DE ONDAS EN ESPACIO LIBRE	35
2.2.2.1	Modos de propagación	35
2.2.2.1.1	Propagación por onda terrestre	35
2.2.2.1.2	Propagación por onda sky	36
2.2.2.1.3	Propagación por línea de vista directa.....	37
2.2.3	MECANISMOS DE PROPAGACIÓN	38
2.2.3.1	Reflexión	38
2.2.3.1.1	Reflexión especular	38

2.2.3.1.2	Reflexión difusa	39
2.2.3.2	Difracción	40
2.2.3.3	Dispersión	40
2.2.3.4	Propagación multicamino	41
2.2.3.4.1	Multicamino especular	42
2.2.3.4.2	Multicamino difuso	42
2.2.4	LAS ZONAS DE FRESNEL	43
2.2.4.1	Despejamiento y línea de vista	45
2.2.4.2	Radio equivalente de la Tierra	46
2.3	PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN	47
2.3.1	PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	47
2.3.2	PÉRDIDAS POR GASES EN LA ATMÓSFERA	49
2.3.3	PRECIPITACIÓN	50
2.4	ANTENAS	53
2.4.1	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	53
2.4.1.1	Ganancia de antena	54
2.4.1.1.1	Antena Isotrópica:	54
2.4.1.2	Diagrama de radiación	56
2.4.1.3	Ancho del haz	58
2.4.1.4	Polarización de la antena	59
2.4.1.4.1	Polarización Vertical	60
2.4.1.4.2	Polarización Horizontal	60
2.4.1.4.3	Polarización Elíptica	61
2.4.2	OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS	62
2.4.2.1	Pérdida de retorno	62

2.4.2.2	Ancho de banda	62
2.5	TIPOS DE ANTENAS	62
2.5.1	MONOPOLO VERTICAL	62
2.5.2	DIPOLO DE MEDIA ONDA	64
2.5.3	DIPOLO DOBLADO.....	65
2.5.4	ANTENA YAGI-UDA.....	65
2.5.5	ANTENA LOOP O DE LAZO	67
2.5.6	ANTENAS OMNI-DIRECCIONALES	68
2.5.7	ANTENAS SECTORIALES.....	69
2.5.8	ANTENA PLANA O <i>PATCH</i>	70
2.5.9	ANTENA PARABÓLICA	71
2.6	ACCESO AL MEDIO.....	73
2.6.1	TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO	73
2.6.1.1	Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	73
2.6.1.2	Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	73
2.6.1.3	Acceso múltiple por división de código (CDMA)	73
2.7	MODULACIÓN.....	73
2.7.1	FHSS (<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>)	74
2.7.2	DSSS (<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>)	74
2.7.3	OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>)	75
2.8	TIPOS DE ENLACES DE RADIO.....	75
2.8.1	ENLACE PUNTO-PUNTO	75
2.8.2	ENLACE PUNTO MULTIPUNTO	75
2.9	CONCEPTOS DE DISEÑO DE RADIO ENLACES.....	76
2.9.1	PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL ENLACE	76

2.9.2	LOS ELEMENTOS DEL PRESUPUESTO DE ENLACE	76
2.9.2.1	Pérdidas por espacio libre.....	77
2.9.2.2	Margen de desvanecimiento	77
2.9.2.3	El lado de transmisión	80
2.9.2.3.1	Potencia de transmisión.....	80
2.9.2.3.2	Pérdida en el cable	80
2.9.2.3.3	Pérdidas en los conectores.....	81
2.9.2.3.4	Amplificadores	82
2.9.2.3.5	Ganancia de las antenas	82
2.9.2.4	El lado de recepción	82
2.9.2.4.1	Ganancia de antena desde el receptor	82
2.9.2.4.2	Amplificadores desde el receptor.....	82
2.9.2.4.3	Sensibilidad del receptor.....	83
2.9.2.4.4	Margen y Relación S/N.....	83
2.10	DESCRIPCIÓN Y SERVICIOS BÁSICOS DE UN ISP	84
2.10.1	Tipos de conexión a Internet	84
2.10.2	SERVICIOS BÁSICOS	85
2.10.2.1	Servicio de Nombre de Dominio (DNS)	85
2.10.2.2	Protocolo de Configuración Dinámica de Host (DHCP)	85
2.10.2.3	Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP)	86
2.10.3	SERVICIOS PARA USUARIO FINAL.....	86
2.10.3.1	Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP)	86
2.10.3.2	Servicio de Correo Electrónico	86
2.10.3.3	Servicio de Alojamiento Web	86
2.10.3.4	Servicio Proxy-Caché	87

2.10.3.5 Servicio de voz sobre IP (VoIP)	87
--	----

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL ISP.....	88
3.1 INTRODUCCIÓN	88
3.2 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	89
3.2.1 REQUERIMIENTOS DE LOS USUARIOS	89
3.2.2 REQUERIMIENTO DE LA RED.....	90
3.2.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	91
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE COBERTURA.....	91
3.3.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	93
3.3.1.1 Cálculo del número de usuarios inicial	96
3.3.1.1.1 Proyección del mercado	97
3.4 RED TRONCAL	97
3.4.1 Conexión al NAP.EC (NAP Ecuador)	98
3.4.2 Cálculo de capacidad mínima de la red troncal	99
3.4.2.1 Planes de Internet	99
3.4.2.1.1 Ancho de banda para transmisión de datos.....	99
3.4.2.1.2 Ancho de banda para transmisión de VoIP.....	100
3.4.2.1.3 Ancho de banda para transmisión de video.....	101
3.4.3 Cálculo de ancho de banda mínimo para cada usuario.....	102
3.4.4 Selección de empresa portadora encargada de brindar la salida local al ISP	104
3.5 DISEÑO DE LA RED	106
3.6 CAPA DE NÚCLEO	106

3.7	CAPA DE DISTRIBUCIÓN	108
3.7.1	VLAN de Dispositivos de acceso	108
3.7.2	VLAN de Servidores de aplicaciones.....	109
3.7.3	VLAN de Servidores de administración	109
3.7.4	VLAN de Dispositivos de conectividad externa	109
3.7.5	VLAN de red de Abonado.....	109
3.8	CAPA DE ACCESO	111
3.8.1	RED INALÁMBRICA.....	112
3.8.1.1	Topología de Red Inalámbrica	112
3.8.1.2	Planificación de Enlaces de Radio y Estaciones Base	113
3.8.1.2.1	Dimensionamiento de Enlaces Punto a Punto.....	113
3.8.1.2.2	Dimensionamiento de enlaces Punto a Multipunto	115
3.8.2	BANDA DE FRECUENCIA	115
3.8.2.1	División de la Banda de Frecuencia	116
3.8.2.2	Asignación de Canales	116
3.8.2.3	Cálculo del presupuesto de Enlace.....	117
3.8.2.4	Simulación de los Radio Enlaces	120
3.8.2.4.1	Parámetros de Simulación	123
3.8.2.4.2	Gestión de la base de datos de los equipos de Radio	123
3.8.2.4.3	Simulación Enlaces Punto a Punto.....	124
3.8.2.4.4	Simulación enlaces Punto a Multipunto	131
3.8.3	ADMINISTRACIÓN DE ENLACES REDUNDANTES	134
3.8.4	RED DE ABONADO	135
3.9	DIRECCIONAMIENTO IP	136
3.9.1	IPv6 (PROTOCOLO INTERNET VERSIÓN 6)	137

3.9.1.1	Tipos de direcciones en IPv6	137
3.9.2	Núcleo IPv6 nativo.....	139
3.9.3	Asignación de direcciones IPv6.....	140
3.10	REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS.....	142
3.10.1	ROUTER DE BORDE.....	142
3.10.2	SWITCH CONCENTRADOR DE ACCESO.....	143
3.10.3	SWITCHES DE ACCESO.....	144
3.10.4	FIREWALL.....	145
3.10.5	SERVIDORES	147
3.10.5.1	Elección de Software	147
3.10.5.2	Distribuciones	148
3.10.5.3	CentOS 5.8	150
3.10.5.4	Servidor de Correo Electrónico	151
3.10.5.5	Servidor Web	153
3.10.5.6	Servidor Caché	155
3.10.5.7	Servidor DNS	156
3.10.5.8	Servidor de administración.....	158
3.10.5.9	Controlador de ancho de banda	159
3.10.5.10	Resumen de requerimientos de servidores.....	160
3.10.6	EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	161
3.10.6.1	Radio Bases y Estaciones.....	161
3.10.6.2	Enlaces de Backbone	162
3.11	SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	163
3.11.1	ROUTER DE BORDE.....	163
3.11.2	SWITCH CONCENTRADOR DE ACCESO.....	164

3.11.3 SWITCH DE ACCESO	165
3.11.4 FIREWALL.....	166
3.11.5 SERVIDORES	168
3.11.6 CONSOLA KVM CON LCD, TECLADO Y TOUCHPAD	169
3.11.7 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	170
3.11.7.1 Enlaces de Backbone	170
3.11.7.2 Enlace de Abonado.....	171
3.11.8 ANTENAS.....	173
3.11.9 RESPALDO ELÉCTRICO NODOS.....	174

CAPÍTULO 4

DETERMINACIÓN DE COSTOS	177
4.1 INTRODUCCIÓN	177
4.2 COSTOS DE LOS EQUIPOS.....	177
4.3 COSTOS DE OPERACIÓN.....	180
4.3.1 COSTO DE CONEXIÓN TRONCAL.....	180
4.3.2 COSTOS DE FUNCIONAMIENTO	181
4.4 COSTOS TOTALES.....	184

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	186
5.1 CONCLUSIONES.....	186
5.2 RECOMENDACIONES	188
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Clasificación de las fuentes de información.	3
Figura 1.2 Representación gráfica del muestreo aleatorio simple.....	9
Figura 1.3 Representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.	9
Figura 1.4 Representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado.	10
Figura 1.5 Representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados.....	11
Figura 1.6 Zona de la ciudad donde está el marco de muestreo.....	12
Figura 1.7 Frecuencia de uso de Internet.....	18
Figura 1.8 Tiempo de uso de Internet.	19
Figura 1.9 Lugar de uso de Internet.	20
Figura 1.10 Servicios frecuentemente usados de Internet.	21
Figura 1.11 Tiene computador en casa.....	22
Figura 1.12 Disponibilidad de Internet en el hogar.	23
Figura 1.13 Porcentajes según el medio de acceso a Internet.....	24
Figura 1.14 Calificación de servicio de Internet actual.	25
Figura 1.15 Paquete de Internet que contrataría.....	26

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Arquitectura general de LDMS.	28
Figura 2.2 Tecnologías utilizadas y demanda de usuarios.....	29
Figura 2.3 Relación tasa de transmisión vs distancia de las tecnologías de banda ancha.....	30
Figura 2.4 Arquitectura MMDS.	31
Figura 2.5 Arquitectura general de WLL.....	32
Figura 2.6 Arquitectura de PTPM.	33
Figura 2.7 Sistema Inalámbrico Óptico	34
Figura 2.8 Propagación por onda terrestre.....	36
Figura 2.9 Propagación por onda sky.....	37

Figura 2.10 Propagación por línea de vista directa.	37
Figura 2.11 Reflexión especular.....	39
Figura 2.12 Reflexión y transmisión de una señal incidente.	39
Figura 2.13 Fenómeno de difracción y esquema de transmisión.	40
Figura 2.14 Dispersión de una señal transmitida.	41
Figura 2.15 Propagación multicamino.	42
Figura 2.16 Multicamino de señales.....	43
Figura 2.17 Cálculo de zonas y radios de Fresnel.	43
Figura 2.18 Altura de Despejamiento hC	45
Figura 2.19 Comparación entre las superficies real y equivalente de la Tierra.	47
Figura 2.20 Pérdidas en el espacio libre en función de la distancia a diferentes frecuencias.....	48
Figura 2.21 Atenuación total específica debida a Gases vs Frecuencia.	50
Figura 2.22 Atenuación específica para distintas intensidades de lluvia.....	51
Figura 2.23 Patrón de radiación de la antena isotrópica.	55
Figura 2.24 Diagrama de radiación.	57
Figura 2.25 Diagrama de radiación tridimensional.	57
Figura 2.26 Representación de un diagrama de radiación en coordenadas polares para una antena sectorial.....	58
Figura 2.27 Representación de un diagrama de radiación de una antena Yagi en coordenadas rectangulares.....	58
Figura 2.28 Puntos de media potencia en un diagrama de radiación.....	59
Figura 2.29 Polarización Vertical.....	60
Figura 2.30 Polarización Horizontal.....	61
Figura 2.31 Polarización elíptica.	61
Figura 2.32 Antena Monopolo.	63
Figura 2.33 Distribución de corriente en un Monopolo Vertical.	63
Figura 2.34 Diagrama de radiación tridimensional del monopolo.....	63
Figura 2.35 Dipolo de media onda.	64
Figura 2.36 Diagrama de radiación del dipolo.....	64
Figura 2.37 Dipolo doblado.	65

Figura 2.38 Diagrama de radiación del dipolo doblado.	65
Figura 2.39 Antena Yagi-Uda.	66
Figura 2.40 Patrón de radiación de una antena Yagi-Uda.	66
Figura 2.41 Antena de lazo.	67
Figura 2.42 Diagrama de radiación de la antena lazo o <i>loop</i>	67
Figura 2.43 Antena Omni-direccional.	68
Figura 2.44 Diagrama de radiación de la antena omnidireccional.	69
Figura 2.45 Antena sectorial de 180°.	70
Figura 2.46 Típico modelo de radiación de una antena de sectorial.	70
Figura 2.47 Antena plana.	71
Figura 2.48 Diagrama de radiación de la antena plana.	71
Figura 2.49 Antena parabólica de Cassegrain.	72
Figura 2.50 Diagrama de radiación de la antena parabólica.	72
Figura 2.51 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor. .	79
Figura 2.52 Potencia en dBm en función de la distancia para un radioenlace.	79
Figura 2.53 Diferentes formas de conexión a Internet.	85

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el Nodo Guachalá.	92
Figura 3.2 Panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el Nodo Mojanda.	92
Figura 3.3 Número de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.	94
Figura 3.4 Topología e integrantes actuales del NAP.EC.	99
Figura 3.5 Proyección de demanda de ancho de banda.	104
Figura 3.6 Esquema de red del ISP.	110
Figura 3.7 Enlaces Punto - Punto.	112
Figura 3.8 Enlaces Punto - Multipunto.	113
Figura 3.9 Posición de Nodos del ISP con respecto a la ciudad de Cayambe.	121
Figura 3.10 Enlaces de Backbone principales y de redundancia.	122
Figura 3.11 Parámetros de simulación para enlaces punto a punto.	125
Figura 3.12 Distancia entre Cayambe Centro y Mojanda.	126

Figura 3.13 Perfil enlace Cayambe Centro - Mojanda.....	126
Figura 3.14 Parámetros Enlace Cayambe Centro - Mojanda.....	127
Figura 3.15 Distancia entre Cayambe Centro y Cananvalle.....	127
Figura 3.16 Perfil enlace Cayambe Centro - Cananvalle.	128
Figura 3.17 Parámetros Enlace Cayambe Centro - Mojanda.....	128
Figura 3.18 Distancia entre Cayambe Centro y Guachalá.	129
Figura 3.19 Perfil Enlace Cayambe Centro - Guachalá.....	129
Figura 3.20 Enlace Cayambe Centro - Mojanda.	130
Figura 3.21 Cobertura Estación Base Nodo Mojanda.	132
Figura 3.22 Cobertura Estación Base Nodo Cananvalle.....	132
Figura 3.23 Cobertura Estación Base Nodo Guachalá.....	133
Figura 3.24 Cobertura total de las Estaciones base.....	133
Figura 3.25 Topología de red con enlaces redundantes.	135
Figura 3.26 Esquema de última milla.	136
Figura 3.27 Red de Abonado.	136
Figura 3.28 Esquema de red IPv4 sobre IPv6.....	140

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Calles que comprenden el marco de muestreo	13
Tabla 1.2 Porcentaje de personas según la frecuencia de uso de Internet.....	17
Tabla 1.3 Porcentaje de personas según el tiempo de uso de Internet.....	19
Tabla 1.4 Porcentaje de personas según el lugar en el que acceden a Internet.	20
Tabla 1.5 Servicios frecuentemente usados del Internet.....	21
Tabla 1.6 Porcentaje de personas que disponen de computador en el hogar.	22
Tabla 1.7 Porcentaje de personas que disponen de Internet en el hogar.	23
Tabla 1.8 Porcentaje de personas según el tipo de conexión a Internet que disponen.	24
Tabla 1.9 Calidad de servicio de Internet actual según encuestados.....	25
Tabla 1.10 Porcentaje de encuestados según el paquete de Internet ofrecido.....	26

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Comparación entre LMDS y MMDS.	31
Tabla 2.2 Constantes utilizadas en el cálculo de la atenuación por lluvia.	53
Tabla 2.3 Factor de rugosidad de terreno.	78
Tabla 2.4 Factor de análisis climático anual.....	79
Tabla 2.5 Valores típicos de pérdida en los cables para 2,4 GHz.	81
Tabla 2.6 Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.	83

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.....	93
Tabla 3.2 Proyección de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.....	95
Tabla 3.3 Proyección de la demanda 2012-2016 para la ciudad de Cayambe.	97
Tabla 3.4 Ancho de banda para VoIP para los códecs más utilizados.....	101

Tabla 3.5 Cálculo de capacidad del canal.....	103
Tabla 3.6 Proyección de total de ancho de banda requerido.	103
Tabla 3.7 Enlaces de backbone principales.	114
Tabla 3.8 Ancho de banda mínimo requerido backbone principal.....	114
Tabla 3.9 Ancho de banda mínimo requerido backbone redundante.....	114
Tabla 3.10 Ancho de banda mínimo requerido estaciones base.....	115
Tabla 3.11 Canales de frecuencia de 20 MHz en la banda 5800 MHz.....	116
Tabla 3.12 Asignación de canales.....	117
Tabla 3.13 Presupuesto de enlace.....	120
Tabla 3.14 Coordenadas geográficas de los Nodos.....	121
Tabla 3.15 Distancia de Nodos con respecto al Nodo Cayambe Centro.....	122
Tabla 3.16 Distancia de enlaces de redundancia.....	122
Tabla 3.17 Enlaces de radio Punto a Punto.	130
Tabla 3.18 Características IPv6 e comparación con IPv4.	138
Tabla 3.19 Esquema de asignación de direcciones IP.....	142
Tabla 3.20 Capacidad requerida para el servidor de correo.	152
Tabla 3.21 Capacidad de Servidor Web.....	154
Tabla 3.22 Resumen de requerimientos de almacenamiento de los Servidores.....	160
Tabla 3.23 Distribución de Servidores.....	161
Tabla 3.24 Características de <i>routers</i> de Borde.	164
Tabla 3.25 Características <i>switch</i> de Capa 3.....	165
Tabla 3.26 Características <i>switches</i> de Acceso.	166
Tabla 3.27 Características Cortafuegos.....	167
Tabla 3.28 Características Servidores.	169
Tabla 3.29 Características Consolas KVM.....	170
Tabla 3.30 Características de Equipos para Enlaces de Backbone.....	171
Tabla 3.31 Características de equipos para radio base.....	172
Tabla 3.32 Características de equipos para estaciones.....	173
Tabla 3.33 Características de antenas para enlaces punto a punto.....	173
Tabla 3.34 Características de antenas para enlaces punto a multipunto.....	174
Tabla 3.35 Características de equipos para respaldo eléctrico.....	175

Tabla 3.36 Resumen de equipos.....	176
------------------------------------	-----

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Valores equipos de red.....	177
Tabla 4.2 Valores equipos de comunicación Inalámbrica.	178
Tabla 4.3 Valores de antenas.....	178
Tabla 4.4 Valores equipos de respaldo eléctrico.....	179
Tabla 4.5 Costo equipo administrador de Servidores.....	179
Tabla 4.6 Costos totales de equipos	180
Tabla 4.7 Costo de enlaces troncales	181
Tabla 4.8 Costo de operación anual de enlaces de radio.	184
Tabla 4.9 Costos totales.....	184

LISTADO DE ECUACIONES

CAPÍTULO 1

Ecuación 1.1 Cálculo del tamaño de la muestra.	15
---	----

CAPÍTULO 2

Ecuación 2.1 Cálculo de los radios de las zonas de Fresnel.	44
Ecuación 2.2 Cálculo de la primera zona de Fresnel.	44
Ecuación 2.3 Cálculo de la altura de despejamiento.	45
Ecuación 2.4 Cálculo del radio equivalente de la tierra.	47
Ecuación 2.5 Cálculo de pérdidas por espacio libre.	48
Ecuación 2.6 Cálculo de pérdidas por gases en la atmósfera.	49
Ecuación 2.7 Cálculo de la absorción total específica.	49
Ecuación 2.8 Cálculo de la atenuación total por precipitación.	51
Ecuación 2.9 Cálculo de atenuación específica por lluvia.	52
Ecuación 2.10 Cálculo de coeficientes de atenuación por lluvia.	52
Ecuación 2.11 Ganancia de la antena con respecto a la antena isotrópica.	55
Ecuación 2.12 Cálculo de ganancia de una antena en dBd.	56
Ecuación 2.13 Cálculo del presupuesto del Enlace.	76
Ecuación 2.14 Cálculo de pérdidas por espacio libre.	77
Ecuación 2.15 Cálculo del margen de desvanecimiento.	78
Ecuación 2.16 Cálculo de relación Señal a Ruido en dB.	84

CAPÍTULO 3

Ecuación 3.1 Cálculo de cuentas dedicadas por trimestre.	94
Ecuación 3.2 Ecuación de crecimiento geométrico.	95
Ecuación 3.3 Cálculo de porcentaje de crecimiento anual.	96
Ecuación 3.4 Cálculo de ancho de banda para VoIP.	100
Ecuación 3.5 Cálculo del tamaño de la trama.	100

Ecuación 3.6 Cálculo de ancho de banda mínimo por usuario.	102
---	-----

CAPÍTULO 4

Ecuación 4.1 Cálculo de costo de operación de Enlaces Punto a Punto.	181
---	-----

Ecuación 4.2 Cálculo de costo de operación de Enlaces Punto a Multipunto.	182
--	-----

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ISP	Proveedor de Servicios de Internet.
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos.
LDMS	Servicio de Distribución Local Multipunto.
MMDS	Servicio de Distribución Multipunto por Microondas.
DSL	Línea de Abonado digital.
RPC	Control de Radio Puerto.
RP	Radio Puerto.
WLL	Enlace Local Inalámbrico.
POTS	Servicio Telefónico Tradicional.
LE	Intercambio Local.
FAU	Arreglo de Unidades de Acceso.
PTPM	Microonda Punto a Punto.
FSO	Espacio Óptico Libre.
LOS	Línea de Vista.
MF	Frecuencias Medias.
HF	Alta Frecuencia
FLS	Pérdidas por Espacio Libre.
dBi	Decibeles Isotrópicos.
dBd	Decibeles Dipolo.
VSWR	Voltaje de Ondas Estacionarias.

FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo.
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código.
FHSS	Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia.
DSSS	Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
DNS	Servicio de Nombre de Dominio.
DHCP	Protocolo de Configuración Dinámica de Host.
SNMP	Protocolo Simple de Transferencia de Correo.
FTP	Protocolo de Transferencia de Archivos.
TCP	Protocolo de Control de Transmisión.
IRC	Protocolo de Mensajería basado en Texto.
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada.
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador.
NAP.EC	Punto de Acceso de Red Ecuador.
IP	Protocolo Internet.
MPLS	Conmutación Multi-Protocolo mediante Etiquetas.
DWDM	Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas.
BGP	Protocolo de Enrutamiento de Borde.

CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones.
ATM	Modo de Transferencia Asíncrona.
VoIP	Voz sobre protocolo IP.
LAN	Redes de Área Local.
VLAN	Redes de Área Local Virtuales.
OSI	Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.
STP	Protocolo <i>Spanning Tree</i> .
QoS	Calidad de Servicio.
DiffServ	Servicios Diferenciados.
IntServ	Servicios Integrados.
OSPF	Protocolo de Enrutamiento Jerárquico de Pasarela Interior.
WAN	Red de Área Amplia.
ISDN	Red Digital de Servicios Integrados.
USB	Bus Universal en Serie.
SNMP	Protocolo Simple de Administración de Red.

RESUMEN

El presente Proyecto de Titulación trata sobre el diseño de un ISP inalámbrico dentro de la banda no regulada de 5.8 GHz para la ciudad de Cayambe; para lo cual se ha estructurado el contenido del mismo de la siguiente manera:

En el primer capítulo se realiza un estudio de la situación actual del acceso a los servicios de Internet de la población urbana del cantón Cayambe; de modo de conocer de mejor manera la demanda que se tendría del servicio en caso de ser implementado.

En el segundo capítulo se describen las principales tecnologías de transmisión de datos usando medios inalámbricos y los servicios que se brindan a los usuarios finales por parte de los ISPs.

En el tercer capítulo se realiza el diseño del ISP tomando como base al modelo jerárquico de red para estructurar y determinar cada una de las partes que conforman el ISP. Adicionalmente se presenta un cuadro comparativo de los equipos que se utilizan en cada una de las capas de red del ISP, de manera que se pueda seleccionar los que se ajusten a las necesidades de la red.

En el cuarto capítulo se presentan los costos referenciales de los equipos que se utilizan en el ISP y los principales costos de operación que se tendrían en caso de ser implementado en la zona en cuestión.

Finalmente en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtienen del desarrollo del Proyecto.

PRESENTACIÓN

En los tiempos actuales la necesidad de acceso a las redes sociales y a la información que circula en Internet es incuestionable, dado que en la red se encuentra gran cantidad de información que se usa a diario y a todo momento.

Por otro lado en nuestro país siguen existiendo muchos sectores de la población que tienen limitado acceso a los servicios que se ofrecen en Internet, ya sea esto, porque se sigue teniendo la idea equivocada de que tener una conexión a Internet en los hogares es un lujo o por la falta de atención de las empresas de telecomunicaciones en dar este tipo de servicios en dichos lugares.

Es por esta razón que se ve la necesidad de realizar un estudio para la formación de un ISP en el cantón Cayambe, que permita llegar a este sector de la población desatendido a lo que a servicios de Internet se refiere.

Dadas las características de la zona donde se encuentra asentada la ciudad se contemplan dos posibles mercados de explotación para los servicios de Internet; el primero es el sector residencial o *home*, el cual está comprendido por la población urbana del cantón y para el cual está orientado el estudio presente Proyecto. Sin embargo es necesario dejar abierta la posibilidad de poder brindar servicios de Internet a las diferentes industrias que se desarrollan en el sector, como lo son las fincas florícolas y las de alimentos.

Geográficamente la ciudad de Cayambe se encuentra ubicada al noreste de la provincia de Pichincha, en una zona rodeada de una gran cantidad de elevaciones de mediana y gran altitud. Por esta razón se ha elegido realizar el diseño de la red del ISP con tecnologías inalámbricas de banda ancha que permitan aprovechar las características topográficas del sector. Por otra parte el uso de este tipo de tecnología permite tener reducidos tiempos de instalación y bajos costos de inversión y operación. El presente proyecto está orientado a proveer de servicio de Internet al

sector residencial o *home*, sin embargo dado que la zona donde se encuentra se puede prever la ampliación del mercado a otros sectores de la población.

Finalmente en el caso de realizar la implementación de este Proyecto se obligaría a las pocas empresas existentes en la ciudad a reducir los precios del servicio que brindan y mejorar la calidad del mismo.

1 ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ACCESO A INTERNET DE LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE CAYAMBE

1.1 INTRODUCCIÓN

Dada las necesidades actuales de la población en general de acceder a la información y a las ventajas que brinda una conexión a la red mundial o Internet, es necesario conocer el grado de penetración de estos servicios entre la población y sus hábitos de uso; es por esto que en este capítulo se realiza un estudio que aporte con información valiosa para el diseño y dimensionamiento de la red de un ISP inalámbrico para la ciudad de Cayambe.

Esta información permitirá una optimización de recursos a usarse en el diseño y un correcto dimensionamiento de la red, ya que permite obtener una perspectiva aproximada de las necesidades de la población en cuanto a estos servicios y a su capacidad para contratarlos.

Para lo cual se realiza una encuesta con preguntas de fácil contestación, de modo que los resultados sean fiables y útiles para el Proyecto.

Finalmente, de la tabulación y análisis de la información recolectada en el estudio, se han tomado los parámetros más importantes para ser usados en el dimensionamiento de la red y la determinación de los servicios que se implementaran para el servicio de los usuarios finales.

1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

El objetivo principal de este capítulo es conocer el grado de penetración de los servicios de Internet entre los habitantes del cantón Cayambe, dicha información es usada posteriormente para la elaboración del diseño de la red y determinación de los servicios que brindará el ISP.

Para lo cual se ha de diseñar una encuesta que será distribuida entre los habitantes de la zona urbana del cantón, por ser esta porción de la población considerada un posible mercado meta para el ISP.

Con el fin de que la información recolectada sea de total utilidad se considera necesario plantear los siguientes objetivos para el presente estudio:

- Obtener información por medio de las encuestas aplicadas a la población del sector urbano de la ciudad de Cayambe y fuentes secundarias tales como: publicaciones de datos de las entidades oficiales estatales, municipales y medios de prensa.
- Conocer el grado de penetración de los servicios de Internet en la población de la ciudad de Cayambe.
- Conocer los servicios que frecuentemente usan los potenciales usuarios del servicio de Internet.
- Determinar la acogida que tendría este tipo de proyecto en la zona.
- Presentar y analizar los datos obtenidos.

1.3 ELEMENTOS DEL DISEÑO DEL ESTUDIO [1] [2]

A continuación se describe algunos conceptos relacionados con el diseño del estudio de campo y las herramientas que se usan para el diseño, distribución, tabulación e interpretación de los datos obtenidos de la encuesta, de manera que se puedan cumplir de forma efectiva los objetivos antes mencionados.

1.3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN [3] [4]

Las diferentes fuentes de información permiten diseñar adecuadamente el estudio. Existen una infinidad de fuentes de datos, sin embargo se toman en cuenta las fuentes de información básicas las cuales están divididas en dos grupos: fuentes

primarias y fuentes secundarias, que a su vez se subdividen en fuentes internas y externas, como se puede observar en la Figura 1.1.

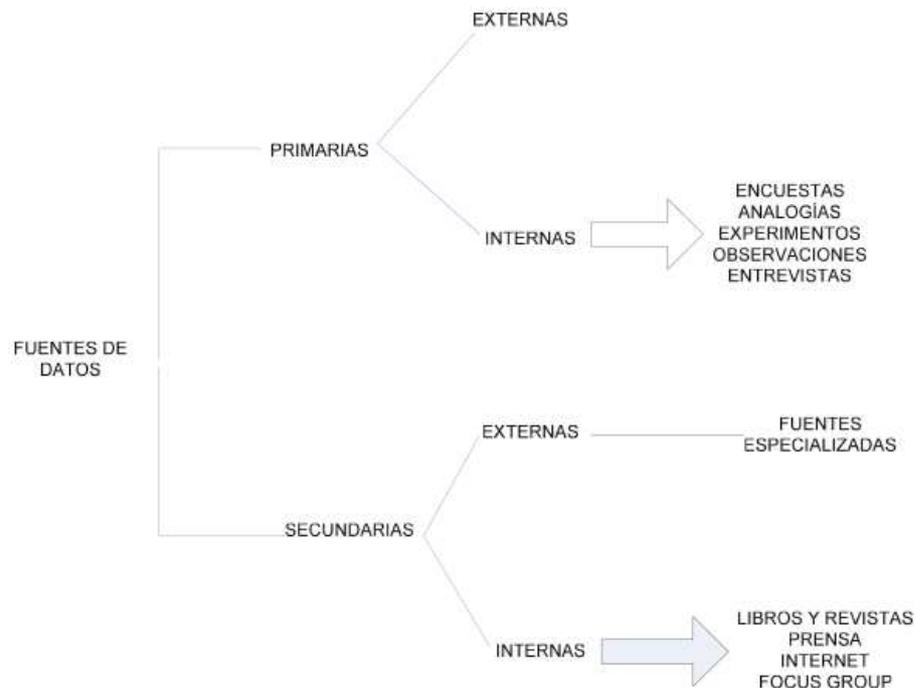


Figura 1.1 Clasificación de las fuentes de información. [4]

1.3.1.1 Fuentes de información secundarias [5]

Se refiere a la información publicada en fuentes especializadas en algún tema. Libros, revistas y publicaciones componen estas fuentes, de los que se debe tomar en cuenta la fecha de publicación, debido a posibles actualizaciones de la información presentada. Las fuentes secundarias, a diferencia de las primarias, son datos existentes utilizados para múltiples fines.

Para el presente estudio se toman fuentes secundarias tales como: las publicaciones más recientes del INEC, la Superintendencia de Telecomunicaciones, la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones y páginas web de otros ISPs, para obtener

información que ayude a determinar de manera eficaz el grado de penetración de los servicios de Internet en la zona urbana de la ciudad de Cayambe.

1.3.1.2 Fuentes de información primarias [6]

Los datos de fuentes primarias son obtenidos exclusivamente para la investigación en desarrollo, tales como: analogías, experimentos, observación, entrevistas y encuestas, los mismos que pueden ser externos o internos.

Los datos externos son obtenidos fuera de la organización, son suministrados por fuentes públicas; mientras que los datos internos son obtenidos desde la misma organización.

Al ser este un Proyecto en el que se plantea el diseño de un proveedor de servicios de Internet y por ende no existe como tal en la ciudad en cuestión, todos los datos que se obtendrán serán externos. Los mismos que se recolectan por medio de una encuesta.

Para este estudio en particular se realiza el diseño y distribución de una encuesta, la misma que se la aplica a los habitantes de la zona urbana de la ciudad de Cayambe; que en complemento con los datos obtenidos de las fuentes de información secundarias permita determinar el grado de penetración del los servicios de Internet en la ciudad.

1.3.2 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO [2] [7] [8] [9]

Se debe definir cuidadosamente la población que va a ser muestreada, la cual debe precisarse de acuerdo a los conceptos y variables que se quieren medir.

Para lo cual se describirán brevemente a continuación los criterios de segmentación:

1.3.2.1 Segmentación geográfica

La población se divide según variables como: estado, región, tamaño del municipio, densidad, clima, etc., basándose en la idea de que las necesidades de los usuarios de servicios varían según el área geográfica donde habitan.

1.3.2.2 Segmentación socioeconómica

Clasifica la población según variables que miden el poder adquisitivo o la posición social y cultural de los consumidores.

1.3.2.3 Segmentación demográfica

En esta segmentación, el mercado está dividido en diferentes grupos en base a variables como edad, sexo, tamaño de la familia, estado civil, etc.

1.3.2.4 Segmentación psicográfica¹

En este tipo de segmentación se divide a la población objetivo en diferentes grupos, de acuerdo a diferencias de estilos de vida, personalidad y clase social.

Este tipo de segmentación muchas veces resulta atractiva ya que considera factores de interés para una persona, sus opiniones y actividades que conforman su estilo de vida.

El conocimiento de esta variable proporciona una información altamente valiosa para el diseño de estrategias efectivas.

De acuerdo al alcance que tiene este estudio, se considera adecuado tomar en cuenta dos criterios de segmentación como lo son: la segmentación geográfica y la segmentación socioeconómica.

¹ Psicografía: describe la conducta del individuo tomando en cuenta parámetros como condición social, estilo de vida, costumbres etc. Su uso en la segmentación de mercados se basa en distinguir las diferentes partes que lo conforman para orientar productos y servicios de acuerdo a las preferencias de la población.

En este caso se requiere determinar el grado de acceso a los servicios de Internet que tienen los habitantes de la zona urbana del cantón Cayambe, para esto es importante que la muestra que se elige cumpla con los requerimientos de la población, es decir, que esté dentro de la población objetivo, ya que de otra manera los datos obtenidos de la muestra no serían aplicables a toda la población.

Con el fin de realizar una correcta selección de los individuos que formaran parte de la población objetivo del presente estudio, estos deberán cumplir con los puntos citados a continuación:

- La población objetivo debe encontrarse en la zona urbana del cantón Cayambe, sector para el cual se realiza el diseño del ISP.
- Los habitantes que por sus ingresos económicos estén considerados como población de clase media en adelante, por ser esta porción de la población la que cuenta con posibilidades de contratar el servicio de Internet para sus hogares.

1.3.3 LA ENCUESTA [2] [9]

La encuesta es una búsqueda sistemática de información en la que el investigador pregunta a los investigados sobre los datos que desea obtener, los cuales posteriormente son evaluados con el fin de obtener información agregada.

Con la encuesta se trata de obtener, de manera sistemática y ordenada, información sobre las variables que intervienen en una investigación, y esto sobre una población o muestra determinada. Esta información hace referencia a lo que las personas son, hacen, piensan, opinan, sienten, esperan, desean, quieren u odian, aprueban o desaprueban, o los motivos de sus actos, opiniones y actitudes. A diferencia del resto de técnicas de entrevista la particularidad de la encuesta es que realiza a todos los entrevistados las mismas preguntas, en el mismo orden, y en una situación social similar; de modo que las diferencias localizadas son atribuibles a las diferencias entre las personas entrevistadas.

1.3.3.1 Diseño de la Encuesta [10]

Como se mencionó anteriormente la encuesta es uno de los métodos más utilizados en el estudio de mercados, sin embargo se debe realizar un adecuado planteamiento de los parámetros a ser estudiados porque de esto dependerá en gran medida que los resultados que se obtengan sean los que se buscan conocer.

De acuerdo a las ideas antes expuestas se realizará el diseño del cuestionario siguiendo las siguientes consideraciones:

- Tomar en cuenta que las preguntas no deben ser sugestivas, las respuestas deben proporcionar la información que se busca y deben facilitar la tabulación.
- Procurar que las preguntas sean claras y de fácil contestación, considerando las necesidades del estudio.
- Las preguntas deben tener una secuencia. Las primeras preguntas deben ser informativas y luego deben constar las preguntas generales. La secuencia debe ser hecha de manera que una pregunta lleve a la siguiente.

1.3.3.2 Marco de muestreo [10] [16]

Se lo utiliza para realizar la elección adecuada de una muestra representativa de la población, para lo cual a continuación se describe la terminología usada y los diferentes tipos de muestreo que existen.

- **Población total o población objetivo:** Es el grupo de individuos del que se pretende obtener información.
- **Población estudiada:** A menudo, la población no es accesible en su totalidad, y deberemos trabajar sólo sobre una parte de ella. Por tanto la población estudiada será la población de la que se obtiene la muestra.

-
- **Marco de la encuesta:** Es el listado de los individuos de la población. A veces no es necesario disponer de todo el listado.
 - **Unidad de la encuesta:** Es cada individuo de la población estudiada (animales, granjas, municipios, etc.). Según el tipo de muestreo se puede diferenciar entre unidades primarias y secundarias.
 - **Fracción de la encuesta:** Es la proporción de individuos de la población estudiada que forma parte de la muestra.
 - **Sesgo:** Son los errores sistemáticos (diferentes de los errores de estimación).

Existen varios tipos de muestreo de los cuales nos podemos valer para la elección de una muestra significativa, entre los más representativos tenemos:

1.3.3.2.1 El muestreo aleatorio

En el muestreo aleatorio todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Los individuos que formarán parte de la muestra se elegirán al azar mediante números aleatorios. Existen varios métodos para obtener números aleatorios, los más frecuentes son la utilización de tablas de números aleatorios o generarlos por ordenador. El muestreo aleatorio puede realizarse de distintas maneras, las más frecuentes son el muestreo simple, el sistemático, el estratificado y el muestreo por conglomerados.

- **Muestreo aleatorio simple**

Es el método conceptualmente más simple. Consiste en extraer todos los individuos al azar de una lista (marco de la encuesta). En la práctica, a menos que se trate de poblaciones pequeñas o de estructura muy simple, es difícil de llevar a cabo de forma eficaz.

En la Figura 1.2 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio simple.

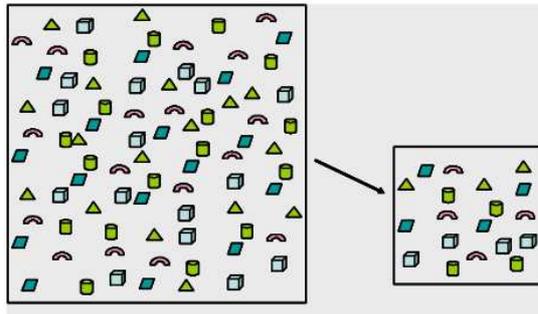


Figura 1.2 Representación gráfica del muestreo aleatorio simple.^[12]

- **Muestreo aleatorio sistemático**

En este caso se elige el primer individuo al azar y el resto viene condicionado por aquel. Este método es muy simple de aplicar en la práctica y tiene la ventaja de que no hace falta disponer de un marco de encuesta elaborado. Puede aplicarse en la mayoría de las situaciones, la única precaución que debe tenerse en cuenta es comprobar que la característica que estudiamos no tenga una periodicidad que coincida con la del muestreo.

En la Figura 1.3 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.

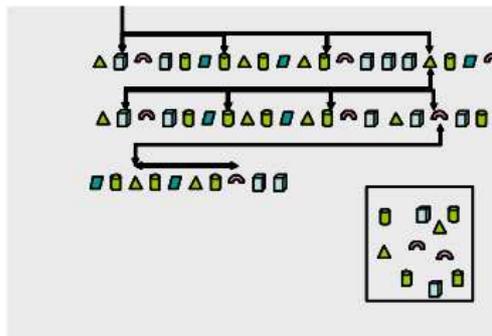


Figura 1.3 Representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.^[13]

- **Muestreo aleatorio estratificado**

Se divide la población en grupos en función de un carácter determinado y después se muestrea cada grupo aleatoriamente, para obtener la parte proporcional de la muestra. Este método se aplica para evitar que por azar algún grupo de la población esté menos representado que los otros.

En la Figura 1.4 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado.

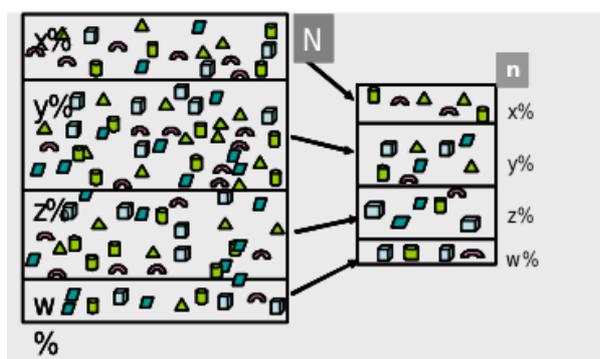


Figura 1.4 Representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado. ^[14]

- **Muestreo aleatorio por conglomerados**

Se divide la población en varios grupos de características parecidas entre ellos y luego se analizan completamente algunos de los grupos, descartando los demás. Dentro de cada conglomerado existe una variación importante, pero los distintos conglomerados son parecidos. Requiere una muestra más grande, pero suele simplificar la recogida de muestras. Frecuentemente los conglomerados se aplican a zonas geográficas.

En la Figura 1.5 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados.

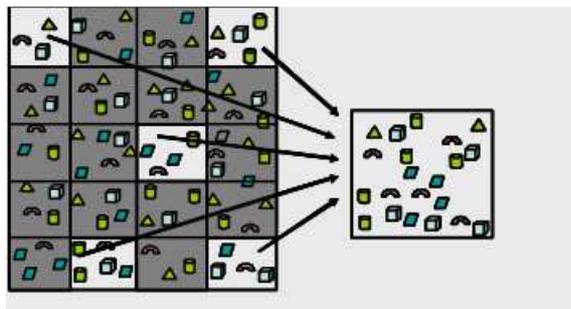


Figura 1.5 Representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados. ^[14]

1.3.3.2.2 El muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia

Consiste en la elección por métodos no aleatorios de una muestra cuyas características sean similares a las de la población objetivo. En este tipo de muestreos la representatividad la determina el investigador de modo subjetivo, siendo este el mayor inconveniente del método ya que no podemos cuantificar la representatividad de la muestra.

