ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA DOTAR SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES A 55 CENTROS EDUCATIVOS DEL CANTÓN SHUSHUFINDI APLICANDO CRITERIOS DE CALIDAD DE SERVICIO Y SEGURIDAD DE RED

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

RAMÓN ARMIJOS VÍCTOR ALBERTO
vara_1986@hotmail.com

DIRECTORA: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ
maria.jimenez@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2014

DECLARACIÓN

Yo, Víctor Alberto Ramón Armijos, 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.

Víctor Alberto Ramón Armijos

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Víctor Alberto Ramón Armijos bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseo agradecer a mis padres por su apoyo incondicional, que gracias a sus esfuerzos pude superarme profesionalmente.

A Dios por guiar mi camino en las situaciones adversas de la vida.

A mis queridos hermanos que supieron comprender y ayudar en los momentos de estrés.

A todos mis profesores que tuve el agrado de conocer, que gracias a sus conocimientos técnicos y éticos, soy un mejor hombre.

A todos los amigos que hice en mi querida universidad “Politécnica Nacional”, que durante estos años compartimos muchas aventuras y anécdotas.

Finalmente agradezco a mi querida mascota que me supo acompañar en todas las noches de desvelo.

DEDICATORIA

Dedico todo mi esfuerzo y trabajo a mis Padres que son mi fuente de inspiración para esforzarme y luchar por mis sueños.

CONTENIDO

DECLARACIÓN ii
CERTIFICACIÓN iii
AGRADECIMIENTO iv
DEDICATORIA v
CONTENIDO vi
ÍNDICE DE FIGURAS xvi
ÍNDICE DE TABLAS xxii
ÍNDICE DE ECUACIONES xxvi
RESUMEN xxviii
PRESENTACIÓN xxix

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS **1**
1.1 Wi-Fi **1**
1.1.1 ANTECEDENTES *1*
1.1.2 ARQUITECTURA IEEE 802.11 ..... *2*
1.1.2.1 Componentes de la arquitectura IEEE 802.11 3
1.1.3 SERVICIOS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11 ..... *4*
1.1.3.1 Servicios de distribución 4
1.1.3.2 Servicios de estación 4
1.1.4 PILA DE PROTOCOLOS DEL ESTÁNDAR 802.11 ..... *5*
1.1.4.1 La capa física del estándar IEEE 802.11 6
1.1.4.2 Técnicas de modulación 6
1.1.4.2.1 Infrarrojo 6
1.1.4.2.2 Espectro disperso con salto de frecuencia (FHSS) 7
1.1.4.2.3 Espectro Disperso de Secuencia Directa (DSSS) 8
1.1.4.2.4 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) 8
1.1.5 EL PROTOCOLO DE LA SUBCAPA MAC DEL 802.11 ..... *10*
1.1.5.1 El Problema del nodo oculto 11
1.1.6 FUNCIONES DE COORDINACIÓN EN LA SUBCAPA MAC *11*

1.1.6.1 Función de Coordinación Distribuida (DCF) 12
1.1.6.2 Función de Coordinación Puntual (PCF) 13
1.1.7 ESPACIADO ENTRE TRAMAS (IFS) *14*
1.1.7.1 Espaciado Corto Entre Tramas (SIFS) 14
1.1.7.2 Espaciado Entre Tramas PCF (PIFS) 14
1.1.7.3 Espaciado Entre Tramas DCF (DIFS) 14
1.1.7.4 Espaciado Entre Tramas Extendido (EIFS) 15
1.1.8 LA ESTRUCTURA DE TRAMA DE DATOS 802.11 ..... *15*
1.1.9 ESTÁNDARES IEEE 802.11 ..... *16*
1.1.9.1 IEEE 802.11b 16
1.1.9.2 IEEE 802.11a 17
1.1.9.3 IEEE 802.11g 18
1.1.9.4 IEEE 802.11n 18
1.1.9.5 IEEE 802.11ac 19
1.1.9.6 Otros estándares 19
1.2 ESTÁNDAR IEEE 802.16 19
1.2.1 WiMAX FORUM *20*
1.2.2 ESTÁNDARES WIMAX *21*
1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE WiMAX *21*
1.2.3.1 Capa física basada en OFDM 21
1.2.3.2 Altas tasas de transmisión 21
1.2.3.3 Sistema escalable 22
1.2.3.4 Modulación y codificación adaptiva 22
1.2.3.5 Retransmisiones en la capa de enlace 22
1.2.3.6 Seguridad robusta 22
1.2.3.7 Soporte para movilidad 23
1.2.3.8 Principales aplicaciones de WiMAX 23
1.2.4 TIPOS DE WiMAX *23*
1.2.5 MODELO DE REFERENCIA IEEE 802.16-2004 ..... *24*
1.2.5.1 Capa Física 25
1.2.5.1.1 Wireless MAN-SC 25
1.2.5.1.2 Wireless MAN-SCa 25
1.2.5.1.3 Wireless MAN-OFDM 26

1.2.5.1.4 Wireless MAN-OFDMA 26
1.2.5.2 Capa de Control Acceso al Medio (MAC) 27
1.2.5.2.1 Tipos de PDU 29
1.2.5.2.2 Construcción y transmisión de PDU MAC 30
1.2.5.2.3 Servicios y calidad de Servicio (QoS) 31
1.2.6 TOPOLOGÍAS DE RED 32
1.2.6.1 Topología Punto a Punto (PtP, *Point to Point*) 32
1.2.6.2 Topología Punto a multipunto (PtMP, *Point to MultiPoint*) 32
1.2.6.3 Topología en malla (*Mesh*) 32
1.2.7 WiMAX EN AMBIENTES LOS Y NLOS 33
1.2.7.1 Línea de vista (LOS) 33
1.2.7.2 Sin línea de vista directa (NLOS) 33
1.2.8 COMPARACIÓN ENTRE Wi-FI Y WiMAX 34
1.2.8.1 Ventajas y desventajas de Wi - Fi 35
1.2.8.2 Ventajas y desventajas de WiMAX 35
1.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN 36
1.3.1 MODELO DE PROPAGACIÓN EN ESPACIO LIBRE 37
1.3.2 MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA – HATA 37
1.3.3 MODELO DE PROPAGACIÓN DE LONGLEY-RICE 39
1.4 PARÁMETROS DE UN RADIOENLACE 41
1.4.1 ZONA DE FRESNEL 42
1.4.2 DESPEJE DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL 43
1.4.3 PÉRDIDAS EN TRAYECTORIA POR ESPACIO LIBRE 46
1.4.4 BALANCE DE POTENCIA 46
1.4.5 MARGEN DE DESVANECIMIENTO 47
1.4.6 DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA 47
1.4.7 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA 48
1.4.8 INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO 48
1.4.9 ALINEACIÓN DE LAS ANTENAS 49
1.4.9.1 Ángulo de elevación 49
1.4.9.2 Ángulo de Apuntamiento 49
1.4.9.3 Azimut 49

1.5 MARCO REGULATORIO EN EL ECUADOR 49

1.5.1 ORGANISMOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR 50

1.5.1.1 Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información . 50

1.5.1.2 Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) 50

1.5.1.3 Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) 51

1.5.1.4 Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) 51

1.5.2 NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA 51

1.5.2.1 Art.6.-Bandas de Frecuencias 52

1.5.2.2 Art.7.-Configuración de Sistemas que emplean Modulación Digital de Banda Ancha 52

1.5.2.3 Art.9.-Homologación 53

1.5.2.4 Art. 10.- Bases de la Homologación 53

1.5.2.5 Art. 19.- Control 53

1.5.3 REGISTRO PARA USO DE FRECUENCIAS 54

1.5.3.1 Información legal 54

1.5.3.2 Información financiera 54

1.5.3.3 Información técnica 55

CAPÍTULO II

2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CENTROS EDUCATIVOS EN EL CANTÓN SHUSHUFINDI 57

2.1 INFORMACIÓN DEL CANTÓN SHUSHUFINDI 56

2.1.1 ACCESIBILIDAD 56

2.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 56

2.1.3 CLIMA 57

2.1.4 DIVISIÓN POLÍTICO – ADMINISTRATIVO 57

2.1.5 TURISMO 58

2.1.6 POBLACIÓN 59

2.1.7 EDUCACIÓN 60

2.2 CENTROS EDUCATIVOS 60
2.2.1 LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS EDUCATIVOS 66
2.2.2 CONDICIONES DE LOS CENTROS EDUCATIVOS 68
2.2.3 INFRAESTRUCTURA FÍSICA 71
2.3 ERRADICACIÓN DEL ANALFABETISMO DIGITAL 76
2.3.1 INFRAESTRUCTURA 76
2.3.2 EQUIPAMIENTO 77
2.3.3 CONECTIVIDAD 77
2.3.4 CAPACITACIÓN 77
2.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE USUARIOS 77

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA 81
3.1 REQUERIMIENTOS DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN 81
3.1.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA DATOS 81
3.1.1.1 Navegación Web 84
3.1.1.2 Correo electrónico 84
3.1.1.3 Descarga de documentos 86
3.1.1.4 Transferencia de archivos 87
3.1.1.5 *Streaming* de video 87
3.1.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA VOZ 89
3.1.3 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA VIDEOLLAMADA 94
3.1.4 PROYECCIÓN DE USUARIOS 97
3.1.5 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN TOTAL REQUERIDA 106
3.2 TECNOLOGÍA PARA EL DISEÑO 108
3.3 DISEÑO DE LA RED 110
3.3.1 CONSIDERACIONES PARA LA RED INALÁMBRICA 111
3.3.2 UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES 115
3.3.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN RADIO ENLACE 120
3.3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO TEÓRICO Y DEL SOFTWARE RADIO MOBILE 129

3.4 RED DE ACCESO 132

3.4.1.1 Red de acceso BS1 133

3.4.1.1.1 Enlace de acceso BS1-SS1 135

3.4.1.1.2 Enlace de acceso BS1-SS2 136

3.4.1.1.3 Enlace de acceso BS1-SS3 136

3.4.1.1.4 Enlace de acceso BS1-SS4 137

3.4.1.1.5 Enlace de acceso BS1-SS5 138

3.4.1.1.6 Enlace de acceso BS1-SS6 138

3.4.1.1.7 Enlace de acceso BS1-SS7 139

3.4.1.1.8 Enlace de acceso BS1-SS8 140

3.4.1.1.9 Enlace de acceso BS1-SS9 140

3.4.1.1.10 Enlace de acceso BS1-SS10 141

3.4.1.1.11 Enlace de acceso BS1-SS11 142

3.4.1.1.12 Enlace de acceso BS1-SS12 142

3.4.1.1.13 Enlace de acceso BS1-SS13 143

3.4.1.1.14 Enlace de acceso BS1-SS14 144

3.4.1.1.15 Enlace de acceso BS1-SS21 144

3.4.1.1.16 Enlace de acceso BS1-SS29 145

3.4.1.1.17 Enlace de acceso BS1-SS30 146

3.4.1.2 Red de acceso BS2 146

3.4.1.2.1 Enlace de acceso BS2-SS15 147

3.4.1.2.2 Enlace de acceso BS2-SS23 148

3.4.1.2.3 Enlace de acceso BS2-SS26 149

3.4.1.3 Red de acceso BS3 149

3.4.1.3.1 Enlace de acceso BS3-SS22 150

3.4.1.3.2 Enlace de acceso BS3-SS28 151

3.4.1.4 Red de acceso BS4 152

3.4.1.4.1 Enlace de acceso BS4-SS36 153

3.4.1.4.2 Enlace de acceso BS4-SS37 154

3.4.1.4.3 Enlace de acceso BS4-SS39 154

3.4.1.4.4 Enlace de acceso BS4-SS40 155

3.4.1.4.5 Enlace de acceso BS4-SS41 156

3.4.1.5 Red de acceso BS5 157
3.4.1.5.1 Enlace de acceso BS5-SS31 158
3.4.1.5.2 Enlace de acceso BS5-SS34 158
3.4.1.5.3 Enlace de acceso BS5-SS42 159
3.4.1.5.4 Enlace de acceso BS5-SS43 160
3.4.1.5.5 Enlace de acceso BS5-SS45 160
3.4.1.6 Red de acceso BS6 161
3.4.1.6.1 Enlace de acceso BS6-SS19 162
3.4.1.6.2 Enlace de acceso BS6-SS20 163
3.4.1.6.3 Enlace de acceso BS6-SS32 163
3.4.1.6.4 Enlace de acceso BS6-SS33 164
3.4.1.6.5 Enlace de acceso BS6-SS38 165
3.4.1.6.6 Enlace de acceso BS6-SS46 165
3.4.1.6.7 Enlace de acceso BS6-SS47 166
3.4.1.7 Red de acceso BS7 167
3.4.1.7.1 Enlace de acceso BS7-SS17 168
3.4.1.7.2 Enlace de acceso BS7-SS24 169
3.4.1.7.3 Enlace de acceso BS7-SS25 169
3.4.1.7.4 Enlace de acceso BS7-SS48 170
3.4.1.7.5 Enlace de acceso BS7-SS50 171
3.4.1.7.6 Enlace de acceso BS7-SS53 171
3.4.1.8 Red de acceso BS8 172
3.4.1.8.1 Enlace de acceso BS8-SS54 173
3.4.1.8.2 Enlace de acceso BS8-SS55 174
3.4.1.9 Red de acceso BS9 174
3.5 RED TRONCAL 175
3.5.1.1 Enlace troncal BS1 - BS3 176
3.5.1.2 Enlace troncal BS1 – BS4 176
3.5.1.3 Enlace troncal BS1 – BS6 177
3.5.1.4 Enlace troncal BS4 – BS5 178
3.5.1.5 Enlace troncal BS6 – BS7 178
3.5.1.6 Enlace troncal BS7 – BS8 179
3.5.1.7 Enlace troncal BS7 – BS9 180

3.6 CALIDAD DE SERVICIO Y SEGURIDAD EN LA RED 181
3.6.1 CALIDAD DE SERVICIO 181
3.6.2 SEGURIDAD 183
3.6.2.1 Cortafuegos 183
3.6.2.2 Autentificación y encriptación de datos 185
3.6.2.2.1 Privacidad equivalente al cable (WEP) 185
3.6.2.2.2 Acceso protegido Wi-Fi (WPA) 186
3.7 GESTIÓN DE RED 186
3.8 RED DE DISTRIBUCIÓN 189
3.8.1 Switch de distribución BS9 190
3.8.2 Switch de distribución BS8 191
3.8.3 Switch de distribución BS7 191
3.8.4 Switch de distribución BS6 193
3.8.5 Switch de distribución BS5 194
3.8.6 Switch de distribución BS4 195
3.8.7 Switch de distribución BS3 196
3.8.8 Switch de distribución BS2 196
3.8.9 Switch de distribución BS1 197
3.9 CENTRO DE CONTROL DE LA RED (NOC) 199
3.9.1 Servidor VoIP 199
3.9.2 Servidor de correo y transferencia de archivos 201
3.9.2.1 Servidor de correo 202
3.9.2.2 Servidor de transferencia de archivos 203
3.9.3 Servidor de autentificación RADIUS 203
3.9.4 Servidor de monitoreo 204
3.9.5 Topología del NOC 204
3.9.6 BACKBONE 204