Presenta casi siempre sesgos y por tanto debe aplicarse únicamente cuando no existe alternativa. También puede ser útil cuando se pretende realizar una primera prospección de la población o cuando no existe un marco de la encuesta definido. Este tipo de muestreos puede incluir individuos próximos a la media o no, pero casi nunca representará la variabilidad de la población, que normalmente quedará subestimada.

1.3.3.2.3 Muestreo mixto

Cuando la población es compleja, cualquiera de los métodos descritos puede ser difícil de aplicar, en estos casos se aplica un muestreo mixto que combina dos o más de los anteriores sobre distintas unidades de la encuesta.

1.3.3.3 Determinación del marco de muestreo

De acuerdo a los conceptos expuestos anteriormente se ha elegido el método de muestreo aleatorio por conglomerados y se ha segmentado la población del cantón

que se encuentre dentro del perímetro urbano y que pertenezcan a los estratos sociales medio y alto.

En este caso el marco de muestreo vendría dado por una lista de las calles que comprenden los barrios de la población de clase media de la ciudad de Cayambe. En la Figura 1.6 se muestran las zonas de la ciudad de Cayambe donde se encuentra el marco de muestreo:

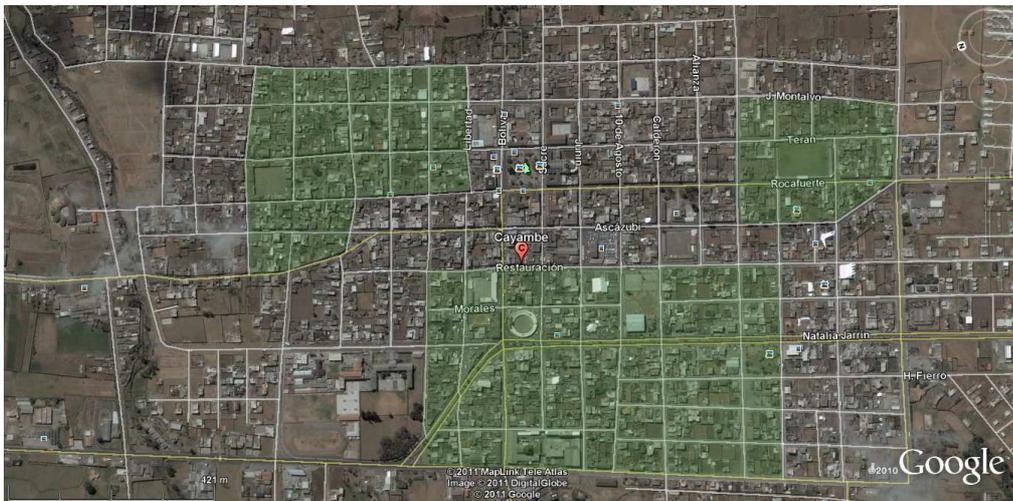


Figura 1.6 Zona de la ciudad donde está el marco de muestreo. ^[15]

En la Tabla 1.1 se presentan las calles que conforman el marco de muestreo para este estudio:

Calles Comprendidas
Calle Imbabura
Calle Pichincha
Calle 24 de Mayo
Calle 9 de Octubre
Calle Vivar
Calle Vargas
Calle Libertad
Calle Bolívar

Calles Comprendidas
Calle Sucre
Calle Junín
Calle 10 de Agosto
Calle Calderón
Calle Argentina
Calle Chile
Calle Córdoba Galarza

Tabla 1.1 Calles que comprenden el marco de muestreo.^[15]

Adicionalmente se define como unidad de muestreo del estudio a una familia de clase media, por no ser necesario encuestar a cada uno de los integrantes de la misma.

Una vez que se ha especificado lo que se entenderá en adelante como marco de muestreo y la unidad de muestreo, se describen brevemente conceptos relacionados con la elección del tamaño de la muestra a usar.

1.3.3.4 Cálculo del tamaño maestral [16] [20]

Cuando se realiza una encuesta, es necesario definir la cantidad de personas que deben ser encuestadas para que la muestra sea una cantidad representativa de la población y la información pueda ser procesada de la mejor manera. Si la muestra es muy pequeña, los datos obtenidos no son confiables, mientras que si la muestra es muy grande, se estarían desperdiciando recursos de la empresa.

Para precisar el tamaño de la muestra se debe tomar en cuenta tres factores principales que son:

- *Nivel de Confianza:* es el porcentaje de seguridad que existe para generalizar los resultados obtenidos. Los niveles más comúnmente utilizados son 95% y 99% esto con el fin de evitar costos altos en los estudios, debido a que en

ocasiones es prácticamente imposible trabajar sobre toda la población. Mientras mayor sea el nivel de confianza, el tamaño de la muestra será más grande.

- *Margen de Error:* Es la tolerancia de error que el investigador está dispuesto a admitir. Si el error admitido es pequeño, se necesitará una muestra grande y si el error admitido es grande, se necesitará una muestra pequeña.
- *Variabilidad de la población:* Se refiere a poblaciones dispersas u homogéneas. Si la población se encuentra dispersa, se requerirá una muestra grande, mientras que si la población es homogénea, la muestra será pequeña.

Como se indicó anteriormente, el método de muestreo que se aplicará en este estudio es el muestreo estratificado, para lo cual se hace una división de la población en usuarios residenciales en la zona urbana de la Ciudad de Cayambe, los mismo que deben pertenecer a la población que según sus ingresos económicos pertenezcan a la clase media y alta de la ciudad. Además se toma como valores admisibles, un nivel de confianza del 95% ^[20] y un margen de error del 8% en usuarios residenciales.

La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de una variable respecto a la media de una distribución estadística. Con respecto a la varianza en cada encuesta, existen diferentes procedimientos para obtenerla:

- Se puede obtener de un criterio subjetivo para determinar una varianza en las posibles respuestas.
- Se puede realizar encuestas piloto para establecer la varianza, basándose en la varianza de las respuestas de dichas encuestas.
- Se toma como varianza el máximo valor posible en las respuestas, que se obtendría en el peor de los casos.

Debido a que no se tiene un valor aproximado de la proporción de habitantes a encuestar en el presente estudio, se asume un porcentaje de participación de la población en la encuesta del 50%. Por lo tanto $p = 0.5$ dado que $q = 1 - p$, se calcula el valor de la varianza: $\delta^2 = p * q = 0.25$

Donde:

p : Es el porcentaje de personas que participaría en la encuesta.

q : Es el porcentaje de personas que no participaría en la encuesta

1.3.3.5 Tamaño de la muestra para el sector urbano del cantón Cayambe [16]

El tamaño de la población se toma a partir de los datos que se encuentran publicados en la página web oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC el cual indica que según datos obtenidos del último censo nacional 2010, la población actual del cantón Cayambe es de 85.795 habitantes, de los cuales el 68.8% habitan en la zona urbana. De estos el 50,3% ^[17] se encuentran en los estratos sociales de clase media y alta, por lo que nuestra población objetivo estaría conformada de 29.691 individuos. Esta misma institución indica que, el promedio de integrantes por familia en Ecuador es de 4 personas, por lo tanto la población para la realización de las encuestas es de 7.423 familias.

La Ecuación 1.1 es una fórmula muy conocida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos:

$$Q = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N - 1)E^2 + Z^2 \sigma^2}$$

Ecuación 1.1 Cálculo del tamaño de la muestra. ^[16]

Donde:

Q : Es el tamaño de la muestra

Z: Es el coeficiente de confianza de 1,96 basado en un nivel de confianza del 95%

σ^2 : Varianza en las respuestas

E: Error muestral del 8%

N: Tamaño de la población

Reemplazando los valores en la Ecuación 1.1 se tiene:

$$Q = \frac{1.96^2 * 0.25 * 7423}{(7423 - 1) * 0.08^2 + 1.96^2 * 0.25^2}$$

$$Q = 149.32$$

De donde se obtiene que la muestra poblacional para el sector urbano de la ciudad de Cayambe es 149 familias a ser encuestadas.

1.3.4 RECOPIACIÓN DE DATOS [18]

Mediante la recopilación de datos el investigador puede obtener información que luego de ser procesada y analizada permite tomar decisiones acertadas sobre las tendencias de la población sobre determinados temas de interés.

En el presente Proyecto se ha recolectado información mediante la utilización de una encuesta. Los cuestionarios de esta fueron distribuidos en los sectores comprendidos por las calles antes mencionadas, que corresponden a los sectores más altamente poblados de la ciudad de Cayambe.

La encuesta fue realizada en un periodo de ocho días mediante la modalidad puerta a puerta, en la que el encuestador realizaba las preguntas al encuestado con el fin de disminuir al máximo errores de interpretación.

Los encuestados dieron la apertura adecuada, de forma que se realizó la recopilación de datos sin mayores complicaciones.

1.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS [9] [10]

A continuación se presentan cada una de las preguntas de la encuesta realizada a la población de la ciudad de Cayambe y sus respectivos resultados. Dichos resultados han sido interpretados de modo que sean útiles posteriormente para el dimensionamiento y diseño de la red.

Pregunta 1: ¿Con qué frecuencia utiliza Internet?

En la Tabla 1.2 y Figura 1.7 se muestran los resultados referentes a la frecuencia con que se usa Internet entre los encuestados respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
Una vez por semana	8	5%
Diariamente	69	46%
De 2-3 veces por semana	71	48%
Nunca	0	0%
No responde	2	1%
Total	150	100%

Tabla 1.2 Porcentaje de personas según la frecuencia de uso de Internet.



Figura 1.7 Frecuencia de uso de Internet.

De los resultados expuestos anteriormente se puede decir que existe una gran acogida a los servicios de Internet por parte de la mayoría de los habitantes de la ciudad de Cayambe ya que el 94% de ellos lo hace de manera regular, mientras que tan solo el 5% lo hace de manera esporádica.

Adicionalmente se puede decir que debido al gran uso que se le da a los servicios de Internet entre los habitantes de la ciudad de Cayambe se esperaría una gran acogida por parte de la población, para la implementación de dichos servicios por parte de una nueva empresa ya que esto haría que los precios se abaraten y se obtenga un mejor servicio.

Pregunta 2: ¿Por cuánto tiempo suele utilizar Internet?

En la Tabla 1.3 y Figura 1.8 se muestran los resultados referentes al lapso de tiempo que utilizan los usuarios el Internet por sesión respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
0-15 min	4	3%
15-60 min	70	47%
Más de 60 min	50	33%

Opción	Respuestas	Porcentaje
No responde	26	17%
Total	150	100%

Tabla 1.3 Porcentaje de personas según el tiempo de uso de Internet.

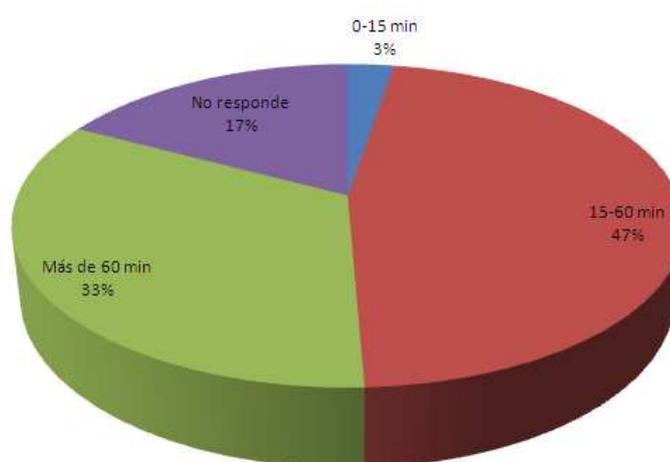


Figura 1.8 Tiempo de uso de Internet.

De lo expuesto anteriormente se puede afirmar que la mayoría de la población usa con mayor frecuencia Internet entre 15 y 60 minutos por vez, no sería ilógico pensar de manera preliminar que este porcentaje de la población no cuenta con una conexión de Internet en sus hogares, debido a esto la limitación de tiempo de uso.

Pregunta 3: ¿Dónde utiliza Internet?

En la Tabla 1.4 y Figura 1.9 se muestran los resultados referentes al lugar en el que suelen utilizar los servicios de Internet respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
No responde	1	1%

Opción	Respuestas	Porcentaje
Hogar	36	23%
Cibercafé	69	45%
Trabajo	38	25%
Lugar de estudio	10	6%
Otros	0	0%
Total	154	100%

Tabla 1.4 Porcentaje de personas según el lugar en el que acceden a Internet.

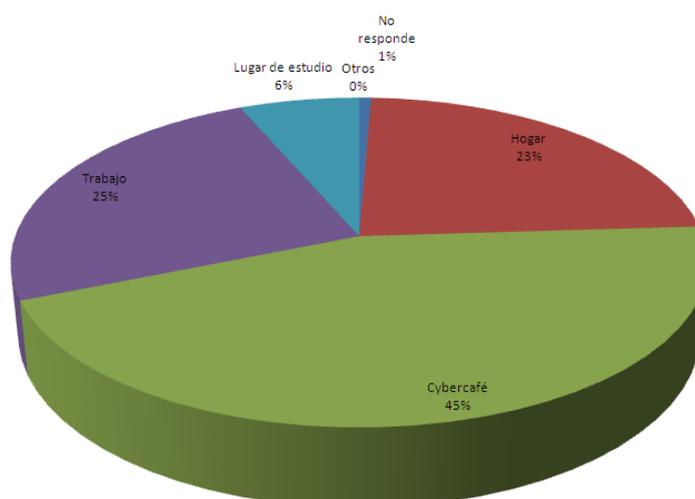


Figura 1.9 Lugar de uso de Internet.

Debido a que esta pregunta es de opción múltiple el total de respuestas supera el número de personas encuestadas para lo cual se ha calculado el porcentaje correspondiente a cada ítem con respecto al número total de respuestas y no al número de personas encuestadas.

Pregunta 4: ¿Qué servicios de Internet usa?

En la Tabla 1.5 y Figura 1.10 se muestran los resultados referentes los servicios frecuentemente usados de Internet respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
Chat	113	24%
Mails	51	11%
Redes Sociales	92	20%
Búsqueda de Información	87	18%
Descarga de Archivos	36	8%
Descarga de Música	44	9%
Ver Videos	36	8%
Video Conferencia	12	3%
Total	471	100%

Tabla 1.5 Servicios frecuentemente usados del Internet.

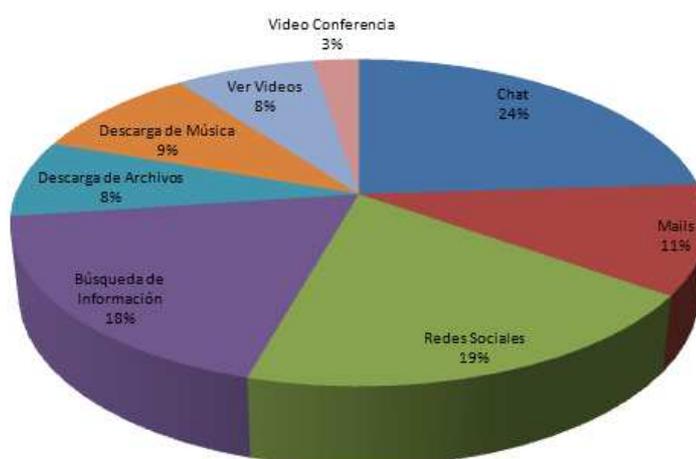


Figura 1.10 Servicios frecuentemente usados de Internet.

De manera similar a la pregunta anterior al ser esta de opción múltiple se calcula los porcentajes de acuerdo al número total de respuestas y no en base al número de personas encuestadas.

En conclusión se podría decir que se usan en mayor medida aplicaciones poco sensibles a los retardos.

Pregunta 5: ¿Dispone de un computador en su hogar?

En la Tabla 1.6 y Figura 1.11 se muestran los resultados referentes a la disponibilidad de un computador personal entre los encuestados respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
SI	135	90%
NO	15	10%
Total	150	100%

Tabla 1.6 Porcentaje de personas que disponen de computador en el hogar.

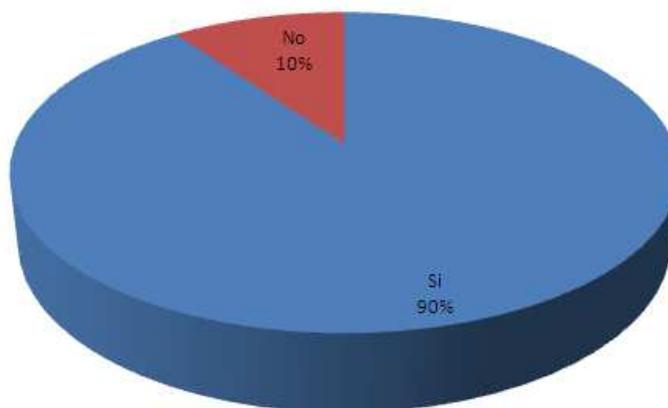


Figura 1.11 Tiene computador en casa.

Esta pregunta tiene mucha importancia, ya que es conveniente conocer el porcentaje de la población que dispone de un computador en el hogar, debido a que estos serían los más opcionados a contratar una conexión de Internet para el hogar.

Pregunta 6: ¿Dispone de Internet en su casa?

En la Tabla 1.7 y Figura 1.12 se muestran los resultados referentes a la disponibilidad de Internet en los hogares respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentajes
SI	41	27%
NO	108	72%
No Responde	1	1%
Total	150	100%

Tabla 1.7 Porcentaje de personas que disponen de Internet en el hogar.

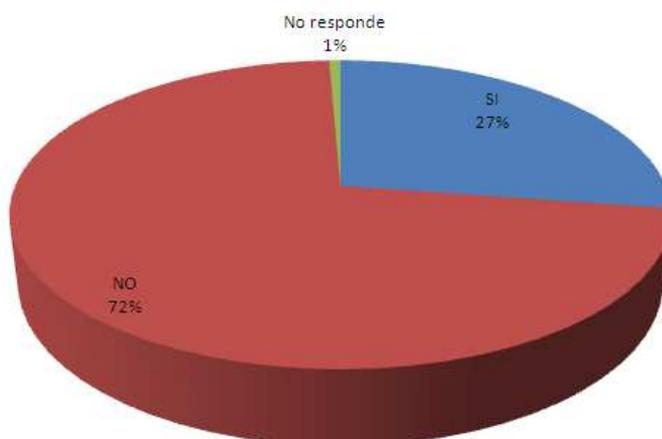


Figura 1.12 Disponibilidad de Internet en el hogar.

De la información presentada anteriormente se puede decir que una gran mayoría de las personas no cuenta con un servicio de Internet en el hogar, esto hace que estas personas se conviertan en un mercado potencial, el cual debería ser explotado de la mejor manera por las empresas proveedoras de servicios de Internet en la zona.

Pregunta 7: ¿Qué medio de acceso a Internet utiliza?

En la Tabla 1.8 y Figura 1.13 se muestran los resultados referentes al tipo de conexión a Internet que disponen los usuarios en los hogares respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
Línea Telefónica	25	61%
Banda Ancha	15	37%
Celular	0	0%
Otros	0	0%
No Responde	1	2%
Total	41	100%

Tabla 1.8 Porcentaje de personas según el tipo de conexión a Internet que disponen.

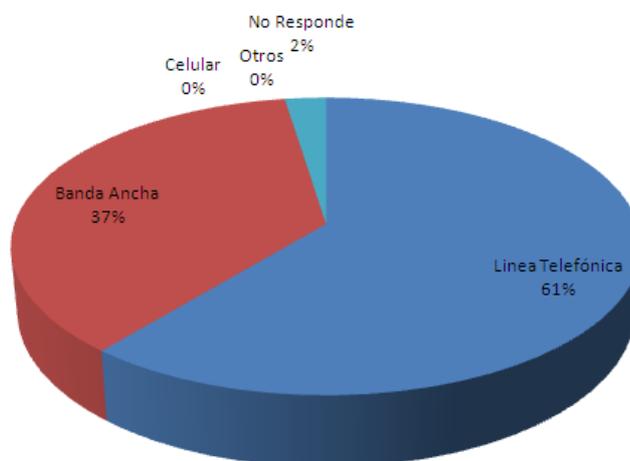


Figura 1.13 Porcentajes según el medio de acceso a Internet.

Esta pregunta fue contestada únicamente por las personas que en la *Pregunta 6*, afirmaron tener una conexión de Internet en el hogar.

Pregunta 8: ¿El servicio de Internet con el que cuenta es?

En la Tabla 1.9 y Figura 1.14 se muestran los resultados referentes a la calidad del servicio de Internet respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentajes
Excelente	2	5%
Bueno	4	10%
Regular	25	61%
Malo	10	24%
Total	41	100%

Tabla 1.9 Calidad de servicio de Internet actual según encuestados.

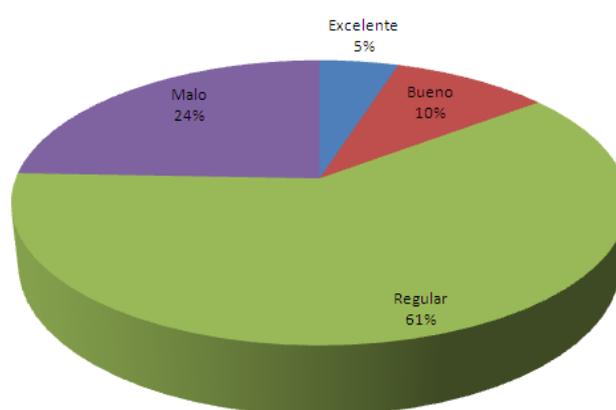


Figura 1.14 Calificación de servicio de Internet actual.

Al igual que en el caso anterior esta pregunta fue contestada únicamente por las personas que contestaron de manera afirmativa en la *Pregunta 6* es decir 41 de los encuestados totales.

En los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la mayor parte de las personas piensan que el servicio que están recibiendo por parte de su proveedor de Internet es *Regular* o *Malo*. Debido a que la mayoría de los encuestados manifiesta cierto grado de insatisfacción no sería erróneo pensar que estarían dispuestos a cambiar de proveedor, mientras este le ofrezca una mejora del servicio a un precio menor o similar.

Pregunta 9: ¿Contrataría un servicio de Internet de banda ancha en su hogar, con un valor mensual fijo dependiendo de la velocidad de transmisión?

En la Tabla 1.10 y Figura 1.15 se muestran los resultados referentes al tipo de paquete de Internet que estarían dispuestos a contratar respectivamente.

Opción	Respuestas	Porcentaje
25 USD/512 Kbps	41	25%
30 USD/1024 Kbps	20	11%
40 USD/2 Mbps	9	3%
No Contrataría	80	61%
Total	150	100%

Tabla 1.10 Porcentaje de encuestados según el paquete de Internet ofrecido.

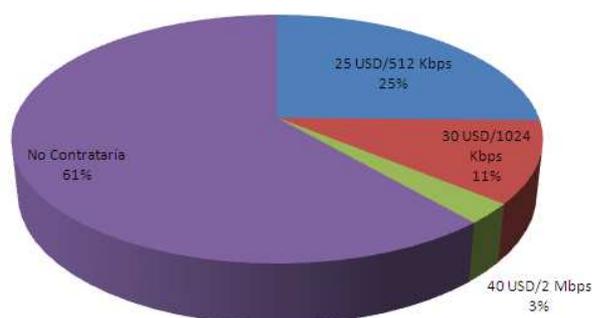


Figura 1.15 Paquete de Internet que contrataría.

Finalmente se planteó la pregunta en la que se propone a los encuestados la contratación de paquetes de Internet referenciales, los mismos que van acorde a los paquetes que se tienen actualmente en el mercado por otros proveedores de Internet de la zona.

Esta pregunta es muy importante para el presente Proyecto, ya que no ayudará a estimar la demanda inicial del servicio que tendrá el ISP. Con dichos cálculos de la

demanda inicial se realiza el dimensionamiento de la red, que tendrá el ISP previa proyección a 5 años.

2 ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA Y DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS Y CARACTERÍSTICAS DE UN ISP

2.1 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS FIJAS [18] [19]

2.1.1 LDMS (*Local Multipoint Distribution Service*) [21]

Es un sistema de comunicación inalámbrica de banda ancha con topología punto-multipunto que trabaja en la banda de 28-31 GHz, ofreciendo servicios multimedia y de difusión a los usuarios finales con una cobertura de 2 a 7 Km.

Esta tecnología ofrece anchos de banda superiores a los 500 Mbps, sin embargo en la práctica se tienen rangos que van desde 128 Kbps hasta los 155 Mbps.

LDMS es ideal para lugares de corto alcance y que requieran de un buen nivel de ancho de banda en un área relativamente pequeña; tal es el caso de campus universitarios o centros urbanos altamente concentrados.

La Figura 2.1 representa la arquitectura general de la tecnología LDMS.

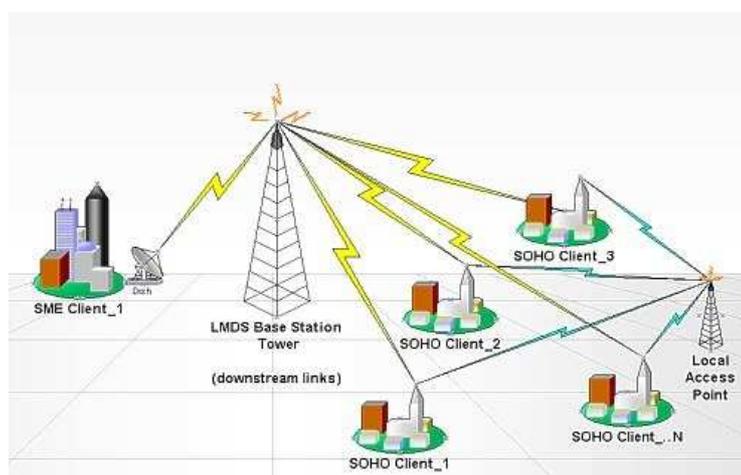


Figura 2.1 Arquitectura general de LDMS. [22]

La Tecnología LDMS es una solución basada en enlaces punto a multipunto la cual ha sido diseñada para brindar servicios de Internet, voz, datos, a un coste bajo y un tiempo mínimo de instalación.

Entre las principales ventajas que se tienen del uso de de esta tecnología se tiene:

- Los sistemas LDMS se pueden desplegar e instalar rápidamente en comparación con las tecnologías homólogas basadas en cable e incluso con relación a sus homólogas inalámbricas. Además, los sistemas pueden extenderse muy fácilmente, gracias a la naturaleza de su arquitectura.
- Gracias a las técnicas digitales que se han incorporado recientemente, LDMS permite acceso a redes de datos a alta velocidad, para el sector residencial como para el empresarial, en la Figura 2.2 se hace una comparación entre las tecnologías utilizadas.

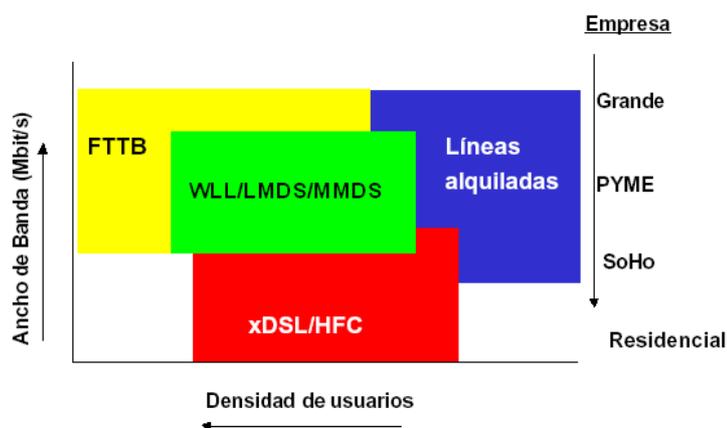


Figura 2.2 Tecnologías utilizadas y demanda de usuarios. [21]

- Esta tecnología presenta un importante potencial como tecnología de acceso. De igual forma, resulta atractiva para los nuevos operadores que no dispongan de grandes recursos financieros.

- Los costos de LDMS son muy inferiores a los del cable o tendido de fibra óptica, debido a que no requieren grandes inversiones de infraestructura.
- LDMS cuenta con la posibilidad de ofrecer servicios de transmisión de datos de banda ancha a zonas, donde por densidad o situación geográfica impide la instalación del cable, en la Figura 2.3 se puede observar la relación existente entre los diferentes medios y la capacidad de transmisión.

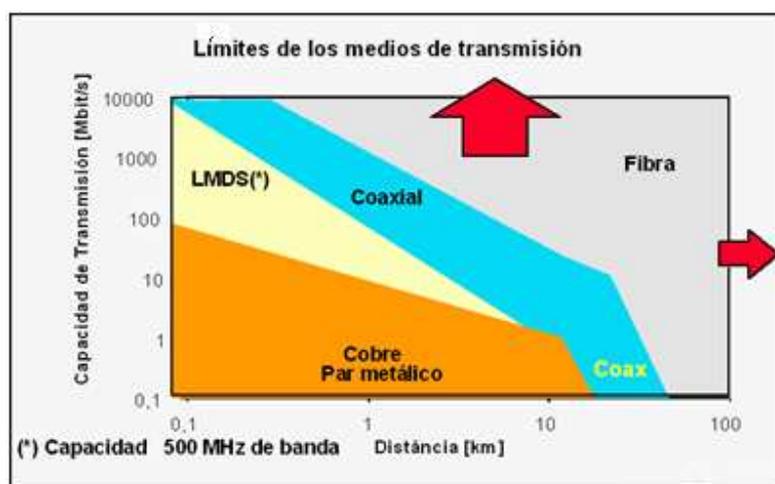


Figura 2.3 Relación tasa de transmisión vs distancia de las tecnologías de banda ancha. ^[21]

2.1.2 MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) [21]

Es un sistema de comunicación inalámbrica de banda ancha con topología punto-multipunto que trabaja en la banda de 2.5-2.7 GHz. Mediante su uso se pueden alcanzar anchos de banda desde 1Mbps hasta 2 Mbps con un alcance máximo de 57 Km a partir del RPC (Control de Radio Puerto).

Para su operación se requiere una óptima línea de vista entre el RP (Radio Puerto) y la antena del cliente. Es decir, la ruta de la señal debe de estar libre de obstrucciones, superficies reflectoras así como cualquier otro tipo de factores que absorban o disminuyan la señal.

La razón por la que esta tecnología requiere una ruta libre de obstáculos se debe a que esta señal es susceptible al efecto conocido como reflexión multicamino. En la Figura 2.4 se ilustra la arquitectura MMDS.

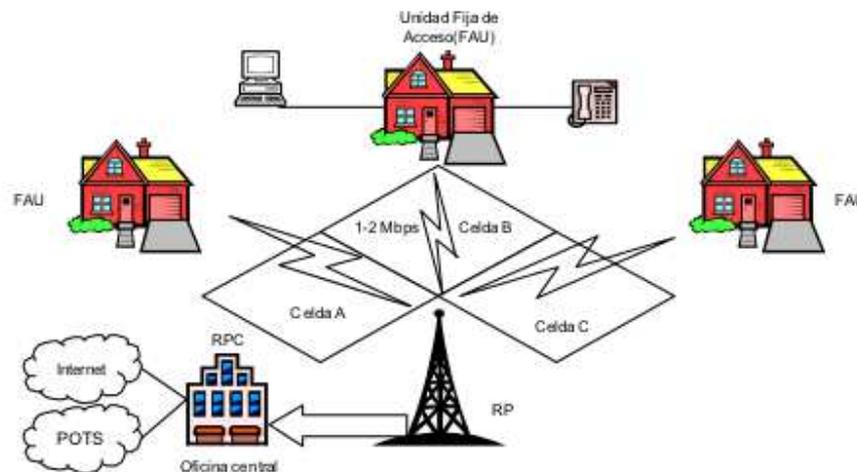


Figura 2.4 Arquitectura MMDS. ^[18]

En la Tabla 2.1 se hace una comparación entre las tecnologías LMDS y MMDS:

	LMDS	MMDS
Frecuencia de operación.	28-31 GHz	2.5-2.7 GHz
Zonas	Entornos Urbanos	Áreas remotas y áreas rurales.
Radio de cobertura.	2 – 7 Km	Hasta 50 Km
Costos de Equipos	Mayores que MMDS.	Menores que LMDS.
Ancho de Banda	128 Kbps – 155 Mbps	1 – 2 Mbps

Tabla 2.1 Comparación entre LMDS y MMDS. ^[21]

2.1.3 WLL (*Wireless Local Loop*) [21]

Esta tecnología tiene como propósito, proveer servicios de última milla, es decir enlaces para la capa de acceso mediante los cuales se brindan servicios de telefonía y de Internet de banda ancha.

En la Figura 2.5 se presenta un diagrama genérico que incluye una arquitectura punto-multipunto con una central de radio localizada en el LE (Intercambio Local).

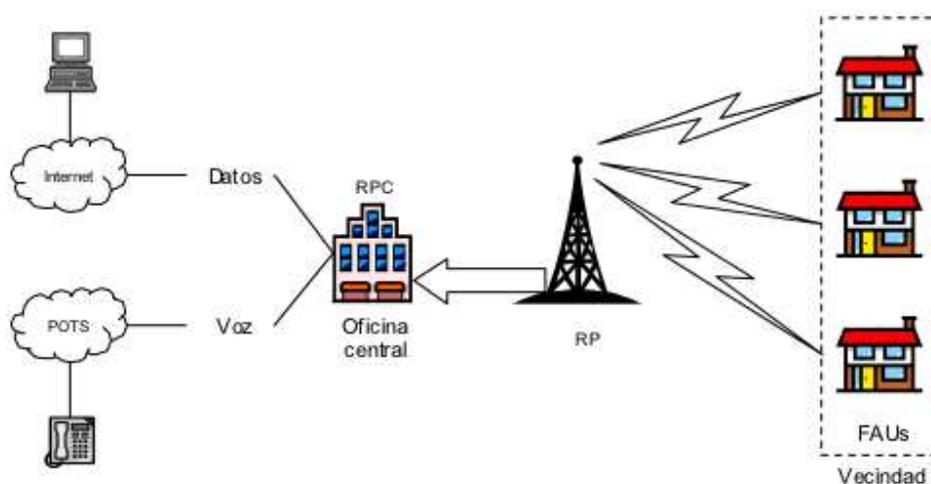


Figura 2.5 Arquitectura general de WLL. ^[18]

Como se puede observar el RPC (Control de Radio Puerto) se conecta a una serie de estaciones base llamadas RP (Radio Puerto) con un acceso fijo de vuelta al LE. Los RP son montados en antenas y distribuidos para cubrir áreas sectorizadas. Los radios, localizados en el edificio cliente o FAU (Arreglo de Unidades de Acceso), se conectan a una antena externa optimizada que permite tanto transmitir como recibir voz y datos desde el RP.

Las áreas de cobertura y el ancho de banda varían dependiendo de la tecnología empleada. Las áreas de cobertura pueden ser extendidas mediante el uso de repetidores entre las FAU y los RP.

2.1.4 PTP MICROWAVE (*Point-to-Point Microwave*)

Es una tecnología inalámbrica de banda ancha que está disponible en dos versiones diferentes, la primera cuenta con licencia y la segunda es sin licencia.

La versión con licencia permite tener un grado de interferencia o ruido menor a su homólogo no licenciado. Esta característica es crítica en dos instancias:

- Si resulta necesario mantener mayor grado de fiabilidad de la información que se transmite.
- Si el enlace se va a extender a una distancia muy amplia o a un área densamente poblada.

En cualquiera de los dos casos, la probabilidad de interferencia se incrementa.

La versión con licencia tiene como desventajas las cuotas de uso y el tiempo de emisión de la licencia.

En la Figura 2.6 se muestra el aspecto que posee, en términos generales, una infraestructura PTPM.



Figura 2.6 Arquitectura de PTPM. ^[23]

2.1.5 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS ÓPTICAS [24] [18]

Es una tecnología que usa la propagación de señales ópticas por el espacio libre similares a las que viajan a través de fibras ópticas para la transmisión de datos. Esta tecnología se conoce como FSO (*Free Space Optics*).

Los sistemas FSO utilizan *láser* infrarrojos de baja intensidad así como una serie de lentes y espejos que permiten dirigir y enfocar diferentes longitudes de onda de luz hacia un receptor óptico.

Esta tecnología requiere que tanto el emisor como el receptor mantengan siempre una perfecta línea de vista.

Las condiciones que afectan el desempeño de la comunicación en esta tecnología son la niebla, la obstrucción y en un menor grado la lluvia; debido a los requerimientos de visibilidad de la tecnología. La niebla representa un mayor problema que la lluvia, ya que las micro partículas de agua densas desvían las ondas de luz más que las de agua.

La tecnología es *full dúplex*, es decir, es capaz de transmitir y recibir información al mismo tiempo. Una de las ventajas que ofrece es que no requiere de licencias para el uso del espectro.

Los requerimientos de implementación sugieren que la distancia entre edificio y edificio sea de 303 m dependiendo de las condiciones de visibilidad y confiabilidad. Las velocidades de transmisión varían de acuerdo al fabricante pero oscilan de los 10 Mbps a los 155 Mbps a una distancia máxima de 3.75 Km y de 1.25 Gbps con una distancia máxima de 350 m. Aún así, esta tecnología se encuentra en pleno desarrollo y se espera que tanto las velocidades de transferencia así como las distancias de transmisión continúen incrementándose. La Figura 2.7 presenta un ejemplo típico de la implementación de esta tecnología.

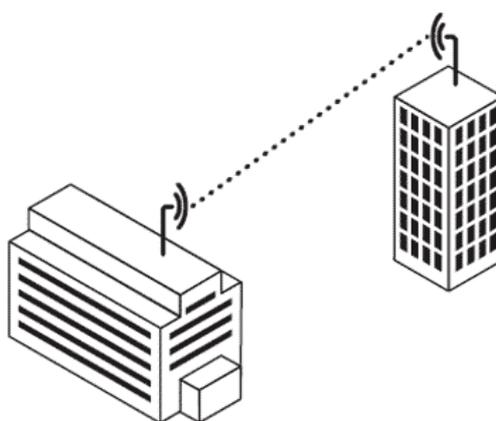


Figura 2.7 Sistema Inalámbrico Óptico. ^[25]

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIOENLACES [26] [27]

2.2.1 RADIOENLACE

Es la interconexión entre terminales de telecomunicaciones mediante ondas electromagnéticas, es decir, es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío por medio de ondas de radio de una señal hacia uno o varios nodos de una red.

2.2.2 PROPAGACIÓN DE ONDAS EN ESPACIO LIBRE

El conjunto de fenómenos por el cual las ondas de radio pueden viajar de un punto al otro se denomina Propagación. La onda puede atravesar diferentes medios o encontrarse con obstáculos y como resultado de ello sufrir importantes cambios de dirección e intensidad en el proceso. La propagación de las ondas dependerá del ambiente por el que viajan, pero también dependerá mucho de su longitud de onda.

2.2.2.1 Modos de propagación [27] [28]

La propagación no es debida a un único fenómeno físico, es por esto que existen varios modos de propagación posibles:

- La propagación por onda terrestre
- La propagación por onda *sky*
- La propagación por línea de vista

2.2.2.1.1 Propagación por onda terrestre

En este tipo de propagación la onda se mantiene adyacente a la superficie de la tierra siguiendo su curvatura por un proceso de difracción. Teniendo polarización vertical a partir de una corta distancia del trasmisor, pues cualquier componente del

campo eléctrico horizontal es rápidamente absorbida por la tierra. Para aprovechar de este tipo de propagación convendrá emplear antenas de polarización vertical.

Esta forma de propagación se da principalmente en ondas de las bandas de baja y mediana frecuencia (30 kHz a 3 MHz). Una de las ventajas que se tiene al usar este tipo de ondas se da cuando las antenas no tienen línea de vista directa entre el transmisor y el receptor, sin embargo el tamaño que pueden llegar a alcanzar las antenas hace que sea poco práctico su uso. En la Figura 2.8 se muestra un esquema de la trayectoria de una onda con propagación terrestre.



Figura 2.8 Propagación por onda terrestre. ^[29]

2.2.2.1.2 Propagación por onda sky

En este tipo de propagación las ondas de radio de más alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra. La densidad entre la troposfera y la ionosfera hace que cada onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. El uso de ondas sky en la transmisión permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida. Este tipo de propagación se presenta en ondas de frecuencias entre 2 a 30 MHz. En la Figura 2.9 se aprecia la trayectoria de propagación de una onda sky.



Figura 2.9 Propagación por onda sky. [29]

2.2.2.1.3 Propagación por línea de vista directa

En este tipo de propagación, las ondas de radio necesitan una perfecta línea de vista, para viajar desde el transmisor hacia el receptor. Generalmente se encuentra en ondas cuya frecuencia este de los 50 MHZ en adelante.

A estas frecuencias el haz de onda es muy directivo, por lo que se necesita tener exclusivo cuidado en el alineamiento de las antenas tanto del recetor como del transmisor para tener niveles de señal aceptables y evitar pérdidas en los enlaces.

En la Figura 2.10 se observa la trayectoria de propagación de una onda con línea de vista directa.

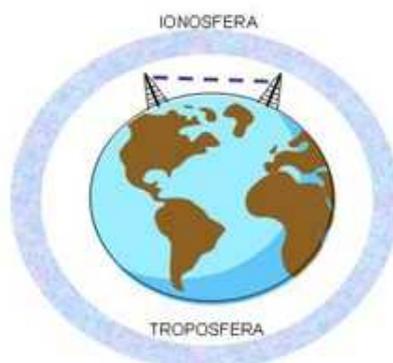


Figura 2.10 Propagación por línea de vista directa. [30]

2.2.3 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN [28]

Son provocados debido a las interacciones de las ondas con varios objetos en el ambiente, así como la tierra, edificios, vegetación, etc. Los principales mecanismos de propagación se describen brevemente a continuación:

2.2.3.1 Reflexión

La reflexión tiene lugar cuando una onda electromagnética propagada incide sobre un objeto que tiene dimensiones mayores que la longitud de onda propagada. La señal propagada choca contra una superficie, siendo esta señal absorbida, reflejada o una combinación de ambas. Esta reacción depende de las propiedades de la señal y de las propiedades físicas del material. Las propiedades físicas son la geometría de la superficie, la textura y el material del que esté compuesta. Las propiedades de la señal son el ángulo incidente de llegada, la orientación y la longitud de onda.

2.2.3.1.1 Reflexión especular

Este tipo de reflexión se presenta cuando una onda plana se propaga a través de medio e incide con un plano, un límite finito de dos medios con diferentes propiedades electromagnéticas, donde será parcialmente reflejada hacia el primer medio, y parcialmente transmitida (refractada) dentro del segundo medio. La propiedad básica de la reflexión especular es que la dirección de la onda reflejada es simétrica a la dirección de la onda incidente respecto a la superficie normal. En la Figura 2.11 se muestra un esquema de la reflexión especular.

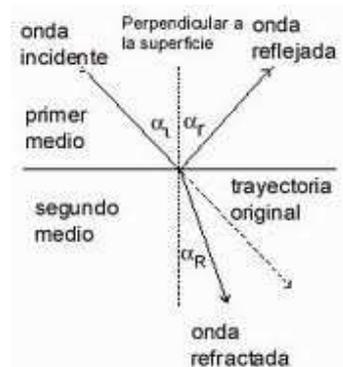


Figura 2.11 Reflexión especular. [31]

Al no existir las superficies infinitas en la realidad en la práctica es suficiente que la superficie sea mayor que la sección de cruce de la primera zona de Fresnel.

2.2.3.1.2 Reflexión difusa

Este tipo de reflexión se produce cuando una onda incide en una superficie rugosa que presenta distintas caras, por lo que las ondas reflejadas resultantes son más dispersas. La contribución de las propiedades difusas depende de la rugosidad de la superficie y del ángulo de incidencia. En la Figura 2.12 se muestra el efecto de la reflexión de una onda al incidir una superficie rugosa.

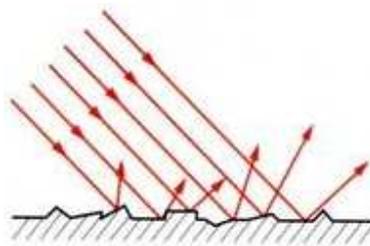


Figura 2.12 Reflexión y transmisión de una señal incidente. [32]

2.2.3.2 Difracción

La difracción ocurre cuando la trayectoria de radio entre el transmisor y el receptor está obstruida por una superficie que tiene irregularidades agudas (bordes). Las ondas secundarias resultantes desde la superficie obstructora están presentes a través del espacio e incluso detrás del obstáculo, dando lugar a una flexión de ondas alrededor del obstáculo, al igual que cuando no existe una trayectoria de línea de visión entre el transmisor y el receptor. A alta frecuencia, la difracción como la reflexión depende de la geometría del objeto así como la amplitud, la fase, y la polarización de la onda incidente al punto de difracción.

Un frente de onda difractado se forma cuando la señal transmitida incidente es obstruida por ángulos cortantes en la trayectoria como se muestra en la Figura 2.13.

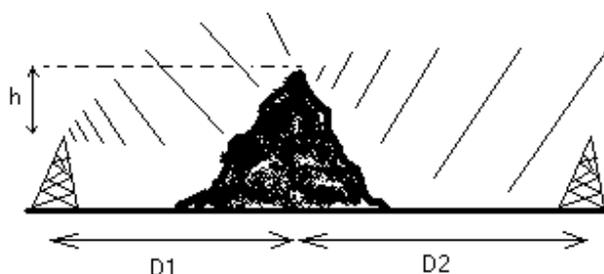


Figura 2.13 Fenómeno de difracción y esquema de transmisión. ^[33]

Cuando la trayectoria desde el transmisor hasta el receptor está sujeta a más de un obstáculo, o a más de una esquina, la pérdida total de difracción puede ser estimada añadiendo las pérdidas en dB de todos los ángulos.

2.2.3.3 Dispersión

La dispersión ocurre cuando el medio por el cual viaja la onda está formado por objetos con dimensiones pequeñas comparadas a la longitud de onda, y donde hay un gran número de obstáculos por volumen de unidad. Las ondas dispersadas son

producidas por las superficies ásperas, objetos pequeños, o por otras irregularidades en el canal. La dispersión es un proceso de interacción general entre las ondas electromagnéticas y varios objetos. En la Figura 2.14 se muestra los efectos de la dispersión al chocar una onda contra un objeto.



Figura 2.14 Dispersión de una señal transmitida. [28]

2.2.3.4 Propagación multicamino

La propagación multicamino, en telecomunicaciones inalámbricas, es el fenómeno que se origina cuando las señales de radio llegan a las antenas receptoras por dos o más caminos y en diferentes tiempos.

Estas ondas reflejadas interfieren con la onda directa, que causa la degradación significativa del funcionamiento de la red. Una red inalámbrica tiene que ser diseñada de tal manera que el efecto nocivo de estas reflexiones sea reducido al mínimo.

En entornos reales, el multicamino tiene lugar cuando hay más de una trayectoria disponible para la propagación de la señal de radio. Los fenómenos de reflexión, difracción y dispersión dan lugar a las trayectorias de radio adicionales de propagación más allá de la trayectoria óptica directa entre el radiotransmisor y el receptor.

Algunas señales ayudarán a la trayectoria directa, mientras que otras señales restarán del recorrido directo de la señal.

En la Figura 2.15 se muestra las diferentes trayectorias que toma la señal desde que sale del transmisor hasta el receptor.

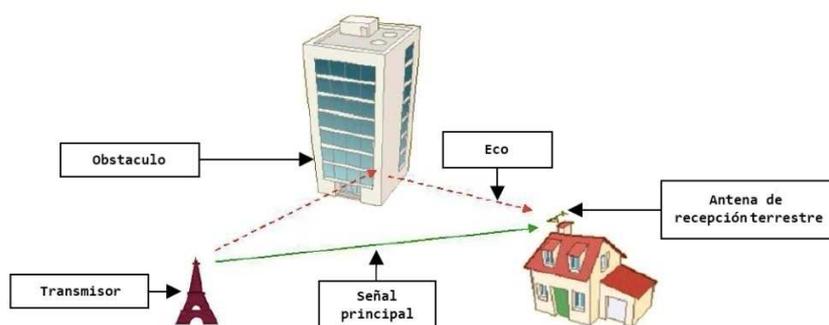


Figura 2.15 Propagación multicamino. [34]

2.2.3.4.1 *Multicamino especular*

Se presentan por reflexiones discretas, coherentes desde superficies de metal liso.

2.2.3.4.2 *Multicamino difuso*

Se presenta en fuentes de difracción, por ejemplo el rayo visible de la luz al incidir en un prisma.

Ambas formas de multicamino son malas para las comunicaciones por radio. El multicamino difuso proporciona un tipo de nivel de ruido de fondo de interferencia, mientras que el multicamino especular puede causar interrupciones en la señal o puntos muertos de radio dentro de un edificio. El funcionamiento apropiado del acoplamiento de la comunicación por radio requiere que el multicamino sea reducido al mínimo o eliminado.

Esto se muestra en el Figura 2.16 donde hay dos trayectorias, un camino con línea de visión y una trayectoria reflejada.

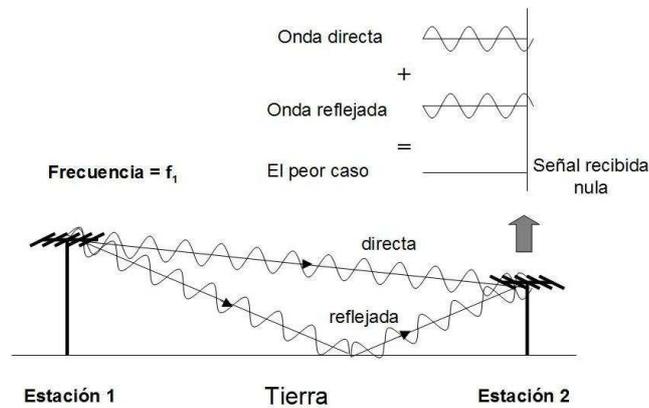


Figura 2.16 Multicamino de señales. [28]

2.2.4 LAS ZONAS DE FRESNEL [28] [38]

Se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° .

Para el caso de la transmisión las zonas de Fresnel son elipsoides que tienen sus puntos focales en las antenas ubicadas en A y B como se ilustra en la Figura 2.17.

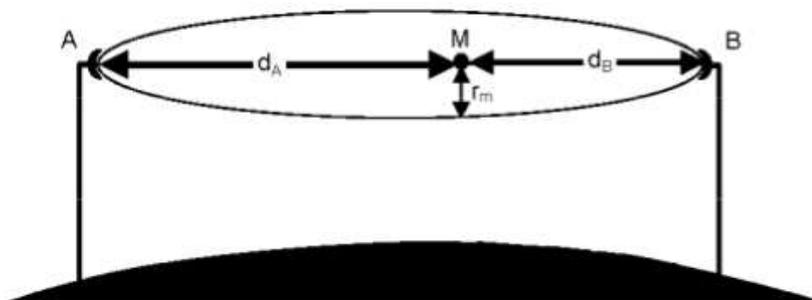


Figura 2.17 Cálculo de zonas y radios de Fresnel. [28]

Los radios de las diferentes zonas de Fresnel se definen por la Ecuación 2.1:

$$r_m = \sqrt{m\lambda \frac{d_A(d - d_A)}{d}}$$

Ecuación 2.1 Cálculo de los radios de las zonas de Fresnel.

Donde:

r_m : Radios de las zonas de Fresnel.

m : 1, 2, 3...

d : Distancia entre las antenas A y B. [Km]

d_A : Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [Km]

λ : Longitud de onda. [m]

La primera zona de Fresnel contiene casi la totalidad de la energía transmitida entre las antenas, lo cual resulta de suma importancia en el cálculo de atenuaciones introducidas por obstrucción.

El radio de la primera zona de Fresnel está dado por la ecuación 2.2:

$$r_1 = \sqrt{17.32 \frac{d_A(d - d_A)}{fd}}$$

Ecuación 2.2 Cálculo de la primera zona de Fresnel.

Donde f es la frecuencia dada en [GHz].

2.2.4.1 Despejamiento y línea de vista

El despejamiento puede ser descrito como un criterio que asegure que las alturas de las antenas son lo suficiente aún para el peor caso de refracción donde k (factor de corrección terrestre) es mínimo, de modo que la antena receptora no se ubique dentro de la zona de difracción.

En la Figura 2.18 se muestra la altura de despejamiento h_c :

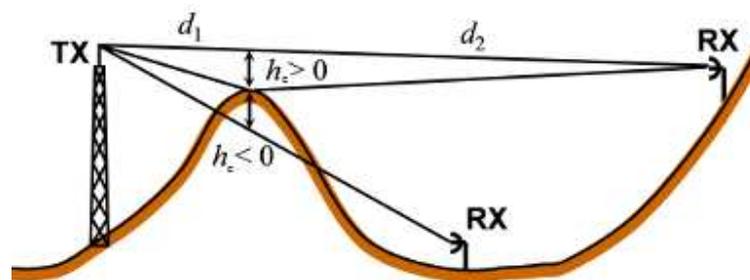


Figura 2.18 Altura de Despejamiento h_c . ^[28]

La altura de despejamiento h_c puede ser calculada por medio de la ecuación 2.3:

$$h_c = \frac{d_A(h_B + h_{BG}) + (d - d_A)(h_A + h_{GA})}{d} - h_{OBST} - \frac{d_A(d - d_A)}{k * 12.74} \text{ [m]}$$

Ecuación 2.3 Cálculo de la altura de despejamiento.

Donde:

d_A : Distancia desde la antena A al punto M (donde se calcula en radio). [Km]

d : Distancia entre las antenas A y B. [Km]

h_B : Altura del sitio B. [m]

h_{BG} : Altura de antena sobre el sitio B. [m]

h_A : Altura del sitio A. [m]

h_{GA} : Altura de antena sobre el sitio A. [m]

h_{OBST} : Altura del obstáculo. [m]

k : Factor de corrección terrestre.

Para el enlace directo entre un transmisor y un receptor es recomendable usar una altura de despejamiento de al menos un 60% del radio de la primera zona de Fresnel; esto con el fin de asegurar la propagación de las ondas en el espacio libre.

2.2.4.2 Radio equivalente de la Tierra [28]

El radio equivalente de la tierra se describe como un rayo directo entre dos antenas por el cual se propagan las ondas. En el espacio libre, este enlace se describiría como una línea recta, también llamada línea de vista óptica. Si de lo contrario, las antenas se ubican en una superficie esférica rodeada por una atmósfera, la propagación de las ondas se ve afectada cuando las mismas viajan por las diferentes capas de la atmósfera. En este caso el rayo no sigue la línea de vista óptica, más bien describe una curva entre las antenas.

La forma de la curva varía en función del índice de refracción de la atmósfera. Para simplificar la descripción de la curvatura de este rayo, se introduce el concepto de superficie equivalente de la Tierra, para el cual se tiene un radio equivalente. El radio equivalente de la Tierra se define por la Ecuación 2.4:

$$R_e = k * R \text{ [m]}$$

Ecuación 2.4 Cálculo del radio equivalente de la tierra.

Donde:

k : Factor de corrección terrestre

R : Radio real de la Tierra ($6,37 \times 10^6 \text{ m}$)

En la Figura 2.19 se puede observar la diferencia entre la superficies terrestre real y la superficie terrestre equivalente.

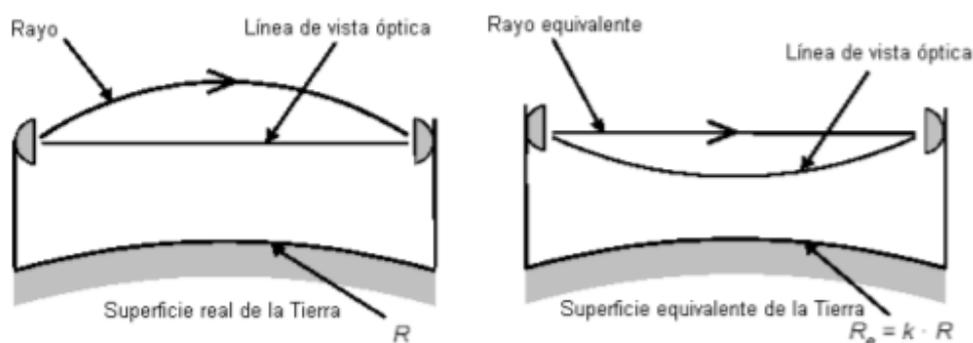


Figura 2.19 Comparación entre las superficies real y equivalente de la Tierra. ^[28]

2.3 PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN [35]

2.3.1 PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE [36]

Se suele definir como la pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse por una línea recta en un medio homogéneo que puede ser considerado infinito en todas direcciones.

Las pérdidas por propagación en el espacio libre son las más frecuentes entre un transmisor y un receptor.

Para la deducción de las pérdidas se toma en cuenta la densidad espectral de potencia, tal como se muestra en la Ecuación 2.5.

$$FLS_{(dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 92.5 + 20 \log d + 20 \log f \quad [dB]$$

Ecuación 2.5 Cálculo de pérdidas por espacio libre

Donde:

$FLS_{(dB)}$: Pérdidas en el espacio libre [dB]

d : Distancia desde la antena transmisora [Km]

λ : Longitud de onda [m]

f : Frecuencia [GHz]

Las pérdidas en el espacio libre como función de la distancia se ilustran en la Figura 2.20 en el rango de frecuencia de 1 a 50 [GHz].

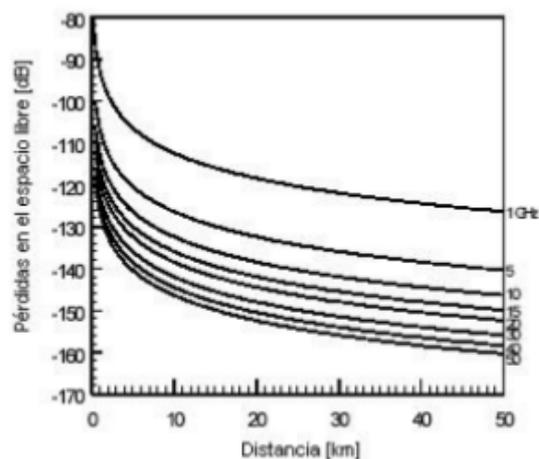


Figura 2.20 Pérdidas en el espacio libre en función de la distancia a diferentes frecuencias. ^[36]

2.3.2 PÉRDIDAS POR GASES EN LA ATMÓSFERA [36]

Las atenuaciones específicas en [dB/km] debidas al vapor de agua y al oxígeno, son calculadas en forma separada y después sumadas para dar la atenuación específica total A_G . Esto se muestra en la Ecuación 2.6.

$$A_G = (\gamma_o + \gamma_w) [dB]$$

Ecuación 2.6 Cálculo de pérdidas por gases en la atmósfera.

Donde:

A_G : Atenuación total por gases [dB]

γ_o : Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/Km]

γ_w : Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/Km]

La absorción total específica debida a los efectos del oxígeno y al vapor de agua se define por la Ecuación 2.7:

$$\gamma_G = (\gamma_o + \gamma_w) [dB]$$

Ecuación 2.7 Cálculo de la absorción total específica.

Donde:

γ_G : Atenuación total específica por gases [dB/Km]

γ_o : Absorción específica debida a los efectos del oxígeno (aire seco) [dB/km]

γ_w : Absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/Km]

La atenuación total específica depende fuertemente de la frecuencia, temperatura y humedad de la atmósfera como se muestra en la Figura 2.21.

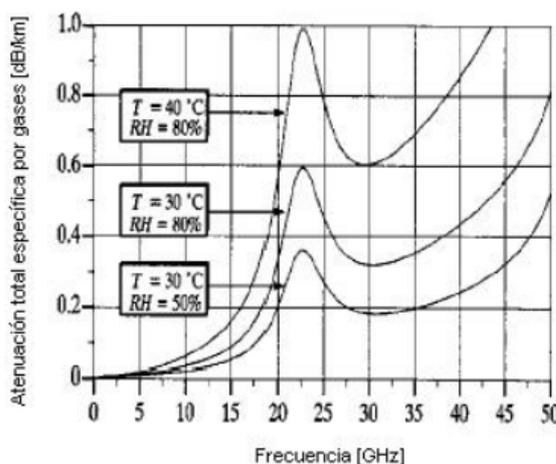


Figura 2.21 Atenuación total específica debida a Gases vs Frecuencia. ^[36]

2.3.3 PRECIPITACIÓN [37]

El efecto de la precipitación, en especial el de la lluvia, puede ser de importancia considerable, dependiendo de la banda de frecuencia y de la intensidad de la precipitación. La dispersión y absorción de las ondas de radio por la lluvia causan atenuación. Aunque todas las frecuencias están sujetas a estos efectos, la atenuación por lluvia es de suma importancia para las frecuencias que se encuentran por arriba de los 10 [GHz]. La atenuación específica puede ser obtenida de gráficos especiales en los que se ilustra la interdependencia de la atenuación en [dB/Km] y la frecuencia en [GHz] como se muestra en la Figura 2.22

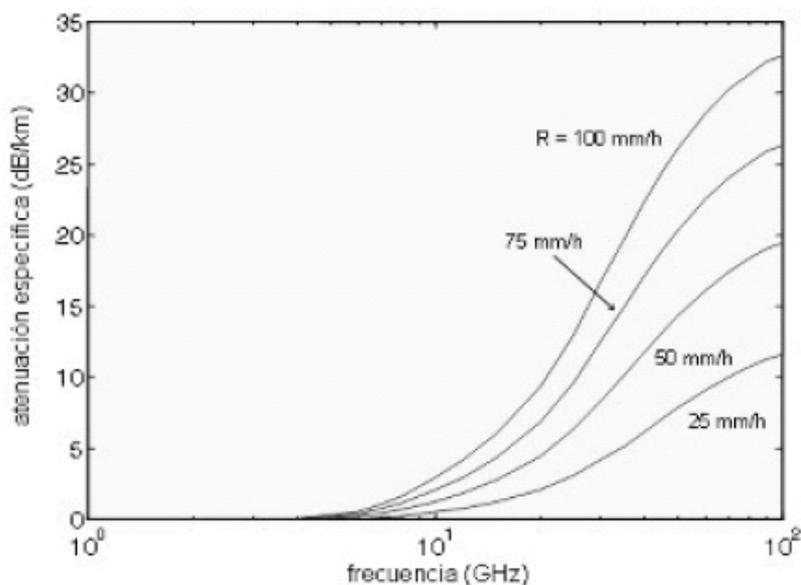


Figura 2.22 Atenuación específica para distintas intensidades de lluvia. [39]

La atenuación causada por la lluvia puede ser evaluada introduciendo un factor de reducción, que toma en consideración el tamaño de las nubes en el enlace de radio, determinando así una longitud de plano efectiva, multiplicando la longitud actual del enlace por el factor de reducción.

Se debe señalar que el índice de precipitación es un parámetro muy dependiente de la localización geográfica del enlace. Para efectos de planeamiento de redes, la Tierra está dividida en 16 diferentes zonas para las cuales se pueden obtener diferentes índices.

La atenuación total debida a la precipitación puede ser calculada por medio de la Ecuación 2.8 mostrada a continuación:

$$A_R = \gamma_R * d_{eff} [dB]$$

Ecuación 2.8 Cálculo de la atenuación total por precipitación.

Donde:

A_R : Atenuación total debida a la precipitación. [dB]

γ_R : Atenuación específica debida a la lluvia. [dB/Km]

d_{eff} : Longitud efectiva del enlace. [Km]

La atenuación específica debida a la lluvia se calcula usando la ecuación 2.9.

$$\gamma_R = k_f * R^{\alpha_f}$$

Ecuación 2.9 Cálculo de atenuación específica por lluvia.

Donde:

γ_R : Atenuación específica debida a la lluvia.

k_f, α_f : Coeficientes dependientes de la frecuencia.

R : Intensidad de la lluvia. [mm/h]

Los coeficientes k_f y α_f se definen mediante la Ecuación 2.10.

$$k_f = \frac{k_H + k_V + (k_H + k_V)\cos^2\theta * \cos 2\tau}{2}$$

$$\alpha_f = \frac{k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta * \cos 2\tau}{2k_f}$$

Ecuación 2.10 Cálculo de coeficientes de atenuación por lluvia.

Donde:

θ : Inclinación del enlace.

τ : Ángulo de polarización respecto al plano horizontal.

Los valores de las constantes de atenuación por lluvia para las frecuencias entre 1 y 20 [GHz] se muestran en la Tabla 2.2:

Frecuencia [GHz]	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065

Tabla 2.2 Constantes utilizadas en el cálculo de la atenuación por lluvia. ^[40]

2.4 ANTENAS [41]

La antena es un dispositivo físico que sirve de interfaz entre las ondas electromagnéticas guiadas por el cable o la guía de onda y el espacio libre o el aire.

Existe una gran cantidad de maneras de lograr la transferencia de energía desde el alimentador al espacio por lo que las antenas pueden ser físicamente muy diversas.

2.4.1 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES [42]

La antena debe transferir la máxima cantidad de energía desde el cable o guía de onda procedente del transmisor hacia la dirección donde se encontrará la estación receptora correspondiente. Por esta razón tanto la antena como la guía de onda deben estar acopladas, con el fin de evitar que parte de la energía entregada a la antena sea reflejada hacia el alimentador donde puede inclusive causar daños.

Un aspecto fundamental de las antenas es el principio de reciprocidad, que establece que el comportamiento de la antena en transmisión es idéntico al comportamiento de la antena en recepción.

Así, una antena que transmita máxima señal en una dirección dada, también recibirá máxima señal en esa dirección.

Entre las principales características de las antenas podemos encontrar:

2.4.1.1 Ganancia de antena [41]

Para comprender a la ganancia de las antenas, primero se debe entender el concepto de antena isotrópica:

2.4.1.1.1 Antena Isotrópica:

Es aquella que irradia o recibe desde todas las direcciones con la misma intensidad.

Aunque es físicamente irrealizable, el concepto de antena isotrópica se utiliza como modelo de comparación con las antenas reales. Como irradia con igual eficacia en todas direcciones, su diagrama o patrón de radiación es una esfera.

En la Figura 2.23 se muestra el patrón de radiación para una antena isotrópica mostrado en los tres planos cartesianos.

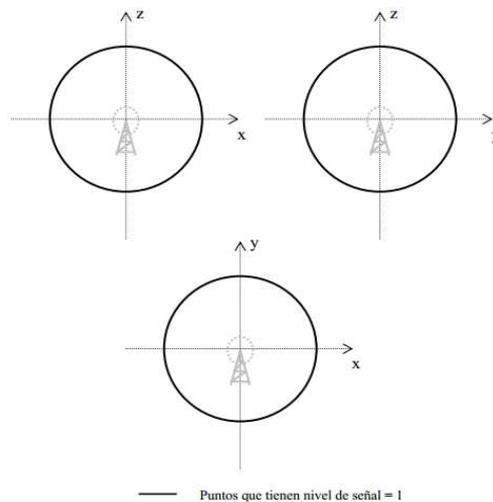


Figura 2.23 Patrón de radiación de la antena isotrópica. [43]

Se define a la ganancia de una antena dada como el cociente entre la cantidad de energía irradiada en la dirección preferencial y la que irradiaría una antena isotrópica alimentada por el mismo transmisor. Este número lo expresamos en decibelios con relación a la isotrópica y por ende se denota en *dBi*.

La potencia se suele representar en decibeles si se hace referencia a potencias respecto a la antena isotrópica, esto se expresa usando la Ecuación 2.11

$$G_{dBi} = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_{iso}} [dBi]$$

Ecuación 2.11 Ganancia de la antena con respecto a la antena isotrópica. [44]

Donde:

G_{dBi} : es la ganancia de una antena con respecto a la antena isotrópica.

P_A : es la potencia radiada por la antena en una dirección dada.

P_{iso} : es la potencia radiada por la antena isotrópica.

La ganancia de antena es una manera de medir cuán directiva es una antena, en comparación con una antena isotrópica. Entre más grande sea la ganancia de una antena, esta es más directiva y el haz de radio es más angosto.

La ganancia de una antena es el producto de la directividad, generalmente determinada por factores geométricos, y la eficiencia de la antena, que depende del material de la que está construida y de las imperfecciones de manufactura.

Algunas veces la ganancia de las antenas es expresada en decibelios con respecto al dipolo por lo que se denota como dBd^2 . Una antena dipolo tiene un ganancia de 2,14 dBi comparado con una antena isotrópica. Por ello, si la ganancia de una antena dada se expresa en dBd resultará en un valor inferior en 2,14 dB respecto a la ganancia de la misma antena expresada en dBi . La Ecuación 2.12 resume lo anteriormente expresado:

$$\text{Ganancia en } dBd = \text{Ganancia en } dBi - 2,14$$

Ecuación 2.12 Cálculo de ganancia de una antena en dBd

2.4.1.2 Diagrama de radiación [42] [45]

El diagrama o patrón de radiación es una gráfica de la potencia de la señal transmitida en función del ángulo espacial. En ellos se puede apreciar la ubicación de los lóbulos laterales y traseros, los puntos en los cuales no se irradia potencia llamados Nulos y los puntos de media potencia.

En el diseño de antenas se trata de reducir al mínimo los lóbulos secundarios, laterales y traseros ya que generalmente son perjudiciales, esto se logra mediante la modificación de la geometría de la antena.

En la Figura 2.24 se muestra un diagrama de radiación típico para una antena Yagi-Uda con cada una de sus partes.

² Decibelios con respecto al dipolo

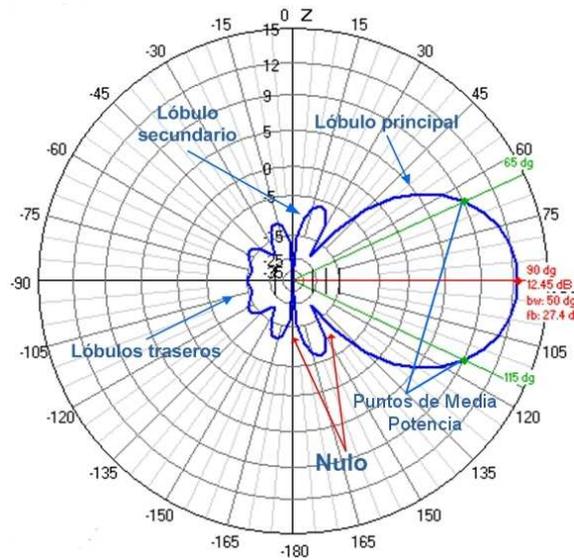


Figura 2.24 Diagrama de radiación. [44]

Los diagramas de radiación son volúmenes y como tal se representan en forma tridimensional, en la Figura 2.25 podemos ver dos diagramas de radiación, en la que se ha representado la intensidad de potencia en varios colores.

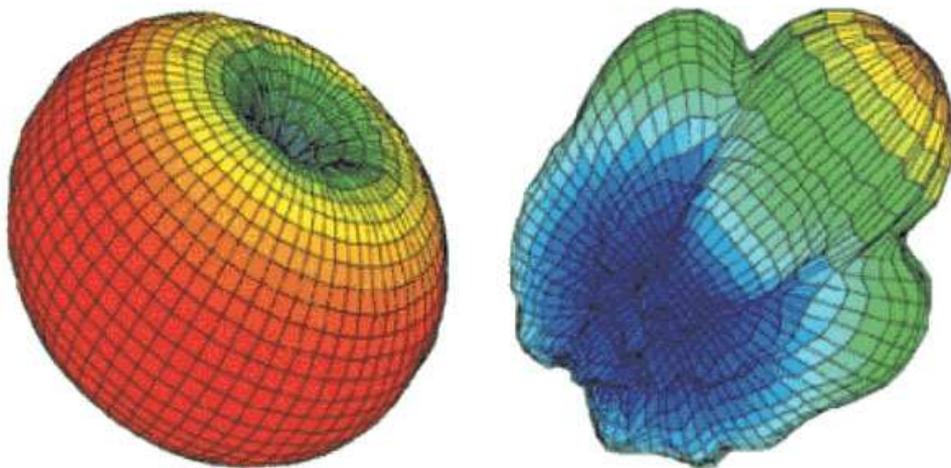


Figura 2.25 Diagrama de radiación tridimensional. [46]

Normalmente los diagramas de radiación se representan de forma bi-dimensional en dos planos, el vertical y el horizontal, estos planos son presentados en coordenadas rectangulares o en coordenadas polares como se muestra en las Figuras 2.26 y 2.27.

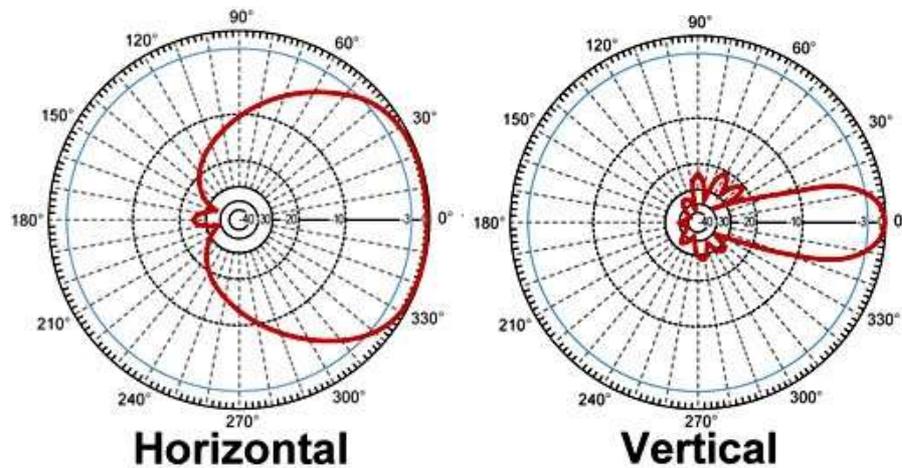


Figura 2.26 Representación de un diagrama de radiación en coordenadas polares para una antena sectorial. ^[47]

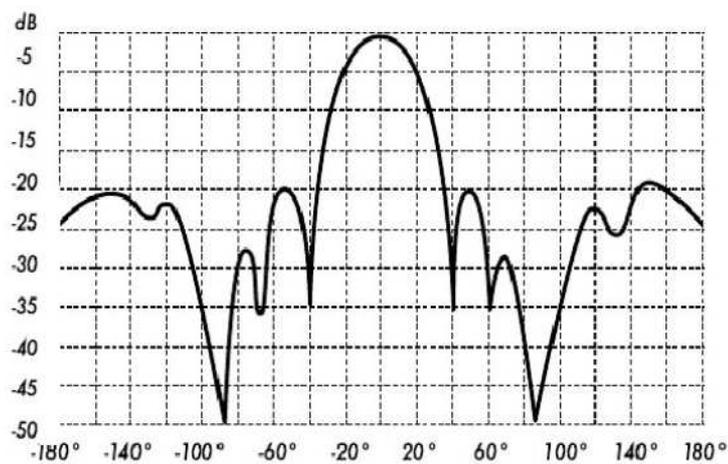


Figura 2.27 Representación de un diagrama de radiación de una antena Yagi en coordenadas rectangulares. ^[48]

2.4.1.3 Ancho del haz

El ancho del haz o *beamwidth* es el ángulo comprendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad, es decir -3 dB respecto a la radiación máxima. En la Figura 2.28 se muestran los puntos de media potencia desde donde se mide el ancho del haz del lóbulo.

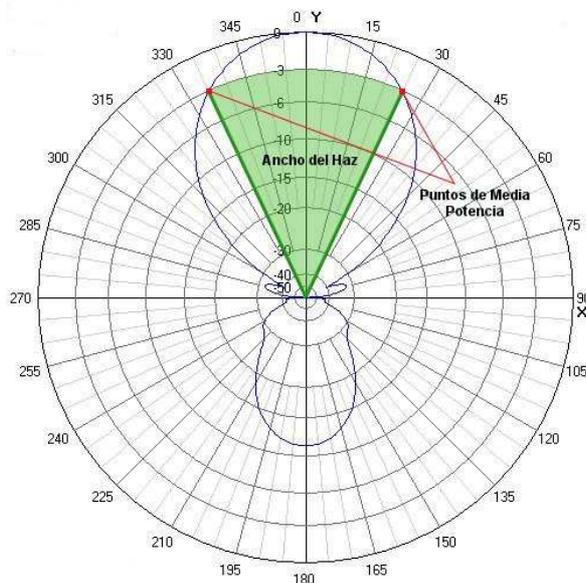


Figura 2.28 Puntos de media potencia en un diagrama de radiación. ^[47]

Usando el diagrama de radiación de la Figura 2.25, podemos determinar la cobertura espacial donde la antena ofrece buena cobertura. El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido como ancho del haz y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical. Sólo en el caso de una antena con simetría circular perfecta ambos ángulos son iguales.

Existe una relación inversa entre la ganancia y la extensión de la cobertura: una antena de alta ganancia tendrá una anchura de haz muy pequeña.

2.4.1.4 Polarización de la antena [49]

Una onda electromagnética está formada por campos eléctricos y magnéticos íntimamente ligados que se propagan en el espacio. La dirección del campo eléctrico determina la polarización de esta onda. La polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena.

Esta polarización puede ser: Vertical, Horizontal y Elíptica, Circular.

2.4.1.4.1 Polarización Vertical

Si el campo eléctrico permanece en la dirección vertical durante toda la trayectoria de una onda decimos que tiene polarización vertical, para un dipolo el movimiento de los electrones dentro del alambre corresponde al del campo eléctrico y por lo tanto define la polarización. En la Figura 2.29 se muestra la dirección del campo magnético para la polarización vertical con relación a la orientación de la antenna.

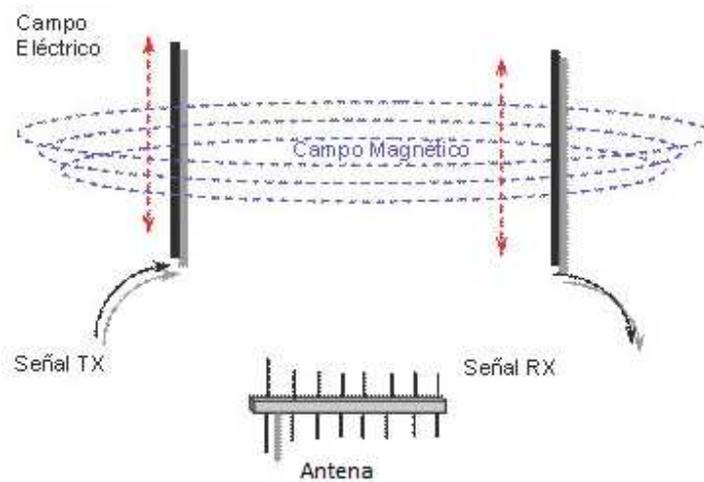


Figura 2.29 Polarización Vertical. ^[50]

2.4.1.4.2 Polarización Horizontal

Si colocamos el alambre que forma la antena horizontalmente, tendremos polarización horizontal, es decir, el campo eléctrico se propagará de manera horizontal a la trayectoria. En la Figura 2.30 se muestra la disposición del campo magnético en la polarización horizontal con relación a la posición de la antena.

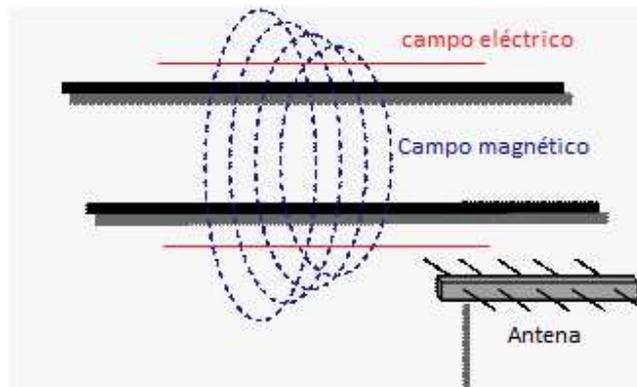


Figura 2.30 Polarización Horizontal. ^[51]

2.4.1.4.3 Polarización Elíptica

La polarización elíptica se produce cuando el campo eléctrico va girando en el plano perpendicular a la dirección de propagación, como un sacacorchos. Tiene ciertas ventajas en transmisión satelital. Este tipo de polarización la producen las antenas helicoidales. En la Figura 2.31 se muestran la disposición del campo eléctrico y magnético para una polarización elíptica.

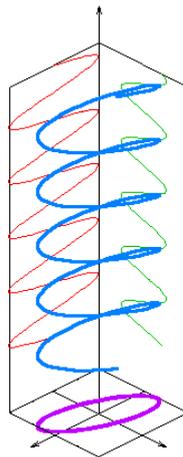


Figura 2.31 Polarización elíptica. ^[52]

2.4.2 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS [42] [45]

2.4.2.1 Pérdida de retorno

La pérdida de retorno es una forma de expresar el desacople de impedancias. Compara la potencia reflejada por la antena con la potencia entregada por el transmisor.

Siempre existe cierta cantidad de energía que va a ser reflejada hacia el transmisor, pero una pérdida de retorno elevada implica un funcionamiento inadecuado de la antena.

2.4.2.2 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena es el rango de frecuencias en el cual la misma puede operar.

2.5 TIPOS DE ANTENAS [49] [53]

2.5.1 MONOPOLO VERTICAL

El monopolo vertical es una antena constituida de un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical.

Se considera que el monopolo no es una antena completa, y que necesita ser completada por un plano conductor para poder funcionar correctamente. Este plano conductor puede ser natural como la superficie de la tierra, o bien artificial como una serie de conductores que se unen en la base del monopolo.

El monopolo se alimenta en la base. La alimentación es asimétrica, es decir, cuando uno de los conductores del monopolo está a masa y el otro experimenta las variaciones de tensión, se dice que la alimentación es asimétrica. Habitualmente se alimenta con cable coaxial. En la Figura 2.32 se ilustra una antena monopolo de cuarto de onda donde λ es la longitud de onda

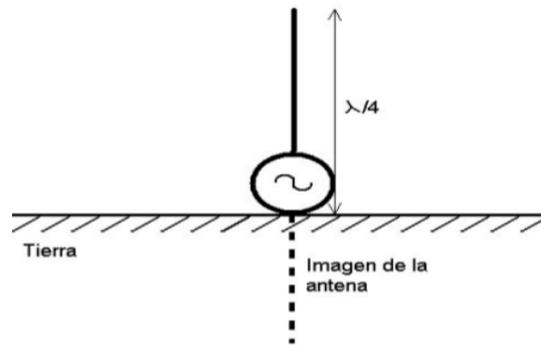


Figura 2.32 Antena Monopolo. [53]

La antena vertical emite en polarización vertical, o sea, el campo eléctrico es perpendicular al plano del suelo. En la Figura 2.33 se ilustra esta particularidad.

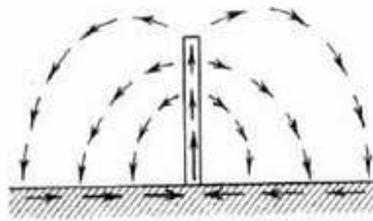


Figura 2.33 Distribución de corriente en un Monopolo Vertical. [54]

En la Figura 2.34 se observa el diagrama de radiación tridimensional para el monopolo.

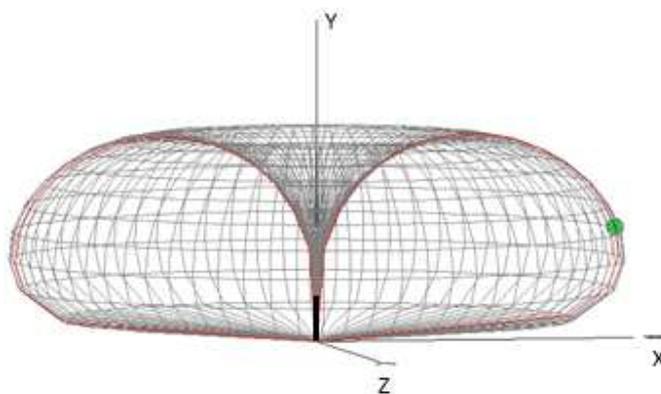


Figura 2.34 Diagrama de radiación tridimensional del monopolo. [53]

2.5.2 DIPOLO DE MEDIA ONDA

Esta antena es la más sencilla de construir en una variedad de frecuencias. Está formada por dos trozos de material conductor, cada uno de un cuarto de longitud de onda. Si se conecta a la línea de alimentación por el centro, la distribución de corriente y de voltaje es simétrica. Ofrece una impedancia de 72 ohmios .

Este tipo de antena forma la base de muchos otros, y puede utilizarse para polarización horizontal o vertical, dependiendo la manera en que se disponga. En la Figura 2.35 se muestra la forma de un dipolo de media onda.

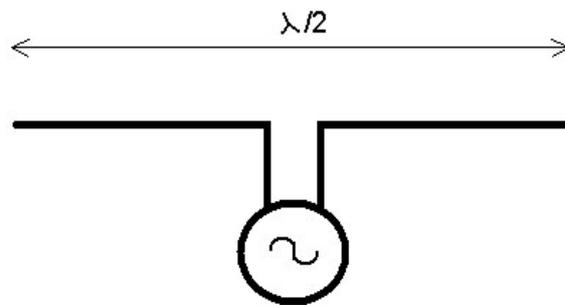


Figura 2.35 Dipolo de media onda. [55]

En la Figura 2.36 se observa el diagrama de radiación del dipolo.

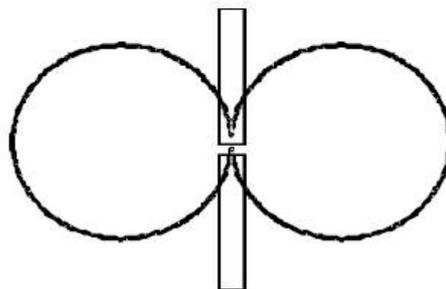


Figura 2.36 Diagrama de radiación del dipolo. [56]

2.5.3 DIPOLO DOBLADO

Cerrando el dipolo pero manteniendo la misma dimensión, se aumenta el ancho de banda y la resistencia de entrada. Este es muy utilizado en televisión. En la Figura 2.37 se ilustra un dipolo doblado.

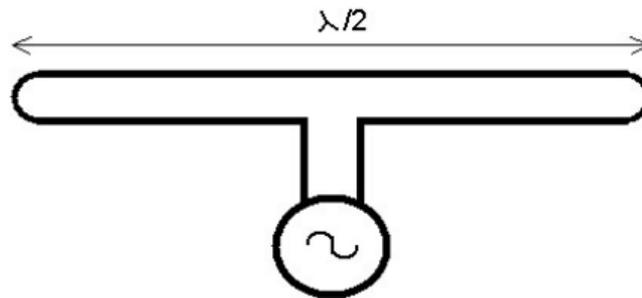


Figura 2.37 Dipolo doblado. [53]

En la Figura 2.38 se observa el diagrama de radiación del dipolo.

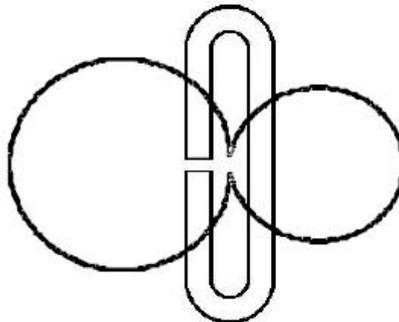


Figura 2.38 Diagrama de radiación del dipolo doblado. [56]

2.5.4 ANTENA YAGI-UDA

El dipolo de media onda tiene una ganancia de apenas 2,1 *dBi*. Para alcanzar grandes distancias, se desarrolló una antena formada por un dipolo de media onda al que le añadió otro dipolo ligeramente más largo en la parte posterior, que hace las veces de un reflector y varios dipolos de longitud ligeramente inferior que actúan

como directores, contribuyendo a enfocar la energía en la misma dirección. La ganancia de la antenna se puede aumentar al incrementar el número de elementos directores, lo cual está limitado sólo por consideraciones mecánicas. En la banda de 2,4 GHz es fácil obtener ganancias de unos 14 dB. En las Figuras 2.39 y 2.40 se muestra el diseño de una antenna Yagi-Uda con sus respectivos patrones de radiación.