CAPÍTULO IV

4 PRESUPUESTO REFERENCIAL 207
4.1 EQUIPOS DE LA RED TRONCAL Y RED ACCESO 207
4.1.1 TORRE 207

4.1.2 RADIOS *208*
4.1.3 ANTENAS *211*
4.1.3.1 Antenas de red troncal 211
4.1.3.2 Antenas de red de acceso 212
4.1.4 SWITCH DE ACCESO Y DE DISTRIBUCIÓN *213*
4.1.5 UPS PARA LA RADIO BASE *214*
4.2 EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES 216
4.2.1 ROUTER DE BORDE *216*
4.2.2 FIREWALL *217*
4.2.3 SERVIDORES *217*
4.2.4 UPS PARA EL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES *219*
4.3 EQUIPOS DE USUARIO 220
4.3.1 TELÉFONOS IP *220*
4.3.2 VIDEOLLAMADA *221*
4.4 PRESUPUESTO DE LA RED DISEÑADA 222
4.4.1 PRESUPUESTO DE LA RED TRONCAL Y RED DE ACCESO *222*
4.4.2 PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES *223*
4.4.3 PRESUPUESTO DE LOS EQUIPOS DEL USUARIO *223*
4.4.4 PRESUPUESTO DE LA RED DISEÑADA *224*
4.4.5 PRESUPUESTO DE CONECTIVIDAD *224*
4.4.6 PRESUPUESTO TOTAL DE LA RED *225*

CAPÍTULO IV

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 227
5.1 CONCLUSIONES 227
5.2 RECOMENDACIONES 231
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 232

ANEXOS

ANEXO A: FORMATOS DE COMPRENSIÓN DE AUDIO Y VIDEO……1A
ANEXO B: TUTORAIL DEL SOFTWARE RADIO MOBILE……. ……1B

ANEXO C: COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO TEÓRICO Y EL SOFTWARE RADIO MOBILE……..……1C

ANEXO D: SEGURIDAD EN LA RED…….…….…….……..1D

ANEXO E: CENTRO DE OPERACIONES DE RED (NOC)...……..……...1E

ANEXO F: INFRAESTRUCTURA…….…..……..1F

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 Elementos de la arquitectura IEEE 802.11 3

Figura 1.2 Pila de protocolos del estándar IEEE 802.11 5

Figura 1.3 Capa física del estándar IEEE 802.11 6

Figura 1.4 Espectro Electromagnético 7

Figura 1.5 Proceso de expandido de señal 8

Figura 1.6 Multiplexación por división de frecuencia (FDM) 9

Figura 1.7 FDM vs OFDM 9

Figura 1.8 Ortogonalidad en el domino de frecuencia 10

Figura 1.9 Problema de la estación oculta. 11

Figura 1.10 Funciones de coordinación de MAC 12

Figura 1.11 El uso de la detección de canal virtual utilizando CSMA/CA 13

Figura 1.12 Espaciado entre tramas 802.11 14

Figura 1.13 Formato de la trama MAC 15

Figura 1.14 Logotipo de WiMAX Forum 20

Figura 1.15 Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16- 2004 24

Figura 1.16 Subportadoras OFDMA 26

Figura 1.17 Subcapas de la capa MAC de WiMAX 27

Figura 1.18 Encabezado genérica de PDU MAC 29

Figura 1.19 Encabezado de solicitud de ancho de banda de PDU MAC 30

Figura 1.20 Segmentación y concatenación de SDUs en PDUs MAC 31

Figura 1.21 Primera zona de fresnel libre de obstrucción. 33

Figura 1.22 Muticaminos en un ambiente NLOS 34

Figura 1.23 Zona de Fresnel 42

Figura 1.24 Despeje de la primera zona de Fresnel 43

Figura 1.25 Obstrucción de la zona de Fresnel (caso a) 45

Figura 1.26 Obstrucción de la zona de Fresnel (caso b) 45

Figura 1.27 Balance de potencia 46

CAPÍTULO II

Figura 2.1 División política de la provincia de Sucumbíos 57

Figura 2.2 División política del cantón Shushufindi 58

Figura 2.3 Tasa de crecimiento poblacional del cantón Shushufindi 59

Figura 2.4 Número de alumnos por parroquia del cantón Shushufindi 65

Figura 2.5 Número de profesores por parroquia del cantón Shushufindi 66

Figura 2.6 Escuela 11 de Julio 72

Figura 2.7 Centro de Educación Básica Dr. José Julián Coronel 72

Figura 2.8 Unidad Educativa a Distancia Juan Jiménez 73

Figura 2.9 Centro de Educación Básica Ciudad De Portoviejo 73

Figura 2.10 Escuela Presidente Isidro Ayora 74

Figura 2.11 Centro de Educación Básica Yahuarcocha 74

Figura 2.12 Centro de Educación Básica Vilcabamba 75

Figura 2.13 Puerto San Lorenzo 75

Figura 2.14 Colegio Nacional Juan Montalvo 76

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Razones de uso de Internet en Ecuador 2012 82

Figura 3.2 Pila de protocolos de Internet 85

Figura 3.3 Trama VoIP 90

Figura 3.4 Tabla de tráfico Erlang B 93

Figura 3.5 Encapsulado de video sobre una red Ethernet 95

Figura 3.6 Trama de video sobre una red Ethernet 95

Figura 3.7 Calculadora de ancho de banda de video 96

Figura 3.8 Tasa neta de matriculación para la región Amazónica 102
Figura 3.9 Características del equipo PTP 250 de Motorola 111
Figura 3.10 Características del equipo Tsunami MP 8100 112
Figura 3.11 Ubicación de las radio bases 118
Figura 3.12 Perfil topográfico entre BS1 y BS2 120
Figura 3.13 Despeje de la primera zona de Fresnel 121
Figura 3.14 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS2 130
Figura 3.15 Resultados del radioenlace BS1 – BS2 131
Figura 3.16 Topografía de red de acceso 133
Figura 3.17 Topografía de red de acceso BS1 134
Figura 3.18 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS1 135
Figura 3.19 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS2 136
Figura 3.20 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS3 137
Figura 3.21 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS4 137
Figura 3.22 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS5 138
Figura 3.23 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS6 139
Figura 3.24 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS7 139
Figura 3.25 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS8 140
Figura 3.26 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS9 141
Figura 3.27 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS10 141
Figura 3.28 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS11 142
Figura 3.29 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS12 143
Figura 3.30 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS13 143
Figura 3.31 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS14 144
Figura 3.32 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS21 145
Figura 3.33 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS29 145

Figura 3.34 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS30 146
Figura 3.35 Topología de red acceso BS2 147
Figura 3.36 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS15 148
Figura 3.37 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS23 148
Figura 3.38 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS26 149
Figura 3.39 Topología de la red acceso BS3 150
Figura 3.40 Perfil y resultados del radioenlace BS3 – SS22 151
Figura 3.41 Perfil y resultados del radioenlace BS3 – SS28 151
Figura 3.42 Topología de red acceso BS4 152
Figura 3.43 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS36 153
Figura 3.44 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS37 154
Figura 3.45 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS39 155
Figura 3.46 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS40 155
Figura 3.47 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS41 156
Figura 3.48 Topología de red acceso BS5 157
Figura 3.49 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS31 158
Figura 3.50 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS34 159
Figura 3.51 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS42 159
Figura 3.52 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS43 160
Figura 3.53 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS45 161
Figura 3.54 Topología de red acceso BS6 161
Figura 3.55 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS19 162
Figura 3.56 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS20 163
Figura 3.57 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS32 164
Figura 3.58 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS33 164
Figura 3.59 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS3 165

Figura 3.60 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS46 166
Figura 3.61 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS47 166
Figura 3.62 Topología de red acceso BS7 167
Figura 3.63 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS17 168
Figura 3.64 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS24 169
Figura 3.65 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS25 170
Figura 3.66 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS48 170
Figura 3.67 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS50 171
Figura 3.68 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS53 172
Figura 3.69 Topología de red acceso BS8 172
Figura 3.70 Perfil y resultados del radioenlace BS8 – SS54 173
Figura 3.71 Perfil y resultados del radioenlace BS8 – SS55 174
Figura 3.72 Topología de la red troncal 175
Figura 3.73 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS3 176
Figura 3.74 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS4 177
Figura 3.75 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS6 177
Figura 3.76 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – BS5 178
Figura 3.77 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – BS7 179
Figura 3.78 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – BS8 179
Figura 3.79 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – BS9 180
Figura 3.80 Simulación de la topología de red troncal 181
Figura 3.81 Topología del firewall 183
Figura 3.82 Topología del Firewall con DMZ 184
Figura 3.83 Reporte de una interfaz Ethernet generado por Zabbix 187
Figura 3.84 Reporte del rendimiento de un CPU generado por Zabbix. 188
Figura 3.85 Reporte de los host monitoreados por Zabbix 188

Figura 3.86 Esquema de VLANs para red de acceso 190
Figura 3.87 Topología para el *switch* de distribución BS9..... 190
Figura 3.88 Topología para el *switch* de distribución BS8..... 191
Figura 3.89 Topología para el *switch* de distribución BS7..... 192
Figura 3.90 Topología para el *switch* de distribución BS6..... 193
Figura 3.91 Topología para el *switch* de distribución BS5..... 194
Figura 3.92 Topología para el *switch* de distribución BS4..... 195
Figura 3.93 Topología para el *switch* de distribución BS3..... 196
Figura 3.94 Topología para el *switch* de distribución BS2..... 197
Figura 3.95 Topología para el switch de distribución BS1..... 198
Figura 3.96 Uso de CPU vs llamadas concurrentes para un servidor Asterisk . 200
Figura 3.97 Topología del NOC..... 204
Figura 3.98 Topología de la red inalámbrica 206

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Detalle de modulación para diferentes velocidades de datos OFDM….10

Tabla 1.3 Subcapas de convergencia de WiMAX 28

Tabla 1.4 Campos de la cabecera genérica MAC 29

Tabla 1.5 Campos de la cabecera de solicitud de ancho de banda MAC 30

Tabla 1.6 Características de WiFi y WiMAX..... 35

Tabla 1.7 Constantes eléctricas del terreno 40

Tabla 1.8 Modelos de climas caracterizados 40

Tabla 1.9 Banda de frecuencias..... 52

Tabla 1.10 Características Técnicas de los Sistemas de Modulación de Banda Ancha……..53

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Población del cantón Shushufindi 59

Tabla 2.2 Población joven del cantón Shushufindi..... 60

Tabla 2.3 Descripción de los Centros Educativos del Cantón Shushufindi 61

Tabla 2.4 Resumen de los Centros Educativos del Catón Shushufindi..... 65

Tabla 2.5 Ubicación geográfica de los Centros Educativos del cantón Shushufindi……..….66

Tabla 2.6 Número de equipos disponibles en los Centros Educativos del cantón Shushufindi……..……..69

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Relación entre razones de uso de Internet y el tipo de tráfico generado de una computadora……83

Tabla 3.2 Resolución y bit rate de YouTube..... 88

Tabla 3.3 Velocidad de transmisión para las resoluciones de 480 y 720p 88

Tabla 3.4 Ancho de banda requerido por un usuario en una hora pico 89

Tabla 3.5 Características del códec G. 729 90

Tabla 3.6 Datos para cálculo de velocidad de transmisión de video 94

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director 97

Tabla 3.8 Crecimiento estudiantil dentro de 5 años 103

Tabla 3.9 Comparación entre Wi-Fi, WiMAX y requisitos de la red 109

Tabla 3.10 Parámetros para los enlaces punto a punto y punto a multipunto……112

Tabla 3.11 Parámetros y distancia máxima para los enlaces PtP y PtMP 115

Tabla 3.12 Centros educativos con su respectiva nomenclatura 116

Tabla 3.13 Ubicación de las radio bases 119

Tabla 3.14 Radio bases e instituciones asociadas 119

Tabla 3.15 Ubicación de las radios bases BS1 y BS2 120

Tabla 3.16 Comparación entre el cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio Mobile……132

Tabla 3.17 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS1 134

Tabla 3.18 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS2 147

Tabla 3.19 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS3 150

Tabla 3.20 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS4 153

Tabla 3.21 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS5 157

Tabla 3.22 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS6 162

Tabla 3.23 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS7 168

Tabla 3.24 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS8 173

Tabla 3.25 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS9 175

Tabla 3.26 Niveles de prioridad del estándar IEEE 802.1p 182

Tabla 3.27 Prioridad para tráfico 183

Tabla 3.28 Identificación de las VLANs 189

Tabla 3.29 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS7……123

Tabla 3.30 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS6……194

Tabla 3.31 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS4……195

Tabla 3.32 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS1……197

Tabla 3.33 Características del servidor VoIP 201

Tabla 3.34 Comparación entre protocolos de enrutamiento 205

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Presupuesto de torre 208

Tabla 4.2 Comparación de los equipos punto a punto 209

Tabla 4.3 Comparación de los equipos punto a multipunto 209

Tabla 4.4 Comparación de los equipos suscriptores 210

Tabla 4.5 Comparación de las antenas punto a punto 212

Tabla 4.6 Comparación de las antenas sectoriales 212

Tabla 4.7 Comparación de *switch* de acceso 213

Tabla 4.8 Comparación de *switch* de distribución 214

Tabla 4.9 Potencia requerida por la UPS de una radio base 214

Tabla 4.10 Potencia requerida por la UPS 215

Tabla 4.11 Comparación de Router de borde 216

Tabla 4.12 Comparación entre dos fabricantes de Firewall 217

Tabla 4.13 Comparación de servidores para aplicaciones 218

Tabla 4.14 Comparación de equipos de servidor para monitoreo 218

Tabla 4.15 Potencia requerida por la UPS 219

Tabla 4.16 Potencia requerida por el UPS 220

Tabla 4.17 Comparación de equipos de telefonía IP..... 220

Tabla 4.18 Comparación de equipos de Video Conferencia 221

Tabla 4.19 Presupuesto de la red troncal y acceso..... 222

Tabla 4.19 Presupuesto de la red troncal y acceso..... 223

Tabla 4.20 Presupuesto de equipos del cuarto de telecomunicaciones..... 223

Tabla 4.21 Presupuesto de equipos del usuario 224

Tabla 4.22 Tarifa de línea telefónica 224

Tabla 4.23 Plan de Internet 225

Tabla 4.24 Presupuesto de conectividad 225

Tabla 4.25 Presupuesto total de la Red 226

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO I

Ecuación 1.1 Pérdida de propagación en espacio libre..... 37

Ecuación 1.2 Pérdida de propagación del Modelo OKUMURA – HATA
en ambiente urbano……...…….38

Ecuación 1.3 Factor de correlación para la altura de la antena de recepción
para frecuencias menores a 200 MHZ……..38

Ecuación 1.4 Factor de correlación para la altura de la antena de recepción
para frecuencias mayores a 400 MHZ……..38

Ecuación 1.5 Factor de correlación para la altura de la antena de recepción
para pequeñas y medianas ciudades……..39

Ecuación 1.6 Pérdida de propagación del Modelo OKUMURA – HATA
en ambiente Suburbano…….…….39

Ecuación 1.7 Pérdida de propagación del Modelo OKUMURA – HATA
en ambiente rural……..……39

Ecuación 1.8 Relación entre refractividad y curvatura efectiva de la tierra 40

Ecuación 1.9 Zona de Fresnel..... 43

Ecuación 1.10 Altura de despeje……. 44

Ecuación 1.11 Altura total de transmisión 44

Ecuación 1.12 Altura total de recepción 44

Ecuación 1.13 Protuberancia del terreno 44

Ecuación 1.14 Protuberancia del terreno desarrollada..... 44

Ecuación 1.15 Altura de despeje desarrollada…..... 45

Ecuación 1.16 Margen de despeje 45

Ecuación 1.17 Parámetro atenuación producida por obstáculo 46

Ecuación 1.18 Atenuación por difracción……. 46

Ecuación 1.19 Atenuación por difracción 46

Ecuación 1.20 Balance de potencia de un radio enlace……..... 46

Ecuación 1.21 Margen de desvanecimiento..... 47

Ecuación 1.22 Tiempo de indisponibilidad del sistema en un año 47

Ecuación 1.23 Confiabilidad del sistema..... 47

Ecuación 1.24 Potencia isotrópica efectiva irradiada 48

Ecuación 1.25 Intensidad de campo eléctrico…..... 48

Ecuación 1.26 Ángulo de elevación 49

Ecuación 1.27 Ángulo de apuntamiento..... 49

Ecuación 1.28 Azimut..... 49

CAPÍTULO III

Ecuación 3.1 Crecimiento poblacional 103

Ecuación 3.2 Distancia entre dos puntos en coordenadas geográficas 120

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñará una red Inalámbrica para brindar los servicios de Internet, voz y video a 55 centros educativos del cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos.