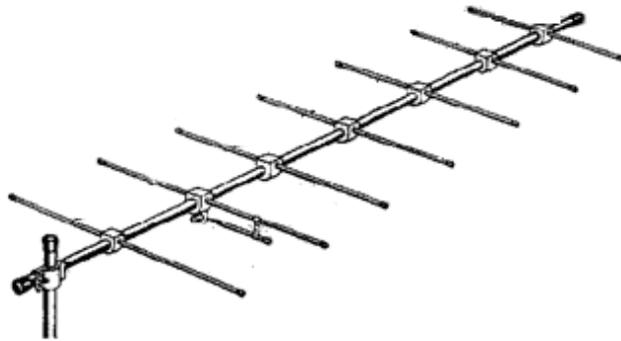


Figura 2.39 Antena Yagi-Uda. [57]

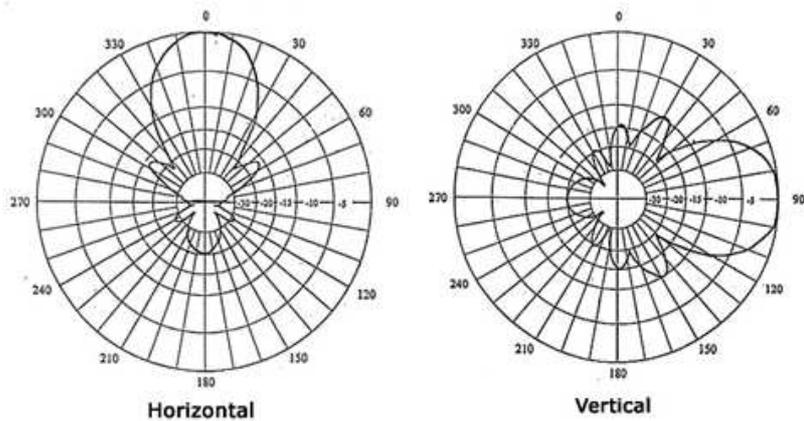


Figura 2.40 Patrón de radiación de una antena Yagi-Uda. [58]

2.5.5 ANTENA LOOP O DE LAZO

Esta antena es empleada principalmente en recepción. Es común en televisores UHF. En la Figura 2.41 se muestra la forma de una antena de lazo.

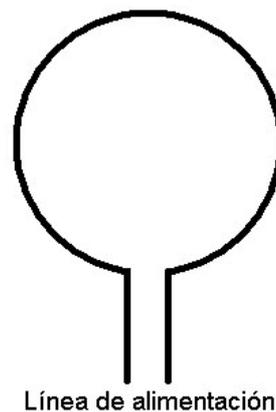


Figura 2.41 Antena de lazo. [59]

En la Figura 2.42 se observa el diagrama de radiación típico de la antena lazo o *loop*.

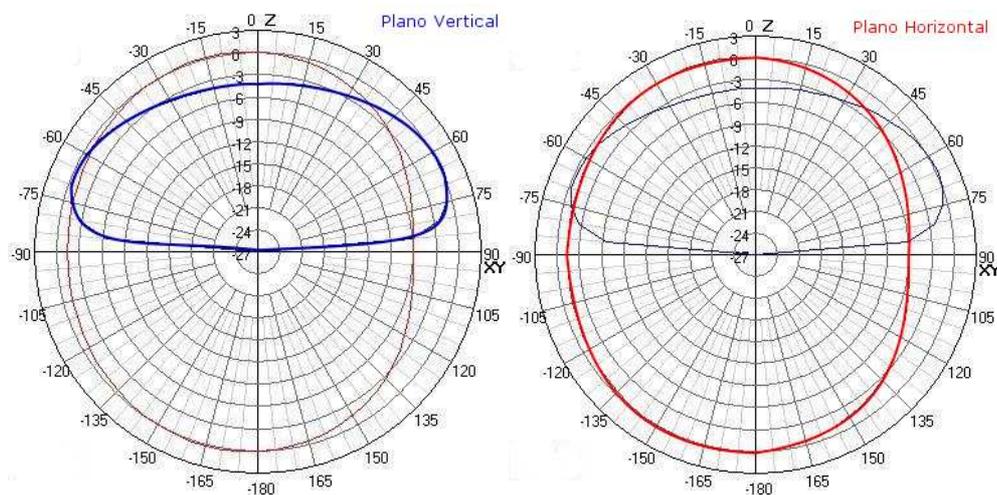


Figura 2.42 Diagrama de radiación de la antena lazo o *loop*. [58]

A continuación se indican las ventajas que se tiene al utilizar este tipo de antena:

- Pequeñas dimensiones.
- Mayor radiación en el plano del lazo.
- Gran ancho de banda.
- Eficiente como antena R_x .

2.5.6 ANTENAS OMNI-DIRECCIONALES

Las antenas omni-direccionales tienen un diagrama de radiación constante sobre los 360 grados en el plano. Son muy utilizadas en estaciones bases, cuando se quiere cubrir todas las direcciones. Tanto el dipolo de media onda como la antena de Marconi son omnidireccionales, pero su ganancia es muy reducida, por lo que para las estaciones bases se suele buscar antenas que ofrezcan mayor ganancia, las cuales se pueden construir combinando antenas elementales en lo que se conoce como arreglos de dipolos. La ganancia de una antena omni-direccional de este tipo es de alrededor de 8 a 12 *dB*. Son usadas para implementar enlaces punto a multipunto cuyas coberturas van de 1 - 5 *Km*, especialmente en combinación con antenas altamente directivas en las instalaciones del cliente. Obsérvese que la ganancia en el plano horizontal se obtiene disminuyendo la radiación hacia arriba y hacia abajo, como puede constatarse en la Figura 2.43.



Figura 2.43 Antena Omni-direccional. ^[60]

En la Figura 2.44 se observa el diagrama de radiación de la antena omnidireccional.

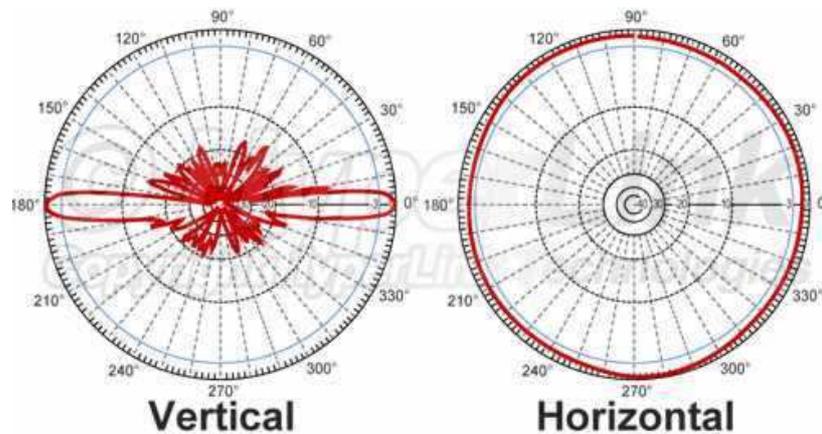


Figura 2.44 Diagrama de radiación de la antena omnidireccional. [61]

2.5.7 ANTENAS SECTORIALES

Las antenas sectoriales también se emplean en las estaciones bases, donde ofrecen ventajas adicionales como, mejor ganancia a expensas de cubrir una zona más restringida y posibilidad de inclinarlas para dar servicio a las zonas de interés. Combinando varias antenas sectoriales se puede dar cobertura en todo el plano horizontal, con mejor ganancia que la ofrecida por una omnidireccional, pero a mayor costo.

Normalmente, una antena sectorial tiene una ganancia más alta que las antenas Omni-direccionales las misma que se encuentra en el rango de 10 - 19 *dBi*. Este tipo de antena se usa generalmente para servir radios de 15 *Km*. Un valor común de ganancia para una antena sectorial es de 14 *dBi* para un ancho del haz horizontal de unos 90° y un ancho del haz vertical de 20°.

En las Figuras 2.45 y 2.46 se observa el diseño de una antena sectorial, con sus respectivos patrones de radiación.



Figura 2.45 Antena sectorial de 180°. [62]

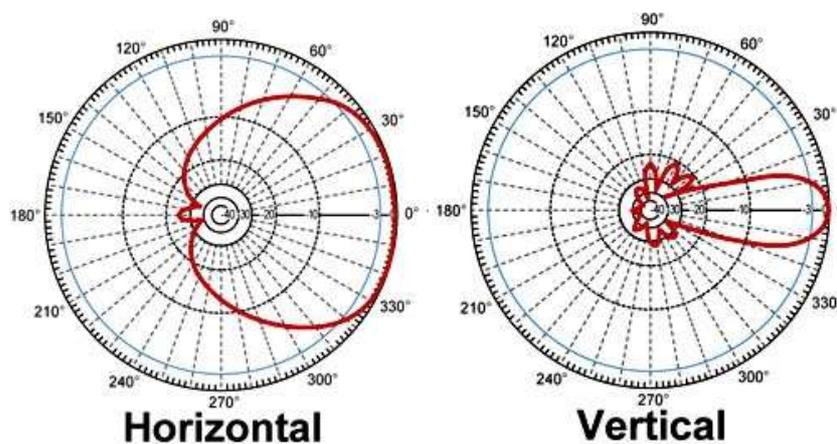


Figura 2.46 Típico modelo de radiación de una antena de sectorial. [63]

2.5.8 ANTENA PLANA O *PATCH* [64]

Este tipo de antena también es conocida como antena *Patch panel*, está formada por una tira delgada de conductor en un dieléctrico recubierto en la parte superior e inferior por una capa metalizada. Con este arreglo se consiguen ganancias de hasta 23 *dBi* y tienen un gran rango de frecuencias de operación que van desde los 100 Mhz hasta 50 GHz.

Este tipo de antenas son muy utilizadas para las comunicaciones inalámbricas debido principalmente a su reducido peso y volumen.

En la Figura 2.47 se muestra un arreglo necesario para formar una antena plana.



Figura 2.47 Antena plana. [65]

En la Figura 2.48 se presenta el Diagrama de radiación vertical y horizontal de la antena plana.

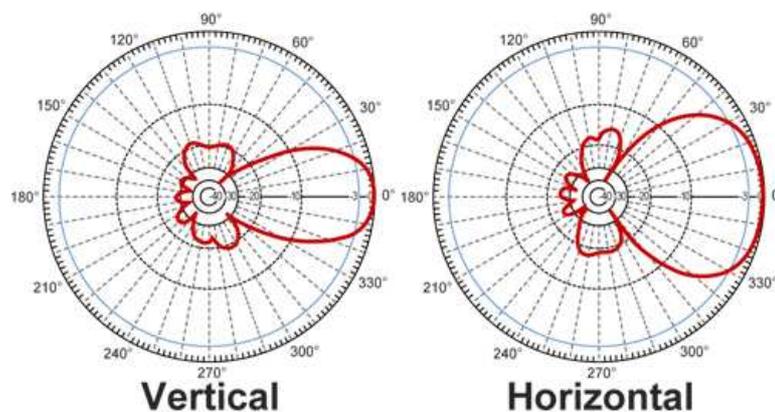


Figura 2.48 Diagrama de radiación de la antena plana. [66]

2.5.9 ANTENA PARABÓLICA [67]

Este tipo de antena está formada por un reflector parabólico y por un elemento activo o mecanismo de alimentación. En las antenas parabólicas transmisoras se refleja las ondas electromagnéticas generadas el elemento activo que se encuentra ubicado en el foco del paraboloide. En las antenas receptoras el reflector parabólico se encarga de concentrar en su foco, donde se encuentra un detector, los rayos paralelos de las

ondas incidentes. Estas antenas trabajan en un amplio rango de frecuencias dependiendo de la aplicación para la cual estén diseñadas, por lo general en altas frecuencias, por lo que suelen ser muy directivas. En la Figura 2.49 se puede ver el funcionamiento de la antena parabólica de Cassegrain

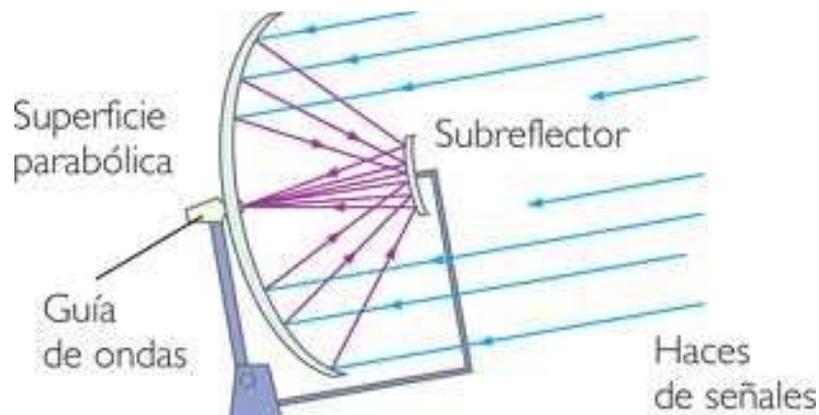


Figura 2.49 Antena parabólica de Cassegrain. [68]

En la figura 2.50 se puede ver el diagrama de radiación típico para la antena parabólica.

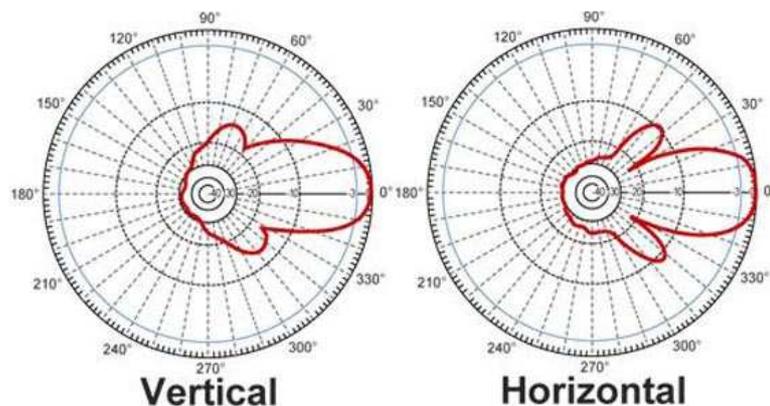


Figura 2.50 Diagrama de radiación de la antena parabólica. [69]

2.6 ACCESO AL MEDIO

Son los mecanismos mediante los cuales los sistemas de radiocomunicaciones se coordinan para utilizar un recurso compartido, que es el espectro electromagnético; tanto cuando los terminales del sistema están en funcionamiento coordinado, como cuando están en proceso de adquisición inicial del medio.

2.6.1 TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO [70]

2.6.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) [71]

En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí.

2.6.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) [72]

En TDMA, el acceso al medio se realiza asignando el ancho de banda total del medio de transmisión a cada canal durante una fracción del tiempo total.

2.6.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA) [73]

En CDMA, el acceso al medio se realiza de manera similar que en FDMA pero en lugar de frecuencias separadas, se asignan códigos digitales únicos, que son conocidos tanto por el transmisor como por el receptor, por lo tanto, todos los usuarios comparten el mismo rango del espectro electromagnético.

2.7 MODULACIÓN [74]

Comprende un conjunto de técnicas que permiten transportar información sobre una onda portadora que puede ser analógica o digital. Estas técnicas permiten optimizar el uso del canal de transmisión al permitir enviar información simultánea y ayudan a

la disminución de la pérdida de información por interferencia o ruido. A continuación se describe brevemente algunas de las principales técnicas de modulación:

2.7.1 FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) [75] [76]

Esta técnica consiste en tomar la señal de transmisión y modularla con una señal portadora que da saltos de frecuencia en frecuencia, dentro del ancho de la banda asignada, en función del tiempo. El cambio periódico de frecuencia de la portadora, reduce la interferencia producida por otra señal originada por un sistema de banda estrecha, afectando solo si ambas señales se transmiten en la misma frecuencia y en el mismo momento.

Un patrón de salto o *hopping code*, determina las frecuencias por las que se transmitirá y el orden de uso de estas. Para recibir correctamente la señal, el receptor debe disponer del mismo patrón de salto que el emisor y escuchar la señal en la frecuencia y momento correcto. La regulación impone a los fabricantes el uso de al menos 75 frecuencias distintas para la transmisión de un canal con un tiempo máximo de 400 ms de uso por frecuencia.

Es posible por tanto, disponer de varios equipos empleando la misma banda de frecuencia sin que se interfieran, asumiendo que cada uno de ellos emplea un patrón de salto diferente. Dos patrones de saltos que nunca emplean la misma frecuencia se dice que son ortogonales. La imposición de al menos 75 frecuencias distintas en una banda, permite tener varios canales sin que se interfieran.

2.7.2 DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) [77]

Esta técnica consiste en la combinación de la señal a transmitir en una secuencia de bits a mayor velocidad de transmisión. A esta secuencia se la conoce como *chip ping code* o código de troceado, y no es más que un patrón redundante de bits asignado a cada bit a enviar, que divide la información del usuario acorde a una relación de esparcimiento o *Spread Ratio*. Cuando se desea enviar la información, realmente se transmiten los códigos correspondientes. Si uno o más bits del patrón sufren

interferencias durante la transmisión, el receptor podría reconstruir el dato enviado, gracias a la redundancia del *chip ping code*.

2.7.3 OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [78] [79]

OFDM es una tecnología de multiplexación digital multi-canal, la cual distribuye los datos en un gran número de canales que están espaciados entre sí en distintas frecuencias. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

Una de las ventajas de OFDM es que consigue una alta resistencia a las interferencias producidas por las ondas reflejadas en los objetos del entorno denominado multicamino.

2.8 TIPOS DE ENLACES DE RADIO

2.8.1 ENLACE PUNTO-PUNTO [80]

Las redes punto a punto son aquellas que responden a un tipo de arquitectura de red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos.

En la arquitectura de red punto a punto, los dispositivos en red actúan como socios iguales, o pares entre sí. Como pares, cada dispositivo puede tomar el rol de esclavo o la función de maestro. En el caso de los enlaces inalámbricos el dispositivo maestro se lo denomina *access point* y el dispositivo esclavo estación.

2.8.2 ENLACE PUNTO MULTIPUNTO [81]

Se denominan redes multipunto a aquellas arquitecturas de red en las cuales cada canal de datos se puede usar para comunicarse con diversos nodos. En una red multipunto solo existe una línea de comunicación cuyo uso está compartido por todas las terminales en la red. La información fluye de forma bidireccional y es discernible

para todas las terminales de la red. En este tipo de redes las terminales compiten por el uso del medio.

2.9 CONCEPTOS DE DISEÑO DE RADIO ENLACES

2.9.1 PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL ENLACE

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor, a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

2.9.2 LOS ELEMENTOS DEL PRESUPUESTO DE ENLACE

Para realizar un adecuado presupuesto de enlace hay tres factores que se deben tener muy en cuenta:

- El lado de Transmisión, con potencia efectiva de transmisión.
- Pérdidas en la propagación.
- El lado de Recepción, con efectiva sensibilidad receptiva.

Un presupuesto de radio enlace completo es simplemente la suma algebraica de todos los aportes y pérdidas en decibelios que se tienen en el proceso de transmisión recepción. En la Ecuación 2.13 se resume lo antes descrito:

$$P_{TX} = U_{RX} - FM + A_{WGTX} - G_{TX} + FLS - G_{TX} + A_{WGRX}$$

Ecuación 2.13 Cálculo del presupuesto del Enlace.

Donde:

P_{TX} : Es la potencia de Transmisión.

U_{RX} : Es la sensibilidad de Recepción.

FM : Es el Margen de Desvanecimiento.

$A_{WG_{TX}}$: Es la pérdida en el cable o guía de onda del lado del transmisor.

G_{TX} : Es la ganancia de la antena de Transmisión.

FLS : Son las pérdidas por espacio libre.

$A_{WG_{RX}}$: Es la pérdida en el cable o guía de onda del lado del Receptor.

G_{RX} : Es la ganancia de la antena de Recepción.

2.9.2.1 Pérdidas por espacio libre

Con dicho propósito lo primero que calcularemos las pérdidas en espacio libre, para lo cual nos serviremos de la Ecuación 2.14:

$$FLS(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92.4$$

Ecuación 2.14 Cálculo de pérdidas por espacio libre.

Donde:

d: es la distancia en [Km] y

f: es la frecuencia en [GHz]

2.9.2.2 Margen de desvanecimiento

Para lo cual usaremos la Ecuación 2.15:

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * A * B * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Ecuación 2.15 Cálculo del margen de desvanecimiento. ^[82]

Donde:

d: es la distancia entre el T_x y el R_x en [Km]

f: es la frecuencia en GHz

R: Objetivo de confiabilidad de la transmisión, en formato decimal.

A: Factor de Rugosidad de Terreno

B: Factor de Análisis climático anual

A continuación se muestran las Tablas 2.3 y 2.4 con los valores típicos para los Factores A y B respectivamente:

Tipo de Rugosidad	Factor
Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.	4.00
Sembrados densos; pastizales; arenales	3.00
Bosques (la propagación va por encima)	2.00
Terreno normal	1.00
Terreno rocoso (muy) desparejo	0.25

Tabla 2.3 Factor de rugosidad de terreno. ^[82]

Tipo de Rugosidad	Factor
Área marina o condiciones de peores	1.00
Prevalen áreas calientes y húmedas	0.50

Tipo de Rugosidad	Factor
Áreas mediterráneas de clima normal	0.25
Áreas montañosas de clima seco y fresco	0.125

Tabla 2.4 Factor de análisis climático anual. [82]

En la Figura 2.51 se muestra la trayectoria de transmisión recepción que se debe tomar en cuenta a la hora de calcular el presupuesto de un enlace de radio.



Figura 2.51 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor. [83]

La Figura 2.52 se presenta los elementos del presupuesto del radio enlace.

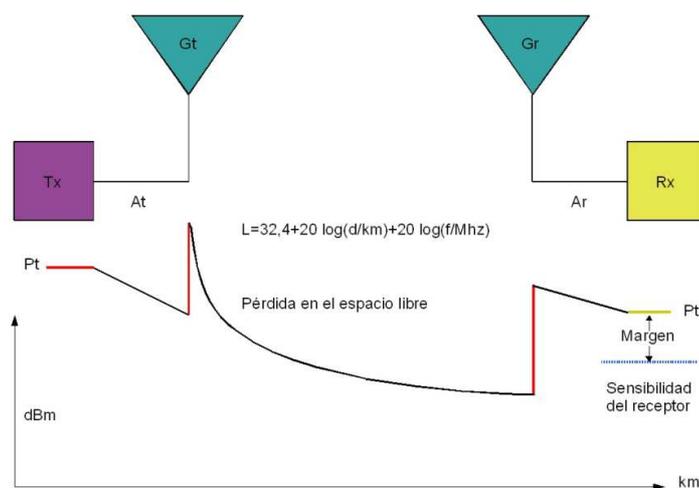


Figura 2.52 Potencia en dBm en función de la distancia para un radioenlace. [84]

A continuación se describe detalladamente las tres partes fundamentales que se deben tener en consideración al calcular un presupuesto de enlace.

2.9.2.3 El lado de transmisión [85] [86]

2.9.2.3.1 Potencia de transmisión

La potencia de transmisión es la potencia de salida del radio. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación la cual puede cambiar al variar el marco regulatorio. En general, los radios con mayor potencia de salida son más costosos.

Dicha potencia, normalmente se encuentra detallada en las especificaciones técnicas del fabricante, sin embargo están sujetas a variaciones dependiendo a factores como temperatura, tensión de alimentación, etc.

La potencia de transmisión típica en los equipos IEEE 802.11 varía entre 15 – 26 *dBm* (30 – 400 *mW*), mientras que para el estándar IEEE 802.16e varía entre 20 – 40 *dBm* (100 – 10000 *mW*).

2.9.2.3.2 Pérdida en el cable

Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y su frecuencia de operación. Dichas pérdidas normalmente se miden en *dB/m*.

Independientemente de la calidad del cable que se use, siempre se tendrá pérdidas. Por esta razón, el cable que une el equipo de radio con la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 *dB/m* y 1 *dB/m*. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará.

Las pérdidas en los cables dependen mucho de la frecuencia. Por eso al calcular la pérdida en el cable, se debe usar los valores correctos para el rango de frecuencia que se está usando. Generalmente, se puede tener el doble de pérdida en el cable [dB] para 5,4 GHz comparado con 2,4 GHz. En la Tabla 2.5 se muestra valores característicos de pérdidas en el cable para ciertos tipos de conductores.

Frecuencia [GHz]	Pérdida [dB/100m]
RG 58	ca 80-100
RG 213	ca 50
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom Plus	22
LMR-600	14
Flexine de 1/2"	12
Flexine de 7/8"	6.6
C2FCP	21
Heliac de 1/2"	12
Heliac de 7/8"	7

Tabla 2.5 Valores típicos de pérdida en los cables para 2,4 GHz. ^[85]

2.9.2.3.3 Pérdidas en los conectores

Se debe asignar al menos un valor de 0,25 dB de pérdida para cada conector. Estos valores son para conectores certificados, mientras que los conectores mal soldados pueden implicar pérdidas mayores. Para estimar las pérdidas en los conectores se debe revisar la hoja de datos para las pérdidas según el rango de frecuencia y el tipo de conector que se usará.

Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de pérdidas en los cables. Pero para tener un mejor cálculo, siempre se debe considerar un promedio de pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector en general.

Además, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio debe ser presupuestado hasta con 1 *dB* de pérdida, dependiendo del tipo.

2.9.2.3.4 Amplificadores

Opcionalmente, se pueden usar amplificadores para compensar la pérdida en los cables o cuando no haya otra manera de cumplir con el presupuesto de potencia. En general, el uso de amplificadores debe ser la última opción. Siempre será mejor realizar una correcta elección de las antenas y equipos con una buena sensibilidad que usar un amplificador.

Los amplificadores de alta calidad son costosos, mientras que uno económico degrada el espectro de frecuencia, lo que puede afectar a aplicaciones en canales adyacentes. Todos los amplificadores añaden ruido extra a la señal, y los niveles de potencia resultantes pueden contravenir las normas de calidad.

2.9.2.3.5 Ganancia de las antenas

La ganancia de una antena típica varía entre 2 *dBi* en antenas integradas simples y 8 *dBi* en antenas omnidireccionales estándar hasta 21 – 30 *dBi* en antenas parabólicas.

2.9.2.4 El lado de recepción [85] [86]

Los cálculos para el lado del receptor son parecidos a los que se describieron para los del lado transmisor.

2.9.2.4.1 Ganancia de antena desde el receptor

Dependiendo de las características de la antena estas pueden ser consideradas similares a las del transmisor.

2.9.2.4.2 Amplificadores desde el receptor

Los cálculos y los principios son los mismos que el transmisor. Sin embargo como se mencionó, la amplificación no es un método recomendable.

2.9.2.4.3 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad de un receptor es un parámetro que merece especial atención ya que identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder establecer una correcta conexión con el transmisor y alcanzar una cierta tasa de bits.

Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Un valor típico es -82 dBm en un enlace de 11 Mbps y -94 dBm para uno de 1 Mbps .

En la Tabla 2.6 se muestran los valores típicos de sensibilidad de los receptores.

Frecuencia [GHz]	11 Mbps	5,5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
Orinoco cards PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11b card	-89 dBm	-91 dBm	-93 dBm	-95 dBm

Tabla 2.6 Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.^[85]

2.9.2.4.4 Margen y Relación S/N

No es suficiente que la señal que llega al receptor sea mayor que la sensibilidad del mismo, sino que además se requiere que exista cierto margen para garantizar el funcionamiento adecuado.

La relación entre el ruido y la señal se mide tomando en cuenta la relación señal a ruido DNR.

En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado primeramente por la sensibilidad del receptor. En áreas urbanas donde hay muchos radioenlaces operando, es común encontrar altos niveles de ruido. En esos escenarios, se requiere un margen mayor

Para el cálculo del SNR en dB se usa la Ecuación 2.16 que se indica a continuación.

$$SNR_{(dB)} = 10 * \log \frac{Potencia\ de\ la\ Señal_{(W)}}{Potencia\ del\ Ruido_{(W)}}$$

Ecuación 2.16 Cálculo de relación Señal a Ruido en dB.

2.10 DESCRIPCIÓN Y SERVICIOS BÁSICOS DE UN ISP [87] [88]

Un proveedor de servicios de Internet, también es conocido como ISP, es una organización que se encarga de brindar conexiones a Internet a sus clientes, mediante el uso de diferentes tecnologías.

2.10.1 Tipos de conexión a Internet

Un proveedor de servicios de Internet puede ofrecer conexiones a sus usuarios a través de dos métodos: Acceso telefónico y Banda Ancha.

Sin embargo el método de acceso telefónico ya está en desuso ya que con las conexiones de Banda Ancha se pueden alcanzar mejores velocidades de transmisión a mejores costos.

En tanto que el método de banda ancha puede ser de los siguientes tipos: DSL, Satelital, Cable Modem e Inalámbrico. En la Figura 2.53 se puede apreciar las diferentes tecnologías de Banda Ancha que se usan para llegar al usuario.

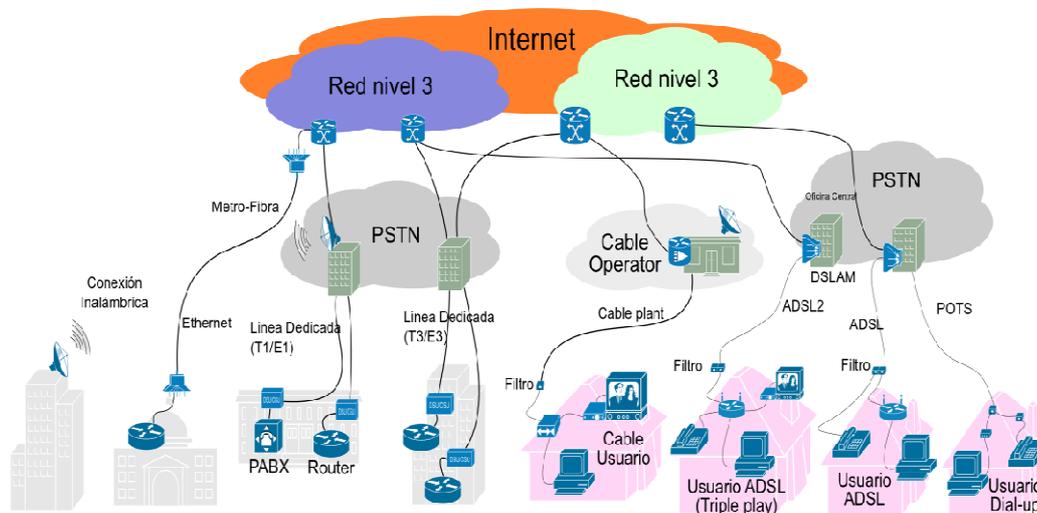


Figura 2.53 Diferentes formas de conexión a Internet. [89]

Es habitual que los ISP ofrezcan otros servicios tecnológicos relacionados a Internet, como el alojamiento de sitios o el registro de dominios, servicios de transferencia de datos, correo electrónico, etc.

2.10.2 SERVICIOS BÁSICOS

2.10.2.1 Servicio de Nombre de Dominio (DNS) [90] [91]

Es un sistema de nomenclatura jerárquica para computadoras, servicios o cualquier recurso conectado a Internet o a una red privada; el cual permite asociar dominios con direcciones IP, de modo que se pueda traducir nombres inteligibles para los humanos en identificadores binarios asociados con los equipos conectados a la red.

2.10.2.2 Protocolo de Configuración Dinámica de Host (DHCP) [92]

Es un protocolo de red que permite a los clientes de una red IP obtener su propia configuración de red (Dirección IP, Máscara de red, Puerta de enlace, DNS, etc.), a

partir de un servidor. El propósito de este protocolo es que la administración de redes grandes se facilite, de modo que un solo dispositivo se encargue de la supervisión y distribución de las direcciones.

2.10.2.3 Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP) [93]

Es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. SNMP permite a los administradores supervisar el funcionamiento de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.

2.10.3 SERVICIOS PARA USUARIO FINAL

2.10.3.1 Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP) [94]

Es un protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP, basado en la arquitectura cliente-servidor. Desde un equipo cliente se puede conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos, independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo.

2.10.3.2 Servicio de Correo Electrónico [95]

Es un servicio de red que permite a los usuarios enviar y recibir mensajes y archivos rápidamente mediante sistemas de comunicación electrónicos. Principalmente se usa este nombre para denominar al sistema que provee este servicio en Internet, mediante el protocolo SMTP, aunque por extensión también puede verse aplicado a sistemas análogos que usen otras tecnologías. Por medio de mensajes de correo electrónico se puede enviar, no solamente texto, sino todo tipo de documentos digitales.

2.10.3.3 Servicio de Alojamiento Web [96]

Es un tipo de servicio que permite a personas particulares u organizaciones tener su propio sitio en la web, el cual es accesible vía Internet.

2.10.3.4 Servicio Proxy-Caché [97] [98]

Su función es pre cargar el contenido web solicitado de manera frecuente por los usuarios de una red en un servidor de almacenamiento, de modo que posteriores peticiones de la misma información sean procesadas localmente en la red, sin la necesidad de enviar dichas solicitudes al servidor de origen. Entre las ventajas del uso de este servicio se tiene una mayor velocidad de transferencia de la información y disminución de consumo de ancho de banda de la conexión a Internet.

2.10.3.5 Servicio de voz sobre IP (VoIP)

Este tipo de servicio permite a los usuarios realizar llamadas telefónicas de bajo coste mediante el uso de tecnología de voz sobre el protocolo de comunicación IP. Algunos proveedores de servicio de Internet lo ofrecen como un servicio adicional a los servicios de Internet.

3 DISEÑO DEL ISP

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo el diseño de una red para proveer de los Servicios de Internet a la ciudad de Cayambe. Para lo cual se toma como patrón de diseño el Modelo jerárquico de red, en el que se describe las tecnologías que se usan en cada una de sus tres capas: Capa de Núcleo, Capa de Distribución y Capa de Acceso; de manera que se cumplan con los objetivos planteados en el presente Proyecto de Titulación.

De acuerdo con los datos recolectados en la encuesta realizada en el capítulo 1 del presente trabajo, se realiza una estimación de la demanda del servicio con una proyección de crecimiento a 5 años. Lo cual nos permite realizar un dimensionamiento de la red y estimar la capacidad que deberá tener el sistema para dar un buen servicio a cada uno de los usuarios de la red.

Para el caso del diseño de la red inalámbrica tanto para las últimas millas como para los enlaces de *backbone*, se utilizan los equipos que trabajan en la banda de frecuencias no licenciadas de 5.8 GHz, con el fin de disminuir los costos de operación de la red.

Por otra parte se diseña la red de tal forma que se ofrezca calidad de servicio a los abonados, dando prioridad a aplicaciones tales como: Video Conferencia, VoIP, Aplicaciones *streaming* personalizadas, entre otras; mientras que para aplicaciones que son más tolerantes a los retardos como: navegación Web, *Facebook*, Tráfico HTTP, FTP, DNS etc. se aplicarán políticas de Mejor esfuerzo. Para ello se usarán tanto equipos como protocolos de enrutamiento que nos ayuden a conseguir este requerimiento de la red.

Finalmente se determina los servicios de valor agregado que el ISP brindará a los abonados tales como: servicio de correo electrónico, Web Hosting, *Tunneling*, etc.

3.2 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para realizar una correcta planificación y diseño de la red se deben determinar de manera clara los requerimientos tanto de los usuarios como de la red, ya que de esto dependerán los equipos y los servicios que se vaya a implementar en el ISP. La determinación de requerimientos nos obliga a hacer un diseño más eficiente del ISP ya que al cumplirlos adecuadamente se obtendrá la red que se necesita, sin incurrir en gastos innecesarios.

Es por esto que a continuación se realiza la descripción de los requerimientos que se tienen de la red y de los usuarios.

3.2.1 REQUERIMIENTOS DE LOS USUARIOS

Los requerimientos de los usuarios están definidos por su percepción de buen servicio. Dichos requerimientos se describen a continuación:

- *Tiempos de respuesta:* Los tiempos de respuesta de la red deben estar dentro de rangos aceptables de funcionamiento, los mismos que un usuario común considera como tolerables.
- *Estabilidad en el servicio:* El servicio de Internet debe de funcionar de manera uniforme en el tiempo, sin que sea afectado por pequeños cambios que se realicen en la red.
- *Disponibilidad del servicio:* Para los usuarios es fundamental tener acceso a la red en cualquier momento del día y a cualquier hora.
- *Integridad y autenticidad:* Los datos que el usuario transmite a la red deben ser transportados bajo ciertas normas de seguridad ya que estos pueden ser usados por personas malintencionadas.

3.2.2 REQUERIMIENTO DE LA RED

La red debe contar con las herramientas necesarias que garanticen su correcto funcionamiento de tal forma que se pueda cumplir con los objetivos planteados en el presente Proyecto. A continuación se describen los principales requerimientos de la red:

- *Hardware:* la red debe contar con los equipos necesarios que permitan su correcto funcionamiento y escalabilidad. Además se debe garantizar que dichos equipos tengan las condiciones adecuadas que permitan dar un máximo rendimiento.
- *Software:* se debe contar con las herramientas y aplicaciones necesarias que permitan controlar el hardware de la red de acuerdo a las necesidades de la misma. Por otro lado dicho software debe ser capaz de detectar eventuales fallos.
- *Seguridad:* En el caso de la red física, se debe garantizar que los equipos instalados en cada uno de los nodos se encuentren protegidos contra plagios y manipulación por personas ajenas a la red. Por otro lado también se debe proteger la red lógica contra cualquier tipo de ataques por parte de hackers y demás piratas informáticos.
- *Monitoreo:* la red debe ser diseñada de tal forma que se pueda saber en todo momento el estado de los equipos de tal manera que se pueda evaluar su funcionamiento y disponibilidad.
- *Escalabilidad:* se debe diseñar la red de tal manera que permita el crecimiento de la misma con el menor impacto posible en la calidad de servicio que se brinda.

3.2.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

Con el fin de brindar el mejor servicio a los abonados, una parte importante del diseño es realizar un dimensionamiento adecuado de la red, ya que de esto depende la capacidad que se asigne a los enlaces troncales de salida al Internet del ISP como también los enlaces de radio y estaciones base, ya que si no se lo hace adecuadamente estos pueden saturarse con el tráfico que circule por ellos lo cual puede conllevar a retrasos en la transmisión y recepción.

Si por el contrario los enlaces se encuentran sobredimensionados esto implicaría gastos innecesarios en infraestructura, los cuales tendrían implicaciones directas en los costos de implementación de la red y por ende en el costo del servicio.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE COBERTURA

La ciudad de Cayambe se encuentra ubicada en una zona de alta producción agrícola, cuya actividad principal es la producción de flores de diversas variedades, las mismas que son comercializadas principalmente en el mercado internacional. Por otra parte la ciudad tiene una alta densidad urbana en constante crecimiento, razón por la cual la zona de Cayambe y sus alrededores tiene un gran atractivo para empresas que buscan invertir en servicios de telecomunicaciones.

El presente Proyecto está enfocado en proporcionar una red que pueda brindar calidad de servicio a abonados residenciales con necesidades básicas de conexión a Internet, sin embargo como dato adicional se puede mencionar que la red también podría brindar servicios a clientes corporativos con mayores necesidades de conexión.

Con el fin de brindar servicio a la mayor parte de la zona, se ha escogido cuidadosamente puntos estratégicos desde los cuales se tiene un amplio panorama de la ciudad de Cayambe y sus alrededores. Dichos puntos se han denominado según el sector en el que se encuentran; es así que posteriormente se hará referencia a nodos como: Cayambe Centro, Mojanda, Cananvalle y Guachalá.

En la Figura 3.1 se muestra una panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el punto donde se encuentra el nodo Guachalá. Mientras que en la Figura 3.2 se tiene una panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el Nodo Mojanda.



Figura 3.1 Panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el Nodo Guachalá.



Figura 3.2 Panorámica de la ciudad de Cayambe vista desde el Nodo Mojanda.

3.3.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA [99]

Con el fin de hacer un dimensionamiento adecuado, el primer paso que se debe dar es estimar la demanda que se tendría para un ISP en la ciudad de Cayambe. Para lo cual se utilizan los datos obtenidos en la encuesta realizada en el Capítulo 1 y los datos que presenta la SUPERTEL trimestralmente del número de cuentas dedicadas de Internet para la provincia de Pichincha. En la Tabla 3.1 se muestra el número trimestral de cuentas dedicadas en la provincia de Pichincha de los años 2010 y 2011.

Cuentas Dedicadas Provincia de Pichincha				
Año	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre
2010	159718	179470	197495	206642
2011	223982	222186	239117	253960

Tabla 3.1 Cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.^[99]

En la Figura 3.3 se muestra el número de cuentas dedicadas por trimestres para la provincia de Pichincha.

Se toma como referencia el número de cuentas dedicadas de la provincia de Pichincha ya que no se tienen estadísticas del número de cuentas dedicadas para la ciudad de Cayambe. Estos datos son perfectamente aplicables debido a que ambas siguen el mismo patrón de crecimiento y se pueden aproximar mediante el uso de una distribución normal.

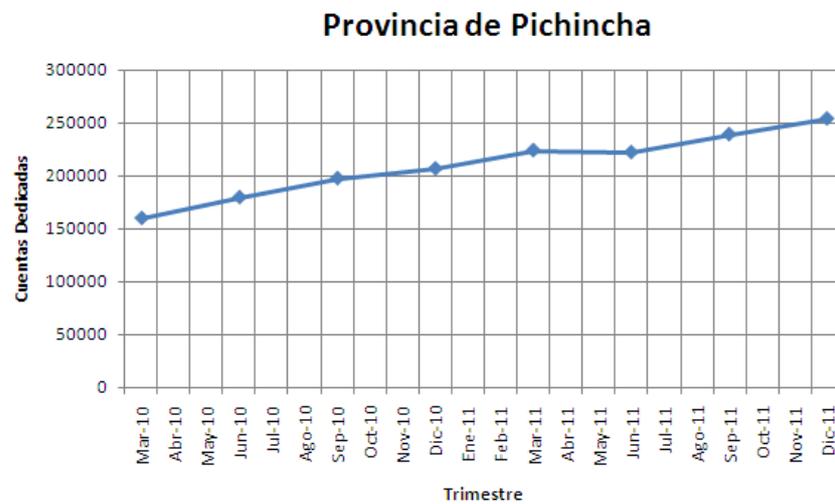


Figura 3.3 Número de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha. ^[99]

Interpolando los valores correspondientes al número de cuentas dedicadas con la ayuda de Excel obtenemos la ecuación que mejor describe la tendencia de crecimiento del número de cuentas dedicadas en función de la variable de tiempo; la misma que se usará para prever el número de cuentas dedicadas para los siguientes años para la provincia de Pichincha.

La Ecuación 3.1, permite calcular el número de cuentas dedicadas para los años entre 2012 y 2016.

$$C_D = 5547175 * I_2(T) - 58647871$$

Ecuación 3.1 Cálculo de cuentas dedicadas por trimestre.

Donde:

C_D : Número de cuentas dedicadas

T : Número de trimestres.

Aplicando la Ecuación 3.1, se calcula el crecimiento de las cuentas dedicadas de Internet entre los años 2012 y 2016; obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.2.

Proyección de Cuentas Dedicadas Provincia de Pichincha				
Año	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre
2012	266295	278737	291152	303405
2013	315497	327830	340135	352280
2014	364266	376491	388689	400729
2015	412610	424729	436822	448758
2016	460668	472682	484671	496504

Tabla 3.2 Proyección de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.

Se toma como valores referenciales el número de cuentas correspondiente a los meses de Diciembre de cada año para el cálculo del porcentaje de crecimiento promedio anual. Dicho porcentaje de crecimiento se calcula con la Ecuación 3.2 de crecimiento Geométrico:

$$C_f = C_0(1 + X)^n$$

Ecuación 3.2 Ecuación de crecimiento geométrico. ^[100]

Donde:

C_f : Capacidad final dentro de n años

C_0 : Capacidad inicial

X : Tasa de crecimiento anual promedio.

n : Número en años.

Para calcular la tasa de crecimiento X , se despeja la Ecuación 3.2, de donde se obtiene la Ecuación 3.3:

$$X = \left(\frac{C_f}{C_0} \right)^{1/n} - 1$$

Ecuación 3.3 Cálculo de porcentaje de crecimiento anual. ^[100]

Reemplazando el número de cuentas dedicadas para la Provincia de Pichincha de Diciembre 2012 y Diciembre 2016 tenemos:

$$X = \left(\frac{496504}{303405} \right)^{1/5} - 1$$

$$X = 0.1035$$

El porcentaje promedio de crecimiento anual antes calculado se usará para el cálculo de los usuarios que tendrá el ISP propuesto para la ciudad de Cayambe para los próximos 5 años, es decir, entre Diciembre del 2012 y Diciembre del 2016.

3.3.1.1 Cálculo del número de usuarios inicial [101]

A continuación se realiza un cálculo aproximado del número de usuarios que se espera tener al inicio de operación del ISP que se diseña. Para lo cual se toman en cuenta datos obtenidos en el Capítulo I y datos poblacionales del último censo (2010)

En la ciudad de Cayambe existen aproximadamente 21 449 familias como se explica en el Capítulo I del presente Proyecto, de las cuales el 35.9% ^[17] se encuentran en los estratos de clase media y alta, quienes formarán nuestro mercado meta, es decir 7 700 familias.

De los resultados obtenidos de la encuesta realizada en la ciudad de Cayambe sabemos que el 63.33% de la población no estaría dispuesta a contratar un servicio de Internet, mientras que el 36.67% lo haría, es decir, 2 824 familias.

Adicionalmente se asume que el ISP sería capaz de adquirir el 25% del total de usuarios del mercado dispuestos a contratar el servicio, considerando la presencia de otras empresas proveedoras en la zona. Por lo que se tendría un número aproximado de 706 familias como posibles clientes al momento de la formación del ISP en cuestión.

3.3.1.1.1 Proyección del mercado

Uno de los objetivos del presente Proyecto, es diseñar una red que se pueda escalar de tal manera que puedan cubrir las necesidades del ISP, con una proyección de la demanda a 5 años, se ha calculado el posible número de abonados que se tendría entre los años 2012 y 2016. Para lo cual, se han calculado los porcentajes de crecimiento anuales para la provincia de Pichincha, dichos resultados son perfectamente aplicables para el caso de la Ciudad de Cayambe, asumiendo que el crecimiento de ambos mercados siguen una distribución normal. A continuación se presenta la Tabla 3.3 la cual contiene los resultados de dichos cálculos.

Crecimiento de Abonados Anual					
Año	2012	2013	2014	2015	2016
Abonados	706	779	860	1046	1155

Tabla 3.3 Proyección de la demanda 2012-2016 para la ciudad de Cayambe.

3.4 RED TRONCAL

Para proveer de servicios de Internet es necesario que un ISP se conecte al Internet, a través de uno o varios enlaces WAN. Existen varias posibilidades y tecnologías a las cuales se puede realizar dicha conexión, estas pueden ser: conexión por medio de fibra óptica, satelital o enlaces WAN de alta velocidad como es el caso de ATM. Dicha conexión se realiza a través del router principal de la red.

3.4.1 Conexión al NAP.EC (NAP Ecuador) [102]

Además se debe considerar una conexión con el NAP.EC con el objetivo de intercambiar tráfico de Internet originado y terminado en el Ecuador, utilizando únicamente canales locales o nacionales.

Entre los beneficios de tener una conexión con el NAP.EC tenemos:

- Permite el uso eficiente de la red de telecomunicaciones de nuestro país,
- Produce una mejora significativa en el servicio de las empresas que lo conforman.
- Reduce el tráfico de datos que se cursará por el enlace troncal hacia el exterior de la red del ISP.
- Mejora los tiempos de respuesta a páginas internacionales de mayor uso local.

Actualmente existen 3 nodos que permiten la conexión de los proveedores de Internet a NAP.EC los cuales se encuentran ubicados en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. Dichos nodos están unidos mediante enlaces interurbanos que transportan tráfico entre dichas ciudades mediante sesiones BGP que se levantan entre un servidor de rutas de NAP.EC y el respectivo enrutador de borde de cada proveedor.

La Figura 3.4 muestra la topología física de NAP.EC y los participantes actuales:

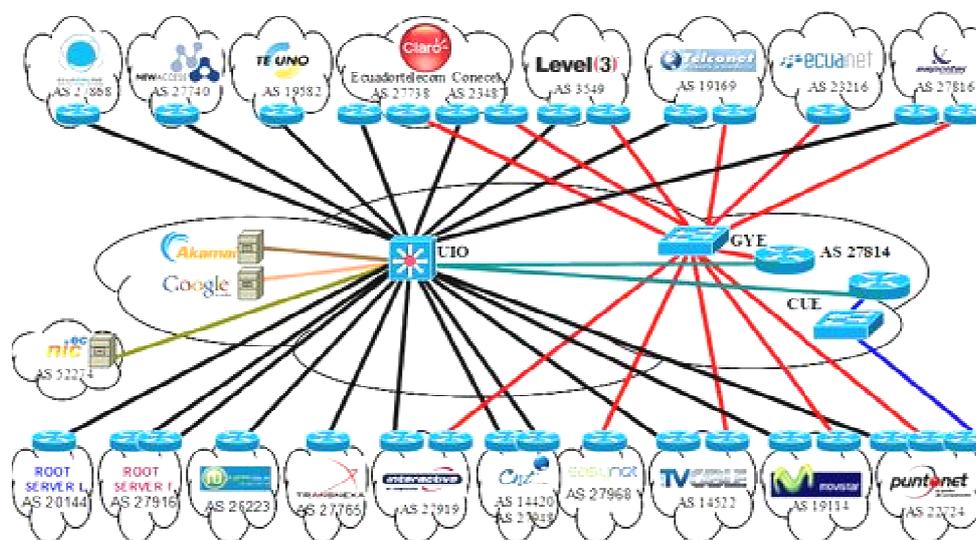


Figura 3.4 Topología e integrantes actuales del NAP.EC. ^[103]

3.4.2 Cálculo de capacidad mínima de la red troncal [104]

A continuación se realiza el cálculo de la capacidad que debe tener la red troncal para brindar servicios de Internet a cada uno de sus abonados. Para lo cual nos valdremos de la proyección de la demanda calculada en el numeral 3.3.1.1.1 de este mismo capítulo y de la encuesta realizada en el capítulo primero de este Proyecto.

3.4.2.1 Planes de Internet

Para poder determinar cuál es la velocidad de transmisión que se debe ofrecer a los usuarios del ISP, a continuación se realizará el cálculo del ancho de banda necesario para servicios de datos, voz y video, con el fin de garantizar calidad de servicio.

3.4.2.1.1 Ancho de banda para transmisión de datos

Este tipo de tráfico es menos susceptible al retardo por lo que el ancho de banda medio para transmisión de páginas web es de 56 Kbps ^[105]. Sin embargo en la actualidad se ofrecen planes de Internet superiores a 56 Kbps.

3.4.2.1.2 Ancho de banda para transmisión de VoIP

La velocidad de transmisión necesaria para la carga y descarga de VoIP por medio de una conexión de Internet va a depender del tamaño de la trama y del número de tramas por segundo que se desee transmitir. Para el cálculo del ancho de banda necesario se usa la Ecuación 3.4:

$$AB/llamada = \text{tamaño de la trama} \times \text{tramas por segundo.}$$

Ecuación 3.4 Cálculo de ancho de banda para VoIP. ^[106]

Los tipos de códec más usados para la digitalización de voz en la actualidad son G.711, G.728 y G.729 ^[107], por lo que se tomará estos como referencia para el cálculo del ancho de banda.

Para el cálculo del tamaño de la trama se debe considerar los tamaños de los encabezados de las capas de enlace de datos (capa 2), capa de red (capa 3), capa de transporte (capa 4) del modelo OSI³ y el tamaño de la carga útil del codificador usado.

En la Ecuación 3.5 se presenta el modelo simplificado para cálculo del tamaño de la trama de transmisión de voz:

$$\text{Tamaño de trama} = \text{Carga útil (Payload)} + \text{Encabezado capa 4} + \text{Encabezado capa 3} + \text{Encabezado capa 2}$$

Ecuación 3.5 Cálculo del tamaño de la trama. ^[106]

En la Tabla 3.4 se presenta información detallada referente al ancho de banda mínimo para la comunicación de VoIP, para los códecs antes mencionados.

³ OSI: *Open System Interconnection*.

INFORMACIÓN CÓDEC				CÁLCULO DE ANCHO DE BANDA					
Códec & Tasa de Transmisión (Kbps)	Tamaño de la muestra del códec (Bytes)	Intervalo De Muestra Del Códec (ms)	Prueba de Calidad (MOS)	Tamaño de carga útil de Voz (Bytes)	Tamaño de carga útil de voz (ms)	Paquetes por segundo (PPS)	AB PPP o FR.12 (Kbps)	AB RTP, PPP o FR.12 (Kbps)	AB Ethernet (Kbps)
G.711 (64 Kbps)	80	10	4.1	160	20	50	82.8	67.6	87.2
G.728 (16 Kbps)	10	5	3.61	60	30	33.3	28.5	18.4	31.5
G.729 (8 Kbps)	10	10	3.92	20	20	50	26.8	11.6	31.2

Tabla 3.4 Ancho de banda para VoIP para los códecs más utilizados. ^[108]

De la Tabla 3.4 se puede concluir que se necesita un ancho de banda de 64 Kbps para la transmisión de VoIP si se usa el códec G.711, por lo que para el sistema transmisión/recepción se necesitaría 128 Kbps ^[109]; se usará este valor como referencia para el cálculo del ancho de banda mínimo que se debe ofrecer a los usuarios.

3.4.2.1.3 Ancho de banda para transmisión de video

Una de las aplicaciones más críticas al momento de transmitir datos es la de video, por ser susceptible a los retardos y por las grandes cantidades de información que se manejan. Por esta razón se necesita un ancho de banda mayor en comparación con la voz y los datos.

Cada vez es más frecuente el uso de aplicaciones de transmisión de video en tiempo real, siendo Skype una de las más usadas. Esta aplicación sugiere un ancho de banda mínimo de 128 Kbps y un ancho de banda de 300 Kbps ^[109] como valor recomendado para una transmisión estándar. Se tomará este último valor como referencia para el cálculo del ancho de banda mínimo.

3.4.3 Cálculo de ancho de banda mínimo para cada usuario

Para el cálculo del ancho de banda mínimo que cada usuario debe tener se usará la Ecuación 3.6, la misma que representa la suma de los requerimientos mínimos para datos, voz y video.

$$AB_{TOTAL/USUARIO} = AB_{min}datos + AB_{min}voz + AB_{min}video$$

Ecuación 3.6 Cálculo de ancho de banda mínimo por usuario.

Reemplazando los valores determinados anteriormente se tiene:

$$AB_{TOTAL/USUARIO} = 56 Kbps + 64 Kbps + 300 Kbps = 420 Kbps$$

Como se determinó anteriormente el ancho de banda mínimo que debe tener cada usuario es de 420 Kbps, por esta razón se ha elegido tres tipos de planes de Internet que se ofrecerán a los usuarios del ISP, los cuales tienen anchos de banda de 512 Kbps, 1024 Kbps y 2 Mbps con una compartición de 8:1. Se han escogido estos anchos de banda y compartición considerando los siguientes criterios:

- Presentar planes de Internet de 512 Kbps, 1024 Kbps y 2 Mbps similares a los ofrecidos por otras operadoras de la zona, esto con el fin de tener la mayor aceptación posible entre el público. Desde el punto de vista técnico esto permite tener mayor estabilidad en los canales de transmisión, sin sobrepasar el límite impuesto por la tecnología que se usa, en este caso el medio inalámbrico.
- Se ha escogido una compartición de 8:1 con el fin de reducir los costos de los planes de Internet que se ofrece al cliente final. Por otra parte esto permite brindar servicio a un mayor número de abonados con la infraestructura del ISP.

De esto tenemos que 398 personas optarían por un canal de 512 Kbps, 218 personas optarían por un canal de 1024 Kbps, y el 90 personas estarían dispuestas a contratar un canal de 2 Mbps.

Por lo tanto y considerando un nivel de compartición de 8:1 con los datos descritos anteriormente se podría estimar el ancho de banda necesario para proveer de servicio a dichos clientes para el primer año de funcionamiento como se muestra en la Tabla 3.5:

Número de Abonados	Ancho de Banda que contrataría	Nivel de compresión	Ancho de Banda requerido
398	512 Kbps	8:1	25 Mbps
218	1024 Kbps	8:1	27 Mbps
90	2 Mbps	8:1	23 Mbps
		Total	75 Mbps

Tabla 3.5 Cálculo de capacidad del canal.

De manera similar se realiza el cálculo del ancho de banda requerido, en los años siguientes, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.6.

Ancho de Banda que Contrataría	2012	2013	2014	2015	2016
512 Kbps	25	29	33	37	41
1024 Kbps	27	32	36	40	45
2048 Kbps	23	26	30	33	37
TOTAL	75	87	99	110	122

Tabla 3.6 Proyección de total de ancho de banda requerido.

En la Figura 3.5 se aprecia la tendencia al aumento del ancho de banda necesario para satisfacer el tráfico de usuarios de la red.

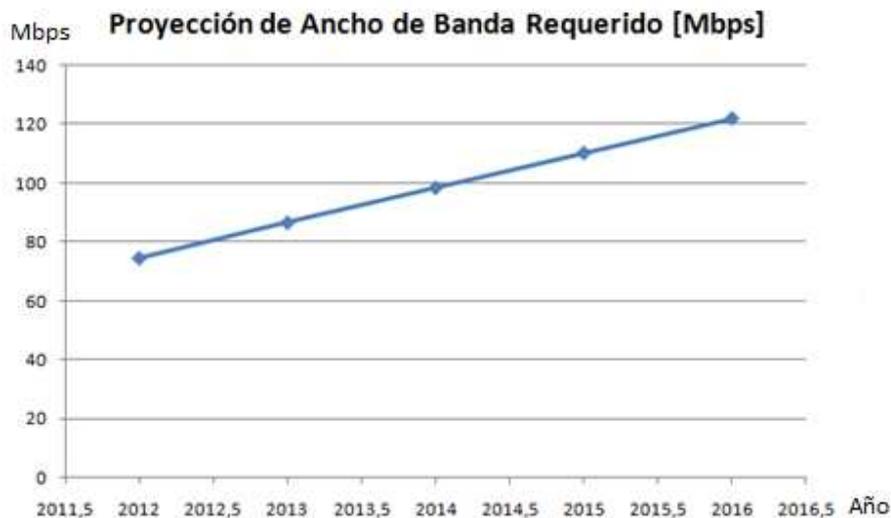


Figura 3.5 Proyección de demanda de ancho de banda

Dado que se requiere tener una máxima disponibilidad de la conexión hacia el exterior de la red del ISP, es necesario tener un enlace redundante que garantice la conectividad en caso de que el enlace principal hacia Internet falle. Con el fin de abaratar costos de operación se cree conveniente que el ancho de banda del enlace secundario sea de la mitad de la capacidad del enlace principal ya que solo se usará en casos de emergencia.

Por esta razón es necesaria la contratación de los servicios de dos empresas portadoras para el suministro del enlace internacional.

3.4.4 Selección de empresa portadora encargada de brindar la salida local al ISP [110] [111] [112]

Con el fin de realizar una correcta elección de los proveedores que darán el suministro de la salida local del ISP hacia el Internet, se tomarán en cuenta varias propuestas con el fin de elegir las que más se ajusten a las necesidades de la red.

En el Ecuador existen varias empresas que brindan servicios portadores que pueden servir como proveedores del ISP, entre las más importantes se tiene las siguientes:

CNT: es una empresa que brinda conexión a ISPs o clientes corporativos mediante una red con tecnología IP/MPLS TE soportada en enlaces de fibra óptica monomodo DWDM, la misma que posee cobertura a nivel nacional con anillos redundantes y una salida internacional de 5 vías con protocolo de enrutamiento BGP y funcionalidades *Multihoming*, lo que asegura una alta disponibilidad.

Entre los principales beneficios que brinda la CNT, están la amplia cobertura a nivel nacional y disponibilidad del servicio debido a la redundancia de red mediante anillos de fibra óptica.

TELCONET: es una empresa con gran presencia en el mercado de las Telecomunicaciones en nuestro país, que brinda servicios portadores a través de una de las redes más avanzadas del Ecuador. Cuenta con una conexión de alta velocidad al NAP local en Ecuador y al NAP internacional en Miami, redundancia de plataforma y redundancia de interconexión internacional a los principales proveedores.

Una de las ventajas que se tendría al contratar los servicios con TELCONET es la gran cobertura a nivel nacional.

GLOBAL CROSSING: Es una empresa que brinda servicios portadores de telefonía móvil y servicios portadores a ISPs a nivel mundial. Siendo una de las empresas más representativas del mercado.

Brinda conexiones de datos Ethernet y ATM de grandes velocidades con enfoque a la calidad de servicio, ya que su red está orientada a aplicaciones de VoIP. Sin embargo una de las desventajas que tiene es una cobertura reducida en comparación con las dos anteriores.

De la comparación de las empresas expuestas anteriormente para servir de enlace internacional del ISP se han escogido a la CNT y TELCONET, debido a su fuerte presencia en el mercado nacional y fiabilidad de sus redes las mismas que se mantienen actualizadas con tecnología de punta. Otro punto a favor de estas dos empresas es su alta capacidad de respuesta ante posibles inconvenientes.

3.5 DISEÑO DE LA RED [112] [113]

Para el diseño de la red del ISP de este Proyecto se tomará como referencia el Modelo Jerárquico de Red, el mismo que está compuesto por tres partes fundamentales: Capa de Núcleo, Capa de Distribución y Capa de Acceso.

Esto con la finalidad de facilitar el diseño, implementación, mantenimiento y escalabilidad la red. De tal manera que se tenga un diseño de red confiable, con una relación costo/beneficio reducida.

3.6 CAPA DE NÚCLEO [114]

Su única función es conmutar el tráfico procedente de la Capa de Distribución tan rápido como sea posible y se encarga de transportar grandes cantidades de tráfico hacia el exterior de la red del ISP de manera veloz y confiable.

Esta capa generalmente está compuesta por un *router* denominado de Borde que se encuentra en el límite de la red del ISP y la red exterior, y por *switches* de alta velocidad.

2.1.1. Router de borde

Es el equipo de red encargado de enrutar todo el tráfico proveniente de la red interna del ISP hacia una red externa o Internet.

Ya que es necesario conectarse con el exterior es indispensable determinar el protocolo de enrutamiento que se va a usar. Para este caso se usará el Protocolo de *Gateway Exterior* versión cuatro (BGPv4). De esto se pueden definir los requerimientos que debe tener el equipo que se elija para esta función:

- Tener como mínimo tres interfaces Ethernet de alta velocidad, para la conexión de la salida Internacional principal, la salida Internacional de Back Up y la red interna del ISP.

- Manejar protocolo BGPv4 con el fin de poder conectar el sistema autónomo del ISP y sus troncales de salida a Internet.
- Tener un alto nivel de procesamiento de datos de modo que puede enrutar de manera eficiente las grandes cantidades de tráfico provenientes de la capa de distribución.

El *router* de borde en su programación debe ser capaz de cambiar automáticamente de troncal internacional en caso de haber un fallo en el enlace principal.

2.1.2. Firewall

Este equipo de red se debe encargar de brindar un nivel de seguridad a los dispositivos del ISP, de modo que se puedan evitar ataques de redes externas hacia equipos internos y hacia usuarios finales. Adicionalmente debe ser capaz de evitar ataque por parte de los usuarios desde la propia red hacia el exterior.

Por esto en el equipo se deben definir reglas que permitan mitigar el tráfico no deseado tanto de salida y entrada. Entre los principales ataques que debe evitar el equipo tenemos:

- *Address Scan*^[115]: En este tipo de ataque un usuario interno del ISP envía un gran número de solicitudes de respuesta a puertos específicos a diferentes *hosts* externos
- *Syn Floods*^[115]: Este tipo de ataque se realiza desde una red externa al ISP e impide que determinados usuarios accedan a servicio externos en el Internet. También es conocido como DoS (*Denial of Service*).
- *Fly Floods*^[115]: En este tipo de ataque un host externo a la red del ISP ataca a un host interno con un flujo excesivo de solicitudes haciendo que este colapse por saturación.

Mitigar este tipo de ataques es muy importante ya que evita saturación de los enlaces tanto internos como internacionales. Esto último permitiría mantener reducidos los costos de operación del ISP.

2.1.3. Controlador de ancho de banda

Este dispositivo de red se encarga de controlar el ancho de banda con el cual los diferentes usuarios se conectarán a las redes internacionales. Este equipo de red generalmente se coloca después del *switch* de distribución ya que el tráfico que se restringe es el que va destinado a redes exteriores al ISP.

Para esto se plantea la creación de tres VLANs que contengan el *pool* de IPs correspondientes a los tres planes propuestos 512 Kbps, 1024 Kbps y 2 Mbps.

3.7 CAPA DE DISTRIBUCIÓN [114]

En esta capa se interconectan los dispositivos de la capa de acceso y provee funcionalidades de ruteo entre las diferentes subredes de la LAN del ISP, dividiendo los dominios de *broadcast*, por medio de VLANs. Ya que en esta capa se manejan grandes flujos de datos es recomendable que los equipos que van a operar sean de alto rendimiento. Por estas razones, los *switches* que residen en la capa de distribución operan, tanto en la Capa 2 como en la Capa 3 del modelo OSI.

Como ya se mencionó en esta capa se interconectan las diferentes VLANs del ISP, es por esto que se define las diferentes redes virtuales que manejará el *switch* de capa 3 del ISP:

3.7.1 VLAN de Dispositivos de acceso

En esta VLAN se conectarán los *switches* que transportan el tráfico proveniente de los dispositivos de acceso de cada uno de los clientes del ISP.

3.7.2 VLAN de Servidores de aplicaciones

En esta VLAN se conectarán los servidores que provean algún tipo de servicio a los clientes del ISP. En este diseño se incluirán los siguientes tipos de servicios: servidores DNS, Servidor FTP, Servidor Alojamiento Web y Servidor de Correo Electrónico.

3.7.3 VLAN de Servidores de administración

En esta VLAN se conectarán los servidores que contengan aplicaciones de administración de red y monitoreo.

3.7.4 VLAN de Dispositivos de conectividad externa

En esta VLAN se conectarán los dispositivos de conectividad hacia el exterior. Para los fines de este diseño aquí se conectará el *Router* de Borde, el Servidor Caché y el dispositivo que controlará el ancho de banda a los clientes del ISP.

En la Figura 3.6 se muestra el esquema general de la red del ISP donde se contemplan la capa de núcleo y de distribución.

3.7.5 VLAN de red de Abonado

Mediante estas VLANs se administra los pools de IPs asignados a los equipos finales de usuario.

En la Figura 3.6 se muestra el esquema general de la red del ISP.

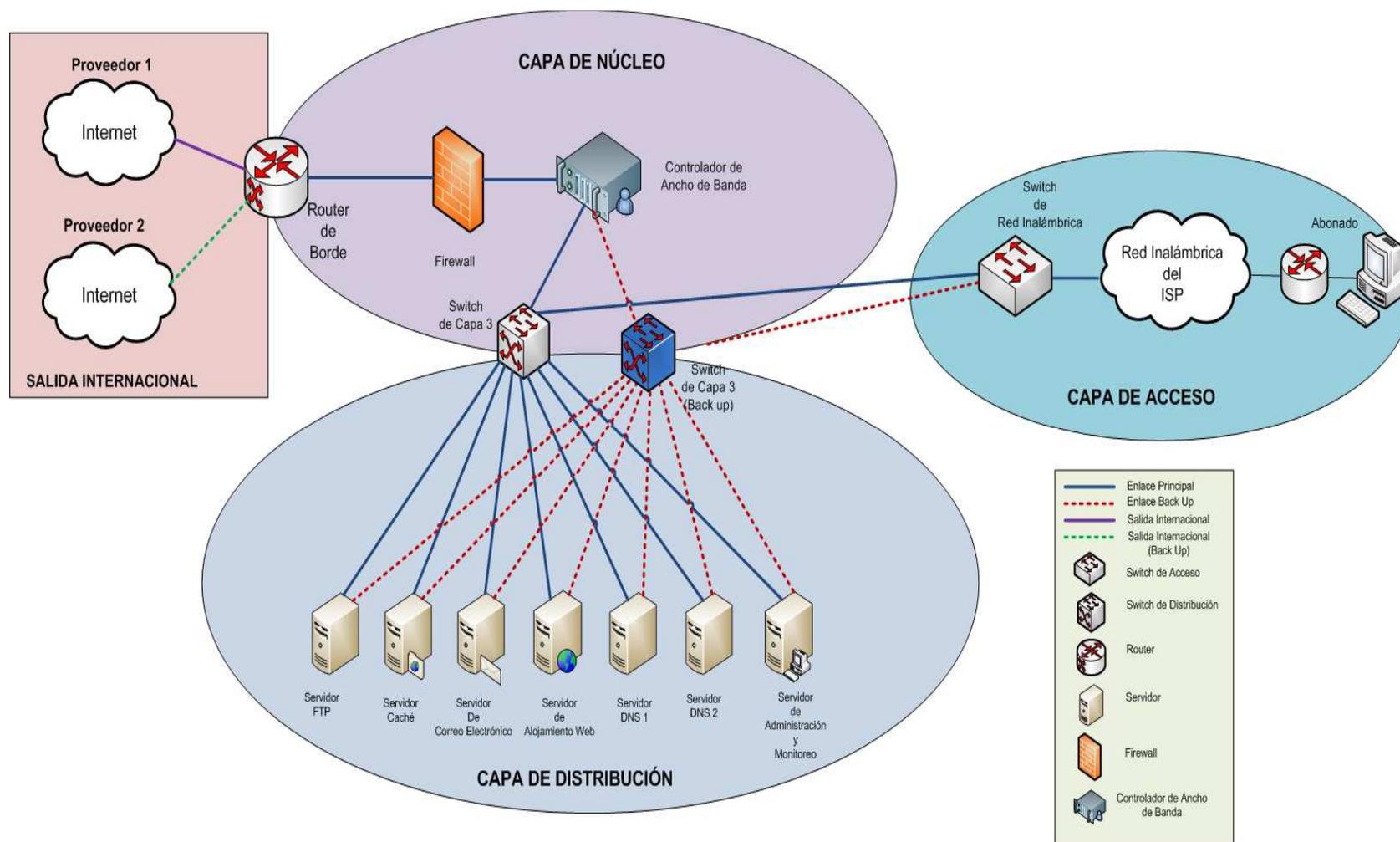


Figura 3.6 Esquema de red del ISP.

3.8 CAPA DE ACCESO [114]

Esta capa permite a los equipos de usuarios finales conectarse a la red. En esta capa se controla y administra los equipos mediante los cuales los abonados tendrán acceso a los servicios que brinda el ISP.

Para el presente Proyecto se diseña una red de acceso inalámbrica que permita brindar servicios de Internet a los habitantes de la ciudad de Cayambe. Se ha escogido esta tecnología tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las tecnologías inalámbricas nos permite tener tiempo de instalación relativamente bajos en comparación a otro tipo de tecnología de banda ancha.
- Los costos de implementación de este tipo de redes son reducidos lo que permite bajar considerablemente los costos de operación de los enlaces.
- Las redes inalámbricas son de fácil escalamiento, lo que permite modificarlas y ajustarlas a los requerimientos del ISP.
- Al estar la ciudad de Cayambe asentada en un valle rodeado de numerosas elevaciones de mediana altura se pueden aprovechar para la instalación de torres de comunicación.

Sin embargo se tienen algunas limitaciones como: Velocidades de transmisión mucho más bajas en comparación con otras tecnologías, altos niveles de interferencia al trabajar en bandas de frecuencia no licenciadas; motivo por el cual se debe hacer una correcta planificación de las mismas.

3.8.1 RED INALÁMBRICA

3.8.1.1 Topología de Red Inalámbrica

La topología de red que se ha escogido para el diseño del ISP es tipo malla con el fin de tener enlaces redundantes que permitan tener una máxima disponibilidad del servicio a los usuarios de la red.

Se han definido cuatro nodos de comunicación para la red del ISP, el nodo principal lo denominaremos: Nodo Cayambe Centro; el mismo que se encuentra ubicado en la ciudad de Cayambe y es el centro de operación de la red. En este nodo se instalarán los equipos de *core* y servidores de servicios. Desde este nodo se establecerán enlaces punto a punto de *backbone* con los nodos de distribución (Nodo Cananvalle, Nodo Guachalá y Nodo Mojanda).

Adicionalmente se levantarán enlaces redundantes desde el Nodo Cananvalle hacia Guachalá y Mojanda que nos permitan tener la red operativa en caso de la caída de alguno de los enlaces de Backbone principales.

En la Figura 3.7 se muestra un diagrama de la topología descrita anteriormente, donde se representan cada uno de los enlaces de *backbone* principales y redundantes.

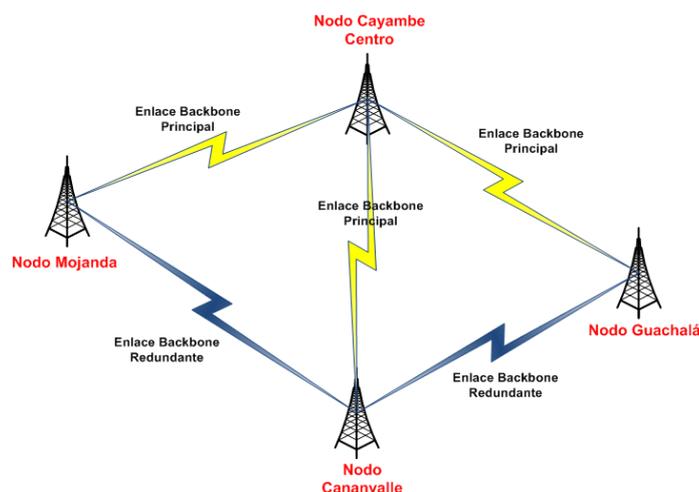


Figura 3.7 Enlaces Punto - Punto.

La topología de red para los enlaces de abonado será Punto a Multipunto, es decir, se tendrá una Estación Base actuando como Maestro, al cual se asociarán los equipos de abonado (esclavo).

En la Figura 3.8 se esquematiza la topología Punto – Multipunto de la red correspondiente a la última milla de abonado.

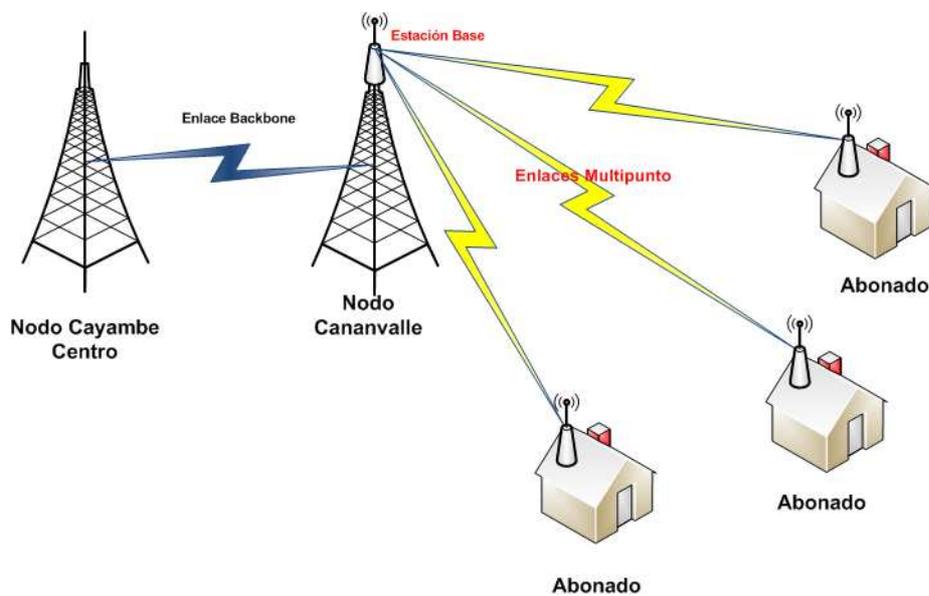


Figura 3.8 Enlaces Punto - Multipunto.

3.8.1.2 Planificación de Enlaces de Radio y Estaciones Base [104]

3.8.1.2.1 Dimensionamiento de Enlaces Punto a Punto

Se asume que se tiene un número igual de abonados en cada nodo, esto se realiza únicamente con fines de diseño de modo de obtener un valor referencial del ancho de banda necesario para transferir el tráfico generado por los usuarios hacia la capa de distribución. Esto se muestra en la Tabla 3.7.

Enlace	Ancho de Banda calculado
Cayambe Centro – Mojanda	18.75 Mbps
Cayambe Centro – Cananvalle	18.75 Mbps
Cayambe Centro – Guachalá	18.75 Mbps

Tabla 3.7 Enlaces de backbone principales.

El valor de 18.75 Mbps mostrado anteriormente es el ancho de banda mínimo que debe tener cada enlace de radio para la transmisión de tráfico generado por los clientes en cada uno de los nodos en la etapa inicial de operación del ISP. Sin embargo se debe considerar que en caso de fallar uno de los enlaces principales, el tráfico del nodo correspondiente deberá ser enrutado por uno de los enlaces principales alternativos.

Por esta razón se deberá tener enlaces de *backbone* que manejen un ancho de banda mínimo de 37.5 Mbps, que permita operar a la red en condiciones normales en caso de una falla. Esto se muestra en la Tabla 3.8.

Enlace	Ancho de Banda Mínimo Requerido
Cayambe Centro – Mojanda	37.50 Mbps
Cayambe Centro – Cananvalle	37.50 Mbps
Cayambe Centro – Guachalá	37.50 Mbps

Tabla 3.8 Ancho de banda mínimo requerido backbone principal.

De manera similar se considera que los enlaces de *backbone de backup* tengan un ancho de banda de 18.75 Mbps, esto con el fin de proporcionar redundancia a la red en caso de algún fallo. Esto se muestra en la Tabla 3.9.

Enlace	Ancho de Banda Mínimo Requerido
Cananvalle – Mojanda	18.75 Mbps
Cananvalle – Guachalá	18.75 Mbps

Tabla 3.9 Ancho de banda mínimo requerido backbone redundante.

3.8.1.2.2 Dimensionamiento de enlaces Punto a Multipunto

De acuerdo a lo expuesto en 3.8.1.2.1, cada una de las bases multipunto deben ser capaz de manejar 177 usuarios con un ancho de banda mínimo de 18.75 Mbps. Esto se muestra en la Tabla 3.10.

Estación Base	Número de Usuarios	Ancho de Banda Mínimo Requerido
Cayambe Centro	177	18.75 Mbps
Mojanda	177	18.75 Mbps
Cananvalle	177	18.75 Mbps
Guachalá	177	18.75 Mbps

Tabla 3.10 Ancho de banda mínimo requerido estaciones base.

3.8.2 BANDA DE FRECUENCIA [116]

El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.

Para el presente Proyecto se ha elegido la banda de frecuencia no licenciada de 5.8 GHz, la misma que es de uso libre en nuestro país según indica el Plan Nacional de Frecuencias.

Según dicho plan la banda no licenciada de 5.8 GHz comprende frecuencias entre 5.725 - 5.875 GHz con frecuencia central 5.8 GHz las cuales están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas con sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha y enlaces de Radiodifusión que utilizan *Spread Spectrum*^[117].

De acuerdo con lo anotado anteriormente, se podría hacer uso de estas frecuencias sin olvidar que al ser bandas de uso libre tendrán mayores niveles de interferencia.

3.8.2.1 División de la Banda de Frecuencia [118]

Con el fin de tener un plan de asignación de frecuencias adecuado se realiza la división de la Banda de Frecuencia en canales de 20 MHz, los cuales se usan en un plan con reuso para evitar interferencias entre los mismos. Es por esta razón que no se dejan bandas de guarda. Dicho reuso de frecuencias consiste en la asignación de canales de frecuencias separados para cada uno de los enlaces.

Se ha escogido un canal de 20 MHz ya que este ancho de canal permite el uso de dispositivos inalámbricos bajo el estándar IEEE 802.11n^[118], los cuales permiten tener velocidades de trasmisión hasta de 600 Mbps dependiendo de los niveles de interferencia del entorno donde se instalan los equipos.

En la tabla 3.11 se muestra los canales disponibles en la banda de frecuencia de 5.8 GHz con canales de 20 MHz.

Canal	Frecuencia Inicial [MHz]	Frecuencia Central [MHz]
F1	5725	5735
F2	5745	5755
F3	5765	5775
F4	5785	5795
F5	5805	5815
F6	5825	5835
F7	5845	5855
F8	5865	5875

Tabla 3.11 Canales de frecuencia de 20 MHz en la banda 5800 MHz.

3.8.2.2 Asignación de Canales

En la Tabla 3.12 se describen los canales de frecuencias que se asignarán a cada uno de los enlaces de *Backbone* Principales y de Redundancia; así como también los canales en los que trabajarán las Estaciones Base con el fin de minimizar la interferencias.

Enlace	Canal
Cayambe Centro – Mojanda	F1
Cayambe Centro – Cananvalle	F3
Cayambe Centro – Guachalá	F5
Cananvalle – Mojanda	F7
Cananvalle – Guachalá	F6
Estación Base Guachalá	F1
Estación Base Cananvalle	F5
Estación Base Mojanda	F3
Estación Base Cayambe Centro	F8

Tabla 3.12 Asignación de canales.

Se asignaron los canales de frecuencia a los enlaces de radio y estaciones base de tal manera que se tiene una separación mínima de 20 MHz entre cada uno de ellos.

3.8.2.3 Cálculo del presupuesto de Enlace

A continuación se realiza el cálculo del presupuesto de enlace para uno de los enlaces de radio. Dado que todos los enlaces de radio propuestos para el presente Proyecto son similares en sus características, por tener similares distancias y encontrarse en la misma zona. Los resultados de dicho cálculo nos servirán para determinar la potencia mínima de transmisión necesaria para el funcionamiento del enlace. Dicho valor referencial lo usaremos posteriormente en las simulaciones de cada uno de los enlaces de radio.

Los valores para los factores A y B según las Tablas 2.3 y 2.4 para el cálculo del margen de desvanecimiento de la zona donde se realizarán los enlaces son 1 y 0.125 respectivamente, mientras que el valor para el objetivo de transmisión o disponibilidad del sistema R será de 0.95^[119], con el fin de representar las peores condiciones.

Los valores de la sensibilidad del equipo y la ganancia de las antenas que se usarán para el cálculo de la potencia de transmisión mínima, se han tomado de los valores típicos para equipos de transmisión en la banda de 5.8 GHz. Dichos valores son: -90 [dBm] y 24 [dB] respectivamente.^{[120][121]}

Haciendo uso de las ecuaciones 2.13, 2.14 y 2.15 del capítulo anterior para calcular el presupuesto de enlace se tiene:

- **Enlace Cayambe Centro – Mojanda:**

Pérdidas por espacio libre:

$$FLS(dB) = 20 \log_{10}(5.58) + 20 \log_{10}(5.73) + 92.4$$

$$FLS_1 = 122.50 \text{ dB}$$

Margen de desvanecimiento:

$$FM = 30 \log(5.58) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 5.73) - 10 \log(1 - 0.95) - 70$$

$$FM = -28.26 \text{ [dB]}$$

Potencia de transmisión:

$$P_{TX} = -90 + 28.26 + 1 - 24 + 122.50 - 24 + 1$$

$$P_{TX} = 14.75 \text{ [dBm]}$$

- **Enlace Cayambe Centro – Cananvalle:**

Pérdidas por espacio libre:

$$FLS(dB) = 20 \log_{10}(6.09) + 20 \log_{10}(5750) + 92.4$$

$$FLS_2 = 123.29 \text{ [dB]}$$

Margen de desvanecimiento:

$$FM = 30 \log(6.09) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 5.75) - 10 \log(1 - 0.95) - 70$$

$$FM = -27.10 [dB]$$

Potencia de transmisión:

$$P_{TX} = -90 + 27.10 + 1 - 24 + 123.29 - 24 + 1$$

$$P_{TX} = 14.39 [dBm]$$

- **Enlace Cayambe Centro – Guachalá:**

Pérdidas por espacio libre:

$$FLS(dB) = 20 \log_{10}(6.76) + 20 \log_{10}(5770) + 92.4$$

$$FLS_3 = 124.22 [dB]$$

Margen de desvanecimiento:

$$FM = 30 \log(6.76) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 5.770) - 10 \log(1 - 0.95) - 70$$

$$FM = -25.73 [dB]$$

Potencia de transmisión:

$$P_{TX} = -90 + 25.73 + 1 - 24 + 124.22 - 24 + 1$$

$$P_{TX} = 13.95 [dBm]$$

De manera similar se han calculado los presupuestos de enlaces para los enlaces de *Backbone* redundantes, dichos valores se presentan en la Tabla 3.13, junto con los valores correspondientes a los enlaces de *Backbone* principales calculados anteriormente.

Enlace	Distancia [Km]	Frecuencia [MHz]	Perdidas espacio libre [dB]	Margen de Desvanecimiento [dB]	Potencia de Tx [dBm]
Cayambe- Mojanda	5.58	5730	122.5	-28.26	14.75
Cayambe - Cananvalle	6.09	5750	123.29	-27.10	14.39
Cayambe - Guachalá	6.76	5770	124.22	-25.73	13.95
Cananvalle - Mojanda	5.41	5790	122.32	-28.62	14.93
Cananvalle - Guachalá	6.19	5810	123.52	-26.52	14.36

Tabla 3.13 Presupuesto de enlace.

Estos valores se utilizarán posteriormente como referencia para realizar la simulación de cada uno de los enlaces de *backbone*.

3.8.2.4 Simulación de los Radio Enlaces [122]

La simulación de los radioenlaces con el software Radio Mobile permitirá conocer los rangos de la ganancia de las antenas, la pérdida tolerable de las conexiones, y la potencia mínima de transmisión de los radios en cada enlace.

En la Tabla 3.14 se muestran las coordenadas geográficas y la altitud de todos los puntos o nodos involucrados en la red del ISP para la ciudad de Cayambe:

Nodo	Altitud	Coordenadas Geográficas	
	m.s.n.m	Latitud	Longitud
Cayambe	2851	0°2'47.10" N	78°8'28.80" O

Nodo	Altitud m.s.n.m	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
Cananvalle	3018	0° 0'55.88" N	78°11'13.63" O
Guachalá	3005	0° 0'52.90"S	78° 8'25.40"O
Mojanda	2883	0° 3'52.78"N	78°11'16.76"O

Tabla 3.14 Coordenadas geográficas de los Nodos.