En el primer capítulo se hace un estudio de las tecnologías inalámbricas aplicables al diseño de la red, destacando de cada una de ellas sus ventajas y desventajas, se hace una breve comparación entre tecnologías y se presenta las normativas de regulación para una red de Banda Ancha Inalámbrica en el país.

En el segundo capítulo se realiza un análisis de la situación socio-económico y académica actual del cantón de Shushufindi, se presenta los datos de ubicación, el número de estudiantes, el número de docentes, los equipos disponibles, las necesidades tecnológicas y la infraestructura civil de las instituciones educativas.

En el tercer capítulo se diseña la estructura de la red, se realizan los cálculos de la velocidad de transmisión requerida por las diferentes aplicaciones de datos, voz y video, además se proyecta la velocidad de transmisión para 5 años a futuro. Una vez conocida la velocidad de transmisión total que debe soportar la red se procede a escoger la tecnología inalámbrica, y se establece los parámetros de la red. Se realiza un ejemplo de cómo calcular un enlace inalámbrico y con ayuda de un software de simulación se realiza el cálculo del enlace, luego se demuestra que los resultados de la simulación son similares a los resultados teóricos. A continuación se procede a simular los enlaces punto a punto y punto multipunto. Se diseña la red de distribución, la granja de servidores y finalmente se diseña el NOC.

En el cuarto capítulo se realiza un presupuesto referencial de los equipos tomando en cuenta dos fabricantes, este presupuesto servirá como referencia para su eventual implementación.

En el quinto capítulo se establecen las conclusiones y recomendaciones sobre el Proyecto de Titulación.

PRESENTACIÓN

Hoy en día el acceso a Internet se ha convertido en una herramienta necesaria para el aprendizaje en la educación, la información ahora se encuentra en forma digital y las enciclopedias fueron reemplazadas por las bibliotecas virtuales.

El acceso a Internet en el país tiene una gran penetración en las grandes ciudades pero en el sector rural es poco o casi nulo, porque no es rentable para los proveedores de Internet invertir en estos sectores.

Es un compromiso con la sociedad y en especial con los sectores más vulnerables del sector rural, contribuir con los conocimientos adquiridos para brindar una solución tecnología acorde con las necesidades de la zona. Como principales tecnologías inalámbricas se presentan Wi-Fi y WiMAX, cada una de ellas será analizada y comparadas entre sí, para escoger la tecnología inalámbrica más adecuada respecto a sus ventajas y desventajas.

Por lo tanto este Proyecto de Titulación, con la ayuda del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, está enfocado a realizar el diseño de una red inalámbrica para conectar al mundo a los centros educativos que se encuentran ubicados a lo largo del cantón Shushufindi.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

La demanda de acceso a Internet en nuestro país crece rápidamente, en la zona urbana es abastecido por varios proveedores de Internet, sucede lo contrario en la zona rural, en especial en la Amazonia ecuatoriana. Para brindar el servicio de Internet en esta zona con infraestructura cableada es casi imposible, por estar localizada en lugares donde su único acceso es por caminos de verano y en otros casos sus altos costos no justifican su implementación.

Las tecnologías inalámbricas son una solución para satisfacer la demanda de Internet en zonas rurales, cumpliendo con parámetros de eficiencia y calidad requeridos por el Ministerio de Telecomunicaciones.

El presente capítulo describe las tecnologías inalámbricas para la implementación en redes de largo alcance, tal como son Wi-Fi y WiMAX, además de ofrecer una clara comparativa entre estas tecnologías, las ventajas, desventajas de cada una de ellas y sus aspectos regulatorios en el país.

1.1 Wi-Fi [1], [2], [3], [4]

1.1.1 ANTECEDENTES

La tecnología inalámbrica tiene sus inicios a principios de los años 90, tuvo un avance de manera desordenada, debido a que cada fabricante desarrollaba sus propios estándares, generando por ende dificultades para interconectar equipos de diferentes fabricantes.

En 1999 las compañías como 3Com, Airones, Harri, Lucent, Nokia y Symbol technologies, se reunieron para formar un grupo de comercio llamado WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance)* que en el 2003 tomo el nombre de *Wi-Fi Alliance.* El objetivo de este grupo de trabajo fue fomentar la tecnología Wi-Fi y establecer estándares para que los equipos que operan con esta tecnología inalámbrica fueran compatibles entre sí.

La norma IEEE 802.11 fue creada en junio de 1997 por el grupo de trabajo IEEE 802.11, cuyo objetivo fue desarrollar especificaciones para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma IEEE 802.3, de esta forma se aseguraría la compatibilidad en las redes de área local (LAN) de cable y las redes locales inalámbricas. El estándar IEEE 802.11 propone velocidades de 1 y 2 Mbps y un sistema de cifrado WEP *(Wired Equivalent Privacy),* operando en la banda de 2.4 GHz.

En abril del 2000 WECA publica el primer estándar de interoperabilidad de equipos con la norma IEEE 802.11b, esta norma ofrece velocidades desde 5 hasta 11 Mbps con frecuencia de operación de 2.4 GHz, luego llegó IEEE 802.11a que a diferencia de su antecesora trabaja a una frecuencia de 5GHz y velocidades hasta 54 Mbps.

Tras muchos debates se aprobó una nueva especificación, IEEE 802.11g, que al igual que la “b” utilizaba la banda de los 2,4GHz pero incrementaba la velocidad hasta los 54Mbps.

El estándar 802.11n fue ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009, a diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz y 5 GHz. El estándar 802.11n mejora significativamente el rendimiento de la red, con una velocidad de transmisión máxima de 600 Mbps.

El estándar IEEE 802.11ac es la especificación actual, con tasas de transferencia superiores a 1 Gbps.

1.1.2 ARQUITECTURA IEEE 802.11

La arquitectura del estándar IEEE 802.11 está formada por una serie de elementos que interaccionan para proveer movilidad a las estaciones en una red local. El estándar IEEE 802.11 define dos topologías:

- ☑ **Topología de infraestructura:** Una topología de infraestructura permite la comunicación entre clientes inalámbricos y cableados. La transición de datos de la conexión inalámbrica a un medio cableado se produce a través de un punto de acceso (*AP*).

☑ **Topología *ad hoc*:** Este tipo de topología consiste de un grupo de estaciones donde cada una se encuentra dentro del límite de acción del resto, y es generalmente de naturaleza temporal, además no requiere de un punto de acceso.

1.1.2.1 Componentes de la arquitectura IEEE 802.11

La arquitectura de IEEE 802.11 consiste de una serie de elementos que se ilustran en la figura 1.1.

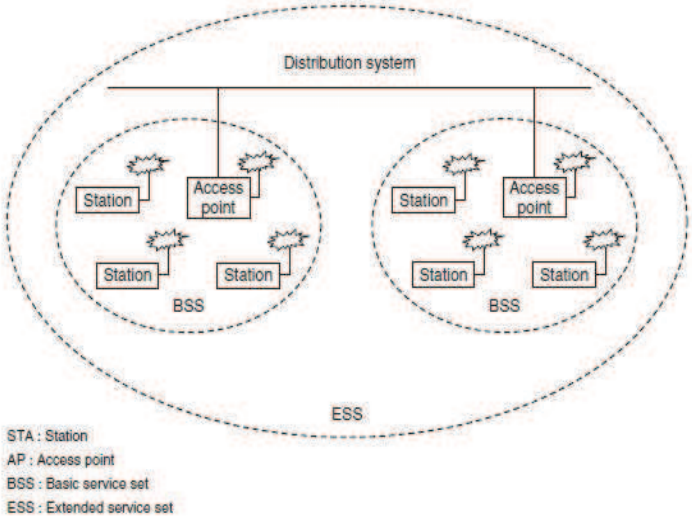


Figura 1.1 Elementos de la arquitectura IEEE 802.11 [1]

☑ **Estación:** Es una computadora o dispositivo con interfaz de red.

☑ **Punto de acceso (AP):** Es un dispositivo con el estándar IEEE 802.11 y brinda acceso a un sistema de distribución (*Distribution System*) para las estaciones asociadas.

☑ **Conjunto de servicios básicos (BSS):** Se define un BSS como un grupo de estaciones que coordinan su acceso al medio, mediante un procedimiento dado. El área de cobertura geográfica de un BSS se conoce como área de servicios básicos (BSA). Si una estación desea comunicarse con otra dentro del mismo BSS lo hace a través de un AP (*Access Point*).

☑ **Sistema de distribución (DS):** Sistema usado para interconectar dos o más BBSs, puede ser una red alámbrica o una red inalámbrica.

☑ **Conjunto de servicios básicos independiente (IBSS):** Todas las estaciones son móviles y no se conectan con otras BSSs. Las estaciones se conectan directamente entre si y no usan un AP, ejemplo una red ad hoc.

Conjunto de Servicios Extendido (ESS): En IEEE 802.11 se puede interconectar un conjunto de BSSs mediante un sistema de distribución (DS), para dar lugar a un conjunto de servicios extendidos (ESS).

1.1.3 SERVICIOS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

El estándar IEEE. 802.11 proporciona 9 servicios y se dividen en dos categorías, cinco servicios de distribución y cuatro servicios de estación.

1.1.3.1 Servicios de distribución

Los servicios de distribución se relacionan con la administración de membrecías dentro de la celda y con la interacción con estaciones que están fuera de la celda.

Los servicios de distribución se proveen entre BSSs y tienen que ver con la movilidad de la estación, se implementan en los APs o dispositivos que se conectan al DS, estos servicios son los siguientes:

- ☑ **Asociación:** Este servicio es utilizado por las estaciones móviles para conectarse a un AP. Para que una estación transmita o reciba datos debe estar asociada a un AP, éste podría aceptar o rechazar la estación móvil, si acepta dicha estación debe autenticarse.
- ☑ **Desasociación:** Una estación o AP utilizan este servicio para finalizar una asociación previamente establecida.
- ☑ **Reasociación:** Permite que una estación se cambie de AP, este servicio es útil para estaciones móviles que se mueven de una celda a otra.
- ☑ **Distribución:** Este servicio determina cómo enrutar tramas enviadas al AP. Si el destino es local para el AP, las tramas pueden enviarse directamente a través del aire, de lo contrario tendrán que reenviarse a través del DS.
- ☑ **Integración:** Si una trama necesita enviarse a través de una red que no sea 802.11 con un esquema de direccionamiento o formato de trama diferente, este servicio maneja la traducción del formato 802.11 al requerido por la red de destino.

1.1.3.2 Servicios de estación

Los servicios de estación se relacionan con la actividad dentro de un solo BSS y se utilizan después de que ha ocurrido la asociación y son los siguientes:

- ☑ **Autenticación:** Debido a que la información es transmitida vía inalámbrica es susceptible de ser receptada. Una estación debe autenticarse antes de que se le permita enviar datos. El AP envía una trama especial de desafío para ver si dicha estación móvil sabe la clave secreta que se le ha asignado. La estación móvil prueba que sabe la clave secreta codificando la trama de desafío y regresándola al AP; si el resultado es correcto, la estación móvil se vuelve miembro de la celda. Se requiere que la autentificación sea exitosa para que se establezca una asociación con un AP.
- ☑ **Desautenticación:** Cuando una estación previamente autenticada desea abandonar la red, se desautentica. Después de esto la estación solicitante automáticamente es desasociada.
- ☑ **Privacidad:** Para proteger de intrusos la información que se envía a través de una LAN inalámbrica, la información es codificada.
- ☑ **Entrega de datos:** Es el servicio responsable del transporte de la unidad de datos de servicio MAC (MSDU). La MSDU es un bloque de datos transmitidos desde la subcapa de control de enlace lógico (LLC) a la subcapa de control de acceso al medio (MAC).

1.1.4 PILA DE PROTOCOLOS DEL ESTÁNDAR 802.11

El estándar IEEE 802.11 es un miembro de la familia IEEE 802, que es un conjunto de especificaciones para las tecnologías de red de área local (LAN). En la figura 1.2 se muestra la relación entre los diversos componentes de la familia 802 y el modelo OSI (*Open System Interconnection*).

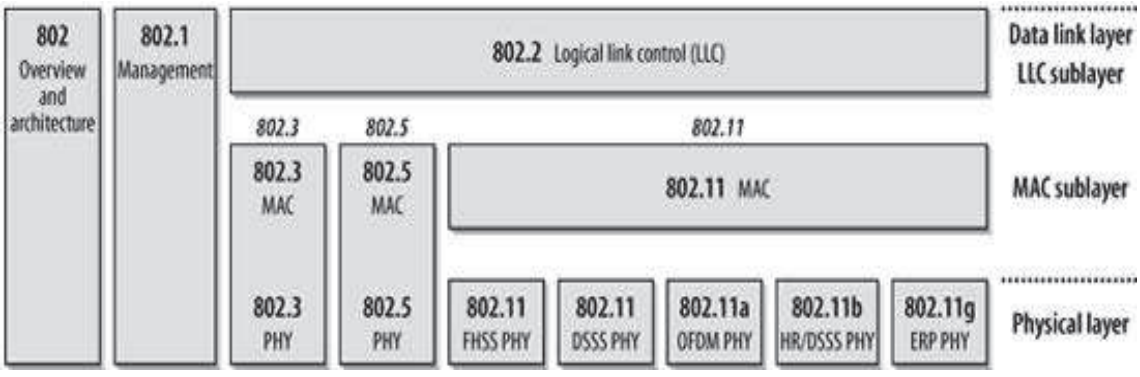


Figura 1.2 Pila de protocolos del estándar IEEE 802.11 [3]

La capa física corresponde muy bien con la capa física OSI, pero la capa de enlace de datos se divide en dos subcapas, la subcapa MAC (*Media Access*

Control) determina la forma en que se asigna el canal, es decir, a quién le toca transmitir a continuación, y la subcapa LLC (*Logical Link Control*), cuyo trabajo es ocultar las diferencias entre las variantes de 802, con el propósito de que sean imperceptibles para la capa de red.

1.1.4.1 La capa física del estándar IEEE 802.11

En la capa física se define la modulación y la señalización, características para la transmisión de datos. La capa física del estándar IEEE 802.11 se divide en dos subcapas, ver figura 1.3.

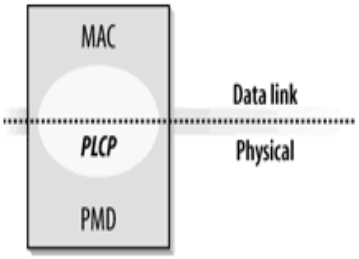


Figura 1.3 Capa física del estándar IEEE 802.11 [3]

- ☑ **PLCP (Procedimiento de Convergencia de la Capa Física):** Su función es transformar las PDU MAC a un formato adecuado para su transmisión y recepción a través de un medio físico dado. La estructura de cada trama PLCP depende de la definición de la capa física particular.
- ☑ **PMD (Dependiente del Medio Físico):** Especifica las características, métodos, técnicas de codificación y modulación para transmitir a través de medios inalámbricos.