En la Figura 3.9 se muestra la posición de cada uno de los nodos con la ayuda del Google Earth con respecto a la ciudad de Cayambe:

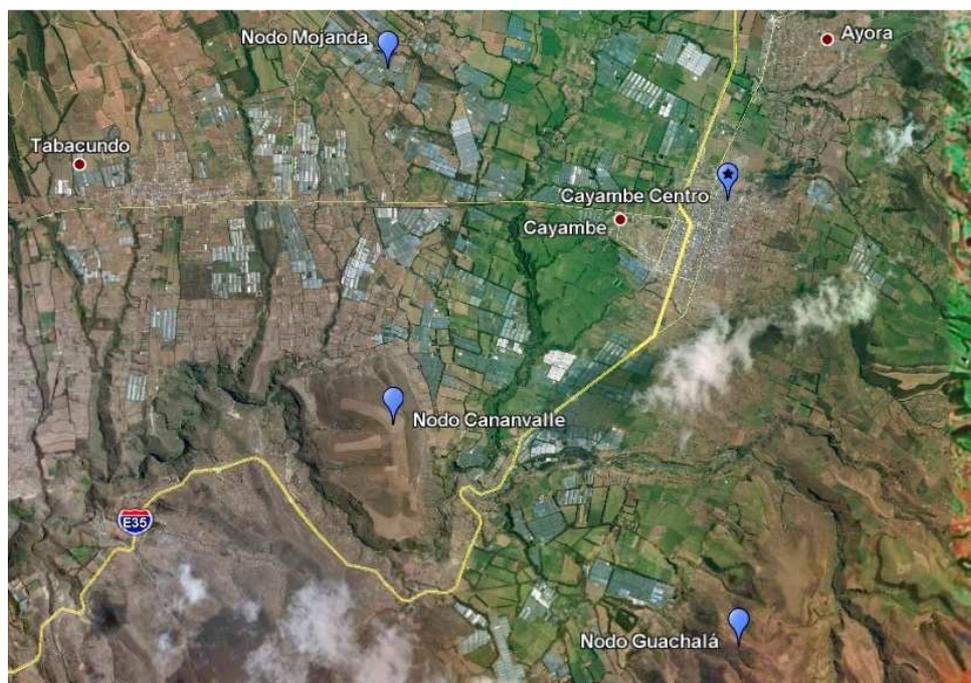


Figura 3.9 Posición de Nodos del ISP con respecto a la ciudad de Cayambe. ^[15]

En la Tabla 3.15 se presentan las distancias aproximadas de los nodos con respecto al nodo principal Cayambe Centro; nodo desde el cual se realizan los enlaces de Backbone hacia los nodos: Cananvalle, Mojanda y Guachalá.

Enlace	Distancia [Km]
Cayambe Centro – Mojanda	5.58
Cayambe Centro – Cananvalle	6.09
Cayambe Centro – Guachalá	6.76

Tabla 3.15 Distancia de Nodos con respecto al Nodo Cayambe Centro.

Por otra parte en la Tabla 3.16 se presentan las distancias de los enlaces que nos servirán para dar redundancia a la red inalámbrica del ISP.

Enlace	Distancia [Km]
Cananvalle – Mojanda	5.41
Cananvalle – Guachalá	6.19

Tabla 3.16 Distancia de enlaces de redundancia.

En la Figura 3.10 se muestra cada uno de los enlaces de *backbone* principales en color rojo y los de redundancia en color naranja de la red del ISP.

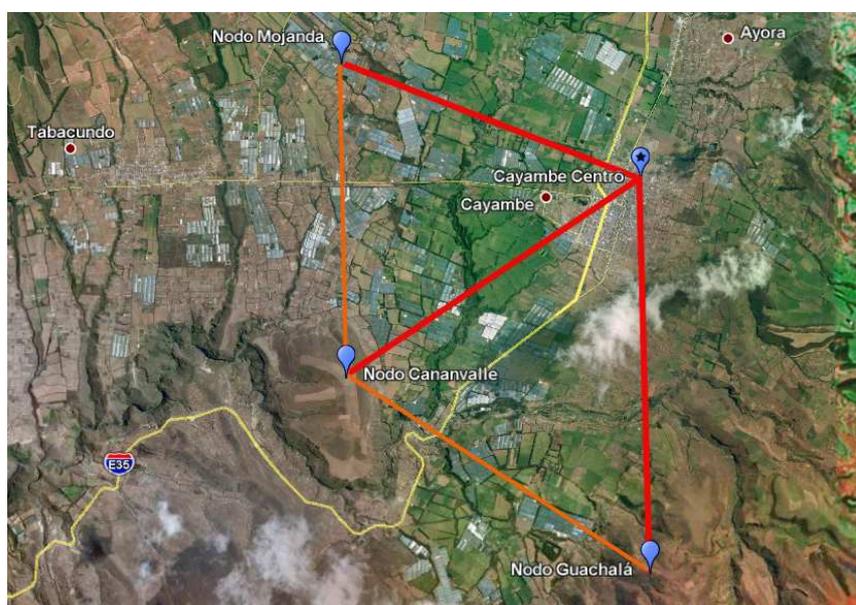


Figura 3.10 Enlaces de *Backbone* principales y de redundancia.

3.8.2.4.1 *Parámetros de Simulación [122]*

Para realizar la simulación con Radio Mobile de cada uno de los enlaces se debe introducir parámetros que nos permitirán ajustar el modelo a la región geográfica en la que se realizarán los cálculos, lo cual nos permitirá obtener resultados más fiables. Dichos parámetros se describirán a continuación y serán usadas posteriormente para la simulación de los enlaces.

- *Banda de frecuencia:* se debe especificar las frecuencias umbral mínimo y máximo para los cálculos.
- *Polarización:* se debe especificar la polarización de las antenas a usarse.
- *Modo de variabilidad:* denota el modo en que se realiza la propagación de las ondas electromagnéticas. Por lo general se debe escoger el modo “*mobile*” ya que representa las peores condiciones.
- *Pérdidas adicionales:* se debe especificar si el trayecto del enlace se encuentran zonas boscosas o entornos urbanos.
- *Clima:* permite escoger la zona climática de la región geográfica donde se realizan los cálculos.

3.8.2.4.2 *Gestión de la base de datos de los equipos de Radio [122] [123]*

Adicionalmente a las características topográficas de la zona donde se simularán los radioenlaces se debe introducir los parámetros tanto de transmisión y recepción de los equipos que se usarán. Dichos parámetros se describen a continuación:

- *Potencia de Transmisión:* se debe especificar la máxima potencia de radiación o salida de los equipos.
- *Sensibilidad del Receptor:* se debe especificar la mínima potencia que se podrá recibir por parte del transmisor.

-
- *Pérdidas en la línea de transmisión:* pérdidas en la línea de transmisión, sumando las del cable coaxial y las de los conectores.
 - *Ganancia de la Antena:* se debe introducir la ganancia de la antena en dBi.
 - *Altura de la Antena:* se debe especificar la altura de la antena sobre el terreno.

3.8.2.4.3 Simulación Enlaces Punto a Punto

A continuación se presenta los resultados de las simulaciones para los enlaces de *backbone* principales, para los parámetros antes mencionados hacia los distintos nodos de repetición.

Es preciso mencionar que se ha tomado como valor de referencia una altura sobre el nivel del suelo de 10 metros para colocación de las antenas cada uno de los nodos, esto con el fin de evitar que la señal sea obstaculizada por la vegetación del sector.

Además se ha considerado para fines de simulación la utilización de antenas direccionales con una ganancia típica para este tipo de enlaces de 23 [dBi]. Este valor se encuentra del rango permitido en la RESOLUCIÓN 417-15-CONATEL-2005 el cual va desde 6 [dBi] hasta un máximo de 23 [dBi]^[124]

En la Figura 3.11 se puede observar los parámetros configurados para el sistema “Requerimiento mínimo” con los cuales se realizará la simulación de los enlaces de radio.

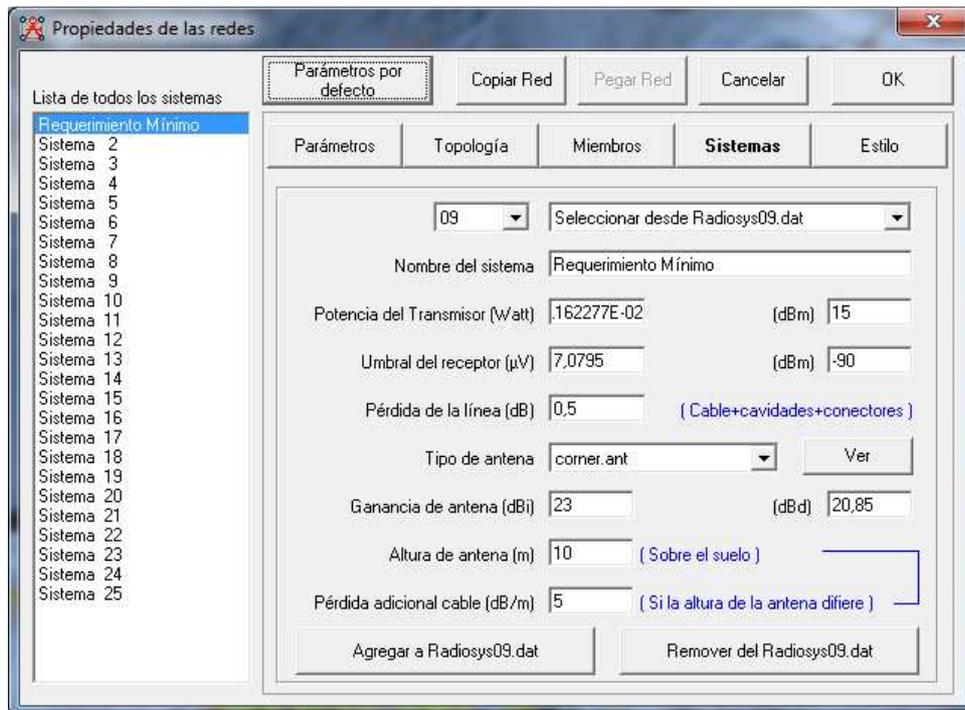


Figura 3.11 Parámetros de simulación para enlaces punto a punto.

- **Enlace Cayambe Centro - Mojanda:**

En la Figura 3.12 y 3.13 se muestra el perfil del enlace desde el nodo Cayambe Centro hacia el nodo Mojanda, el cual no presenta obstrucciones en el trayecto por lo que es perfectamente factible de implementar. Además los resultados que muestra la simulación son parecidos a los obtenidos en los cálculos realizados anteriormente.

Además el nivel de recepción de la señal se encuentra en los -69.8 [dBm], un nivel muy superior al umbral de recepción de la mayoría de los equipos de radio, lo cual nos garantizara estabilidad en el enlace de radio.

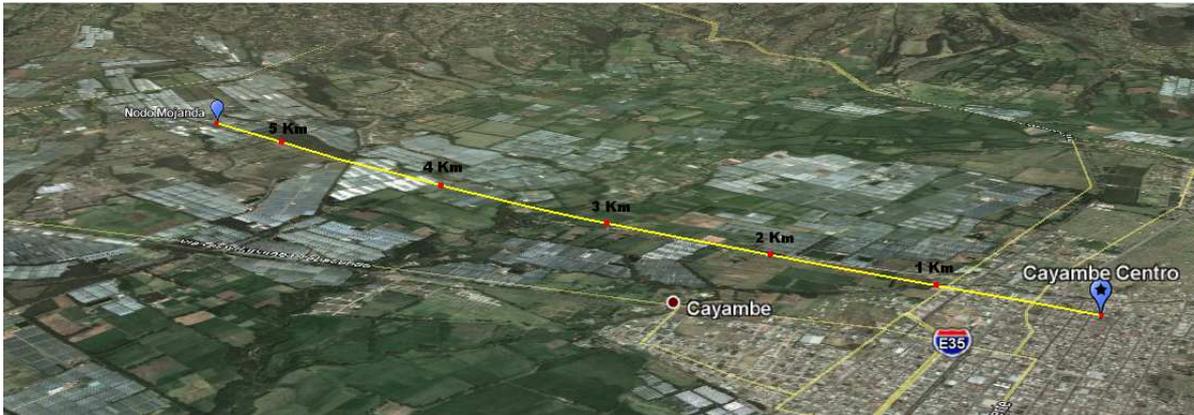


Figura 3.12 Distancia entre Cayambe Centro y Mojanda

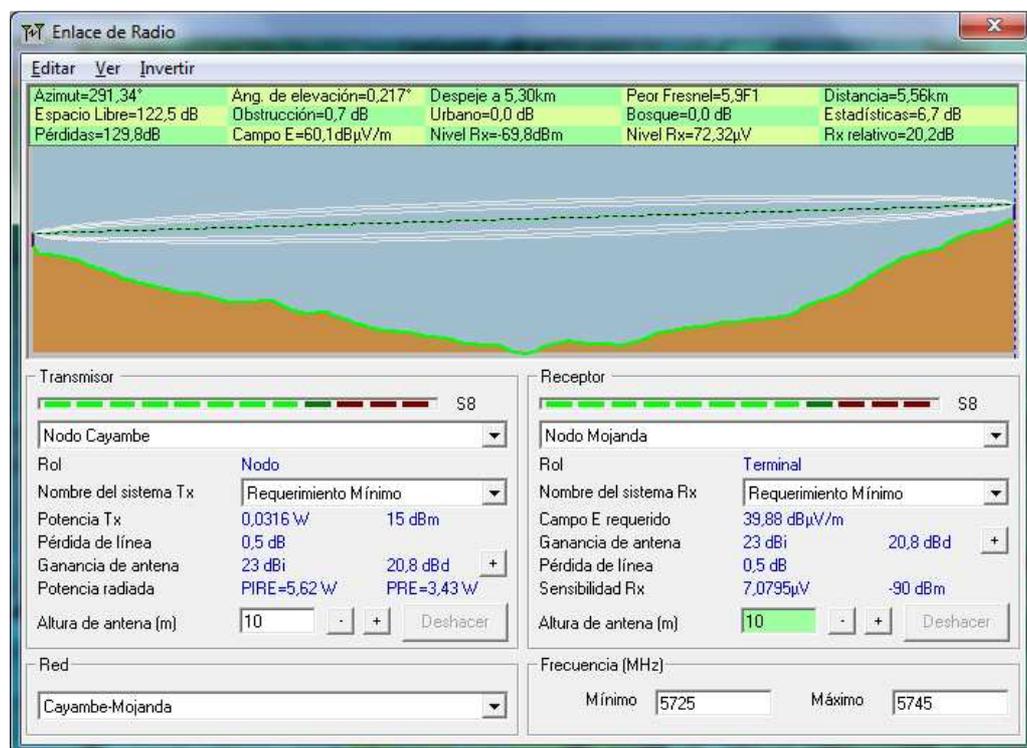


Figura 3.13 Perfil enlace Cayambe Centro - Mojanda.⁴

En la Figura 3.14 se muestran otros parámetros importantes calculados en la simulación como: distancia del enlace, ángulos de elevación, etc.

⁴ Simulación con Radio Mobile

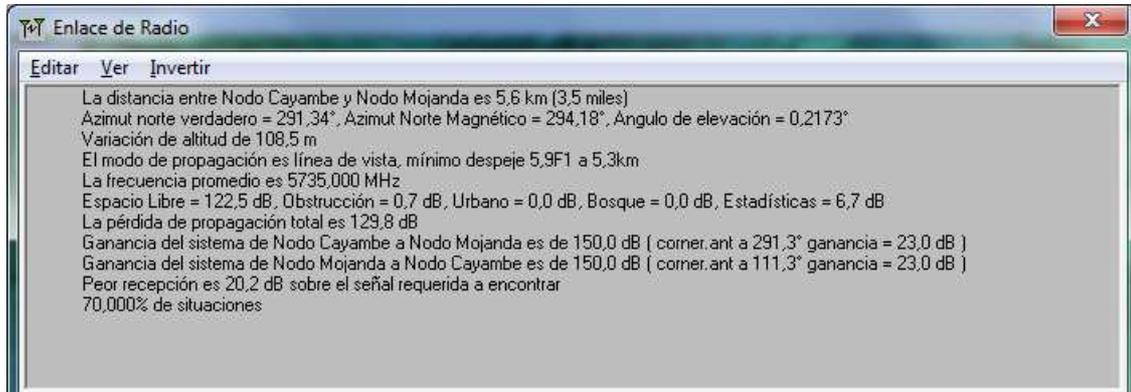


Figura 3.14 Parámetros Enlace Cayambe Centro - Mojanda.

- **Enlace nodo Cayambe Centro – Nodo Cananvalle**

En la Figura 3.15 y 3.16 se muestra el perfil correspondiente al enlace de radio desde el nodo Cayambe Centro hacia el nodo Cananvalle, el mismo que presenta un nivel de recepción de señal de -70.9 [dBm], lo cual garantiza estabilidad en el enlace de radio haciendo que este sea factible.

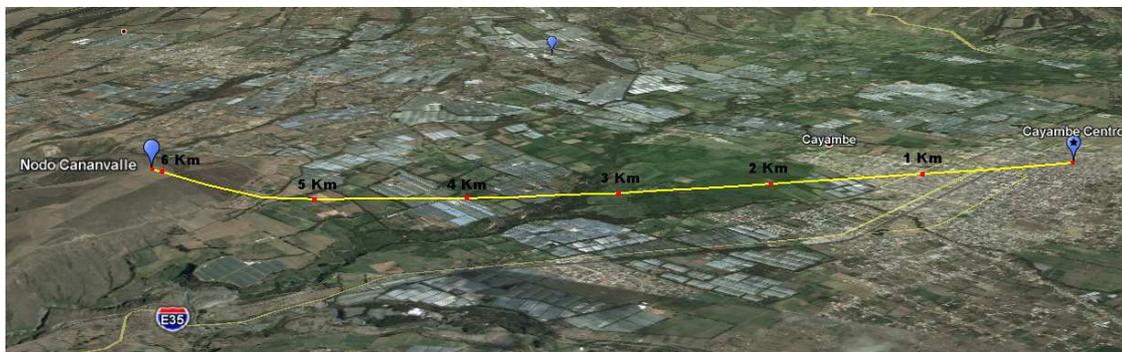


Figura 3.15 Distancia entre Cayambe Centro y Cananvalle.

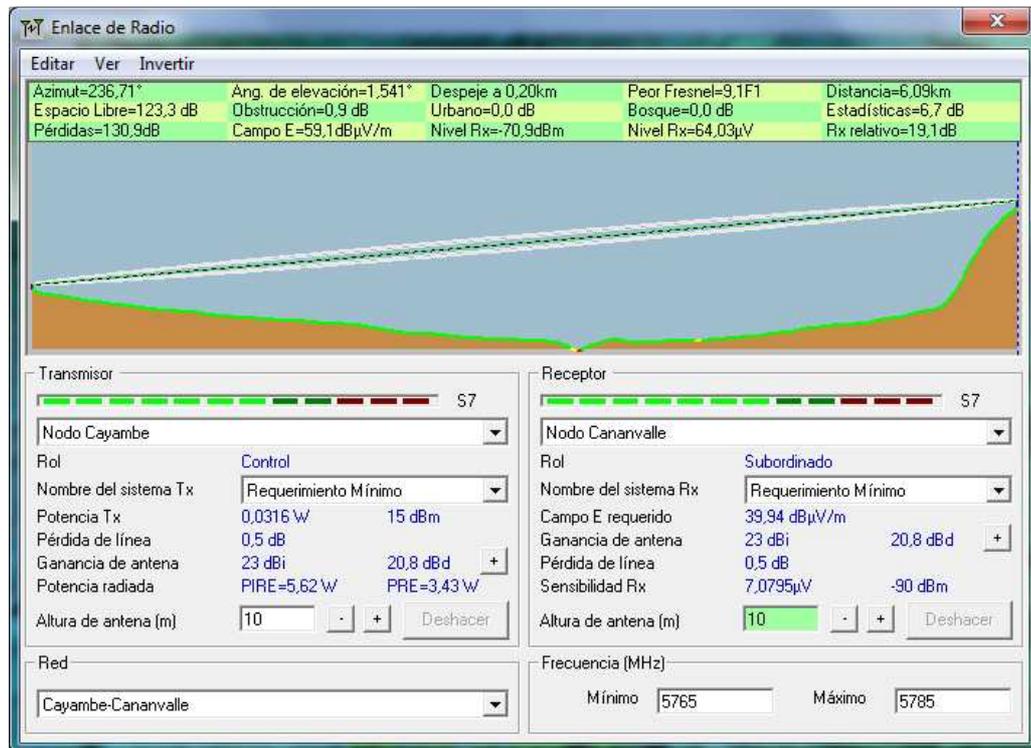


Figura 3.16 Perfil enlace Cayambe Centro - Canarvalle.⁵

En la Figura 3.17 se muestran de manera similar a lo indicado para el enlace anterior parámetros calculados por el programa de simulación para este enlace.

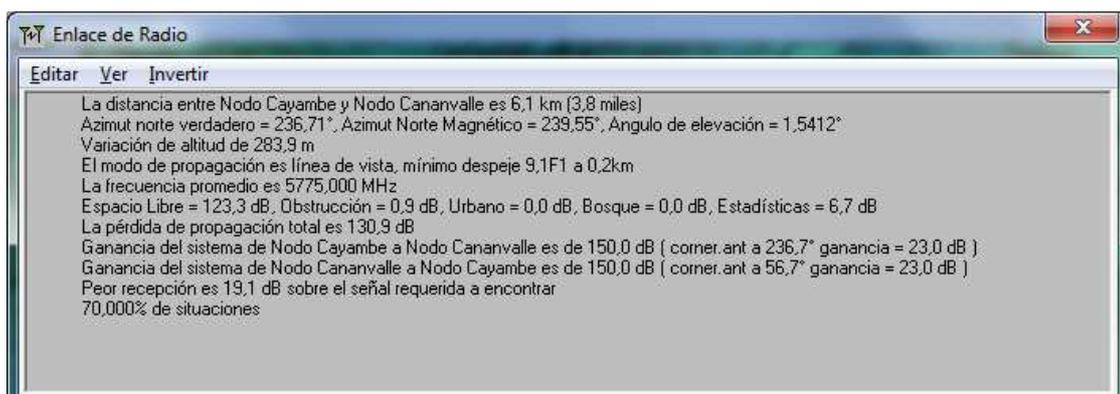


Figura 3.17 Parámetros Enlace Cayambe Centro - Mojanda.

⁵ Simulación con Radio Mobile

- **Enlace nodo Cayambe Centro – Nodo Guachalá:**

En la Figura 3.18 y 3.19 se muestra el perfil del enlace de radio que une los nodos Cayambe Centro y el nodo Guachalá, el mismo que presenta un nivel de recepción de la señal de -70.8 [dBm], lo cual nos garantiza que el enlace será totalmente factible de implementar.



Figura 3.18 Distancia entre Cayambe Centro y Guachalá.



Figura 3.19 Perfil Enlace Cayambe Centro - Guachalá.⁶

⁶ Simulación con Radio Mobile.

En la Figura 3.20 se muestran parámetros calculados por el programa de simulación correspondiente al enlace de radio Cayambe – Guachalá.

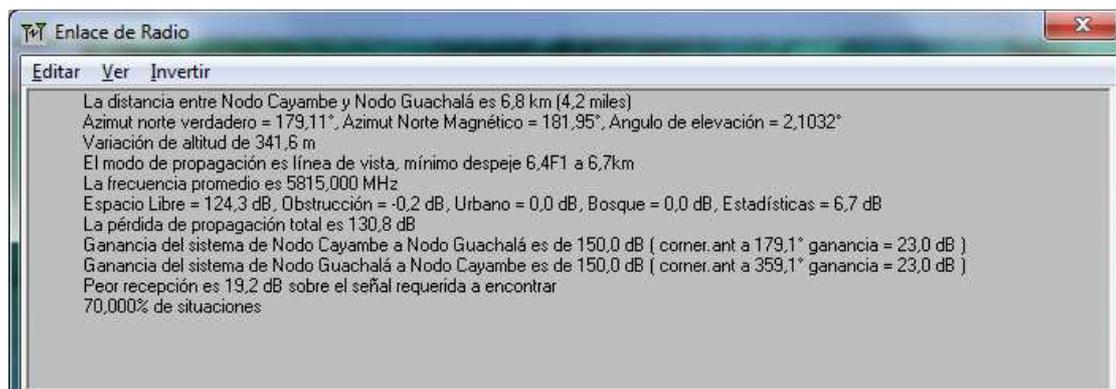


Figura 3.20 Enlace Cayambe Centro - Mojanda.

A continuación en la Tabla 3.17 se muestra un resumen de los parámetros calculados por el simulador de radio enlaces, Radio Mobile, para los enlaces de backbone principales. Adicionalmente se incluyen los datos correspondientes a las simulaciones de los enlaces redundantes.

Enlace	Frecuencia [MHz]	Angulo de Elevación	Nivel de Rx [dBm]	Rx Relativo [dB]	Peor Fresnel	Pérdidas totales [dB]
Cayambe - Mojanda	5735	0.217°	-69.8	20.2	5.56 F1	129.8
Cayambe - Cananvalle	5775	1.541°	-70.9	19.1	9.1 F1	130.9
Cayambe - Guachalá	5805	2.103°	-70.8	19.2	6.4 F1	130.8
Cananvalle - Mojanda	5855	1.552°	-69.7	20.3	7.5 F1	129.7
Cananvalle - Guachalá	5825	0.766°	-70.8	19.2	7.6 F1	130.8

Tabla 3.17 Enlaces de radio Punto a Punto.

Como se puede apreciar en la Tabla 3.18 la potencia de recepción en el peor de los casos es de -70.8 [dB] para el enlace Cayambe – Guachalá, la cual según el estándar IEEE 802.11n corresponde a un MCS7 ^[125] el cual garantiza una tasa de transmisión de 72.20 Mbps para un canal de 20 MHz. Esta tasa de transferencia supera ampliamente los 37.5 Mbps necesarios para brindar el servicio a los clientes del ISP en su etapa inicial, por esta razón se puede decir que los enlaces de *backbone* son factibles.

3.8.2.4.4 Simulación enlaces Punto a Multipunto

Para realizar la simulación de los enlaces multipunto, se toma como referencia los valores calculados para los enlaces punto a punto, en cuanto a potencia de transmisión y pérdidas por espacio libre; debido a que se encuentran en la misma región geográfica y se manejan las mismas distancias. Es decir se considera como potencia mínima requerida de radiación 14.5 [dBm].

Adicionalmente se ha considerado para motivos de simulación antenas sectoriales con ángulo de Azimut de 90°, ya que estas dan mayor directividad a la potencia radiada con respecto a otro tipo de antenas con mayor ángulo. Se ha considerado una ganancia típica para este tipo de enlaces la cual es 16 [dBi]. Este valor se encuentra del rango permitido en la RESOLUCIÓN 417-15-CONATEL-2005 el cual va desde 6 [dBi] hasta un máximo de 23 [dBi] ^[124].

En las Figuras 3.21, 3.22, y 3.23 se muestran las coberturas para cada una de las estaciones base colocadas en los nodos Mojanda, Cananvalle y Guachalá respectivamente; en las que se representa en color verde las zonas en las que se tiene el nivel mínimo de recepción para el sistema de 3 [dB] y en color rojo se dibujan las zonas en las que no se tiene cobertura por parte de la estación base, para un radio de cobertura aproximado de 6 [Km].

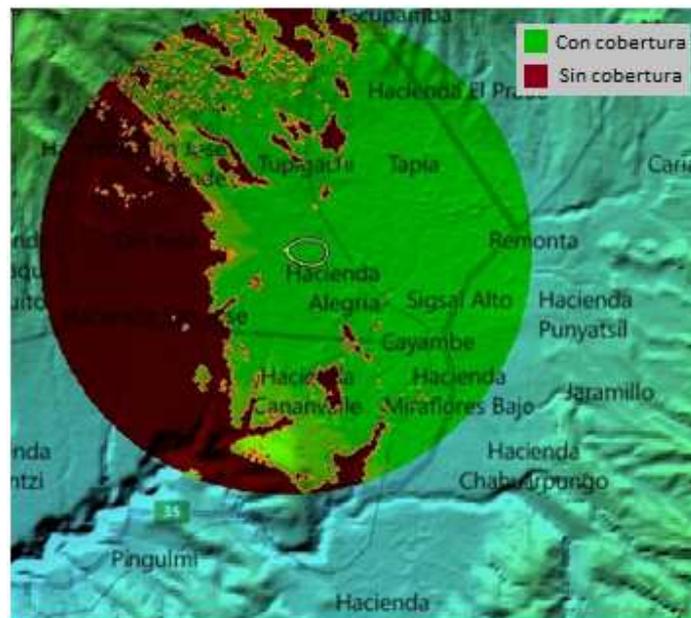


Figura 3.21 Cobertura Estación Base Nodo Mojanda.⁷

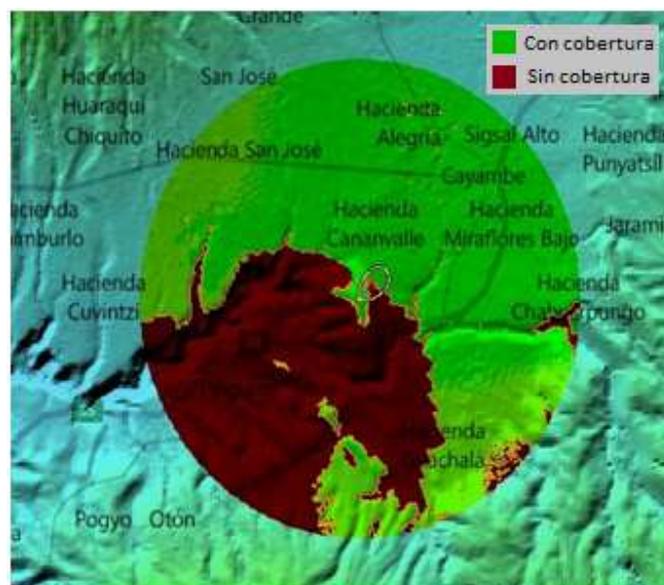


Figura 3.22 Cobertura Estación Base Nodo Cananville.⁸

⁷ Simulación con Radio Mobile

⁸ Simulación con Radio Mobile

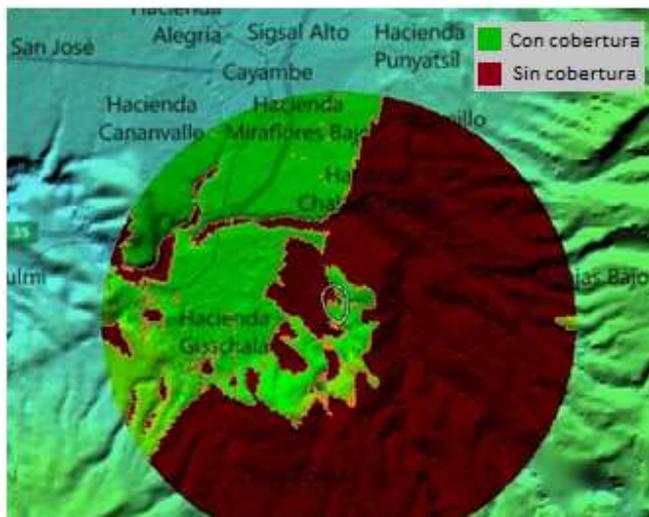


Figura 3.23 Cobertura Estación Base Nodo Guachalá.⁹

En la Figura 3.24 se muestra la cobertura total obtenida por la superposición de las tres estaciones base para un ángulo de Azimut de 90° para cada una, en la que se puede apreciar que estas son necesarias para la cobertura de la totalidad de la zona para la que se ha planteado el Proyecto.

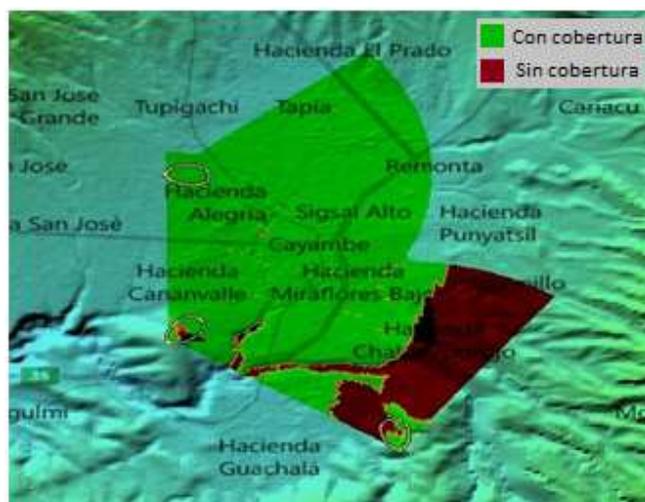


Figura 3.24 Cobertura total de las Estaciones base.

⁹ Simulación con Radio Mobile

3.8.3 ADMINISTRACIÓN DE ENLACES REDUNDANTES [126] [127] [128]

Con el fin de tener la máxima disponibilidad del servicio de Internet para los abonados del ISP, se ha decidido la implementación de enlaces redundantes, que intercomunican cada uno de los nodos de manera dinámica en caso de fallos.

Por esta razón se debe elegir un protocolo que permita activarlos o desactivarlos de forma automática de acuerdo a las necesidades de la red. Dado que al usar una topología tipo malla para la interconexión de los nodos por medio de los *switches* de acceso, se provocaría bucles en la red si se mantienen todos los enlaces activos al mismo tiempo.

Con el fin de evitar los bucles lógicos y el colapso de la red se ha escogido usar el protocolo *Spanning Tree* (STP) para el manejo de los enlaces redundantes de la red inalámbrica del ISP.

Spanning Tree es un protocolo que actúa a nivel de capa 2 del modelo OSI, el cual permite la coexistencia de enlaces redundantes evitando bucles en la red. Esto se logra ya que el protocolo bloquea el tráfico proveniente de las interfaces con enlaces redundantes de modo que se cambia la topología red de manera lógica de malla a tipo árbol.

Para el presente Proyecto se ha decidido instalar *switches* que soporten *Spanning Tree* en cada uno de los nodos.

Adicionalmente se configurará como *switch root* al *switch* ubicado en el nodo Cayambe Centro, de modo que los enlaces que queden activos serán los de la red principal, es decir: Cayambe Centro – Mojanda, Cayambe Centro – Cananvalle y Cayambe Centro – Guachalá.

Los enlaces redundantes de Mojanda – Cananvalle y Guachalá – Cananvalle serán bloqueados automáticamente por el protocolo, de modo que solo serán usados en el momento que uno de los enlaces principales falle.

En la Figura 3.25 se muestra la topología de red de los enlaces de radio que se usarán en el presente Proyecto. De modo que se tenga redundancia entre los nodos del ISP.

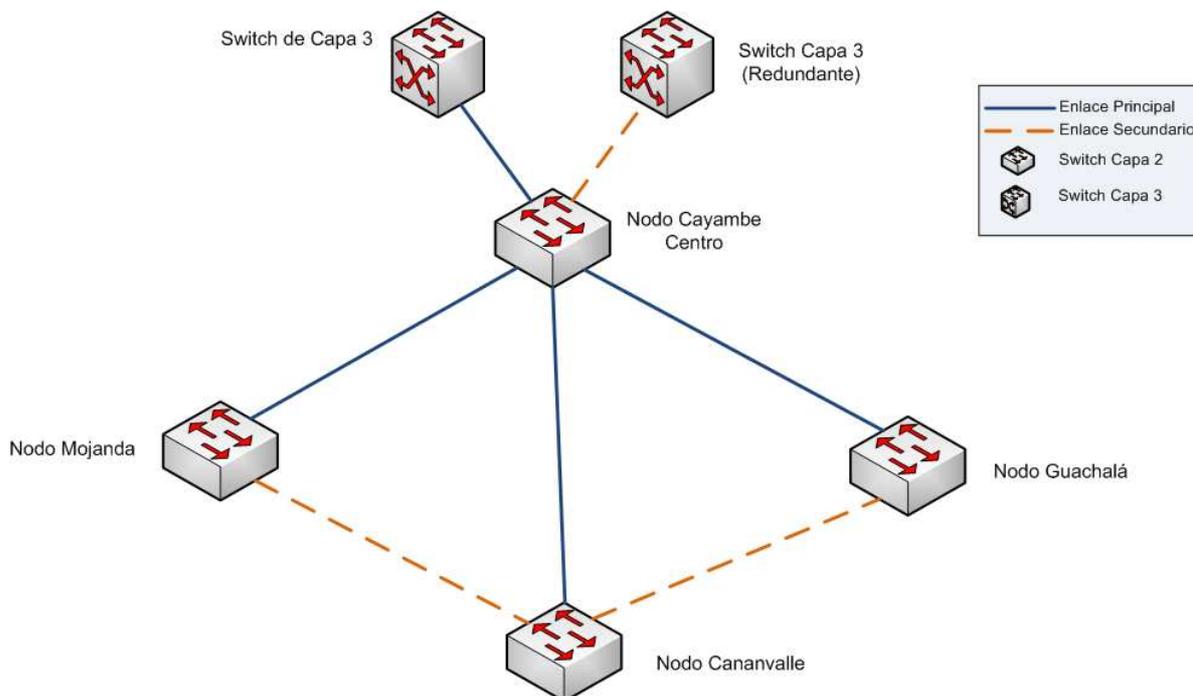


Figura 3.25 Topología de red con enlaces redundantes.

3.8.4 RED DE ABONADO

Para la red de abonado se instalará últimas millas inalámbricas; donde los equipos de radio se conectan a las estaciones multipunto ubicadas en los nodos de acceso.

En la Figura 3.26 se muestra un esquema de conexión para la última milla.

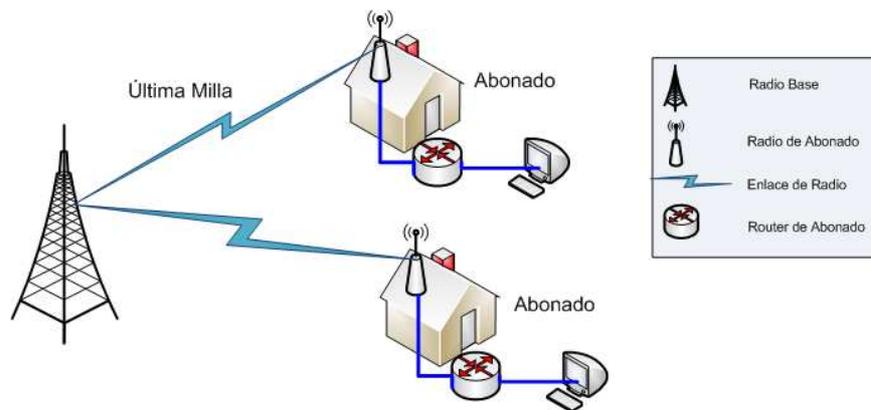


Figura 3.26 Esquema de última milla.

Los dispositivos de la red de abonado serán el equipo de transmisión inalámbrica y el *router* de abonado que será la puerta de acceso a Internet para cada uno de los usuarios de la red del ISP. Este equipo *router* debe ser *Dual Stack* con el fin de que se pueda manejar tanto IPv4 o IPv6.

En la Figura 3.27 se muestra el modelo de servicio de acceso para el abonado final.

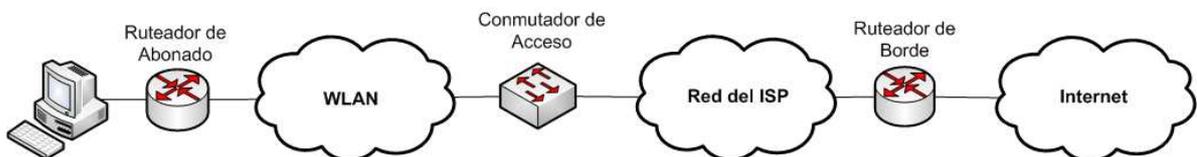


Figura 3.27 Red de Abonado.

3.9 DIRECCIONAMIENTO IP

Con el fin de implementar una red acorde a los cambios tecnológicos que se están dando en los últimos años, para el presente proyecto se ha elegido la utilización del Protocolo de Internet versión 6 o IPv6.

3.9.1 IPv6 (PROTOCOLO INTERNET VERSIÓN 6) [129]

IPv6 es la nueva versión del protocolo de redes de datos en los que Internet está basado, el cual fue desarrollado con el fin de expandir el espacio de direcciones disponibles en Internet, permitiendo así que se conecten billones de nuevos dispositivos a la red.

3.9.1.1 Tipos de direcciones en IPv6

Las direcciones IPv6 son identificadores de 128 bits para interfaces y conjuntos de interfaces, las cuales se clasifican en tres tipos:

- *Unicast*: Identificador para una única interfaz. Un paquete enviado a una dirección *unicast* es entregado sólo a la interfaz identificada con dicha dirección.
- *Anycast*: Identificador para un conjunto de interfaces, típicamente pertenecen a diferentes nodos. Un paquete enviado a una dirección *anycast* es entregado en una (cualquiera) de las interfaces identificadas con dicha dirección.
- *Multicast*: Identificador para un conjunto de interfaces, por lo general pertenecientes a diferentes nodos. Un paquete enviado a una dirección *multicast* es entregado a todas las interfaces identificadas por dicha dirección.

Dado el tipo de servicio que se brindará el ISP, se debe adquirir un bloque de direcciones IPv6 *unicast* del RIR regional, que para el caso de América Latina y el Caribe se lo hará a través de LACNIC¹⁰ o solicitarlo al *upstream provider*.

Sin embargo se debe tomar en cuenta que en nuestro país recién está iniciando la migración de los sistemas a este protocolo, sobre todo a nivel de usuario final. Razón por lo que se deben tomar medidas de coexistencia entre estas dos versiones del protocolo IP, sobre todo en la red de abonado.

¹⁰ Latin American and Caribbean Internet Address Registry.

En la Tabla 3.18 se muestra un resumen de las principales características de IPv6 en comparación con IPv4:

Característica	IPv6 en comparación con IPv4
Direccionamiento	Se tiene una cantidad considerablemente mayor de direcciones IP.
Encabezado del paquete	La mayoría de los cambios realizados en el formato del paquete tienen como propósito optimizarlo en comparación con su contraparte IPv4. Los cambios no son drásticos, pero reflejan algunos principios operacionales nuevos que se introducen en IPv6.
ICMPv6	ICMPv6 se transformó en un protocolo más completo que es parte integral del IPv6. Es una parte crítica para el funcionamiento adecuado del protocolo IPv6.
Enrutamiento	Los Protocolos de enrutamiento no han cambiado de forma significativa de IPv4 a IPv6. Teniendo RIPng, EIGRPv6 y OSPFv3 como nuevos protocolos, mientras que IS-IS y BGP tienen extensiones IPv6.
Multidifusión	Con su mayor espacio de direcciones y arquitectura de direccionamiento delimitada, el IPv6 facilita significativamente la introducción de multidifusión. IPv6 depende de la multidifusión para su funcionamiento básico.
QoS	En estos momentos, las capacidades de QoS del IPv6 son prácticamente idénticas a las de la QoS del IPv4, es decir que las arquitecturas y aplicaciones de Servicios Diferenciados (<i>DiffServ</i>) y Servicios Integrados (<i>IntServ</i>) son las mismas.
IP Móvil	El IPv6 Móvil tiene una implementación más sólida que el IPv4, está concentrado en el protocolo IPv6.
Seguridad	En general, en estos momentos, el IPv6 no es más o menos seguro que el IPv4. Por ahora, el IPv6 depende en gran medida de las mismas prácticas óptimas de seguridad del perímetro y del host utilizadas en los despliegues IPv4.

Tabla 3.18 Características IPv6 e comparación con IPv4. ^[129]

Dado que el proceso de migración hacia IPv6 se irá dando lentamente por lo que se tendrá una parte de abonados cuyos equipos no serán compatibles con el protocolo IPv6, se debe asignar equipos CPE *Dual Stack* que manejen los dos protocolos de Internet (IPv4 e IPv6).^[129]

Como se está realizando el diseño de la red del ISP basado en Metro Ethernet, dicho de otra manera basado en un Núcleo IP o conmutación IP en el núcleo, se ha elegido usar un núcleo IPv6 nativo, el cual es similar al que se tiene con el protocolo IPv4.

3.9.2 Núcleo IPv6 nativo

Para el caso de un núcleo IPv6 nativo todos los encaminamientos deben realizarse con Dual Stack, de modo que los dos protocolos trabajan paralelamente. De este modo el núcleo tiene conciencia de IPv6 y tiene que manejar no sólo la retransmisión, sino también el plano de control para este protocolo adicional, siendo los recursos compartidos entre los dos protocolos.

El protocolo IPv6 de encaminamiento en el núcleo debe generalmente corresponder al del IPv4, para este caso será OSPFv3. Estos protocolos de enrutamiento pueden fácilmente extenderse a la capa del borde de la red de manera expandible, con el uso de áreas múltiples. El BGP-MP en este caso se usa para la interfaz con otros ISP.

Con el fin de unir la capa de acceso en IPv4 con la de distribución y núcleo en IPv6 debemos usar un mecanismo tipo túnel mediante un traductor. En la Figura 3.28 se muestra un esquema del mecanismo tipo túnel.

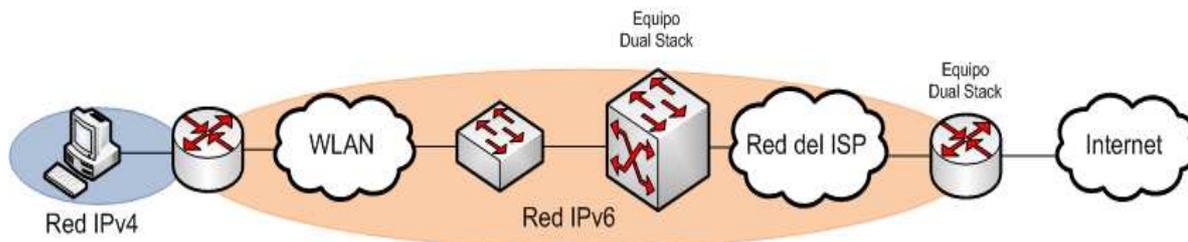


Figura 3.28 Esquema de red IPv4 sobre IPv6.

Si se considera la posibilidad de no tener conexión con IPv6 en el borde de la red del ISP es por esta razón que el *router* de borde deberá ser *Dual Stack*, para tener en este punto un equipo traductor de ser necesario conectarse con una red IPv4.

La función del equipo *Dual Stack* es la de encapsular el tráfico IPv4 proveniente de la capa de acceso en paquetes IPv6 de modo que pueda pasar por el Núcleo IPv6 y posteriormente realizar una desencapsulación, de ser el caso, para salir al exterior. A este método de coexistencia se le conoce como 4over6.

3.9.3 Asignación de direcciones IPv6

Una vez que se haya obtenido el bloque de IPs, éste se debe dividir en subredes que serán asignadas a cada una de las VLANs que componen la red del ISP.

Para el caso de los equipos del ISP como *routers*, *switches* y servidores la asignación de IPs deberá hacerse de manera estática; mientras que para el caso de los equipos de abonado se debe montar un servidor DHCP que haga la asignación de IPs de manera dinámica.

A continuación se realiza la asignación de cada uno de los segmentos de red que se utilizarán en las VLANs de la red del ISP.

En total se necesitan 10 subredes para la administración de los dispositivos de red del ISP, por lo que se deberá solicitar al proveedor de internet del ISP una subred IPv6 con prefijo 56, en la que se tendrá 256 redes con prefijo 64. Esto con el fin de tener un bloque de IPs lo suficientemente grande que permita tener direcciones

disponibles a futuro. Según LACNIC (Latin America & Caribbean Network Information Centre), se debe prever un crecimiento de hasta un 300% en este tipo de redes, por lo que la tendencia es sobredimensionar los recursos de direcciones IP para esta versión del protocolo IP. ^[130]

Asumiendo para fines demostrativos que se dispone de un bloque de direcciones *global unicast* del tipo 2901:0:10:AB00:/56, se deberá realizar la asignación de una subred para cada una de las VLANs del ISP. En este caso las subredes irán desde la 2901:0:10:AB00::/64 hasta la 2901:0:10:ABFF::/64; esto se obtiene siguiendo un proceso de *subnetting* similar al que se usa para IPv4. Cada sub red tiene $2^{64} - 1$ direcciones disponibles para asignación a dispositivos de red. ^{[131][132]}

Este aparente exceso de direcciones IP se justifica si se toma en cuenta el hecho de que en un futuro se piensa asignar una dirección global a cada dispositivo que requiera acceso a Internet.

En internet se pueden encontrar una gran cantidad de herramientas que facilitan el proceso de *subnetting* de las redes IPv6.

En la Tabla 3.19 se presenta un esquema para la asignación de subredes a las VLANs del ISP.

Red del ISP 2901:0:10:AB00::/56			
Número	Subred	Prefijo	Descripción
1	2901:0:10:AB00::	64	VLAN de Servidores de aplicaciones
2	2901:0:10:AB01::	64	VLAN de Servidores de administración
3	2901:0:10:AB02::	64	VLAN de Dispositivos de conectividad externa
4	2901:0:10:AB03::	64	VLAN de Dispositivos de acceso (Nodo Cayambe)
5	2901:0:10:AB04::	64	VLAN de Dispositivos de acceso (Nodo Canavalle)
6	2901:0:10:AB05::	64	VLAN de Dispositivos de acceso (Nodo Guachalá)
7	2901:0:10:AB06::	64	VLAN de Dispositivos de acceso (Nodo Mojanda)
8	2901:0:10:AB07::	64	VLAN de plan 512 Kbps
9	2901:0:10:AB08::	64	VLAN de plan 1024 Kbps

Red del ISP 2901:0:10:AB00::/56			
Número	Subred	Prefijo	Descripción
10	2901:0:10:AB09::	64	VLAN de plan 2048 Kbps

Tabla 3.19 Esquema de asignación de direcciones IP.

En el caso en el que la red de abonado no soporte el direccionamiento IPv6 se deberá instalar un dispositivo CPE Dual Stack, de modo que se pueda traducir el tráfico IPv4.

3.10 REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS

3.10.1 ROUTER DE BORDE

Este equipo se encargará de conectar la red interna del ISP con el exterior, por esta razón manejará gran cantidad de tráfico proveniente de las capas inferiores del modelo jerárquico de red. Es por ello que se ha considerado que este equipo debe contar con las siguientes características como requerimientos mínimos con el fin de garantizar un óptimo funcionamiento. Dichas características se describen a continuación:

- Conectividad LAN (10/100/1000baseTX, 10/100baseTX).
- Conectividad WAN (ATM, ISDN BRI/PRI, T1/E1, T3/E3, Serial Asíncrono).
- Multiservicio (voz, datos y video).
- DRAM de 256 MB.
- Flash de 64 MB.
- Modular.
- 2 Puertos USB.
- 1 puerto de consola asíncrono EIA-232, RJ-45.
- 1 puerto auxiliar.
- 2 puertos Fijos Ethernet 10/100/1000 base T, RJ-45.
- 4 Ranuras para módulos WAN/LAN.

- IPv6.
- Listas de control de acceso (ACLs, Access Control List).
- Traducción de direcciones de red (NAT, Network Address Translation).
- ATM, PPP, HDLC. Ethernet, VPN.
- TCP/IP; RIP-1, RIP-2, OSPF, BGP4.
- DiffServ (Servicios Diferenciados).
- Algoritmo de Cifrado AES, DES y Triple DES.
- IEEE 802.1Q VLAN (20 VLANs).
- Telnet, SNMP, TFTP, VTP.
- Fuente de poder dual, Alimentación 110 V AC, 60 Hz.

3.10.2 SWITCH CONCENTRADOR DE ACCESO

Para el tipo de función que cumplirá este equipo en la red tenemos dos opciones: implementar un *router* que haga las funciones de concentración de la red de acceso o la utilización de un *switch* de capa 3. Este equipo debe tener la característica *Dual Stack* ya que es aquí donde convergerán las redes IPv4 e IPv6 del ISP realizando la encapsulación y desencapsulación del tráfico proveniente del núcleo y la capa de acceso y distribución del ISP. Por estas razones el equipo que se usará debe tener las siguientes características:

- Conectividad LAN (10/100/1000 baseTX, 10/100baseTX).
- Conectividad WAN (ATM, ISDN BRI/PRI, T1/E1, T3/E3, Serial Asíncrono).
- Multiservicio (voz, datos y video).
- DRAM de 256 MB.
- Flash de 64 MB.
- Modular.

- 2 Puerto USB.
- 1 puerto de consola RJ-45asíncrono EIA-232.
- 1 puerto auxiliar.
- 2 – 24 puertos Fijos Ethernet 10/100/1000 base T, RJ-45.
- 4 Ranuras para módulos WAN/LAN.
- Dual Stack.
- ACLs.
- NAT.
- ATM, PPP, HDLC. Ethernet.
- TCP/IP; RIP-1, RIP-2, OSPF, BGP4.
- DiffServ (Servicios Diferenciados).
- VPN.
- Algoritmo de Cifrado AES, DES y Triple DES.
- IEEE 802.1Q VLAN (20 VLANs).
- Telnet, SNMP, TFTP, VTP.
- Fuente de poder dual, Alimentación 110 V AC, 60 Hz.

3.10.3 SWITCHES DE ACCESO

En estos equipos se conectarán los enlaces de *backbone* y los equipos de acceso inalámbrico de los abonados. Por lo tanto manejarán tráfico proveniente de ambas redes. Adicionalmente se realizará la administración de los enlaces redundantes de la red de acceso por lo que deben soportar el protocolo STP. Por estas razones se ha considerado que deben tener los siguientes requerimientos:

- 24 puertos Ethernet 10/100base TX autosensing, RJ45.

- 1 Puerto UL 1000base TX fijo.
- Nivel de conmutación: 2 y 3.
- DRAM de 128 MB.
- Flash de 16 MB.
- Backplane sobre 4.8 Gbps., Full Duplex.
- 1 puerto de consola RJ-45asíncrono EIA-232 y 1 puerto auxiliar.
- Velocidad de Conmutación de paquetes de 3.6 Mpps.
- Soporte 20 VLANs y direcciones MAC sobre 10K.
- Telnet, SNMP.
- STP (Spanning-Tree Protocol, IEEE 802.1D).
- Telnet, SNMP, TFTP, VTP.
- DiffServ.
- Puertos half / full duplex.
- Manejo de enlaces Trunking.
- IPv6.
- ACLs L2- L3.
- IEEE 802.1X.
- Alimentación de energía redundante, 110 AC, 60 Hz.
- MTBF: 200000 horas, para asegurar gran disponibilidad.

3.10.4 FIREWALL

El *Firewall* es un dispositivo de red que se encarga de proteger a la red del ISP contra el acceso exterior no autorizado. Estos pueden ser dispositivos de *hardware*, aplicaciones de software o una combinación de ambos, los mismos que generalmente se colocan entre el punto de conexión de la red interna con la red exterior.

Para el presente diseño se optará por un dispositivo de *hardware* o *software* que se ajuste con las necesidades de la red, debido a que estos dispositivos son apropiados para empresas grandes. A continuación se detallan las características técnicas mínimas del *Firewall*:

- Número ilimitado de usuarios.
- Rendimiento de 600 Mbps. y 200 de Mbps. de tráfico 3DES/AES VPN.
- 2500 sesiones de usuario VPN SSL, 300.000 conexiones simultáneas.
- 10000 conexiones por segundo.
- 512GB de RAM .
- 64 MB de Flash.
- 4 puertos Ethernet 10/100/1000BaseT (RJ-45).
- 2 puertos USB 2.0.
- 1 puerto de consola (RJ-45).
- 20 VLANs (802.1q), Soporte IPsec.
- IPv6.
- Alta disponibilidad active/active y active/standby, failover.
- Algoritmo de cifrado AES, DES, 3DES.
- Certificación ICASA.
- Anti-X (antivirus, antispyware, bloqueo de archivos, antispam, antipishing, y filtrado URL).
- Diffserv.
- Alimentación de AC 100/240 V (50/60 Hz).

3.10.5 SERVIDORES

Los servidores tienen un rol importante en cuanto a los servicios que se quiera prestar en un ISP, es por esto que es importante una correcta elección del hardware y software que se usará; ya que de esto depende la fiabilidad y disponibilidad que tengan cada uno de los servicios que se brindan.

Un servidor diverge de una PC personal en el rendimiento que puede brindar a la hora de manejar y procesar grandes cantidades de información proveniente generalmente de usuarios externos a la red del ISP. Por esta razón debe estar dotado de los componentes de hardware que le permitan atender estos requerimientos de la mejor forma posible de manera eficiente.

Es por estas razones que a continuación se realizará cálculos aproximados que permitan determinar la capacidad mínima, tanto de *software* como de *hardware*, para los distintos tipos de servidores que se incluirán en la red del presente Proyecto.

3.10.5.1 Elección de Software

En el presente Proyecto se optará por la elección de una distribución de *software* basada en Linux ya que presenta algunas ventajas frente a otro tipo de distribuciones. A continuación se describen alguna de estas ventajas:

Es un Sistema Operativo de categoría *Open Source*; esto quiere decir que su código fuente está a disposición de programadores para ser modificado y adaptado a las necesidades de cada usuario. Por otra parte al ser de código abierto existe una gran cantidad de información referente a la manipulación y utilización del sistema.

- Su distribución es gratuita y existen miles de aplicaciones para las distintas distribuciones de este Sistema Operativo.
- El Sistema Operativo Linux es muy robusto, estable y rápido lo cual lo hace Ideal para implementación de servidores y aplicaciones distribuidas.

- La demanda de recursos de hardware por parte de Linux son mínimas, esto lo lleva a correr aplicaciones de calidad en un entorno reducido de consumo de recursos.
- Es un sistema escalable, no se requiere grandes migraciones en *hardware* como con otros sistemas operativos.
- Linux posee una interoperabilidad única con diversos sistemas operativos como Windows, Mac, Solaris y otros, y en general sus aplicaciones permiten a los usuarios trabajar con casi cualquier tipo de archivos.
- Es un sistema que se está desarrollando y mejorando constantemente gracias al trabajo de miles de programadores a nivel mundial.

3.10.5.2 Distribuciones [133]

Una distribución Linux es un conjunto de *software* que se basa en un núcleo denominado Linux, el mismo que incluye diferentes tipos paquetes de software de acuerdo a las necesidades de un grupo específico de usuarios, dando así origen a ediciones domésticas, empresariales y para servidores.

Por esta razón el mercado se puede encontrar una cantidad considerable de distribuciones de este sistema operativo. A continuación se describe las distribuciones más comunes en cuanto al manejo de servidores se refiere.

- **Debian [133] [134]**

Es un sistema operativo con núcleo Linux o de FreeBSD compuesto por *software* de código abierto que es desarrollado totalmente por voluntarios vinculados por el contrato social Debian alrededor del mundo.

Este sistema operativo es una de las más populares distribuciones de Linux que va desde los usuarios personales hasta importantes servidores en Internet.

- **Ubuntu [133]**

Es un sistema operativo basado en Debian y gestionado por Canonical que más auge ha tenido en los últimos años, con cada vez más usuarios. Aunque su enfoque ha sido direccionado aplicaciones de escritorio también existe una versión de servidor.

- **Red Hat Enterprise [133]**

Red Hat Enterprise Linux (RHEL) es una distribución comercial de Linux desarrollada por Red Hat, la cual ha contribuido a un gran número de aplicaciones para la comunidad *Open Source*, incluyendo Red Hat GFS y su sistema de archivos en clúster. Es muy usada en el ámbito empresarial para montaje de servidores.

Aunque no es obligatorio, el acceso a soporte y actualizaciones de seguridad requiere que los usuarios paguen un honorario por estos “derechos”, al igual que el caso de SuSe Linux.

- **CentOS [135]**

Es un sistema operativo CentOS basado completamente en la distribución Linux Red Hat Enterprise que se caracteriza por no cobrar el acceso a actualizaciones de seguridad gracias a la licencia libre con la cual libera Red Hat su código fuente. Dado que es una copia casi exacta de RHEL, con únicamente los logotipos y marcas registradas modificadas, los binarios son totalmente compatibles, es decir, las aplicaciones diseñadas para aplicaciones comerciales de Red Hat se ejecutarán sin modificaciones y con total compatibilidad.

- **SuSE Enterprise [133]**

SuSE Linux Enterprise Server (SLES) que se basa en el modelo operacional de, gestión de paquetes, distribución y su modelo de negocio de Red Hat. Fue creada

originalmente en Alemania por un grupo de consultores de UNIX, SuSE significa “*Software- und System-Entwicklung*”.

De las distribuciones mencionadas anteriormente se escoge la utilización del sistema operativo CentOS por su robustez y fiabilidad; así como también por la posibilidad de acceder a las diferentes soluciones de Red Hat para servidores de manera gratuita. Adicionalmente se escoge la versión 5.8 de CentOS porque contiene características mejoradas en cuanto a clustering y virtualización de forma nativa con respecto a versiones anteriores de este mismo sistema operativo.

A continuación se describen los requerimientos mínimos de este sistema operativo.

3.10.5.3 CentOS 5.8 [135]

CentOS 5.8 está en basado Red Hat 5, y utiliza Kernel 2.6.8. CentOS soporta prácticamente las mismas arquitecturas que el original RHEL 5, como se detalla a continuación:

- Intel x86-compatible (32 bit) (Intel Pentium I/II/III/IV/Celeron/Xeon, AMD K6/II/III, AMD Duron, Athlon/XP/MP).
- Intel Itanium (64 bit).
- Advanced Micro Devices AMD64(Athlon 64, etc) e Intel EM64T (64 bit).
- PowerPC/32 (Apple Macintosh PowerMac corriendo sobre procesadores G3 o G4 PowerPC).
- IBM Mainframe (eServer zSeries y S/390).

Hardware recomendado para operar:

- Memoria RAM: 64 MB (mínimo).
- Espacio en Disco Duro: 512 MB (mínimo) - 2 GB (recomendado).
- Procesadores: i386, x86_64.

3.10.5.4 Servidor de Correo Electrónico [136]

El servicio de mensajería por correo electrónico se ha convertido en una de las herramientas más importantes tanto a nivel personal como empresarial, ya que permite enviar mensajes con variada información a uno o varios destinos de manera práctica y sencilla. En el mercado existen varios paquetes de software que permiten el montaje y administración de este tipo de servicio, por lo que se debe realizar una correcta elección del mismo, con el fin de cubrir las necesidades de la empresa y los usuarios.

Es por esto que se ve la necesidad que el ISP que se diseña en el presente Proyecto cuente con su propio servidor de correo electrónico el cual garantice la comunicación de cada uno de los usuarios con el exterior de manera confiable.

A continuación se describen algunos de los servicios básicos que debe tener el servidor de Correo Electrónico para los clientes del ISP:

- Acceso a las cuentas de correo por medio de programas como Microsoft Outlook, Eudora, Thunderbird o desde aplicaciones para dispositivos móviles.
- Acceso a mensajes por medio de *webmail* de forma sencilla y segura desde cualquier lugar con conexión a Internet, similar al acceso de los servidores de correo gratuito.
- Cuentas con filtros para rechazar archivos con posibles virus o con contenido que no sea de interés para el usuario.
- Control del *spam*, rechazando conexiones de cualquier red que haya sido declarada como insegura.
- Los correos locales, se envían rápidamente agilizando la comunicación y compartiendo la información de forma fácil y segura.

Con el fin de cumplir con las características para el servidor de correo electrónico antes mencionadas se ha elegido el software Zimbra^[136] de código libre el cual será implementado bajo el sistema operativo CentOS en su versión 5.8.

Es necesario definir la cantidad de espacio de disco duro necesario para el almacenamiento de las cuentas de usuario, el cual va a depender del número de cuentas que se requiera tener y el almacenamiento que se asignará a cada cuenta por esto y tomando en cuenta el hecho de que no todos los clientes residenciales solicitan una cuenta de correo electrónico a su proveedor de servicios de Internet, se asume que el 30 % de los mismos lo hará. Además se ha decidido proporcionar un espacio de 25 MB como capacidad de almacenamiento para que cada cliente pueda guardar sus correos.

Partiendo del hecho de que Zimbra necesita un espacio libre disponible de 5 Gb incluido el sistema operativo para su funcionamiento, se realiza el cálculo del tamaño del disco duro necesario el cual se muestra en la Tabla 3.20:

Año	Número de Abonados	Capacidad del Disco
Primer Año	212	5 GB (ZCS)+5 GB= 10 GB
Segundo Año	246	11 GB
Tercer Año	280	12 GB
Cuarto Año	313	13 GB
Quinto Año	347	13 GB

Tabla 3.20 Capacidad requerida para el servidor de correo.

A continuación se detallan las características técnicas mínimas del Servidor de correo electrónico:

- Red Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0GHz, 1333Mz FSB.
- 1 GB de RAM con capacidad de expansión del 100%.
- 5 GB libres en disco para software y 8 GB para almacenamiento de mensajes.

- Disco duro SAS (Serial Attached SCSI; SCSI: Small Computer System Interface), con la capacidad de expansión de dos discos duros hot swap.
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Software: Zimbra.
- Cinco puertos USB 2.0.
- Antivirus y antispam: ClamAV
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 baseTX, RJ45.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad DVD-RW o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

3.10.5.5 Servidor Web [137]

Un servidor web es un programa que se ejecuta continuamente en un computador, el cual atiende las solicitudes o peticiones provenientes de usuarios en el Internet. El servidor web se encarga de contestar a estas peticiones de forma adecuada, entregando como respuesta una página web o información de todo tipo de acuerdo a lo solicitado.

En el presente diseño hemos elegido el *software* Apache HTTP Server 2.4 con PHP 5.4, que constituye un servidor flexible y confiable que presenta las siguientes características:

- Maneja arquitectura modular la cual permite construir un servidor que se ajuste a las necesidades del ISP. Además permite la implementación de los últimos y más nuevos protocolos.
- Sus archivos de configuración son de fácil administración, ya que se encuentran en escritos en ASCII y pueden ser administrados vía línea de comandos, lo que hace la administración remota muy conveniente.

- Cuenta con soporte provisto por “The Apache Group” o “La Fundación Apache”, que permite mantener actualizado el software ^[137].
-

Se debe definir la cantidad de disco duro necesario para alojar las cuentas de usuarios del servidor; para lo cual se tomará como valor referencial la cantidad de 125 MB. Hay que tomar en cuenta que será reducido el número de clientes que usará este tipo de servicio. Se hará el cálculo para el 50 % de los clientes, esto con el fin de poder ofrece capacidades superiores a 125 MB a los clientes que hagan uso del servicio.

Partiendo del hecho de que Apache necesita un espacio libre disponible de 2 Gb incluido el sistema operativo para su funcionamiento, se realiza el cálculo del tamaño del disco duro necesario, el cual se muestra en la Tabla 3.21:

Año	Número de Abonados	Capacidad del Disco
Primer Año	353	2 GB (OS)+ 43 GB= 45 GB
Segundo Año	410	52 GB
Tercer Año	466	59 GB
Cuarto Año	522	66 GB
Quinto Año	578	73 GB

Tabla 3.21 Capacidad de Servidor Web.

A continuación se detallan las características técnicas mínimas del Servidor Web.

- Red Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB.
- 512MB de RAM con capacidad de expansión del 100%.
- 2 GB libres en disco para software y 73 GB para alojamiento web.
- Disco duro SAS, capacidad de expansión requerida hasta el cuarto año.

- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Cinco puertos USB 2.0.
- Software: Apache 2.4.2 con PHP 5.4.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 baseTX, RJ45.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad DVD-RW o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

3.10.5.6 Servidor Caché

Este tipo de servidor permite mejorar la velocidad de navegación de los usuarios, dado que almacena localmente una caché de las páginas web más visitadas; de forma que cada vez que se solicite una página que se encuentre almacenada en el caché del servidor no se tenga que cargarla desde el Internet, sino del servidor directamente, mejorando así el tiempo de respuesta.

Como software de implementación del servidor se ha elegido la herramienta libre Squid la misma que incluye características como un nivel de seguridad filtrando el tráfico, caché de consultas DNS y soporte para HTTP, HTTPS y FTP, además de ser ampliamente conocido, confiable y robusto.

Ahora se definirá la capacidad que tendrá el disco duro para el almacenamiento web. Para ello se considerará que el servidor sea capaz de almacenar 3000 sitios web como valor referencial. Adicionalmente se considerará que cada sitio web tiene un promedio de 6 páginas web de un tamaño de 312 KB cada una, por lo que cada sitio web pesaría alrededor de 1,87 MB.

Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas se obtiene que la capacidad que debería tener el disco duro del servidor caché es de alrededor de 5.61 GB.

A continuación se detallan las características técnicas mínimas del Servidor Caché:

- Red Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB.
- 512 de RAM con capacidad de expansión del 100%.
- 2 GB en disco para software y 11 GB para almacenamiento de páginas web.
- Disco duro SAS, capacidad de expansión requerida hasta el cuarto año.
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Software: Squid.
- Cinco puertos USB 2.0.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 baseTX, RJ45.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad DVD-RW o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

3.10.5.7 Servidor DNS [138]

Un servidor DNS permite acceder a un dominio en Internet de forma transparente. Básicamente su función es atender a las peticiones hechas por los distintos programas que acceden a Internet y resolver la dirección IP asociada al dominio consultado. Cuando el servidor recibe una consulta del usuario, realiza una búsqueda; en caso de que ese servidor no disponga de la respuesta, el servidor comienza la búsqueda a través de uno o varios servidores DNS hasta encontrar una respuesta positiva o negativa.

En el presente Proyecto se ve la necesidad de contar con servidores DNS locales ya que de este modo se pueda resolver las peticiones dentro de la misma red y así acelerar la resolución de nombres. Lo cual implica mejores tiempos de respuesta a cada solicitud y por lo tanto mayor velocidad de navegación.

Para lo cual se ve la posibilidad de implementar dos servidores DNS uno primario (maestro) y otro secundario (esclavo) a fin de tener la máxima robustez y fiabilidad posible en el servicio, de modo que si el servidor DNS primario falla los usuarios aún serán capaces de obtener información del DNS esclavo acerca de las zonas que se representan.

El paquete que se ha escogido para la implementación de este tipo de servicio es BIND ^[138] (*Berkeley Internet Name Domain*) que es el servidor DNS más usado en Internet, especialmente en sistemas Unix.

BIND en su versión 9.2.4 es un sistema multiplataforma que puede ser instalado tanto en Windows como en el sistema Linux. Para este caso en particular se realizará la implementación del servidor bajo el sistema operativo CentOS 5.8.

A continuación se detallan las características técnicas mínimas del Servidor DNS:

- Red Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 6 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB.
- 512 de RAM con capacidad de expansión del 100%.
- 2 GB en disco para software.
- Disco duro SAS, capacidad de expansión requerida hasta el cuarto año.
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Software: BIND 9.2.4.
- Cinco puertos USB 2.0.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 baseTX, RJ45.
- Unidad DVD-RW o superior.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.

3.10.5.8 Servidor de administración

En el servidor de administración se almacenará el *software* y aplicaciones necesarias para la administración y monitoreo de la red del ISP. Dado a que cada *software* tendrá sus propios requerimientos de *hardware* para el servidor se tomarán características estándar.

Para ello describiremos los principales requerimientos de *software* que se necesitará para administrar la red:

- Se debe contar con *software* que permita realizar gráficos de los componentes que forman parte de la red.
- *Software* que permita monitorear a los principales componentes de la red por medio de protocolos como SNMP.
- *Software* que permita monitorear el tráfico que está circulando por la red.
- *Software* que permita monitorear los componentes de la red en tiempo real de modo que permita la detección y corrección de fallos de manera oportuna.
- *Software* que permita generar alarmas y reportes de tráfico y uso de la red.

A continuación se detallan las características técnicas mínimas del Servidor de Administración:

- Hat® Enterprise Linux®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB.
- 2 GB de RAM, 80 GB en disco, para almacenar Software.
- Disco duro SAS, capacidad de expansión de dos discos duros hot swap
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 base TX, RJ45.

- Cinco puertos USB 2.0.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad DVD-RW o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.
- Unidad de respaldo de datos.

3.10.5.9 Controlador de ancho de banda [139]

Con el fin de brindar calidad de servicio a los usuarios del ISP, se implementará un servidor que realice la función de control del ancho de banda de cada uno de los clientes, de modo que garantice el ancho de banda mínimo contratado a cada uno de ellos de acuerdo a la compartición. Para realizar esta función se usará la herramienta llamada HTB-gen ^[139] la cual permite especificar reglas de limitación de ancho de banda en base a IP y puerto de origen y/o destino mediante archivos de configuración.

Este se encontrará en la topología de red entre el *switch* de capa tres y el *router* de borde de tal manera que todo el tráfico que venga desde la red hacia el exterior pase por este servidor.

HTB-gen será montado bajo el sistema operativo CentOS 5.8, para lo cual se tendrán los siguientes requerimientos:

- Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit).
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB.
- 1 GB de RAM.
- 5 GB en disco.
- Disco duro SAS, capacidad de expansión de dos discos duros hot swap.
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 base TX, RJ45.

- Cinco puertos USB 2.0.
- Software: HTB-gen.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad DVD-RW o superior..
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

3.10.5.10 Resumen de requerimientos de servidores.

En la Tabla 3.22 se muestra un resumen de los requerimientos de almacenamiento de cada uno de los servidores que se implementarán en el ISP del diseño. Adicionalmente y dado que en el diseño se ha elegido el software pfSense para la implementación del Cortafuegos se incluye en la lista de servidores de la tabla antes citada.

SERVIDOR	REQUERIMIENTO ALMACENAMIENTO	CANTIDAD
Correo electrónico	13 GB	1
Servidor Web	75 GB	1
Servidor Cache	13 GB	1
Servidor DNS 1	5 GB	1
Servidor DNS 2	5 GB	1
Servidor de Administración	82 GB	1
Controlador de ancho de banda	5 GB	1
Firewall	5 GB	1

Tabla 3.22 Resumen de requerimientos de almacenamiento de los Servidores.

Dado que los requerimientos de almacenamiento no son críticos se ha decidido implementar más de un servicio por servidor (*hardware*) con el fin de ahorrar espacio físico y optimizar el uso de los recursos.

En la tabla 3.23 se muestra la como quedarían distribuidos cada uno de los servicios en los servidores:

SERVIDOR	SERVICIOS
Servidor 1	Caché DNS1
Servidor 2	Controlador de Ancho de Banda Cortafuegos
Servidor 3	Web DNS2
Servidor 4	Correo Electrónico
Servidor 5	Administración

Tabla 3.23 Distribución de Servidores.

De lo antes anotado se concluye que se necesitarían un total de cinco servidores para la implementación de todos los servicios que se contemplan en el diseño de la red.

Para la administración de estos servidores se necesita una consola KVM con LCD, teclado, *mouse* y *touchpad* con el fin de controlarlos desde una unidad de periféricos central.

3.10.6 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Estos equipos formarán parte de la red de Distribución y Acceso del ISP, los mismos que brindarán una conexión a cada uno de los clientes y transportarán los datos de los usuarios hacia el núcleo de la Red. Para este fin se establecerán los requerimientos mínimos tanto de las Radio Bases, como las Estaciones. Dichos equipos deben ser capaces de manejar el tráfico estimado en 3.8.1.2.1 y 3.8.1.2.2.

3.10.6.1 Radio Bases y Estaciones

Estos equipos proveerán los enlaces de última milla a cada uno de los usuarios. A continuación se describen las características que las Radio Bases deberán tener:

- Banda de operación: 5.8 GHz.

- Estándar Inalámbrico: 802.11 a/n.
- Potencia de transmisión: 16 dBm.
- Sensibilidad: -90 dBm.
- Distancia de Operación mínima: 5 Km.
- Ancho de Canal: 5, 10, 20, 40 MHz.
- Tasas de Transmisión: 6, 24, 36, 48, 54 Mbps.
- Encriptación: WEP/WPA/WPA2.
- Calidad de Servicio: 802.11e / Soporte WMM.
- Tarjeta de red, puerto Ethernet 10/100 base TX, RJ45.
- Temperatura de operación: de 30° a 75° C.
- Humedad de operación: Entre 5 y 95 % de Condensación.
- Antenas sectoriales de 16 dBi con Azimut de 90° (Radio Bases).
- Antenas direccionales de 14 dBi. (Estaciones).
- El equipo de Radio de Abonado debe funcionar como router Wireless.

3.10.6.2 Enlaces de Backbone

Proveerán la comunicación entre los nodos del ISP. A continuación se describen las características que deben tener:

- Banda de operación: 5.8 GHz.
- Estándar Inalámbrico: 802.11 a/n.
- Potencia de transmisión: 16 dBm.
- Sensibilidad: -90 dBm.
- Distancia de Operación mínima: 5 Km.
- Ancho de Canal: 5, 10, 20, 40 MHz.
- Tasas de Transmisión: 6, 24, 36, 48, 54 Mbps.

- Encriptación: WEP/WPA/WPA2.
- Calidad de Servicio: 802.11e / Soporte WMM.
- Tarjeta de red, puerto Ethernet 10/100 base TX, RJ45.
- Temperatura de operación: de 30° a 70° C.
- Humedad de operación: Entre 5 y 95 % de Condensación.
- Antenas direccionales de 24 dBi.

3.11 SELECCIÓN DE EQUIPOS

3.11.1 ROUTER DE BORDE

En la Tabla 3.24 se muestran dos marcas de equipos para *Router* de borde, con las características que cumplen de acuerdo al diseño planteado:

Característica	CISCO	JUNIPER
Imagen		
Modelo	3945	M7i
Conectividad LAN (10/100/1000 baseTX, 10/100baseTX)	✓	✓
Conectividad WAN (ATM, ISDN BRI/PRI, T1/E1, T3/E3, Serial Asíncrono)	✓	✓
Multiservicio (voz, datos y video)	✓	✓
DRAM de 1 GB default (expansión hasta 4GB)	✓	✗
Flash de 256 MB default (expansión hasta 8 GB MB)	✓	✓
Modular	✓	✓
2 Puertos USB 2.0	✓	✗
1 puerto de consola RJ-45asíncrono EIA-232	✓	✓
1 puerto auxiliar	✓	✗
2 puertos Gigabit Ethernet, RJ-45	✓	✓
4 Ranuras para módulos WAN/LAN	✓	✓
IPv6	✓	✓
ACLs	✓	✓
NAT	✓	✓
ATM, PPP, HDLC. Ethernet	✓	✓

Característica	CISCO	JUNIPER
TCP/IP; RIP-1, RIP-2, OSPFv3, BGP4;	✓	✓
DiffServ (Servicios Diferenciados)	✓	✓
VPN	✓	✓
Algoritmo de Cifrado AES, DES y Triple DES	✓	✓
IEEE 802.1Q VLAN (20 VLANs)	✓	✓
Telnet, SNMP	✓	✓
Fuente de poder dual	✓	✓
Alimentación 110 V AC, 60 Hz.	✓	✓

Tabla 3.24 Características de *routers* de Borde. ^{[140][141]}

Como se puede observar en la Tabla 3.24 los equipos presentados para *router* de borde cumplen con las características que se necesitan en la red del ISP, siendo ligeramente superior en características el equipo Cisco 3945 en cuanto a las prestaciones que brinda. Por esta razón se optará por elegir al Cisco 3945 frente al Juniper M7i.

3.11.2 SWITCH CONCENTRADOR DE ACCESO

En este equipo se concentrarán las redes de acceso y de núcleo. Este equipo deberá ser capaz de conmutar una gran cantidad de tráfico a grandes velocidades con destino hacia el exterior de la red. En la Tabla 3.25 se presentan tres propuestas para equipo concentrador de acceso.

Característica	CISCO	JUNIPER
Imagen		
Modelo	3750	EX3300
24 puertos Ethernet 10/100/100bT autosensing, RJ45	✓	✓
2 Puerto UL 1000base TX fijo	✓	✓
Nivel de conmutación: 2 y 3	✓	✓
DRAM de 128 MB Memoria.	✓	✓
Flash de 16 MB	✓	✓
Backplane sobre 30 Gaps., Full Duplex	✓	✓
1 puerto de consola RJ-45asíncrono EIA-232	✓	✓
1 puerto auxiliar	✓	×
Velocidad de Conmutación de paquetes de 35Mpps	✓	✓
Soporte VLAN (20)	✓	✓

Característica	CISCO	JUNIPER
Direcciones MAC sobre 10K	✓	✓
Telnet, SNMP	✓	✓
Alimentación de energía redundante	✓	✓
Spanning-Tree Protocol, IEEE 802.1D	✓	✓
Telnet, SNMP, TFTP, VTP	✓	✓
DiffServ	✓	✓
Puertos half / full duplex.	✓	✓
Manejo de enlaces Trunking.	✓	✓
IPv6	✓	✓
ACLs L2- L3	✓	✓
IEEE 802.1X	✓	✓
Alimentación 110 AC, 60 Hz	✓	✓
MTBF: 200000 horas	✓	✓

Tabla 3.25 Características *switch* de Capa 3. ^{[142][143]}

Basándonos en la comparación presentada en la Tabla 3.25 para los posibles equipos para *switch* de capa 3, se concluye que ambos equipos cumplen con los requerimientos mínimos del diseño de la red. Con el fin de facilitar la administración de los equipos es recomendable considerar la idea de homologar las marcas de equipos que se tendrá en la infraestructura del ISP, es por esta razón que se escoge el Cisco 3750 para funcionar como *switch* concentrador de acceso.

3.11.3 SWITCH DE ACCESO

En estos equipos se conectarán los equipos de comunicación inalámbrica de cada uno de los nodos. Adicionalmente se realizara el control de los enlaces redundantes de *backbone* por lo que es importante que tengan soporte del protocolo STP. En la Tabla 3.26 se presentan dos alternativas para los *switches*:

Característica	CISCO	JUNIPER
Imagen		
Modelo	2960-S	EX2200
24 puertos Ethernet 10/100/100bT autosensing, RJ45	✓	✓
1Puerto UL 1000base TX fijo	✓	✓
Nivel de conmutación: 2 y 3	×	✓

Característica	CISCO	JUNIPER
DRAM de 128 MB Memoria.	✓	✓
Flash de 64 MB	✓	✓
Backplane sobre 30 Gaps., Full Duplex	✓	✓
1 puerto de consola RJ-45 asíncrono EIA-232	✓	✓
1 puerto auxiliar	✓	×
Velocidad de Conmutación de paquetes de 35Mpps	✓	✓
Soporte VLAN (20)	✓	✓
Direcciones MAC sobre 10K	✓	✓
Telnet, SNMP	✓	✓
Alimentación de energía redundante	×	×
Spanning-Tree Protocol, IEEE 802.1D	✓	✓
Telnet, SNMP, TFTP, VTP	✓	✓
DiffServ	✓	✓
Puertos half / full duplex.	✓	✓
Manejo de enlaces Trunking.	✓	✓
IPv6	✓	✓
ACLs L2	✓	✓
IEEE 802.1X	✓	✓
Alimentación 110 AC, 60 Hz	✓	✓
MTBF: 200000 horas	✓	✓

Tabla 3.26 Características *switches* de Acceso. ^[144] ^[145]

De la comparación presentada para el *switch* de acceso se puede observar que las características presentadas por el Cisco 2960-S son superiores a las del Juniper EX2200, por lo que se optará por el Cisco 2960-S para *switch* de Acceso.

3.11.4 FIREWALL

Este equipos se encargará de la seguridad de la red, filtrando tráfico mal intencionado hacia la red. En la Tabla 3.27 se presentan dos alternativas para cortafuegos del ISP:

Característica	PFSense	FORTINET
Modelo	pfsense	600C
Imagen		
Número ilimitado de usuarios	✓	✓
Rendimiento de 500 Mbps.	✓	✓
200 de Mbps. de tráfico 3DES/AES VPN	✓	✓
2500 sesiones de usuario VPN SSL	✓	✓
300.000 conexiones simultáneas	✓	✓
10000 conexiones por segundo	✓	✓
512MB de RAM	✓	✓
64 MB de Flash	✓	✓
4 puertos Ethernet 10/100/1000BaseT (RJ-45)	×	✓
1 puertos USB 2.0	✓	✓
1 ranura de expansión de memoria y de conectividad	✓	✓
20 VLANs (802.1q)	✓	✓
Soporte IPsec	✓	✓
IPv6	✓	✓
Alta disponibilidad active/active y active/stand by, failover	✓	✓
Algoritmo de cifrado AES, DES, 3DES	✓	✓
Certificación ICASA	✓	✓
Anti-X (antivirus, antispyware, bloqueo de archivos, antispam, antipishing, y filtrado URL)	✓	✓
Diffserv	✓	✓
Alimentación de AC 100/240 V (50/60 Hz)	✓	✓

Tabla 3.27 Características Cortafuegos. ^[146]^[147]

De la comparación de las características de las dos opciones presentadas para *Firewall*, se concluye que ambos tienen características similares. Sin embargo se optará por la adopción de un firewall basado en el software PFSense, ya que este último tiene la característica de ser Open Source por lo que no sería necesaria la adquisición de una licencia para su uso y las limitaciones vendrían dadas por el tipo de hardware en el que se monte el servidor.

Debido a que el *firewall* que se escogió es un software que puede ser implementado en un servidor, a continuación se detallarán los requerimientos que este debe tener para su funcionamiento:

- Red Hat ® Enterprise Linux ®, AS/ES 5 (32-bit or 64-bit)
- Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB
- 512 de RAM con capacidad de expansión del 100%
- 5 GB en disco duro para software.
- Disco duro SAS
- Memoria caché externa L2 de 2MB.
- Software: pfSense
- Cinco puertos USB 2.0
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 baseTX, RJ45.
- Puerto para teclado, monitor y ratón
- Unidad DVD-RW o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

3.11.5 SERVIDORES

Para la correcta elección de los equipos que harán la función de servidores se analizarán los requerimientos que se tienen ya que la diferencia fundamental entre estos radica en la cantidad de memoria RAM y la capacidad de almacenamiento del Disco Duro. En la Tabla 3.28 se presentan tres opciones para servidor:

Característica	IBM	HP
Modelo	IBM System X3650	HP Poliant DL380 G5
Imagen		
Certificación de Soporte RHEL 5, categoría servidor	✓	✓
Procesador Intel Dual Core 3.0 GHz, 1333Mz FSB	✓	✓
1 GB de RAM	✓	✓
Soporte de disco duro SAS (36GB, 72GB, 146GB)	✓	✓
Soporte de disco duro SATA (60GB, 120GB)	✓	✓
4 Ranuras de expansión para disco duro hot swap	✓	✓

Característica	IBM	HP
Almacenamiento interno máximo de 1.168 TB	✓	✓
Memoria caché externa L2 de 2MB.	✓	✓
Cinco puertos USB 2.0	✓	✓
Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100/100 Base TX, RJ45.	✓	✓
Puerto para teclado, monitor y ratón	✓	✓
Unidad de CD-ROM 24x o superior	✓	✓
Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.	✓	✓

Tabla 3.28 Características Servidores. ^{[148][149]}

Gracias a que los requerimientos de hardware del software que se eligió para el montaje de los servidores no es elevado, ambas soluciones se ajustan a las necesidades de la red. Por esta razón se elige los servidores HP Poliant DL380 G5 por su alta fiabilidad con precios moderados frente a otras alternativas como la IBM.

3.11.6 CONSOLA KVM CON LCD, TECLADO Y TOUCHPAD

En la Tabla 3.29 se presentan dos alternativas para consolas KVM de administración de servidores. A continuación se indican las principales características:

Característica	AIS	HP
Modelo	LDS310D-16P 17"	TFT7600 147064001
Imagen		
8 puertos para teclado, pantalla y ratón	✓	✓
Puerto PS-2, 6 pines , hembra (ratón)	✓	✓
Puerto HDB-15 (monitor)	✓	✓
Teclado de 88 teclas, teclado numérico de 17 teclas	✓	✓
Touchpad	✓	✓
Monitor LCD plano 17"	✓	✓
Pantalla de 1440 (H) x 900 (V)	✓	✓
16 millones de colores	✓	✓
Tamaño de píxel de 0.26 Mm.	✓	✓

Característica	AIS	HP
Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.	✓	✓
4 Puertos USB	×	✓
8 Puertos para Servidor RJ-45	×	✓

Tabla 3.29 Características Consolas KVM. ^[150]^[151]

Comparando las dos alternativas presentadas se observa una ligera ventaja de la marca HP para este tipo de producto y considerando que los servidores serán los HP Poliant DL380 G5 se escoge las consolas HP TFT7600 147064001 ya que son las que mejor se ajustan con este tipo de servidores.