1.1.4.2 Técnicas de modulación

El estándar IEEE 802.11 define varias técnicas de trasmisión, cada una de ellas posibilitan el envío de una trama MAC de una estación a otra. Sin embargo, difieren en la tecnología utilizada y en las velocidades alcanzables. A continuación se describirá las técnicas de modulación utilizadas por el estándar IEEE 802.11

1.1.4.2.1 *Infrarrojo*

La transmisión con infrarrojo se utiliza en entornos muy localizados, como en una aula o en un edificio, con longitudes de onda de 0.85 o 0.95 micras (ver figura 1.4), tiene dos velocidades de 1 y 2 Mbps, utiliza un esquema de codificación

mediante código de Gray**.** Debido al bajo ancho de banda, ésta no es una opción muy popular.

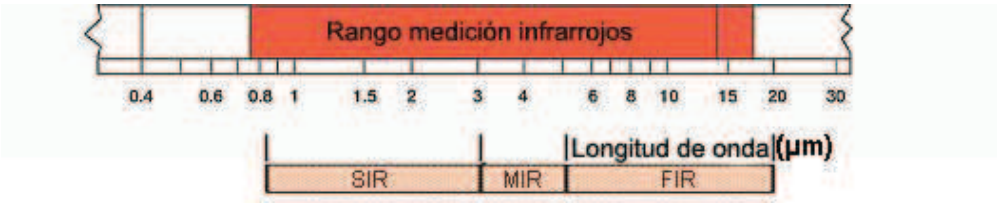


Figura 1.4 Espectro Electromagnético [5]

1.1.4.2.2 *Espectro disperso con salto de frecuencia (FHSS)*

La técnica FHSS consiste en modular la señal a transmitir con una portadora que "salta" 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, afectando solo si ambas señales se transmiten en la misma frecuencia y en el mismo momento.

Un patrón de salto determina las frecuencias por las que se transmitirán y el orden de uso de éstas. 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 técnica de modulación utilizada es GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*)[1].

La recomendación IEEE 802.11 especifica 79 frecuencias, separadas por 1 MHz para Norteamérica y Europa excluyendo Francia y España, 23 para Japón, 35 para Francia y 27 para España.

El tiempo invertido en cada frecuencia llamado el tiempo de permanencia, es un parámetro ajustable, pero debe ser menor que 400 mseg. Proporciona algo de seguridad pues un intruso que no sepa la secuencia de saltos o el tiempo de permanencia no puede espiar las transmisiones.

La técnica FHSS funciona mejor para los paquetes de datos pequeños en ambientes de alta interferencia, su principal desventaja es su bajo ancho de banda.

---

[1] GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying),* es una versión mejorada de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), en GFSK la información es pasada por un filtro gausiano antes de modular la señal.

1.1.4.2.3 *Espectro Disperso de Secuencia Directa (DSSS)*

Es una técnica de espectro extendido que permite transmitir una señal sobre una banda de frecuencia más ancha.

La técnica DSSS codifica cada bit con una secuencia predeterminada de bits de mayor velocidad, generando una nueva señal "banda base", pero de mucha mayor velocidad que la señal original. Esta nueva señal banda base es modulada con técnicas tradicionales. Los "bits" o pulsos de la nueva señal banda base se conocen como "chips".

En el receptor, los chips recibidos son demodulados, con técnicas tradicionales, y luego pasados por un "decodificador", el que implementa una correlación entre la secuencia conocida de los "chips" y la señal recibida. Si la correlación es alta, se asume que se ha recibido el bit codificado.

La recomendación IEEE 802.11 utiliza un código Barker [2], que es una palabra de 11 bits, con la siguiente secuencia: (1,1,1,-1,-1,-1,1,-1,-1,1,-1). Esta modulación ocupa aproximadamente 26 MHz. La figura 1.5 esquematiza el proceso de generación de la señal banda base.

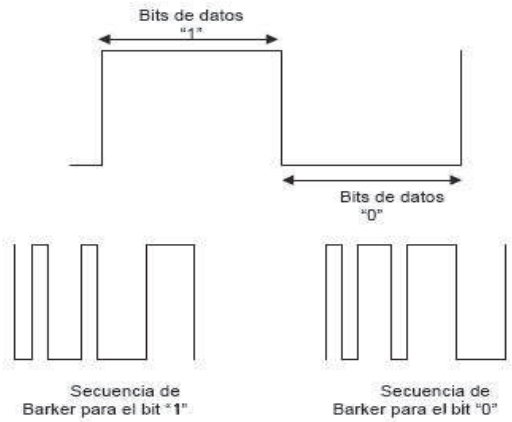


Figura 1.5 Proceso de expandido de señal [6]

1.1.4.2.4 *Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM)*

OFDM está estrechamente relacionado con la multiplexación por división de frecuencia (FDM), ambos dividen el ancho de banda disponible en varias

[2] Las secuencias o códigos Barker del tipo binario están compuestas por una sucesión de –1's y +1's de una longitud finita L, tiene buenas propiedad de autocorrelación.

subportadoras para de esta forma tener canales distintos para la transmisión de datos. FDM utiliza bandas de guarda para asegurar que la fuga espectral de una frecuencia no cause problemas con las frecuencias adyacentes, como se muestra en la figura 1.6

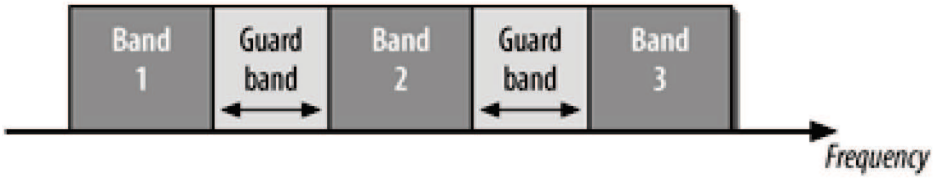


Figura 1.6 Multiplexación por división de frecuencia (FDM) [3]

El problema con FDM es que las bandas de guarda desperdician ancho de banda y por lo tanto reducen su capacidad de transmisión. Para no perder capacidad de transmisión con bandas de guarda no utilizados, OFDM selecciona los canales que se solapan, pero que no interfieren unos con otros, en la figura 1.7 se ilustra las diferencias entre FDM y OFDM.

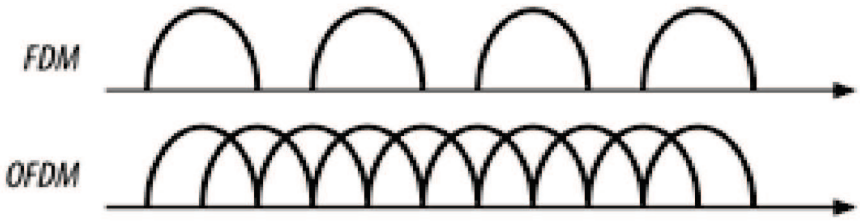


Figura 1.7 FDM vs OFDM [3]

Las portadoras superpuestas se permiten porque las subportadoras se definen de tal manera que se distinguen fácilmente entre sí. La capacidad para separar subportadoras es una relación matemática compleja llamada ortogonalidad.

La ortogonalidad se ve mejor en el dominio de la frecuencia, mirando un desglose espectral de una señal. OFDM funciona porque las frecuencias de las subportadoras se seleccionan de tal manera que en cada frecuencia de la subportadora, todas las otras subportadoras no contribuyen a la forma de onda en general.

En la Figura 1.8 se muestra un ejemplo de ortogonalidad, la señal ha sido dividida en tres subportadoras. Cuando una subportadora está en el pico de su amplitud las otros dos subportadoras tienen una amplitud cero.

OFDM utiliza un conjunto de diferentes esquemas de modulación para alcanzar tasas de datos que van de 6 Mbps a 54 Mbps.

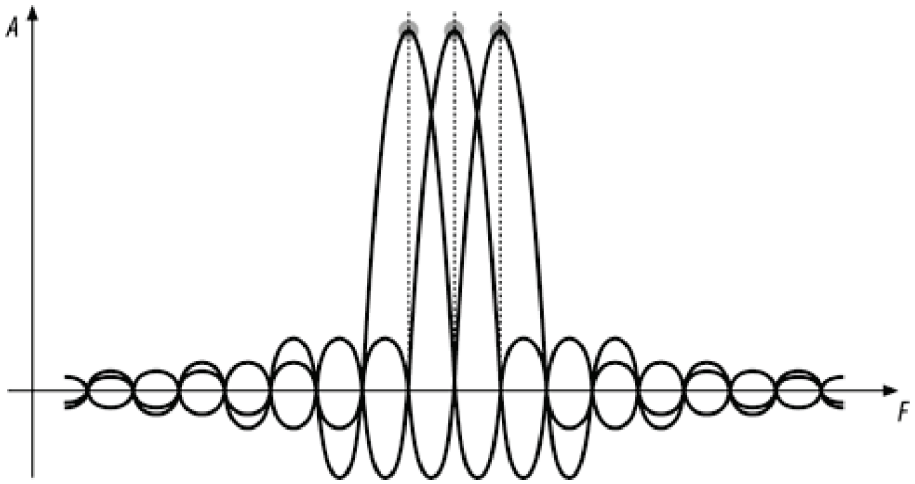


Figura 1.8 Ortogonalidad en el domino de frecuencia [3]

Existen cuatro niveles de tasas de velocidad con OFDM: 6 y 9 Mbps, 12 Mbps y 18, 24 Mbps y 36, y 48 y 54 Mbps. En la tabla 1.1 se presenta un resumen de las tasas de transmisión con su respectiva modulación.

Speed (Mbps)	Modulation and coding rate (R)	Coded bits per carrier[a]	Coded bits per symbol	Data bits per symbol[b]
6	BPSK, R=1/2	1	48	24
9	BPSK, R=3/4	1	48	36
12	QPSK, R=1/2	2	96	48
18	QPSK, R=3/4	2	96	72
24	16-QAM, R=1/2	4	192	96
36	16-QAM, R=3/4	4	192	144
48	64-QAM, R=2/3	6	288	192
54	64-QAM, R=3/4	6	288	216

Tabla 1.1 Detalle de modulación para diferentes velocidades de datos OFDM [3]

1.1.5 EL PROTOCOLO DE LA SUBCAPA MAC DEL 802.11

El protocolo de la subcapa MAC para el estándar 802.11 es muy diferente del de Ethernet debido a la complejidad inherente del entorno inalámbrico en comparación con el de un sistema cableado. Con Ethernet, una estación simplemente espera hasta que el medio queda libre y comienza a transmitir, esta situación no es válida para los sistemas inalámbricos.

Como Ethernet, el estándar 802.11 utiliza un Acceso Múltiple por Detección de Portadora (CSMA), pero en lugar de la detección de colisiones (CSMA / CD[3]) empleada por Ethernet, el estándar 802.11 utiliza evasión de colisión (CSMA / CA[4]), a continuación se explica el porqué de su utilización.

1.1.5.1 El Problema del nodo oculto

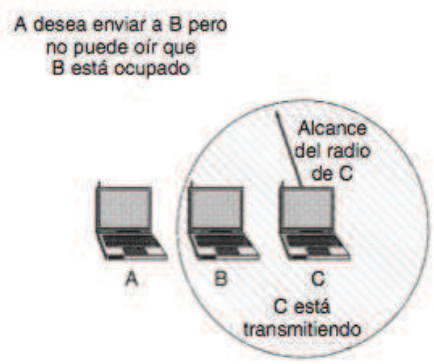


Figura 1.9 Problema de la estación oculta. [2]

Puesto que no todas las estaciones están dentro del alcance del radio de cada celda, las transmisiones que van en un lado de una celda podrían no recibirse en otro lado de la misma celda.

En el caso de la figura 1.9, la estación *C* transmite a la estación *B,* si *A* detecta el canal, no escuchará nada y concluirá erróneamente que ahora puede comenzar a transmitir a *B.*

Las colisiones resultantes de nodos ocultos puede ser difícil de detectar en las redes inalámbricas porque los radios inalámbricos son generalmente semidúplex y no pueden transmitir y recibir al mismo tiempo. Para evitar colisiones, el estándar 802.11 permite a las estaciones utilizar *Request to Send* (RTS) *y Clear to Send* (CTS).

1.1.6 FUNCIONES DE COORDINACIÓN EN LA SUBCAPA MAC

La subcapa MAC soporta dos modos de funcionamiento, como se muestra en la figura 1.10 y se describe a continuación.

---

[3] CSMA / CD, es un protocolo de acceso al medio, los dispositivos de red escuchan el medio antes de transmitir.

[4] CSMA / CA, es un protocolo de control de acceso a redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión.

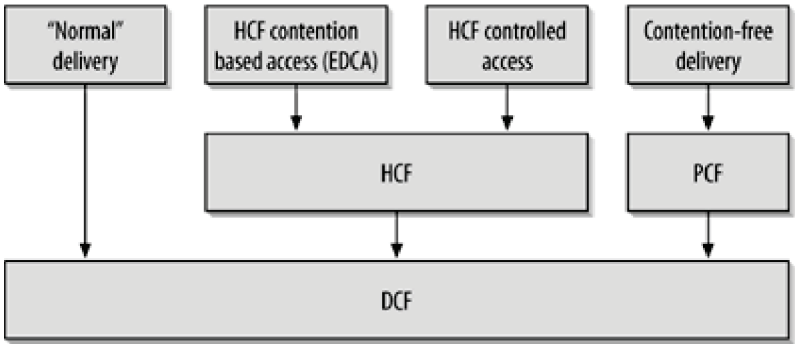


Figura 1.10 Funciones de coordinación de MAC [3]

- ☑ DCF (Función de Coordinación Distribuida), es similar a Ethernet no utiliza ningún tipo de control central.
- ☑ PCF (Punto de Coordinación Puntual), utiliza el AP para controlar toda la actividad en su celda.

Todas las implementaciones soportan DCF pero PCF es opcional. A continuación se analiza estos dos modos.

1.1.6.1 Función de Coordinación Distribuida (DCF)

Cuando se emplea DCF, el estándar 802.11 utiliza un protocolo llamado CSMA/CA, el procedimiento que utiliza para detectar el canal físico se detalla a continuación:

- ☑ Si una estación desea transmitir, debe escuchar el medio para determinar si está libre.
- ☑ Si el medio está libre, la estación transmite, esperando antes de transmitir un tiempo adicional denominado espacio entre tramas (*InterFrame Spacing*).
- ☑ Si el medio está ocupado, la estación espera hasta que finalice la transmisión actual.
- ☑ Después de esperar o antes de realizar otra transmisión, la estación ejecuta el algoritmo de Backoff para determinar el intervalo aleatorio de tiempo después del que puede transmitir. Este intervalo se denomina ventana de contención.

Un perfeccionamiento del método puede ser usar tramas de control pequeñas RTS/CTS para minimizar las colisiones entre las estaciones transmisoras y receptoras. Este método es usado para la detección del canal virtual como se detalla a continuación y con esto eliminar el problema del nodo oculto:

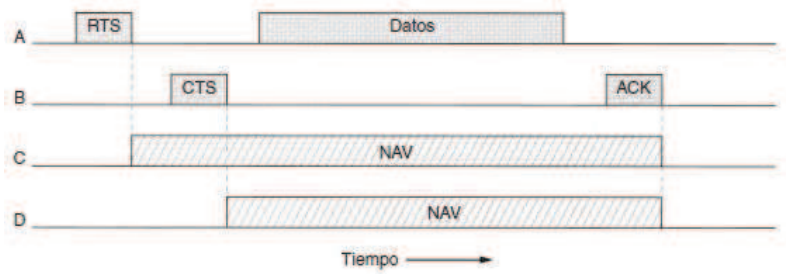


Figura 1.11 El uso de la detección de canal virtual utilizando CSMA/CA [2]

En la figura de 1.11 se ilustra la detección de canal virtual, en este ejemplo, *A* desea enviar a *B, C* es una estación que está dentro del alcance de *A*, *D* es una estación dentro del alcance de *B* pero no dentro del de *A.*

A envía una trama RTS a B, cuando B recibe esta solicitud le responde con una trama CTS, cuando A recibe la trama CTS envía la trama de datos y corre un temporizador para ACK; si B recibe correctamente la trama de datos, responde con una trama ACK y termina el proceso.

Cuando el temporizado del ACK de A termina antes de que el ACK regrese desde B, todo el protocolo se ejecuta de nuevo.

Desde el punto de vista de C y D, C está dentro del alcance de A, por lo que podría recibir la trama RTS, si sucede esto se da cuenta que alguien va a enviar datos pronto, así que desiste de transmitir hasta que el intercambio esté completo. A partir de la información proporciona en la solicitud RTS, C puede estimar cuánto tardará la secuencia, incluyendo el ACK final, por lo que impone para sí mismo una señal NAV (Vector de Asignación de Red).

D no escucha el RTS, pero sí el CTS, por lo que también impone la señal NAV para sí misma.

Las señales NAV no se transmiten; simplemente son recordatorios internos para mantenerse en silencio durante cierto periodo.

1.1.6.2 Función de Coordinación Puntual (PCF)

En este modo de acceso al medio, el AP sondea las demás estaciones, preguntándoles si tienen tramas que enviar. En el modo PCF no existen colisiones debido a que el orden de transmisión se controla por completo por el AP, ninguna estación puede transmitir o recibir datos desde el punto de acceso hasta que el AP lo indique.

Es útil para la transmisión de datos de alta prioridad como voz y video, y puede resultar ineficiente en grandes redes debido al alto tiempo que debe esperar una estación para acceder al medio.

1.1.7 ESPACIADO ENTRE TRAMAS (IFS)

El tiempo de intervalo entre tramas se llama IFS (*InterFrame Spacing*), durante este período mínimo, una estación estará escuchando el medio antes de transmitir. Se definen cuatro espaciados para dar prioridad de acceso al medio inalámbrico y se los expone desde el más corto al más largo, ver figura 1.12.

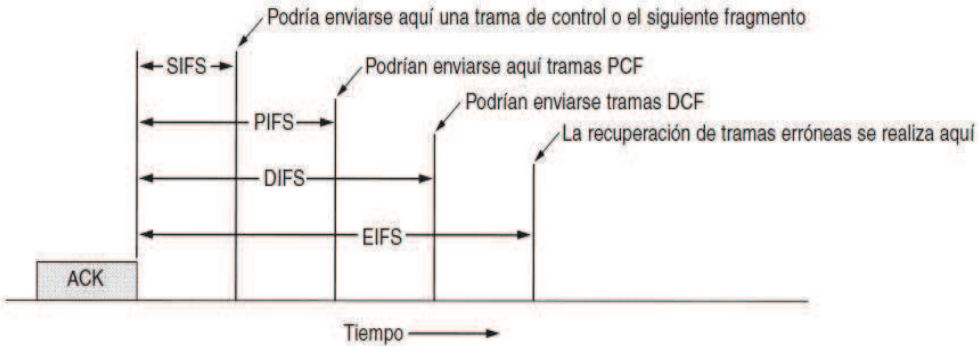


Figura 1.12 Espaciado entre tramas 802.11 [2]

1.1.7.1 Espaciado Corto Entre Tramas (SIFS)

Es el intervalo más corto, se utiliza cuando una estación ha ganado el medio y necesita mantenerlo para un intercambio de tramas definido. Su valor se fija en la capa física de tal forma que a la estación transmisora le sea posible conmutar al modo de recepción y que la receptora pueda decodificar la trama entrante en ese tiempo.

1.1.7.2 Espaciado Entre Tramas PCF (PIFS)

Se utiliza únicamente bajo PCF. Lo utiliza el AP para ganar acceso al medio al comienzo del periodo de contienda, antes de que cualquier otra estación pueda hacerlo. De esta forma puede comunicar a cuál de ellas le corresponde transmitir a continuación.

1.1.7.3 Espaciado Entre Tramas DCF (DIFS)

Utilizado bajo DCF por las estaciones que desean transmitir tramas de datos y de control.

Si la estación base no tiene nada que transmitir y transcurre un tiempo DIFS, cualquier estación podría intentar adquirir el canal para enviar una nueva trama.

1.1.7.4 Espaciado Entre Tramas Extendido (EIFS)

Sólo una estación que acaba de recibir una trama errónea o desconocida utiliza el último intervalo de tiempo EIFS, para reportar la trama errónea. La idea de dar a este evento la menor prioridad es que debido a que el receptor tal vez no tenga idea de lo que está pasando, debe esperar un tiempo considerable para evitar interferir con un diálogo en curso entre las dos estaciones.

1.1.8 LA ESTRUCTURA DE TRAMA DE DATOS 802.11

La trama MAC está formada por una cabecera, cuerpo de trama y una secuencia de chequeo de trama, estos 3 componentes con sus respectivos campos se pueden observar en la figura 1.13.

Figura 1.13 Formato de la trama MAC [2]

En la figura 1.13 se observa el formato de la trama de datos, el primer campo es el de Control de trama, éste tiene 11 subcampos y son:

- ☑ **Versión de protocolo:** Permite que dos versiones del protocolo funcionen al mismo tiempo en la misma celda, el valor por defecto es 0.
- ☑ **Tipo:** Indica el tipo de trama: de datos, de control o de administración.
- ☑ **Subtipo:** Indica la función de la trama, por ejemplo RTS o CTS.
- ☑ **A DS:** Indica si la trama está destinada al Sistema de Distribución o no.
- ☑ **De DS:** Indica si la trama fue enviada desde el Sistema de Distribución.
- ☑ **More Fragments (MF):** Indica que siguen más fragmentos.
- ☑ **Retrans (RT):** Marca una retransmisión de una trama que se envió anteriormente.
- ☑ **Administración de energía (PM):** Es utilizado por el AP para poner al receptor en estado de hibernación o sacarlo de tal estado.

- ☑ **Más Datos (MD):** Indica que el emisor tiene tramas adicionales para el receptor.
- ☑ **WEP:** Especifica que el cuerpo de la trama se ha codificado utilizando el algoritmo Privacidad Inalámbrica Equivalente (WEP)
- ☑ **Order (O):** Indica al receptor que una secuencia de tramas que tenga este bit encendido debe procesarse en orden estricto.

El segundo campo de la trama de datos es el campo de Duración e indica cuánto tiempo ocuparán el canal la trama y su confirmación de recepción.

Los primeros campos de Direcciones indican la dirección de origen de estación transmisora y la dirección de destino de la estación receptora, los otros dos campos de direcciones se utilizan cuando una estación cambia de celda.

El campo de Control de Secuencia, permite que se numeren los fragmentos, de los 16 bits disponibles, 12 identifican la trama y 4 el fragmento.

El campo de Datos contiene la carga útil, hasta un tamaño de 2312 bytes.

El campo de Secuencia de chequeo de trama (FCS), es una secuencia de 32 bits generada por un código de redundancia cíclica (CRC[5]) para poder determinar la validez de los datos enviados en la trama. Para su cálculo se toma en cuenta la cabecera MAC y el cuerpo de la trama.

1.1.9 ESTÁNDARES IEEE 802.11

Posteriormente aparecieron nuevos estándares, entre los más reconocidos se encuentran los que se mencionan a continuación:

1.1.9.1 IEEE 802.11b

Entre sus principales características están:

- ✓ Velocidad máxima de hasta 11Mbps.
- ✓ Opera en el espectro de 2.4GHz.
- ✓ Las mismas interferencias que para 802.11.
- ✓ Modulación DSSS.
- ✓ Compatible con los equipos DSSS del estándar 802.11.

[5] CRC, es un código de detección de errores usado frecuentemente en redes digitales y en dispositivos de almacenamiento para detectar cambios accidentales en los datos.

El estándar IEEE 802.11b incluye mejoras del estándar original 802.11, su tasa de transmisión puede ser de 5,5 y 11 Mbps.
Un dispositivo basado en IEEE 802.11b puede transmitir hasta 11 Mbps, y reducirá automáticamente su tasa de transmisión cuando el receptor empiece a detectar errores, sea debido a interferencia o a atenuación del canal, cayendo a 5,5 Mbps, después a 2, hasta llegar a 1 Mbps cuando el canal sea muy ruidoso.

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan la banda de 2.4 – 2.5 GHz. En esta banda, se definieron 11 canales para equipos Wi-Fi, que pueden configurarse de acuerdo a necesidades particulares.

Sin embargo, los 11 canales no son completamente independientes (canales contiguos se superponen y se producen interferencias).

El ancho de banda de la señal (22 MHz) es superior a la separación entre canales consecutivos (5 MHz), por eso se hace necesaria una separación de al menos 5 canales con el fin de evitar interferencias entre celdas adyacentes.

Tradicionalmente se utilizan los canales 1, 6 y 11, que son los tres canales que no tendrán problemas de solapamiento.

1.1.9.2 IEEE 802.11a

Sus principales características son:

- ✓ Velocidad máxima de hasta 54Mbps.
- ✓ Opera en el espectro de 5GHz.
- ✓ Menos saturado.
- ✓ No es compatible con las normas: 802.11b y 802.11g.
- ✓ Modulación de OFDM.

De la misma manera que IEEE 802.11b, esta enmienda utiliza el mismo protocolo de base que el estándar original. El IEEE 802.11a funciona en la banda de los 5 GHz y utiliza OFDM, una técnica de modulación que permite una tasa de transmisión máxima de 54 Mbps. Usando la selección adaptativa de velocidad, la tasa de datos cae a 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps a medida que se experimentan dificultades en la recepción.
El estándar IEEE 802.11a tiene 12 canales sin solapamiento, de los cuales 8

están dedicados para el uso en interiores y los 4 restantes son para enlaces exteriores.

La recomendación IEEE 802.11a no es interoperable con IEEE 802.11b, porque usan bandas de frecuencia distintas, pero existen equipos que trabajan con ambos estándares por medio de 2 radios.

1.1.9.3 IEEE 802.11g

Sus principales características son:

- ✓ Velocidad máxima de hasta 54Mbps.
- ✓ Opera en el espectro de 2.4GHz.
- ✓ Compatible con 802.11b.
- ✓ Modulación DSSS y OFDM.

En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g, éste utiliza la banda de 2.4GHz pero opera a una velocidad teórica máxima de 54Mbps, o cerca de *24.7* Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a.

Buena parte del proceso de diseño del estándar fue para hacer compatible con el estándar 802.11b. Sin embargo, en redes bajo el estándar 802.11g la presencia de nodos bajo el estándar 802.11b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

1.1.9.4 IEEE 802.11n

El estándar IEEE 802.11n apunta a alcanzar una tasa teórica de 600 Mbps que sería 40 veces más rápida que la de 802.11b y 10 veces más que la de 802.11a o la 802.11g.

La norma 802.11n aprovecha muchas de las enmiendas previas pero la gran diferencia es la introducción del concepto de MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*), múltiples entradas múltiples salidas. MIMO implica utilizar varios transmisores y múltiples receptores para aumentar la tasa de transferencia y el alcance. Muchos expertos afirman que MIMO es el futuro de las redes inalámbricas.

1.1.9.5 IEEE 802.11ac

El estándar 802.11ac es una mejora evolutiva de 802.11n, opera en la banda de los 5 GHz y fue desarrollado entre 2011 y 2013, con la publicación final para fin de año del 2013. Uno de los objetivos de 802.11ac es entregar mayores niveles de rendimiento, con tasas de transmisión de al menos de 1 Gbps; esto se logra mediante la ampliación de ancho de banda, MIMO multi-usuario y con modulación de alta densidad.

1.1.9.6 Otros estándares

- ☑ **802.11c:** Añade soporte Mac para operaciones de puente para el estándar 802.11.
- ☑ **802.11d:** Múltiples dominios reguladores (restricciones de países al uso de determinadas frecuencias).
- ☑ **802.11e:** Mejorar el MAC del 802.11 para que pueda manejar de forma adecuada la Calidad de Servicio (QoS[6]), para tener clases de servicio, de carácter esencial para aplicaciones multimedia (la videollamada o el vídeo bajo demanda) y mejorar los mecanismos de seguridad y autentificación.
- ☑ **802.11f:** Protocolo de conexión entre puntos de acceso de distintos fabricantes, protocolo IAPP (*Inter Access Point Protocol*).
- ☑ **802.11h:** Mejorar la capa física en la banda de los 5GHz para Europa. Debido a las licencias es imposible transmitir en esta banda en Europa. Las investigaciones se centran en elaborar mecanismos de selección entre interiores y exteriores.
- ☑ **802.11 i:** Desarrollar nuevos mecanismos en el nivel MAC para obtener *mayor seguridad.*

1.2 ESTÁNDAR IEEE 802.16 [7], [8], [9]

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), acrónimo de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, es una norma de transmisión por ondas de radio de última generación orientada a la última milla que permite la recepción de datos por microondas, ofreciendo total cobertura en

[6] Calidad de servicio (QoS), son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo dado. Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio.

áreas de hasta 50 km con LOS (*Line Of Sight*)[7] y un tamaño de celda de hasta 7 km en condiciones NLOS (*Non Line Of Sight*)[8] y provee velocidades de hasta 70Mbps, es compatible con IEEE802.11.

WiMAX es una tecnología basada en estándares de red de área metropolitana, es utilizado como acceso de última milla y proporciona servicios como IP, ATM, Frame Relay. Es ideal para transmitir información a zonas de difícil acceso, donde es imposible llegar con las tecnologías tradicionales.

El estándar utilizado es el IEEE 802.16, para garantizar la compatibilidad e interoperabilidad entre diferentes fabricantes se creó el WiMAX Forum.

1.2.1 WiMAX FORUM

El WiMAX Forum es una organización sin fines de lucro, liderada por la industria, formada por un consorcio de empresas, inicialmente 67 y hoy en día más de 500.

Esta organización está dedicada a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados, a su vez certificar y promocionar la compatibilidad e interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar común WiMAX y de esa manera acelerar su introducción al mercado.

Los productos certificados *"WiMAX Forum Certified"* soportan los servicios de Internet banda ancha fijos, portátiles y móviles. Los equipos aprobados por WiMAX *Forum* poseen un logotipo de certificación, este logo se puede ver en la figura 1.16.

Figura 1.14 Logotipo de WiMAX Forum [10]

[7] *Line Of Sight*, término utilizado en radiofrecuencia para un enlace de radio con visibilidad directa entre antenas.

[8] *Non Line Of Sight*, es un término para describir un trayecto parcialmente obstruido entre la ubicación del transmisor de la señal y la ubicación del receptor de la misma.