3.11.7 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

En esta sección se presentan dos alternativas para elección de equipos que conformarán la red Inalámbrica del ISP, los cuales son totalmente compatibles entre si, por los que se puede elegir cualquier alternativa indistintamente de acuerdo a las necesidades de la red.

3.11.7.1 Enlaces de Backbone

Estos equipos nos brindarán conectividad entre los nodos del ISP. Transportarán todo el tráfico proveniente de los abonados. En la Tabla 3.30 se presentan dos posibles soluciones para enlaces de *Backbone*:

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
Imagen		
Modelo	RocketM5 Titanium	RB711GA- 5HnD + Tarjeta R52nM
Banda de frecuencia entre 5.725 – 5.850 GHz	✓	✓
Troughput mayor a 30 Mbps.	✓	✓
Potencia de Tx mayor a 20 dBm.	✓	✓
Sensibilidad de recepción menor a - 90 dB.	✓	✓

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
FDD/TDD	✓	✓
DHCP	✓	✓
Ancho de canal de 10 MHz	✓	✓
Software de administración	✓	✓
Telnet, SNMP	✓	✓
Ganancia de antena de 17dBi	✓	✓
Soporte IPv6	✓	×
Actualización de Software	✓	✓
Interfaces Ethernet 100baseTX	✓	✓
QoS 802.11e/Soporte WMM	✓	×

Tabla 3.30 Características de Equipos para Enlaces de Backbone. ^[152]^[153]

Al comparar las soluciones presentadas para enlaces de backbone se concluye que las características del Ubiquiti RocketM5 son superiores a las del Mikrotik. Además el Rocket M5 a partir de la versión 5.5 del AirOS ^[154] soporta el protocolo IPv6 (*Dual Stack*) fundamental para el diseño planteado. Por estas razones se elige el Rocket M5 para equipo de enlaces de backbone.

3.11.7.2 Enlace de Abonado

Mediante estos equipos se brindará el enlace de última milla a cada uno de los abonados. En las Tablas 3.31 y 3.32 se muestran las características de las Radio Bases y estaciones para dos marcas de equipos:

- **Radio Base**

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
Imagen		
Modelo	RocketM5 Titanium	RB711GA- 5HnD + Tarjeta R52nM
Banda de frecuencia entre 5.725 – 5.850 GHz	✓	✓

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
Troughput mayor a 30 Mbps.	✓	✓
Potencia de Tx mayor a 20 dBm.	✓	✓
Sensibilidad de recepción menor a - 90 dB.	✓	✓
FDD/TDD	✓	✓
DHCP	✓	✓
Ancho de canal de 10 MHz	✓	✓
Software de administración	✓	✓
Telnet, SNMP	✓	✓
Ganancia de antena de 17dBi	✓	✓
Soporte IPv6	✓	×
Actualización de Software	✓	✓
Interfaces Ethernet 100baseTX	✓	✓
QoS 802.11e/Soporte WMM	✓	×

Tabla 3.31 Características de equipos para radio base. ^[152] ^[153]

- **Estaciones**

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
Imagen		
Modelo	NanoStation M5	RB711GA-5HnD + Tarjeta R52nM
Banda de frecuencia entre 5.725 – 5.850 GHz	✓	✓
Troughput mayor a 30 Mbps.	✓	✓
Potencia de Tx mayor a 20 dBm.	✓	✓
Sensibilidad de recepción menor a - 90 dB.	✓	✓
FDD/TDD	✓	✓
DHCP	✓	✓
Ancho de canal de 10 MHz	✓	✓
Software de administración	✓	✓
Telnet, SNMP	×	✓
Ganancia de antena de 13dBi	✓	✓
Soporte IPv6	✓	×
Actualización de Software	✓	✓
Interfaces Ethernet 100baseTX	✓	✓

Característica	UBIQUITI	MIKROTIK
QoS 802.11e/Soporte WMM	✓	×
Servidor DHCP, NAT	✓	✓

Tabla 3.32 Características de equipos para estaciones. ^[152] ^[153]

Comparando las dos alternativas para el par Radio Base – Estación se observa una ligera ventaja en las características de Ubiquiti sobre Mikrotik, ya que nos permite dar QoS y soporte WMM para determinadas aplicaciones y soporte IPv6 para la versión 5.5 de su AirOS. ^[154]

Además es preciso mencionar que el montaje de equipos Ubiquiti es más sencillo que las que se presenta con Mikrotik haciendo que se ahorre tiempo de instalación. Por estas razones se elige el par RocketM5 Titanium - NanoStation M5 para brindar enlaces punto- multipunto de última milla de abonado.

Por otra parte dado que una de las características que ofrece firmware del Ubiquiti NanoStation M5 es la de funcionar como *router dual stack*, no se ve la necesidad de elegir uno para la instalación en la red del abonado.

3.11.8 ANTENAS

En la Tabla 3.33 se presentan dos alternativas para la elección de las antenas de los enlaces punto a punto de la red del ISP.

Característica	COMMSCOPE	HYPERLINK
Imagen		
Modelo	P2-57W	HG4958DP-25
Polarización vertical	✓	✓
Polarización horizontal	×	✓
Ganancia 23 dBi	✓	✓
Frecuencia de operación 5725 – 5865 MHz	✓	✓
Conector hembra tipo N	✓	✓

Tabla 3.33 Características de antenas para enlaces punto a punto. ^[155] ^[156]

Como se puede observar en la Tabla 3.33 las características de las antenas son similares, sin embargo la antena de marca Hyperlink ofrece la posibilidad de usar la antena tanto en polarización vertical como horizontal, por esta razón se escoge la Hyperlink modelo HG4958DP-25 como antena para los enlaces punto a punto.

A continuación en la Tabla 3.34 se muestran dos opciones de antenas sectoriales para enlaces punto a multipunto.

Característica	RADIOWAVES	HYPERLINK
Imagen		
Modelo	SEC-55D-90-16	HG5158-19DP-090
Polarización vertical	✓	✓
Polarización horizontal	✓	✓
Ganancia 16 dBi	✓	✓
Beamwidth de 90°	✓	✗
Frecuencia de operación 5725 – 5865 MHz	✓	✓
Conector hembra tipo N	✓	✓

Tabla 3.34 Características de antenas para enlaces punto a multipunto. ^[157]^[158]

De la Tabla 3.34 se puede decir que la antena sectorial de marca Radiowaves supera a la Hyperlink ya que posee un *beamwidth* de 90° frente a los 60° de la Hyperlink, por esta razón se escoge a la Radiowaves modelo SEC-55D-90-16 para antena sectorial de los enlaces multipunto.

3.11.9 RESPALDO ELÉCTRICO NODOS

Con el fin de garantizar la máxima disponibilidad del servicio se deberá instalar fuentes de energía sin interrupciones o UPS en cada uno de los nodos, de tal modo que provean de energía eléctrica a los equipos de comunicación en caso de cortes de energía por parte de la empresa eléctrica. En la tabla 3.35 se presentan dos alternativas para equipos que brinden respaldo de energía:

Característica	CDP	EATON
Imagen		
Modelo	X-Verter 1524	EATON 5PX UPS
Tipo On-Line	✓	✓
Potencia mínima: 3000 VA	✓	✓
110V entrada/110V salida	✓	✓
Regulación de voltaje -10% a + 6% del nominal	✓	✓
Onda senoidal de voltaje	✓	✓
Tiempo de transferencia inferior a 10 ms.	✓	✓
Ancho de canal de 10 MHz	✓	✓
Protección de tres vías (incluye cable a tierra)	✓	✓
Alarma audible	✓	✓
Duración de batería de al menos 2 horas	✓	✓
Puerto Serial	✓	×
Ruido menor a 40dBA	✓	✓
Cumplimiento de norma UL 1449	✓	✓
Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.	✓	✓

Tabla 3.35 Características de equipos para respaldo eléctrico. ^[159] ^[160]

De la tabla anterior se puede concluir que ambos equipos presentan características similares, sin embargo es preciso mencionar que en el X-Verter 1524 se tiene tiempo de respaldo superior al de EATON 5PX UPS ya que este depende del banco de baterías al que se conecte. Con el fin de tener el máximo respaldo posible en casos de emergencia se opta por el CDP X-Verter 1524 para cada uno de los nodos del ISP.

A continuación en la Tabla 3.36 se presenta un resumen de los equipos elegidos para la instalación en la red del ISP.

EQUIPOS DE RED		
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD
Router de Borde	Cisco 3945	1
Switch de capa 3	Cisco 3750	2
Switch de acceso	Cisco 2960	4

EQUIPOS DE RED		
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD
Servidores	HP Poliant DL380 G5	5
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA		
Backbone	Ubiquiti RocketM5 Titanium	10
Radio Base	Ubiquiti RocketM5 Titanium	3
Estaciones	Ubiquiti NanoStation M5	20
ADMINISTRADOR DE SERVIDORES		
CONSOLA KVM	HP TFT7600 147064001	1
EQUIPOS DE RESPALDO ELÉCTRICO		
UPS	CDP X-Verter 1524	4
BATERÍAS	CS3 115DC36	10

Tabla 3.36 Resumen de equipos

4 DETERMINACIÓN DE COSTOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los costos aproximados de los equipos que se han elegido para la red del ISP. Dichos valores son referenciales y solo representan un valor aproximado, de los equipos que se toman en cuenta en el diseño de la red. En dichos valores no están incluidos impuestos, ni costos de transportación.

Determinar la rentabilidad del Proyecto no es uno de los objetivos de este capítulo, por lo cual se expondrán solo los costos sin un análisis exhaustivo de los mismos.

4.2 COSTOS DE LOS EQUIPOS

De acuerdo a los equipos que se han elegido en el diseño de la red del ISP se construye la Tabla 4.1 con la lista de precios de los equipos de núcleo de la red del ISP.

EQUIPOS DE RED				
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO TOTAL
Router de Borde	Cisco 3945	1	6800	6800
Switch de capa 3	Cisco 3750	2	1850	3700
Switch de acceso	Cisco 2960	4	622	2488
Servidores	HP Poliant DL380 G5	5	1300	6500
			TOTAL \$	19488

Tabla 4.1 Valores equipos de red. ^{[161][162][163][164]}

De manera similar se construye la Tabla 4.2 con los equipos que formarán parte de la red inalámbrica del ISP.

EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA				
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO FINAL
Backbone	Ubiquiti RocketM5 Titanium	10	175	1750
Radio Base	Ubiquiti RocketM5 Titanium	3	175	525
Estaciones	Ubiquiti NanoStationM5	20	120	2400
			TOTAL \$	4675

Tabla 4.2 Valores equipos de comunicación Inalámbrica. ^{[165][166][167]}

Debido a que se instalará una estación por cliente se debe tener un *stock* mínimo de estos equipos para su instalación. Se ha considerado que tener 20 unidades como *stock* mínimo es recomendable, las mismas que deberán ser reemplazadas periódicamente conforme se vaya incrementando el número de abonados.

En la Tabla 4.3 se presentan los precios referenciales de las antenas que se han escogido para instalación de los enlaces punto a punto y punto a multipunto.

EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA				
ANTENA	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO FINAL
Directiva	HG4958DP-25	6	138	828
Sectorial	SEC-55D-90-16	4	125	500
			TOTAL \$	1328

Tabla 4.3 Valores de antenas. ^{[168][169]}

En la Tabla 4.4 se presentan los precios de los equipos que darán respaldo eléctrico a los equipos de comunicación en caso de fallar la red eléctrica pública.

EQUIPOS DE RESPALDO ELÉCTRICO				
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO FINAL
UPS	CDP X-Verter 1524	4	520	2080
BATERÍAS	CS3 115DC36	10	300	3000
			TOTAL \$	5080

Tabla 4.4 Valores equipos de respaldo eléctrico. ^[170]

Finalmente se presenta en la Tabla 4.5 el precio de la consola KVM para manejo de los servidores del ISP.

ADMINISTRADOR DE SERVIDORES				
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO FINAL
CONSOLA KVM	HP TFT7600 147064001	1	2469	2469
			TOTAL \$	2469

Tabla 4.5 Costo equipo administrador de Servidores. ^[171]

1.1.1. COSTOS TOTALES DE LOS EQUIPOS

En la Tabla 4.6 se presenta un resumen de los costos de los equipos que formarán parte de la red del ISP y el total a invertir en ellos.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Equipos de Red	19488

DESCRIPCIÓN	VALOR
Equipos de Comunicación Inalámbrica	4675
Administrador de Servidores	5080
Equipos de respaldo Eléctrico	2469
Antenas	1328
TOTAL \$	33040

Tabla 4.6 Costos totales de equipos.

4.3 COSTOS DE OPERACIÓN

Durante el transcurso de la vida de operación del ISP se deberán pagar los costos de operación correspondientes a los siguientes parámetros:

- Permiso de funcionamiento de los enlaces de radio.
- Tarifa mensual de los enlaces troncales de Internet del ISP.

4.3.1 COSTO DE CONEXIÓN TRONCAL

Con el fin de brindar la máxima disponibilidad de servicio a los usuarios del ISP se considera necesario el uso de al menos dos conexiones troncales hacia el Internet, de modo que en caso de fallar una de ellas se tenga un respaldo y de este modo garantizar la salida a la red mundial.

Por esto se ha tomado en cuenta dos empresas portadoras que pueden dar este tipo de servicio en la zona como son TELCONET S.A para brindar el enlace principal y la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT que se encargará del enlace de respaldo.

Se ha realizado la cotización de la contratación del Ancho de Banda necesario con ambas empresas para el que se necesitará en el primer año de funcionamiento del ISP, este valor deberá ser ajustado conforme a los requerimientos posteriores del

ISP. En la Tabla 4.7 se muestra el costo de cada uno de los enlaces para conexión internacional.

ENLACE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [Mbps]	PRECIO FINAL MENSUAL [USD]	PRECIO FINAL ANUAL [USD]
Enlace Principal	75 Mbps	100	7500	90000
Enlace de Respaldo	37 Mbps	100	3700	44400
			TOTAL \$	134400

Tabla 4.7 Costo de enlaces troncales.

4.3.2 COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

Los costos de permiso de funcionamiento de los equipos de los Sistemas de Modulación Digital de banda ancha según el CONATEL deben operar según las medidas dispuestas en la “Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha” la cual dictamina la Ecuación 4.1 para determinación de enlaces Punto a Punto:

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_6 * \beta_6 * B * NTE$$

Ecuación 4.1 Cálculo de costo de operación de Enlaces Punto a Punto.^[172]

Donde:

$TA(US \$)$: Tarifa anual en dólares de Estados Unidos de América.

K_a : Factor de ajuste por inflación.

α_6 : Cociente de valoración del Espectro para los sistemas del Espectro Ensanchado.

β_6 : Coeficiente de corrección para los sistemas de Espectro ensanchado.

B : Constante de servicio para los Sistemas de modulación digital de Banda Ancha.

NTE: Es el número total de estaciones fijas, móviles, Estaciones Receptoras de Triangulación, de acuerdo al sistema.

Para el cálculo del costo de los enlaces Punto a Punto del ISP de este Proyecto se tomarán en cuenta los siguientes valores para los parámetros de la Ecuación 4.1:

$$K_a = 1$$

$$\alpha_6 = 6.40$$

$$\beta_6 = 1$$

$$B = 12$$

NTE = 10, para estaciones fijas.

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_6 * \beta_6 * B * NTE$$

$$TA(US \$) = 1 * 6.40 * 1 * 12 * 10$$

$$TA(US \$) = 768$$

Los valores para estas variables se establecieron tomando en cuenta el momento de puesta en operación del ISP, estos valores deberán ser ajustados conforme el número de suscriptores vaya aumentando.

Para el tipo de enlace Punto Multipunto en esta misma norma de regulación dispone el uso de la Ecuación 4.2 para el cálculo del valor de operación de los enlaces.

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_4 * \beta_4 * A * D^2$$

Ecuación 4.2 Cálculo de costo de operación de Enlaces Punto a Multipunto.^[172]

Donde:

$TA(US \$)$: Tarifa anual en dólares de Estados Unidos de América.

K_a : Factor de ajuste por inflación.

α_4 : Coeficiente de valoración del espectro para el Servicio Fijo y Móvil (Multiacceso)

β_4 : Coeficiente de corrección para la tarifa por estación de base o estación central fija.

A : Anchura de banda del bloque de frecuencias en MHz concesionado en transmisión y recepción.

D : Radio de cobertura de la estación de base o estación central fija, en Km.

Para el cálculo del costo de los enlaces Punto a Punto del ISP de este Proyecto, se toman en cuenta los siguientes valores para los parámetros de la Ecuación 4.1:

$$K_a = 1.$$

$$\alpha_4 = 0.0185687.$$

$$\beta_4 = 5.$$

$$A = 20.$$

$$D = 8.$$

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_4 * \beta_4 * A * D^2$$

$$TA(US \$) = 1 * 0.0186 * 5 * 20 * 8^2$$

$$TA(US \$) = 119.04$$

El valor anteriormente calculado corresponde al costo de operación de cada una de las estaciones base. En la Tabla 4.8 se muestran los costos totales de operación de los enlaces inalámbricos del ISP.

Tipo de Enlace	Costo Mensual [USD]	Costo Anual [USD]
Punto a Punto	768	9216
Punto a Multipunto	357.12	4285.44
	TOTAL \$	13501.44

Tabla 4.8 Costo de operación anual de enlaces de radio.

4.4 COSTOS TOTALES

A continuación en la Tabla 4.9 se presenta el costo total que se tendría que invertir para implementación del ISP del presente Proyecto. Cabe recalcar que estos costos solo se toman en cuenta valores de equipos, costos de permisos de operación y acceso a Internet; por lo que en caso de que se requiera implementar el proyecto, se tendrán que añadir valores por concepto de salarios de trabajadores e infraestructura adicional.

CONCEPTO	VALOR [USD]
Costo total de los Equipos	33040
Costo total anual de Red Troncal	134400
Costo total anual de Enlaces de Radio	13501.44
Otros costos de operación anual	10000
TOTAL \$	190941.44

Tabla 4.9 Costos totales

El valor expuesto anteriormente representa el valor total a invertir durante el primer año de funcionamiento del ISP por concepto de equipos, Permisos de operación de los equipos y conexión troncal hacia Internet. Dichos valores deberán ser ajustados durante el transcurso del tiempo y de acuerdo al crecimiento del número de abonados y por ende de la red. Además se ha considerado añadir un valor de 10000 dólares al inicio de funcionamiento del ISP por concepto de gastos adicionales por

compra de materiales de instalación de equipos, arrendamiento de torres, suministro eléctrico, etc.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se ha podido obtener las conclusiones siguientes:

- De los resultados obtenidos en el estudio de la situación actual del grado de penetración de los servicios de Internet para la ciudad de Cayambe se concluye que es un área en la que se puede explotar el mercado de las telecomunicaciones debido a la reducida presencia de empresas que brinden los servicios de Internet a costos módicos y asequibles a la población.
- Debido a la escasa penetración de empresas que brinden servicios de Internet en la zona estudiada los precios de estos servicios aún siguen siendo elevados y la calidad del servicio es todavía baja aún en presencia de entes reguladores. La creación de empresas que brinden este tipo de servicios en la zona haría que al haber mayor competencia los precios disminuyan y la calidad de servicio mejore, haciendo que el usuario final pueda disfrutar de mayores beneficios.
- De los resultados de la encuesta se puede decir que los hábitos de consumo de la población de los servicios de Internet están orientados en su mayor porcentaje a la educación, y a la comunicación mediante la interacción en redes sociales. Esto confirma las tendencias de la sociedad a estar cada vez más comunicada; haciendo de una conexión a Internet cada vez más imprescindible en la vida actual.
- Se determina la población meta del ISP a familias que se encuentren en estratos sociales medios y altos ya que son estas las familias que cuentan con los medios necesarios para la contratación de una conexión a Internet, sin embargo se debe tener en cuenta la idea de universalización de los servicios

de modo que se puedan crear planes que estén al alcance de la mayor parte de la población.

- Las proyecciones de crecimiento de cuentas de Internet banda ancha para la población de la ciudad de Cayambe permitieron realizar un dimensionamiento adecuado de la red y la capacidad de la conexión troncal que debe disponer el ISP para brindar un óptimo servicio a los abonados.
- Debido a la naturaleza del tipo de clientes que contratarán los servicios del ISP se han omitido ciertos servicios en el diseño que se exponen en el marco teórico por considerarse innecesarios.
- Uno de los factores en los que se ha puesto hincapié en el diseño del ISP es tener una alta disponibilidad del servicio hacia los usuarios de modo que estos puedan disfrutar del servicio el mayor tiempo posible. Para garantizar esto se han planificado enlaces de datos redundantes de *Backbone* que contribuyan a mantener la red operativa en caso de ser necesario. Por otra parte se han considerado equipos de red de respaldo como es el caso del *switch* de capa 3 en caso de fallos de operación en el principal. Finalmente se consideran necesarias fuentes de energía de respaldo en caso de cortes de modo que se garantice la operatividad de los equipos.
- Debido a la facilidad de instalación y costos cada vez más reducidos de las tecnologías de banda ancha inalámbrica hace que sea una opción adecuada para brindar este tipo de servicio entre la población de Cayambe. Adicionalmente se debe mencionar las facilidades que brinda la geografía de la zona que permite tener una amplia cobertura con un mínimo de requerimientos en cuanto a equipos de infraestructura.

5.2 RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida durante la realización de este Proyecto de Titulación se pueden extraer las recomendaciones siguientes:

- Se recomienda la implementación del Proyecto ya que en base al estudio realizado se comprueba un déficit en la oferta de servicios de Internet en la población del cantón Cayambe, y debido al crecimiento sostenido de la población se vuelve cada día más importante la demanda.
- En caso de querer implementar el Proyecto se deberían re calcular la proyección de demanda del servicio, dado que los parámetros con que fueron calculados están sujetos a cambios.
- Una vez terminado el periodo para el cual fue diseñado el ISP del presente Proyecto se deberían re calcular las capacidades de operación del mismo. Adicionalmente se debería realizar una evaluación de los equipos de la red de modo que puedan ser actualizados dependiendo de las necesidades y servicios a brindar.
- La calibración de las frecuencias de los enlaces tanto de *backbone* como de abonado dependerán de la saturación de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico en el sector en que se instalen, ya que al ser frecuencias de libre uso pueden alcanzar altos niveles de interferencia.
- Para el caso de los servidores es recomendable considerar un arreglo de discos duros (RAID), con el fin de tener redundancia de la información almacenada.
- Para el caso de los usuarios en cuyas redes (LAN) no dispongan de dispositivos con IPv6 se debe instalar un dispositivo CPE de dual stack que permita la encapsulación del tráfico proveniente de la red IPv4.

- El índice de penetración de Internet en el Ecuador es bajo en relación al resto de países sudamericanos, por lo que es recomendable que tanto las empresas del Estado Ecuatoriano como las empresas privadas provean de una variedad de servicios de Internet a las diferentes ciudades del país, tratando de extenderlos principalmente a regiones con escaso o ningún acceso al servicio.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/etapas.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [2] <http://buscador.ifai.org.mx/estudios/2004/DGEI-020-04%20Estudio-97-Presidencia.doc>, (Último acceso 22/07/2013)
- [3] <http://www.uv.es/cim/im-itm/descarga/IM%20Tema03.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [4] ponce.inter.edu/cai/manuales/FUENTES-PRIMARIA.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_secundaria, (Último acceso 30/05/2013)
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_primaria, (Último acceso 30/05/2013)
- [7] <http://segmento.itam.mx/Administrador/Uploader/material/Segmentacion%20Psicografica,%20Conociendo%20al%20Consumidor.PDF>, (Último acceso 30/05/2013)
- [8] Fernández Ricardo (2002), Segmentación de Mercados, (Último acceso 30/05/2013)
- [9] http://www.marketinet.com/ebooks/manual_de_marketing/manual_de_marketing.php?pg=11, (Último acceso 30/05/2013)
- [10] <http://www.ua.es/es/estadisticas/encuesta/pdf/encuesta-campus-virtual-2008.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [11] <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [12] <http://calidaddeaireestadistica.bligoo.com.co/media/users/24/1216984/images/public/355142/muestreo.gif?v=1353772819966>, (Último acceso 30/05/2013)
- [13] <http://calidaddeaireestadistica.bligoo.com.co/media/users/24/1216984/images/public/355142/muestreositematico.gif?v=1353772942993>, (Último acceso 30/05/2013)
- [14] <http://calidaddeaireestadistica.bligoo.com.co/muestreo-y-tamano-de-muestra>, (Último acceso 30/05/2013)
- [15] Google Earth
- [16] http://www.epidemio.com/epidemio/img/datos/21_06_58_2TamanoMuestra3.pdf
- [17] Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico NSE 2011, www.ecuadorencifras.com (Último acceso 30/05/2013)
- [18] http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/examples/too_qst_res_es.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [19] www.corning.com/docs/opticalfiber/wp6321.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [20] <http://www.psicothema.com/pdf/3466.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [21] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/143/2/Capitulo1.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [22] http://4.bp.blogspot.com/_WfhxT2E6SuE/TSdZ9S9x9jI/AAAAAAAAANc/RMcO1qDQ7A0/s400/LMDS_full_duplex.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [23] <http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTQgZXSuFes0LtLBpw1zbctOJQpUgFAW aU6srgXOpL8hRLMKtPJsQ>, (Último acceso 30/05/2013)
- [24] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4197/1/CD-1328.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [25] <http://www.planningni.gov.uk/dcan14-draft-fra-point-multipoint.gif>, (Último acceso 30/05/2013)
- [26] http://www.carlosmezquida.es/known/wp-content/up-file/Pagina_2_CAPITULO2.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [27] <http://rfi-propagacion.blogspot.com/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [28] <http://es.scribd.com/doc/76805187/03-Propagacion-y-Cobertura-Sept-2010-Radio-en-Laces-Wlc>, (Último acceso 30/05/2013)
- [29] http://www.eveliux.com/imagenes/prop_01.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [30] http://www.eveliux.com/imagenes/prop_02.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [31] <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTMGwRgoV6J4Mywg65yct4Re9yKFWObPM GayZjT86Aaqx1pRxWvA>, (Último acceso 30/05/2013)
- [32] <http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap1/luz11.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [33] http://www.microalcarria.com/miscelanea/calculos_enlace_wireless/diffraction.gif, (Último acceso 30/05/2013)
- [34] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Ejemplo_Eco.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [35] <http://www.urbe.edu/publicaciones/telematica/indice/pdf-vol6-1/-calculo-del-parametro-de-radio-atenuacion.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [36] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [37] Bustamante Iván (2007), MODELOS DE PROPAGACIÓN EN LAS BANDAS 850 Y 1900 MHz, Quito.
- [38] <http://tamax.com.ar/blog/?p=517>, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [39] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR2owISO343yWKTtSYmP8ZIXZUVumHpRQyR6gEOex0TmSbleY06>, (Último acceso 30/05/2013)
- [40] <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [41] http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [42] http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79, (Último acceso 30/05/2013)
- [43] http://www.cordobawireless.net/portal/descargas/Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [44] http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [45] http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo9_99.00/caracant.html, (Último acceso 30/05/2013)
- [46] <http://k14.kn3.net/583FA8D6D.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [47] <http://k11.kn3.net/E0353D2D0.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [48] <http://k18.kn3.net/78E718CD8.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [49] <http://www.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html#5>, (Último acceso 30/05/2013)
- [50] http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/L32_FIGURA_47.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [51] http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/L32_FIGURA_48.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [52] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/Elliptical_polarization_schematic.png, (Último acceso 30/05/2013)
- [53] <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>, (Último acceso 30/05/2013)
- [54] http://1.bp.blogspot.com/_LlaYO1xONnc/SDxO0RmdA-I/AAAAAAAAAJA/SCJQvZyz-6E/s320/distro_corriente_antenavertical.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [55] <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSfiFLXwgtT3CTz1fBWZWL9I8UiZ20dhRCcwqwOSLWzqF6oMEJ3>, (Último acceso 30/05/2013)
- [56] <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/iit/v7n2/a05f1.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [57] <http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/loop/loop.gif>, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [58] http://www.hypowerantenna.com/_/rsrc/1337024081093/products/delta-loop-antenna/delta-loop-antenna-radiation-patterns/75%20Meter%20Dloop%20vert.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [59] <http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/loop/loop.gif>, (Último acceso 30/05/2013)
- [60] http://img2.mlstatic.com/antena-omnidireccional-hyperlink-hg5812u-pro-12-dbi-58-ghz_MEC-O-4452565_1066.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [61] http://img1.mlstatic.com/antena-omnidireccional-hyperlink-hg5812u-pro-12-dbi-58-ghz_MEC-O-4452565_8886.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [62] http://www.maswifi.com/media/catalog/product/cache/1/image/265x/711af6466f195349217fd8405d550427//n/Interline_SECTOR_VP_Antena_Sectorial_17dBi-5GHz_Vertical_Conector_N.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [63] http://lh4.ggpht.com/_vibUS7unJBA/S5rzKkXDGBI/AAAAAAAAAB68/SqOcTTWinPY/Diagrama_sectorial.gif?imgmax=800, (Último acceso 30/05/2013)
- [64] <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3546/577434.pdf?sequence=1>
- [65] <http://www.comprafacil.es/images/pw9618-1d.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [66] <http://enableit.cachefly.net/images/wireless/flatpattern.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [67] http://www.sec-sonora.gob.mx/telesecundaria/inf_tecnica/antena.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [68] <http://anakinaw.files.wordpress.com/2011/05/cass.png>, (Último acceso 30/05/2013)
- [69] <http://www.diarioelectronicohoy.com/imagenes/2011/06/Gr%C3%A1fica-6.jpg>, (Último acceso 30/05/2013)
- [70] http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Celis%20Leonardo/atm_inal1.html, (Último acceso 30/05/2013)
- [71] http://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_m%C3%BAltiple_por_divisi%C3%B3n_de_frecuencia, (Último acceso 30/05/2013)
- [72] http://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_m%C3%BAltiple_por_divisi%C3%B3n_de_tiempo, (Último acceso 30/05/2013)
- [73] http://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_m%C3%BAltiple_por_divisi%C3%B3n_de_c%C3%B3digo, (Último acceso 30/05/2013)
- [74] [http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_\(telecomunicaci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n)), (Último acceso 30/05/2013)

-
- [75] http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado_por_salto_de_frecuencia, (Último acceso 30/05/2013)
- [76] <http://www.webopedia.com/TERM/F/FHSS.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [77] http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado_por_secuencia_directa, (Último acceso 30/05/2013)
- [78] http://es.wikipedia.org/wiki/Multiplexaci%C3%B3n_por_Divisi%C3%B3n_de_Frecuencias_Ortogonales, (Último acceso 30/05/2013)
- [79] <http://es.wikipedia.org/wiki/MIMO-OFDM>, (Último acceso 30/05/2013)
- [80] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_punto_a_punto, (Último acceso 30/05/2013)
- [81] <http://www.sicom.com.uy/productos/redesinalambricas/puntoamultipunto>, (Último acceso 30/05/2013)
- [82] <http://comunicaciones.firebirds.com.ar/repositorio/herramientas/desvanecimiento.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [83] <http://dc173.4shared.com/doc/3Wm2khqW/preview006.png>, (Último acceso 30/05/2013)
- [84] <http://dc345.4shared.com/doc/FrNx1w8O/preview005.png>, (Último acceso 30/05/2013)
- [85] www.itrainonline.org/Fitrainonline/mmtk%2FWireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_presentacion_v02.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [86] http://newsite.utpl.edu.ec/files/image/storie/Fpubli_cientificas/electronica%2FPUB-UPSI-021.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [87] <http://www.pergaminovirtual.com.ar/definicion/ISP.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [88] <http://www.masadelante.com/faqs/isp>, (Último acceso 30/05/2013)
- [89] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9f/Internet_Connectivity_Access_layer.svg/480px-Internet_Connectivity_Access_layer.svg.png, (Último acceso 30/05/2013)
- [90] http://es.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System, (Último acceso 30/05/2013)
- [91] <http://luisao-asesor-legal.blogspot.es/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [92] http://es.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol, (Último acceso 30/05/2013)
- [93] http://es.wikipedia.org/wiki/Simple_Network_Management_Protocol, (Último acceso 30/05/2013)
- [94] http://es.wikipedia.org/wiki/File_Transfer_Protocol, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [95] http://es.wikipedia.org/wiki/Correo_electr%C3%B3nico, (Último acceso 30/05/2013)
- [96] <http://dattatecayuda.com/%C2%BFque-es-el-servicio-de-web-hosting/1554>
- [97] <http://es.wikipedia.org/wiki/Proxy>, (Último acceso 30/05/2013)
- [98] <http://www.uned.es/csi/reduned/proxy/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [99] http://www02.supertel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=1193:datos-de-cuentas-y-usuarios-de-internet-por-provincias-hasta-junio-de-2011&catid=124:estadisticas&Itemid=50, (Último acceso 30/05/2013)
- [100] <http://tustop.galeon.com/metgeome.htm>, (Último acceso 30/05/2013)
- [101] http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=90&&TB_iframe=true&height=700&width=1527, (Último acceso 30/05/2013)
- [102] http://www.aeprovi.org.ec/index.php?Itemid=85&id=5&option=com_content&task=blogcategory, (Último acceso 30/05/2013)
- [103] http://www.aeprovi.org.ec/images/stories/NAP_EC_peq_2013-03-18.jpg, (Último acceso 30/05/2013)
- [104] <http://www.ehas.org/wp-content/uploads/2012/01/redes-inalambricas-para-los-paises-en-desarrollo.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [105] <http://www.lawebera.es/alojamiento-web/eleccion-del-hosting-la-tasa-de-transferencia.php>, (Último acceso 30/05/2013)
- [106] http://www.ehowenespanol.com/calcular-ancho-banda-voip-como_17418/, (Último acceso 30/05/2013)
- [107] <http://librosnetworking.blogspot.com/2009/04/metodo-simplificado-para-el-cálculo-de.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [108] http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml, (Último acceso 30/05/2013)
- [109] <https://support.skype.com/es/faq/fa1417/que-cantidad-de-ancho-de-banda-necesita-skype>, (Último acceso 30/05/2013)
- [110] http://www.cnt.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=201:bandanchoorinte&catid=37:prodinte?Itemid=29, (Último acceso 30/05/2013)
- [111] <http://www.telconet.net/index.php/es/nuestros-servicios-2/transito-al-backbone-de-internet>, (Último acceso 30/05/2013)
- [112] <http://www.level3.com/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [113] <http://www.redesymas.org/2011/05/disenio-de-redes-modelo-jerarquico.html>, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [114] <http://ipref.wordpress.com/2008/11/28/modelo-jerarquico-de-red/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [115] <http://www.sandvine.com/solutions/default.asp>, (Último acceso 30/05/2013)
- [116] http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=6908&Itemid=481, (Último acceso 30/05/2013)
- [117] RESOLUCIÓN 417-15-CONATEL-2005, www.conatel.gob.ec, (Último acceso 30/05/2013)
- [118] http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n, (Último acceso 30/05/2013)
- [119] <http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/sig/radioenlace.PDF>, (Último acceso 30/05/2013)
- [120] www.teletronics.com/Support.html, (Último acceso 30/05/2013)
- [121] www.ubnt.com, (Último acceso 30/05/2013)
- [122] <http://www.e-mergencia.com/foro/f156/manual-calculo-coberturas-radio-mobile-21047/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [123] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6989/17/Anexo%2016.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [124] RESOLUCIÓN 417-15-CONATEL-2005, Anexo 1, literal vii
- [125] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009, (Último acceso 30/05/2013)
- [126] http://es.wikipedia.org/wiki/Spanning_tree, (Último acceso 30/05/2013)
- [127] <http://www.redesymas.org/2012/01/configuracion-del-spanning-tree-definir.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [128] <http://jedicerocool.blogspot.com/2009/08/spanning-tree-protocol-ieee-8021d.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [129] <http://portalipv6.lacnic.net/es/ipv6/ipv6-en/isps>, (Último acceso 30/05/2013)
- [130] <http://lacnic.net/documentos/lacnicxii/presentaciones/Planificacion.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [131] <https://supportforums.cisco.com/docs/DOC-17232>, (Último acceso 30/05/2013)
- [132] <http://files.maunier.org/frnog-ipv6-subnetting.pdf>, (Último acceso 30/05/2013)
- [133] <http://www.esdebian.org/wiki/herramientas-pymes-open-source-gnulinux>
- [134] <http://en.wikipedia.org/wiki/Debian>, (Último acceso 30/05/2013)
- [135] <http://www.centos.org/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [136] <http://www.zimbra.com/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [137] http://httpd.apache.org/docs/trunk/new_features_2_4.html, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [138] <http://linuxsilo.net/articles/bind.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [139] http://www.ecualug.org/2007/08/22/comos/como_controlar_el_ancho_de_banda_usando_htbgen, (Último acceso 30/05/2013)
- [140] <http://www.cisco.com/en/US/products/ps10541/index.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [141] <http://www.juniper.net/us/en/products-services/routing/m-series/m7i/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [142] <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps5023/index.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [143] <http://www.juniper.net/es/es/products-services/switching/ex-series/ex3300/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [144] http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps6406/product_data_sheet0900aecd80322c0c.html, (Último acceso 30/05/2013)
- [145] <http://www.juniper.net/es/es/products-services/switching/ex-series/ex2200/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [146] <http://www.pfsense.org/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [147] <http://www.fortinet.com/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [148] <http://www-03.ibm.com/systems/x/hardware/rack/x3650m3/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [149] <http://h20000.www2.hp.com/bizsupport/TechSupport/DocumentIndex.jsp?contentType=SupportManual&lang=es&cc=es&docIndexId=65818&taskId=110&prodTypeId=15351&prodSeriesId=1121516>, (Último acceso 30/05/2013)
- [150] http://www.winmate.com.tw/IndustrialDisplay/LcdSpec.asp?Prod=01_0249, (Último acceso 30/05/2013)
- [151] <http://h18004.www1.hp.com/products/servers/proliantstorage/rack-options/TFT7600RKM/index.html>, (Último acceso 30/05/2013)
- [152] <http://www.ubnt.com/airmax>, (Último acceso 30/05/2013)
- [153] <http://routerboard.com/>, (Último acceso 30/05/2013)
- [154] <http://www.maxid.com.ar/ubiquiti-airos-v5-5-publicado>, (Último acceso 30/05/2013)
- [155] http://www.commscope.com/catalog/andrew/product_details.aspx?id=25887&tab=1, (Último acceso 30/05/2013)
- [156] <http://www.l-com.com/wireless-antenna-49-58-ghz-25-dbi-dual-polarity-dish-antenna>, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [157] http://www.radiowavesinc.com/pdf/90%B0_5.250-5.850_GHz_Sector_Antennas.pdf, (Último acceso 30/05/2013)
- [158] <http://www.l-com.com/wireless-antenna-51-58-ghz-dual-polarized-19-dbi-sector-antenna>, (Último acceso 30/05/2013)
- [159] http://www.cdpups.com/product_detail.asp?tb=4&prdid=18, (Último acceso 30/05/2013)
- [160] <http://powerquality.eaton.com/Products-services/Backup-Power-UPS/5PX.aspx?wtredirect=www.eaton.com/5PX>, (Último acceso 30/05/2013)
- [161] http://www.ebay.com/itm/New-CISCO3945-SEC-K9-Cisco-3945-Security-Bundle-Router-/321127348861?pt=US_Wired_Routers&hash=item4ac4ae7a7d, (Último acceso 30/05/2013)
- [162] http://www.ebay.com/itm/NEW-Sealed-CISCO-WS-C3750X-24P-L-Catalyst-3750X-24-Port-PoE-LAN-Base-SB-/390627731095?pt=US_Network_Switches&hash=item5af33a2697, (Último acceso 30/05/2013)
- [163] http://www.ebay.com/itm/WS-C2960S-24TS-S-Cisco-Catalyst-2960-S-W-24-Ethernet-10-100-1000-port-WARRANTY-/171044164929?pt=US_Network_Switches&hash=item27d306d541, (Último acceso 30/05/2013)
- [164] http://www.ebay.com/itm/HP-PROLIANT-DL380-G5-SERVER-1-X-INTEL-DC-5150-2-66GHZ-8GB-RAM-8-X-72GB-SAS-/190844428930?pt=COMP_EN_Servers&hash=item2c6f36e282, (Último acceso 30/05/2013)
- [165] http://www.ebay.com/itm/Ubiquiti-RocketM2-Ti-Titanium-Rocket-2-4-Ghz-Airmax-MIMO-RM2-Ti-USA-Version-/121115811062?pt=US_Directional_Network_Antennas&hash=item1c33109cf6, (Último acceso 30/05/2013)
- [166] http://www.ebay.com/itm/Ubiquiti-RocketM2-Ti-Titanium-Rocket-2-4-Ghz-Airmax-MIMO-RM2-Ti-USA-Version-/121115811062?pt=US_Directional_Network_Antennas&hash=item1c33109cf6, (Último acceso 30/05/2013)

-
- [167] http://www.ebay.com/itm/UBIQUITI-Nanostation-M5-802-11a-n-MIMO-150Mbps-NSM5-/170751546263?pt=COMP_EN_Routers&hash=item27c195d397, (Último acceso 30/05/2013)
- [168] http://www.ebay.com/itm/Ubiquiti-RocketM2-Ti-Titanium-Rocket-2-4-Ghz-Airmax-MIMO-RM2-Ti-USA-Version-/121115811062?pt=US_Directional_Network_Antennas&hash=item1c33109cf6, (Último acceso 30/05/2013)
- [169] http://www.ebay.com/itm/Ubiquiti-RocketM2-Ti-Titanium-Rocket-2-4-Ghz-Airmax-MIMO-RM2-Ti-USA-Version-/121115811062?pt=US_Directional_Network_Antennas&hash=item1c33109cf6, (Último acceso 30/05/2013)
- [170] http://www.cdpups.com/product_detail.asp?tb=4&prdid=18, (Último acceso 30/05/2013)
- [171] http://www.ebay.com/itm/HP-Rackmount-LCD-Computer-TFT7600-G2-With-Rail-Kit-/161054848258?pt=US_Network_Hubs&hash=item257f9df502, (Último acceso 30/05/2013)
- [172] Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, SENATEL.

ANEXO A

FORMATO DE LA ENCUESTA

Acceso a servicios de Internet en la ciudad de Cayambe

- Sexo: Masculino Femenino
- Edad 15-20 años 20-25 años
 25-30 años Más de 30 años

Cuestionario:

A. HABITOS DE USO DEL INTERNET

1. ¿Con qué frecuencia utiliza Internet?
(Escoja solo una opción) 1 vez/semana 2-3 veces/semana
 Diariamente Nunca
2. ¿Por cuánto tiempo suele utilizar internet?
(Escoja solo una opción) 0-15 min 15-60 min
 más de 60 min
3. ¿Dónde utiliza Internet? Hogar Trabajo
 Cibercafé Lugar de Estudio
 Otros
4. ¿Qué servicios de Internet usa? Chat Mails
 Redes Sociales Búsqueda de Información
 Descarga de Archivos Descarga de Música
 Ver videos Video conferencia

B. DISPONIBILIDAD EN EL HOGAR

5. ¿Dispone de un computador en su hogar? SI NO
Si contesta **NO** la **pregunta 5**, pase directamente a la **pregunta 9**
6. ¿Dispone de Internet en su casa? SI NO
Si contesta **NO** la **pregunta 6**, pase directamente a la **pregunta 9**
7. ¿Qué medio de acceso a Internet utiliza? Linea telefónica Banda Ancha

-
- Celular Otros
- Desconozco
8. ¿El servicio de Internet con el que cuenta es? Excelente Bueno
- Regular Malo
9. ¿Contrataría un servicio de Internet de banda ancha en su hogar, con un valor mensual fijo dependiendo de la velocidad de transmisión?
- 25 USD/512 Kbps 30 USD/1024 Kbps
- 40 USD/2 Mbps No contrataría