1.2.2 ESTÁNDARES WIMAX

- ☑ **802.16:** Publicada en el 2002, utiliza espectro licenciado en el rango de 10 GHz a 66 GHz, necesita línea de vista, con una capacidad de hasta 134 Mbps en distancias de 3 a 8 kilómetros. Soporta calidad de servicio (QoS).
- ☑ **802.16a:** Publicada en abril del 2003, la cual es una ampliación del estándar 802.16 a bandas de 2 a 11GHz, con sistemas NLOS y LOS y protocolos PtP (*Point to Point*) y PtMP (*Point to MultiPoint*).
- ☑ **802.16b:** Publicada también en el 2003, delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 10 a 60GHz.
- ☑ **802.16c:** Publicada en enero del 2003, la cual amplía el estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10 a 66 GHz.
- ☑ **802.16d:** Publicada en junio del 2004, que fue la revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004, ésta es la última versión del estándar.
- ☑ **802.16e:** Publicada en diciembre de 2005, que es una extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha móvil para elementos portables.
- ☑ **802.16m:** También conocido como Mobile WiMAX Release 2, es un estándar de interfaz de aire avanzada con velocidades de datos de 100 Mbps móvil y 1 Gbps fijo.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE WiMAX

WiMAX ofrece características con mucha flexibilidad en términos de opciones de despliegue y de servicios al usuario. A continuación se mencionará algunas de las características más importantes.

1.2.3.1 Capa física basada en OFDM

La capa PHY de WiMAX está basada en multiplexación por división ortogonal de frecuencias (OFDM), un esquema que ofrece buena resistencia a múltiples trayectorias e interferencias.

1.2.3.2 Altas tasas de transmisión

WiMAX es capaz de soportar altas tasas de datos. De hecho, la tasa de datos en capa física puede ser tan alta como 74 Mbps.

1.2.3.3 Sistema escalable

WiMAX tiene una arquitectura de capa PHY (*Physical Layer*), que permite escalar fácilmente las tasas de datos, esta escalabilidad es soportada en modo OFDMA, donde el número de subportadoras puede escalarse basándose en la disponibilidad de un canal de banda ancha.

Por ejemplo, un sistema WiMAX pude usar 128, 512, 1024 o 2048 subportadoras, ya sea que el ancho de banda del canal sea de 1.25, 5, 10 o 20 MHz respectivamente. Esta escalabilidad puede hacerse dinámicamente para soportar el desplazamiento de los usuarios a través de las diferentes redes, las cuales pueden tener diferentes asignaciones de ancho de banda.

1.2.3.4 Modulación y codificación adaptiva

WiMAX soporta varios esquemas de modulación y corrección de errores (FEC[9]), y permite que los esquemas sean cambiados por los usuarios en cada trama, basándose en las condiciones del canal. Éste es un mecanismo efectivo para maximizar el *throughput*[10] en un canal variante en el tiempo.

1.2.3.5 Retransmisiones en la capa de enlace

Para conexiones que requieren una mejor confiabilidad, WiMAX soporta ARQ (*Automatic Repeat-reQuest)* en la capa de enlace. ARQ permite conexiones que requieren que cada paquete transmitido sea reconocido por el receptor, los paquetes desconocidos son asumidos como paquetes perdidos y son automáticamente retransmitidos.

1.2.3.6 Seguridad robusta

WiMAX soporta una fuerte encriptación, usando un estándar de encriptación avanzada (AES[11]). Este estándar tiene una privacidad robusta y un protocolo de administración de claves.

---

[9] *Forward Error Correction*, es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.

[10] *Throughput*, es la tasa promedio de la entrega exitosa de un mensaje sobre un canal de comunicación.

[11] *Advanced Encryption Standard* (AES), es una técnica de encriptación de datos que utiliza un esquema de cifrado por bloque.

El sistema también ofrece una arquitectura de autentificación muy flexible, basada en el protocolo de autentificación extensible (EAP[12]). El cual permite una variedad de credenciales de usuario, incluyendo nombres de usuario, contraseñas, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

1.2.3.7 Soporte para movilidad

La variante móvil del sistema WiMAX, tiene un mecanismo para soportar *handovers* perfectos y seguros, para aplicaciones de completa movilidad y tolerantes a retrasos, como VoIP.

1.2.3.8 Principales aplicaciones de WiMAX

La utilización de sistemas de comunicaciones inalámbricas WiMAX proporciona grandes posibilidades para entornos en situaciones muy diversas, entre las que están las siguientes:

- ✓ Tecnología de última milla para provisión de banda ancha.
- ✓ Conectividad en zonas rurales o con alta dispersión geográfica.
- ✓ Interconexión de infraestructuras de telecomunicaciones.
- ✓ Despliegue de instalaciones distribuidas de seguridad o industriales.
- ✓ Puesto de trabajo móvil en entorno laboral.
- ✓ Internet Móvil.
- ✓ Conectividad para catástrofes y situaciones provisionales.

1.2.4 TIPOS DE WiMAX

El estándar IEEE 802.16 se divide en dos categorías: WiMAX fijo y WiMAX móvil.

- ☑ **WiMAX Fijo:** El estándar IEEE 802.16-2004 es una recopilación de los estándares IEEE 802.16a y IEEE 802.16d, los cuales se refieren como una tecnología "fijo inalámbrico", porque se utiliza una antena fija, la cual se coloca como un punto de acceso en un lugar estratégico, como un mástil o techo de un edificio.

  Principalmente se enfoca hacia usuarios de tipo residencial o de oficina, permite brindar los servicios de banda ancha para áreas remotas donde ha

[12] El servicio Protocolo de autenticación extensible (EAP), proporciona autenticación de *red* en escenarios como 802.1x con cable e inalámbrica.

sido demasiado costoso acceder mediante infraestructura tradicional de banda ancha.

☑ **WiMAX Móvil:** El estándar IEEE802.16e, también conocido como WIMAX Móvil, constituye una evolución de su versión fija para dar servicios de banda ancha móvil y proporcionar la gestión de movilidad.

El estándar IEEE802.16e es una mejora a la especificación 802.16-2004 y se aprobó a finales del 2005.

1.2.5 MODELO DE REFERENCIA IEEE 802.16-2004

Se presenta como referencia el IEEE 802.16-2004, porque el requerimiento de la red es una tecnología inalámbrica fija.

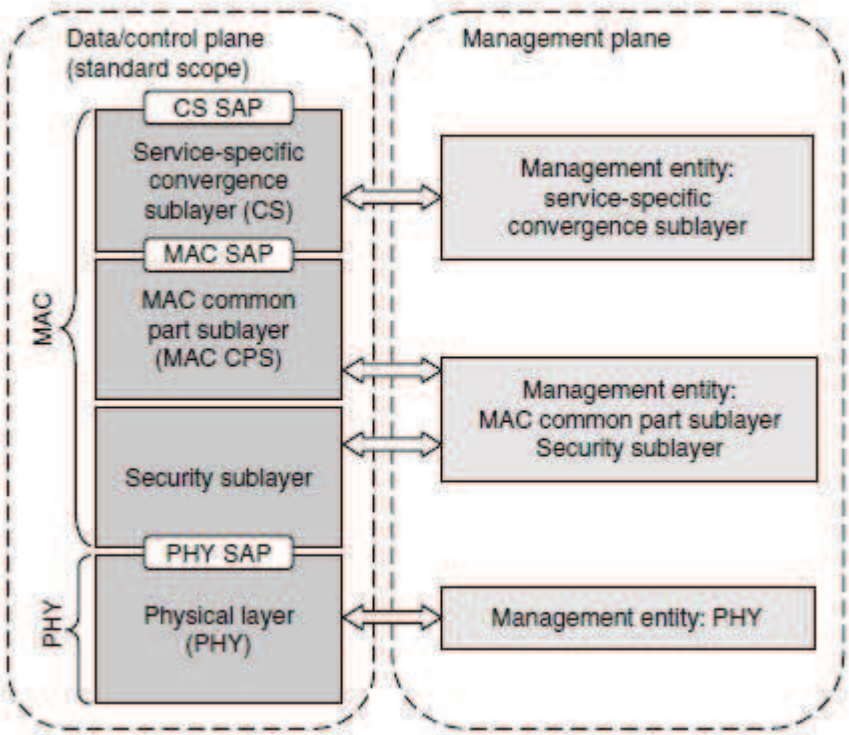


Figura 1.15 Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16- 2004 [8]

El modelo de referencia 802.16-2004 está formado por dos planos como se observa en la figura 1.15.

☑ **Plano de administración:** Contiene entidades de administración para cada subcapa de la MAC y para la capa Física.

☑ **Plano de control y datos:** Comprende la capa Física y la Subcapa MAC. El estándar describe las capas y subcapas del plano de control.

1.2.5.1 Capa Física

La capa física contiene todo lo que está relacionado con la manipulación de la señal, es responsable de la modulación de la señal y el correcto uso del canal para la transmisión de dicha señal.

El estándar IEEE 802,16 contiene 4 diferentes esquemas de modulación que se pueden observar en la tabla 1.2.

Interfaz	Función	Cobertura Antena	Frecuencias	Método Duplexación
Wireless MAN-SC	Punto a Punto	LOS	10 – 66 GHz	TDD, FDD
Wireless MAN-SCa	Punto a Punto	NLOS	2– 11 GHz	TDD, FDD
Wireless MAN-OFDM	Punto a Multipunto	NLOS	2– 11 GHz	TDD, FDD
Wireless MAN-OFDMA	Punto a Multipunto	NLOS	2– 11 GHz	TDD, FDD

Tabla 1.2 Variantes de WiMAX [8]

A continuación se describe las diferentes especificaciones para la capa física.

1.2.5.1.1 *Wireless MAN-SC*

Esta especificación de la PHY está destinada para operar en la banda de frecuencia de 10 - 66 GHz; esta especificación soporta Duplexación por División de Tiempo (TDD) y Duplexación por División de Frecuencia (FDD). En ambos casos se usa el formato de transmisión por ráfagas, cuyos mecanismos de trama permiten perfiles de ráfaga adaptables, en el cual los parámetros de transmisión, de modulación y codificación, pueden ajustarse para cada terminal de usuario.

1.2.5.1.2 *Wireless MAN-SCa*

Está diseñada para operación NLOS en bandas de frecuencias por debajo de 11 GHz. Los anchos de banda de canal permitidos deben ser limitados y lo mínimo que permite es 1.75 MHz. Utiliza las técnicas TDD y FDD, soporta los sistemas de antenas inteligentes y se utiliza en los sistemas fijos.

1.2.5.1.3 *Wireless MAN-OFDM*

Está basada en multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), y diseñada para operación NLOS en frecuencias por debajo de 11 GHz, está orientada principalmente al acceso fijo en hogares y empresas.

1.2.5.1.4 *Wireless MAN-OFDMA*

Se basa en el principio de la modulación OFDM, diseñada para trabajar en las bandas de frecuencia menores a 11 GHz y en ambientes NLOS, pero difiere ya que OFDMA va más allá, empleando un mayor número de subportadoras en su estructura.

La estructura de un símbolo OFDMA consiste de tres tipos de subportadoras que se observan en la Figura 1.16.

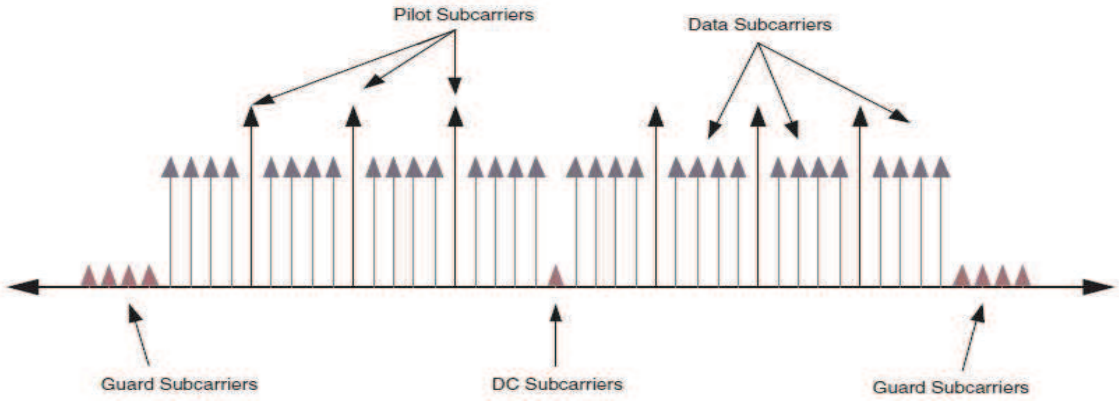


Figura 1.16 Subportadoras OFDMA [7]

- ✓ Subportadoras para transmisión de datos.
- ✓ Subportadora piloto para propósito de sincronización.
- ✓ Subportadora de datos nula (DC), usada para bandas de guarda y no es utilizada para la transmisión.

Las Subportadoras activas (datos y piloto) se agrupan dentro de un subconjunto llamado subcanales.

En OFDMA el espacio de portadoras está subdividido en grupos, los cuales no tienen por qué tener la misma amplitud, modulación, ni codificación, estando estos parámetros en función del estado de enlace y del ancho de banda requerido por el usuario.

1.2.5.2 Capa de Control Acceso al Medio (MAC)

La capa de control de acceso al medio (MAC, *Medium Access Control*), está sobre la capa PHY y es responsable de controlar y multiplexar varios enlaces sobre el medio físico. Algunas de las funciones importantes de la capa MAC en WiMAX son:

- ☑ Segmentar o concatenar las unidades de servicio de datos (SDU, *Service Data Unit*) recibidos de las capas superiores en unidades de datos de protocolo (PDU, *Protocol Data Unit*) MAC.
- ☑ Seleccionar el perfil de ráfaga apropiado y un nivel de potencia que debe utilizarse para la transmisión de los PDU MAC.
- ☑ Retransmisión de los PDU MAC que se recibieron erróneamente por el receptor cuando estaba usando una solicitud de repetición automática (ARQ).
- ☑ Proporcionar control de calidad de servicio (QoS) y tratamiento prioritario de las PDU MAC pertenecientes a diferentes datos y portadores de señalización.
- ☑ Gestionar PDU MAC sobre los recursos PHY.
- ☑ Prestar apoyo a las capas superiores de gestión de la movilidad.
- ☑ Proporcionar seguridad y gestión de claves.

La capa MAC de WiMAX, se muestra en la figura 1.17 y está dividida en tres subcapas:

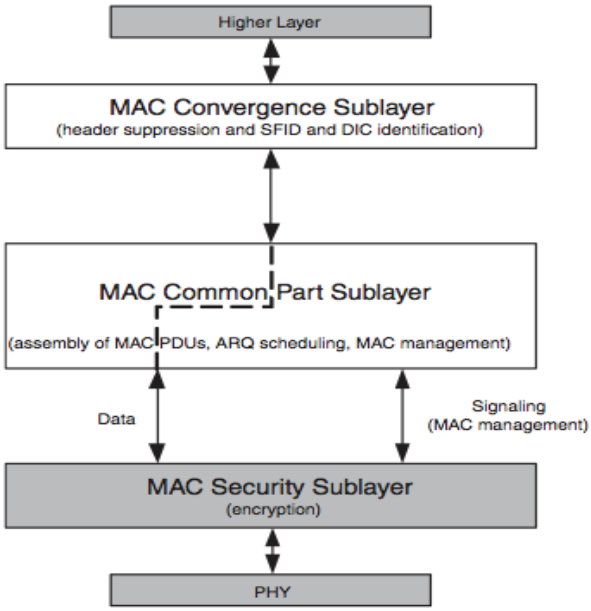


Figura 1.17 Subcapas de la capa MAC de WiMAX [7]

- ✓ Subcapa de convergencia de servicios específicos (*CS, Convergence Sublayer*).
- ✓ Subcapa parte común MAC (*CPS, Common Part Sublayer*).
- ✓ Subcapa de seguridad.

El CS, que es la interfaz entre la capa MAC y la capa 3 de la red, recibe paquetes de datos desde la capa superior. Estos paquetes de capa superior son también conocidas como unidades de datos de servicio (SDU) MAC.

El CS es responsable de realizar todas las operaciones que dependen de la naturaleza del protocolo de capa superior, tales como la compresión de cabecera y la asignación de direcciones.

El CS puede ser visto como una capa de adaptación que enmascara el protocolo de capa superior y de sus requisitos del resto de las capas MAC y PHY de una red WiMAX.

La Tabla 1.3 muestra los distintos protocolos de las capas superiores que convergen en la subcapa CS.

Value	Convergence Sublayer
0	ATM CS
1	Packet CS IPv4
2	Packet CS IPv6
3	Packet CS 802.3 (Ethernet)
4	Packet CS 802.1/Q VLAN
5	Packet CS IPv4 over 802.3
6	Packet CS IPv6 over 802.3
7	Packet CS IPv4 over 802.1/Q VLAN
8	Packet CS IPv6 over 802.1/Q VLAN
9	Packet CS 802.3 with optional VLAN tags and ROHC header compression
10	Packet CS 802.3 with optional VLAN tags and ERTCP header compression
11	Packet IPv4 with ROHC header compression
12	Packet IPv6 with ROHC header compression
13–31	Reserved

Tabla 1.2 Subcapas de convergencia de WiMAX [7]

La subcapa de parte común, realiza todas las operaciones de paquetes que son independientes de las capas superiores, como:

- ✓ La fragmentación y la concatenación entre SDUs y PDUs MAC.
- ✓ Transmisión de los PDUs MAC.
- ✓ El control de calidad de servicio (QoS).

✓ Solicitud de repetición automática (ARQ).

La subcapa de seguridad es responsable del cifrado, autorización y de un adecuado intercambio de claves de cifrado entre la estación base y la estación móvil, además ofrece a los operadores protección contra intrusos en la red.

1.2.5.2.1 *Tipos de PDU*

WiMAX tiene dos tipos de PDU, cada uno con una estructura de encabezado muy diferente, como se muestra en las figuras 1.18 y 1.19.

☑ **La PDU de MAC genérica**, se utiliza para transportar datos y mensajes de señalización de la capa MAC. Un PDU MAC genérico comienza con un encabezado genérico cuya estructura se muestra en la figura 1.18 seguido por una carga útil y un CRC.

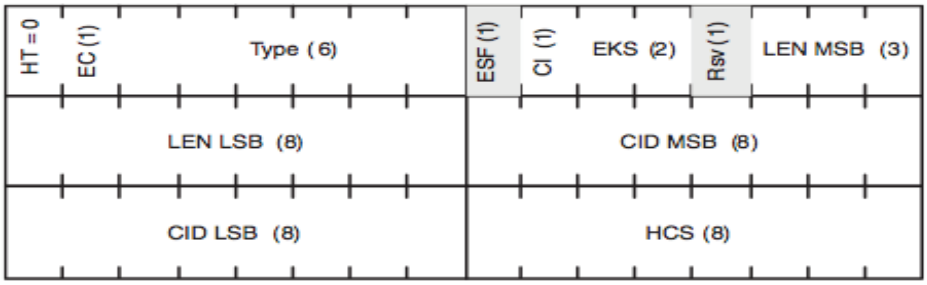


Figura 1.18 Encabezado genérica de PDU MAC [7]

La información de los diferentes elementos de una cabecera PDU MAC genérico se muestra en la Tabla 1.4.

Field	Length (bits)	Description
HT	1	Header type (set to 0 for such header)
EC	1	Encryption control (0 = payload not encrypted; 1 = payload encrypted)
Type	6	Type
ESF	1	Extended subheader field (1 = ES present; 0 = ES not present)
CI	1	CRC indicator (1 = CRC included; 0 = CRC not included)
EKS	2	Encryption key sequence (index of the traffic encryption key and the initialization vector used to encrypt the payload)
Rsv	1	Reserved
LEN	11	Length of MAC PDU in bytes, including the header
CID	16	Connection identifier on which the payload is to be sent
HCS	8	Header check sequence; generating polynomial $D^8 + D^2 + D + 1$

Tabla 1.3 Campos de la cabecera genérica MAC [7]

☑ **La PDU de solicitud de ancho de banda,** es utilizado por la estación móvil para indicar a la estación base que más ancho de banda se requiere en el enlace de subida. Una PDU de solicitud ancho de banda consiste solamente de un encabezado de solicitud de ancho de banda, sin carga útil o CRC, ver figura 1.19.

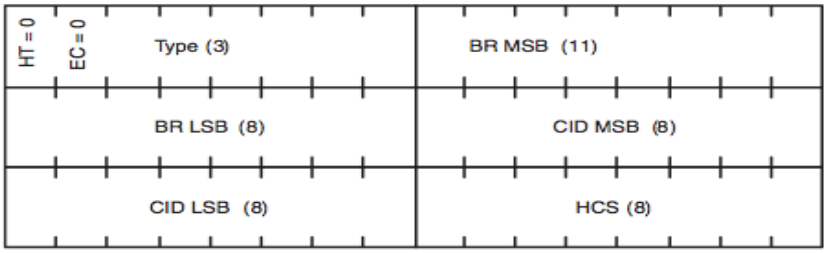


Figura 1.19 Encabezado de solicitud de ancho de banda de PDU MAC [7]

La información de los diversos elementos de un encabezado de solicitud de ancho de banda se proporciona en la tabla 1.5.

Field	Length (bits)	Description
HT	1	Header type (set to 1 for such header)
EC	1	Encryption control (set to 0 for such header)
Type	3	Type
BR	19	Bandwidth request (the number of bytes of uplink bandwidth requested by the SS for the given CID)
CID	16	Connection indentifier
HCS	8	Header check sequence

Tabla 1.4 Campos de la cabecera de solicitud de ancho de banda MAC [7]

1.2.5.2.2 *Construcción y transmisión de PDU MAC*

Las SDUs que llegan al MAC de la capa superior se ensamblan para crear la PDU MAC, la unidad de carga útil básica que utiliza las capas MAC y PHY.

Basándose en el tamaño de la carga útil, múltiples SDUs pueden convertirse en una sola PDU de MAC, o una SDU puede ser fragmentada en múltiples PDU MAC.

Cuando una SDU es fragmentada, la posición de cada fragmento dentro de la SDU es etiquetada por un número de secuencia. El número de secuencia permite que la capa MAC en el receptor ensamble los fragmentos de SDU en el orden correcto. Para no habilitar ARQ cada fragmento de la SDU se transmite en secuencia.

Para habilitar ARQ, la SDU primero es particionada en bloques ARQ de longitud fija, y un número de secuencia de bloque (BSN) se asigna a cada bloque de ARQ, después de la partición de bloques ARQ, la SDU se ensambla en PDU MAC en una forma normal, como se muestra en la figura 1.20.

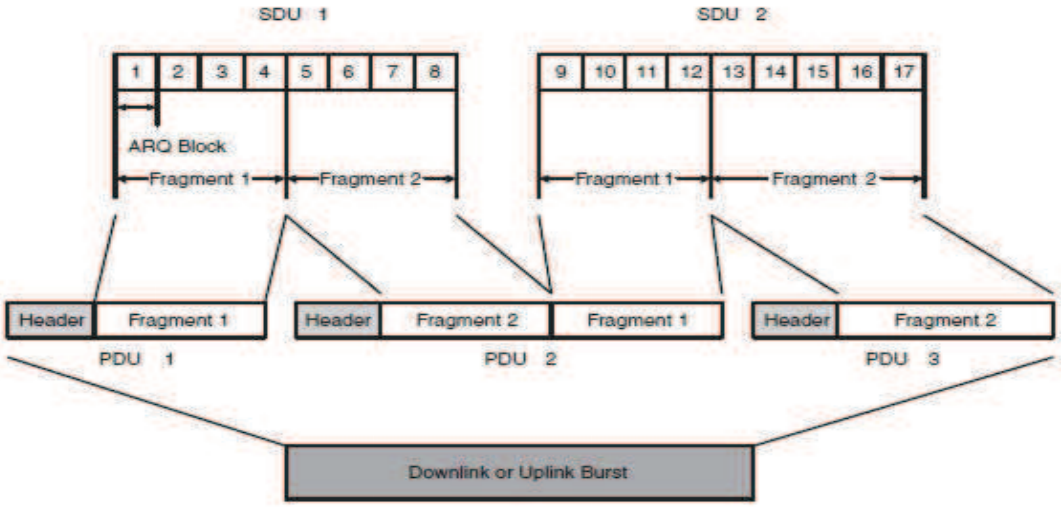


Figura 1.20 Segmentación y concatenación de SDUs en PDUs MAC [7]

Cada PDU MAC consta de una cabecera seguida de una carga útil y una comprobación de redundancia cíclica (CRC). El CRC se basa en el IEEE 802.3 y se calcula sobre toda la PDU MAC, la cabecera y la carga útil.

1.2.5.2.3 *Servicios y calidad de Servicio (QoS)*

La capa MAC de WiMAX utiliza un conjunto de servicios para entregar diferentes requerimientos de QoS, los cuales son:

a) El servicio garantizado no solicitado (UGS, *Unsolicited Grant Service*)

Está diseñado para soportar flujos de servicios en tiempo real que generan paquetes de tamaño fijo de forma periódica, es decir garantiza un ancho de banda constante, recomendado para VoIP.

b) Servicio de sondeo en tiempo real (rtPS, *real time Polling Service*)

Soporta servicios de tiempo real que generen paquetes de tamaño variable, en forma periódica, ejemplo: video MPEG[13], *streaming*[14] de audio y video.

[13] *Moving Picture Experts Group (*MPEG*), es un grupo de trabajo de expertos que se formó por ISO y IEC para establecer estándares para el audio y la transmisión video.*

c) Los Servicios de sondeo en tiempo no real (nrtPS, *non real time Polling Service*)

Soporta servicios que no son de tiempo real y que generen paquetes de tamaño variable pero que necesitan un gran ancho de banda y son más tolerantes a grandes retardos. Este servicio proporciona a las estaciones oportunidades de transmisión de forma aleatoria.

d) El servicio de mejor esfuerzo (BE*, Best Effort*)

Proporciona soporte QoS y es aplicable sólo para servicios que no cuentan con los requisitos de calidad de servicio. Ejemplo transferencia de datos.

1.2.6 TOPOLOGÍAS DE RED

El estándar IEEE 802.16 define las siguientes topologías:

1.2.6.1 Topología Punto a Punto (PtP, *Point to Point*)

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utilizan habitualmente en conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad.

1.2.6.2 Topología Punto a multipunto (PtMP, *Point to MultiPoint*)

En un enlace punto a multipunto, el tráfico solo cursa entre un estación base (BS) y sus estaciones subscriptas (SS). Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes punto a punto, ya que el hecho de añadir un subscriptor solo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente.

1.2.6.3 Topología en malla (*Mesh*)

En la topología en malla (*Mesh*), el tráfico puede ser ruteado a través de varios SSs, es decir cada estación puede crear su propia comunicación con cualquier otra estación en la red y no está restringida a comunicarse sólo con un BS.

Por lo tanto, la mayor ventaja del modo Mesh es que el alcance del BS será mayor, dependiendo del número de saltos hasta llegar al SS más distante.

---

[14] *Streaming,* es la distribución de multimedia a través de una red de computadoras.

1.2.7 WiMAX EN AMBIENTES LOS Y NLOS

WiMAX ha desarrollado su tecnología para proveer lo mejor en ambos ambientes, con una cobertura por encima de los 50 Km en condiciones de LOS (*Line Of Sight*) y celdas con radio de entre 2 y 7 Km en condiciones NLOS (*Non Line Of Sight*).

1.2.7.1 Línea de vista (LOS)

LOS es una condición en la que una señal viaja por el aire directamente desde un transmisor inalámbrico a un receptor inalámbrico sin pasar por una obstrucción.

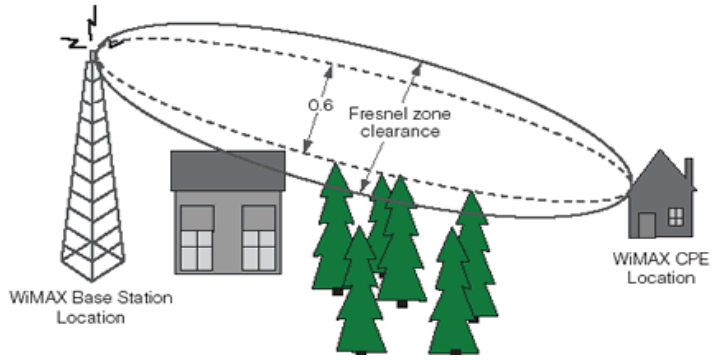


Figura 1.21 Primera zona de fresnel libre de obstrucción. [11]

LOS es una condición ideal para una transmisión inalámbrica porque el reto de propagación sólo proviene del tiempo o de los parámetros atmosféricos y la característica de su frecuencia de operación.

Un enlace LOS requiere que el 60% de la primera zona de Fresnel (véase Figura 1.21) esté libre de cualquier tipo de obstrucción, evitándose cualquier efecto de difracción en la señal.

1.2.7.2 Sin línea de vista directa (NLOS)

NLOS es una condición en la que una señal de un transmisor inalámbrico pasa varias obstrucciones antes de llegar a un receptor inalámbrico. La señal puede ser reflejada, refractada, absorbida o difractada.

Estas obstrucciones crean múltiples señales que llegan a un receptor en momentos diferentes, por diferentes rutas como se muestra en la figura 1.22 y con diferente fuerza. En consecuencia, los sistemas inalámbricos desarrollados para

el entorno NLOS tienen que incorporar técnicas para superar este problema, por lo tanto son sistemas más complejos que los sistemas LOS.

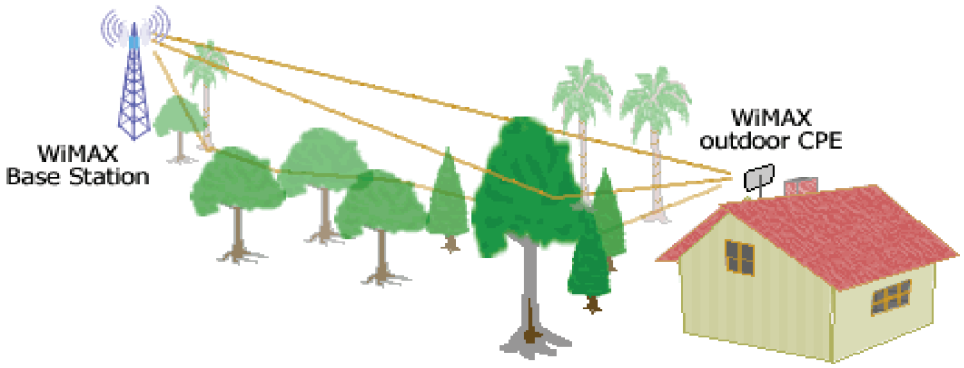


Figura 1.22 Muticaminos en un ambiente NLOS [12]

La tecnología WiMAX utiliza diferentes técnicas para minimizar los problemas de multitrayectoria, difracciones, cambios de polarización, etc, entre las cuales están:

- ✓ Modulación OFDM – OFDMA.
- ✓ Modulaciones Adaptativas.
- ✓ Antenas inteligentes.
- ✓ Diversidad de transmisión y recepción.
- ✓ Control de potencia.
- ✓ Modelos de propagación.

En base a esto, WiMAX presenta varios beneficios al trabajar en ambientes NLOS, resaltando los siguientes beneficios:

- ✓ Incrementa la penetración y la cobertura en ambientes densamente obstruidos.
- ✓ Cobertura sin sombras o vacíos.
- ✓ No requiere mayores potencias de transmisión.
- ✓ Es transparente a la ubicación de la estación suscriptora.

1.2.8 COMPARACIÓN ENTRE Wi-FI Y WiMAX

WiMAX y Wi-Fi son soluciones inalámbricas para diferentes ambientes; Wi-Fi fue diseñado para el uso privado en un una oficina cerrada; WiMAX fue diseñando para que un carrier lo use en la última milla para dar servicios que requieren QoS. En la tabla 1.6 se hace un breve resumen de sus diferencias.

PARÁMETRO	Wi – Fi	WiMAX
Estándares	IEEE 802.11 a/g/n	IEEE 802.16 - 2004 IEEE 802.16e - 2005
Frecuencia	2.4 GHz/ 5 GHz	Bandas licenciadas : 3.5 GHz Bandas no licenciadas 5.8 GHz
Cobertura típica	< 30 m indoor <300 m outdoor Optimizado para máximas prestaciones en interiores, corto alcance.	Hasta 50 Km. El tamaño típico de la celda es de 5-8 km. Máximas prestaciones en entornos exteriores sin visión directa (NLOS).
Escalabilidad	Ancho de canal fijo de 20 MHz	Los tamaños de canal son flexibles de 1.5 MHz a 20 MHz.
Velocidad máxima	54 Mbps para 802.11 g 600 Mbps para la 802.11 n	Mayor a 75 Mbps

Tabla 1.5 Características de WiFi y WiMAX [7]

1.2.8.1 Ventajas y desventajas de Wi - Fi

Las principales ventajas de Wi-Fi son:

- ☑ Precio, es una tecnología de larga distancia muy competitiva en costo. Es la preferida en despliegues de larga distancia por su aplicabilidad en largo alcance. Característica que le permite mantener el dominio del mercado inalámbrico de largo alcance.
- ☑ Trabaja en bandas ISM aunque con ciertas limitaciones de potencia.
- ☑ Una clara ventaja de esta tecnología es el bajo consumo de potencia que tiene.

Las desventajas de Wi-Fi son:

- ☑ No ofrece QoS ni diferenciación de flujos de servicio.
- ☑ No es muy estable en cuanto a *throughput* en largas distancias.
- ☑ La MAC de 802.11 presenta grandes limitaciones en enlaces largos.

1.2.8.2 Ventajas y desventajas de WiMAX

WiMAX presenta las siguientes ventajas:

- ☑ Posibilidad de brindar servicios con QoS garantizada.

- ☑ Estándar específicamente diseñado para largas distancias, no necesita adaptaciones propietarias como Wi-Fi.
- ☑ MAC determinista, total control de SS y apropiada para soluciones PtMP.
- ☑ Instalaciones de BS y CPE rápidas, sencillas y con interfaces de gestión gráficos e intuitivos.
- ☑ Mayor ancho de banda, mayor *throughput*, variedad de anchos de canal y modulaciones adaptativas.
- ☑ Clara ventaja en número de usuarios, como se trata de una tecnología celular donde la BS controla a usuarios y tráfico, ésta puede teóricamente soporta más de 64 usuarios por sector, en una topología PtMP.
- ☑ Utiliza varios tipos de capa física, entre ellos el más importante utiliza la técnica OFDM que permite modulaciones ortogonales, modulación adaptativa y mejora en la tasa de bits a nivel físico.

Las desventajas de WiMAX son:

- ☑ La desventaja de WiMAX es su precio, aun no es una tecnología accesible al consumidor, y tardará en serlo si alguna vez se puede ofrecer equipos WiMAX al precio de equipos Wi-Fi.
- ☑ Otra desventaja de WiMAX es la frecuencia de operación, porque trabaja en bandas licenciadas y se necesita de permisos para su implementación.
- ☑ Es una tecnología que no existe en el mercado local, por lo que se requiere trámites de importación, lo que eleva sus costos y dificulta el proceso de garantías.

1.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN [13], [14]

Un modelo de propagación se define como el conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para predecir la pérdida de una señal de radio frecuencia en la trayectoria de recorrido entre una estación base emisor y un cliente receptor fijo o móvil. La ruta que sigue la señal desde el origen hacia el destino puede que esté cubierta por obstáculos o exista línea de vista.

Generalmente se afirma que los modelos existentes ofrecen un patrón de curvas similares, no obstante puede generarse una considerable diferencia en los resultados que cada modelo arroja, esta divergencia se relaciona con las

constantes que cambian según las condiciones del terreno u orografía en donde se estudia la red.

Actualmente existe gran cantidad de modelos para determinar las pérdidas de propagación en comunicaciones inalámbricas, los más utilizados son:

- ✓ Modelo de Propagación en Espacio Libre.
- ✓ Modelo de Propagación Okumura – Hata.
- ✓ Modelo de Longley-Rice (*ITS, Irregular Terrain Model*).

1.3.1 MODELO DE PROPAGACIÓN EN ESPACIO LIBRE [13]

El modelo de propagación en Espacio Libre (FSPL, *Free Space Path Loss Model)* es un conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para calcular la propagación de una señal de radiofrecuencia. En este modelo se representa el rango de comunicación como un círculo alrededor del transmisor, ésta es la cobertura permitida para una comunicación exitosa.

FSPL define la cantidad de potencia que la señal pierde durante la propagación entre el transmisor y el receptor. La propagación en espacio libre depende de la frecuencia y de la distancia del enlace. El cálculo se hace mediante el uso de la ecuación 1.1 [13].

$$L_f(dB) = 32{,}45 + 20log_{10}(d) + 20log_{10}(f) \qquad \text{(Ecuación 1.1)}$$

Donde:

$L_f(dB) =$ Pérdida de propagación en espacio libre expresada en dB

f = frecuencia en MHz

d = distancia entre el transmisor y el receptor en Km

1.3.2 MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA – HATA [13]

El método de Okumura se desarrolló para un sector urbano de la ciudad de Tokio – Japón, este modelo se basa en valores medidos y en métodos estadísticos con los cuales se calculó algunos factores de corrección como son: el grado de urbanización, el grado de irregularidad del terreno y la ubicación de la radio base

receptora con respecto a montañas cercanas. Es aplicable en un rango de frecuencias que van desde los 150 a 1920 MHz.

El método de Okumura proporciona un conjunto de curvas que describen el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre emisor y receptor, la altura de la antena de la estación base y la estación móvil, además de varios factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayectos.

Con la finalidad de que el método sea más fácil de utilizar, Hata estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura, estas expresiones son conocidas bajo el nombre del modelo de Okumura- Hata.

En este método se diferencian 3 tipos de ambientes: urbano, suburbano y rural.

☑ **Ambiente urbano:** Para un ambiente urbano se utiliza la ecuación 1.2 [13].

$$L_{50}(urbano)_{(dB)} = 69{,}55 + 26{,}16\log(f) + (44{,}9 - 6{,}55log\mathrm{h}_b)logd$$
$$-13{,}82log\mathrm{h}_b - a(\mathrm{h}_m) \qquad \text{(Ecuación 1.2)}$$

Donde:

$L_{50}(dB)$= pérdida de propagación en dB

f = frecuencia en MHz,

d = distancia entre el transmisor y el receptor en Km

h_b = altura antena del transmisor en metros

h_m = altura antena del receptor en metros

$a(\mathrm{h}_m) =$ factor de correlación para la altura de la antena de recepción

Para grandes ciudades el factor de correlación se calcula con las ecuaciones 1.3 [13] y 1.4 [13].

$$a(\mathrm{h}_m) = 8{,}29[\log(1{,}54\mathrm{h}_m)]^2 - 11 \qquad f \leq 200\ M\mathrm{hz} \qquad \text{(Ecuación 1.3)}$$

$$a(\mathrm{h}_m) = 3{,}2[\log(11{,}75\mathrm{h}_m)]^2 - 4{,}97 \qquad f \geq 400\ M\mathrm{hz} \qquad \text{(Ecuación 1.4)}$$

Para pequeñas y medianas ciudades el factor de correlacion se halla con la ecuacion 1.5 [13].

$$a(\mathrm{h}_m) = [1{,}1\log(f) - 0{,}7]\mathrm{h}_m - [1{,}56\log(f) - 0{,}8] \qquad \text{(Ecuación 1.5)}$$

☑ **Ambiente Suburbano:** La ecuacion 1.6 [13] se utiliza en estos ambientes.

$$L_{50(dB)} = L_{50}(urbano) - 2\left[\left(log\left(\frac{f}{28}\right)^2\right) - 5{,}4\right] \qquad \text{(Ecuación 1.6)}$$

☑ **Ambiente rural:** Para este tipo de ambiente se utiliza la ecucacion 1.7 [13].

$$L_{50(dB)} = L_{50}(urbano) - 4.78(\log(f))^2 + 18{,}33\log(f) - 40{,}94 \qquad \text{(Ecuación 1.7)}$$

Los rangos de los parámetros para el modelo de Okumura - Hata son:

$150 \leq f \leq 2200\ Mhz$

$30 \leq h_b \leq 200\ m$

$1 \leq h_m \leq 10\ m$

$1 \leq d \leq 20\ km$

1.3.3 MODELO DE PROPAGACIÓN DE LONGLEY-RICE [14]

El modelo de propagación de Longley-Rice, también conocido como "*Irregular Terrain Model*" o ITM, está basado en la teoría del electromagnetismo y en el análisis estadístico de las características del terreno y de los parámetros del radioenlace, predice la atenuación media de una señal de radio que se propaga en un entorno troposférico sobre un terreno irregular. Para ello calcula la atenuación media de la misma, en función de la distancia y de la variabilidad de la señal en el espacio y tiempo (propagación en espacio libre).

Fue diseñado para frecuencias de trabajo entre 20 MHz y 20 GHz con longitudes de trayecto entre 1 Km y 2000 Km, la altura de la antena de cada terminal sobre la elevación del terreno está comprendida entre 0.5 m y 3000 m.

Este modelo considera la refracción atmosférica (curvatura que sufrirán las ondas de radio). En otros modelos el parámetro de refractividad atmosférica, puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente 4/3.

En el modelo de Longley-Rice, se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, así:

- ☑ Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (=1.333), corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 [N-units]. Valor recomendado para condiciones atmosféricas promedio.
- ☑ La relación entre los parámetros “k” y “ N ”, se define en la ecuación 1.8 [15].

$$N = 179{,}3 * ln\left(\frac{1}{0{,}046665}\left(1 - \frac{1}{k}\right)\right) \qquad \text{(Ecuación 1.8)}$$

Donde:

N= refractividad [N-units]

K= curvatura efectiva de la tierra

Los parámetros de entorno del modelo de Longley – Rice, se resumen a continuación en las siguientes tablas 1.7 y 1.8.

TIPO DE SUELO	PERMITIVIDAD RELATIVA (ε_r)	CONDUCTIVIDAD (S/m)
Tierra promedio	15	0,005
Tierra pobre	4	0,001
Tierra buena	25	0,020
Agua dulce	81	0,010
Agua salada	81	5,000

Tabla 1.6 Constantes eléctricas del terreno [16]

CLIMA	N [n-units]
Ecuatorial	360
Continente subtropical	320
Marítimo subtropical	370

Tabla 1.7 Modelos de climas caracterizados (continúa) [17]

CLIMA	N [n-units]
Desierto	280
Continente temperado	301
Marítimo temperado, sobre la tierra	320
Marítimo temperado, sobre el mar	350

Tabla 1.8 Modelos de climas caracterizados [17]

Los parámetros estadísticos que utiliza el modelo de Longley-rice, comprenden:

- ☑ **Variabilidad de tiempo:** Se refiere a los cambios atmosféricos, considera las variaciones de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica.
- ☑ **Variabilidad por localización:** Corresponde a datos estadísticos de largo plazo entre dos trayectos distintos; como son las diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales.
- ☑ **Variabilidad por situación:** Para diferenciar casos con iguales equipos y condiciones de entorno similares.

1.4 PARÁMETROS DE UN RADIOENLACE [18]

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias, y como una etapa previa al diseño se realiza el cálculo del balance de los enlaces radioeléctricos, que es el procedimiento que se utiliza normalmente para estimar si un radio enlace funcionará correctamente.

Debido a que se trata de cálculos teóricos, en la práctica se puede tener variaciones debido a múltiples factores, como interferencias, problemas de apuntamiento de antenas, etc.

Los parámetros que se utilizan en un balance de un enlace inalámbrico son:

- ✓ Zona de Fresnel.
- ✓ Despeje de la primera zona de Fresnel.

- ✓ Pérdidas en trayectoria por espacio libre.
- ✓ Pérdidas de líneas de transmisión.
- ✓ Pérdidas de conectores.
- ✓ Potencia de recepción y trasmisión.
- ✓ Margen de desvanecimiento.
- ✓ Indisponibilidad y confiabilidad.
- ✓ Potencia isotrópica efectiva radiada.
- ✓ Intensidad de campo eléctrico.
- ✓ Alineación de las antenas.

1.4.1 ZONA DE FRESNEL

La teoría de la zona de Fresnel consiste en examinar el enlace entre dos puntos A y B. Algunas ondas viajan directamente desde A hasta B, mientras que otras lo hacen en trayectorias indirectas. Consecuentemente, su camino es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre los rayos directos e indirectos. Tomando este enfoque y haciendo los cálculos, se concluye que hay zonas anulares alrededor de la línea directa de A hacia B que contribuyen a que la señal llegue al punto B.

Hay que tener en cuenta que existen muchas zonas de Fresnel, pero es de interés principalmente la zona 1, si está obstruida por un obstáculo, por ejemplo un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino será atenuada.

Entonces se debe asegura que la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos; en la práctica se debe tener que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre, ver figura 1.23.

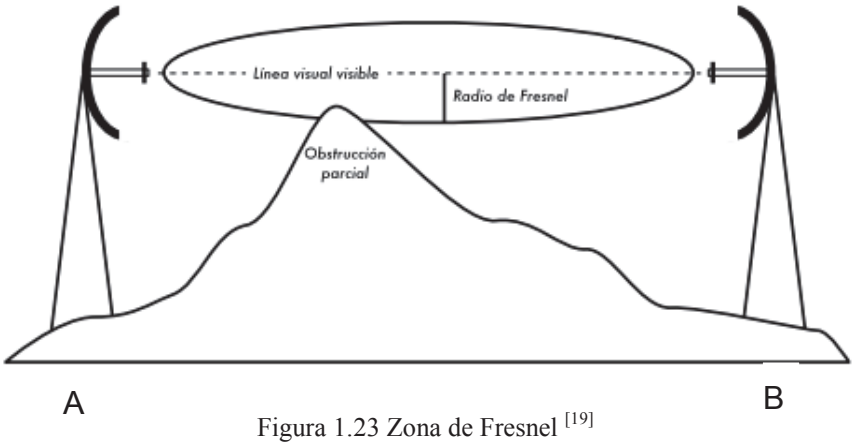


Figura 1.23 Zona de Fresnel [19]

La primera zona de Fresnel se halla mediante la ecuación 1.9 [18].

$$r_{F1} = 547{,}72 * \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}} \qquad \text{(Ecuación 1.9)}$$

Donde:

r_{F1} = primera zona de Fresnel en metros

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km

d = distancia total del enlace en km. d = d1 + d2

f = frecuencia en MHz.

1.4.2 DESPEJE DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

Para establecer que la primera zona de Fresnel esté libre al menos en el 60% se realiza el perfil topográfico entre la estación emisora y la estación receptora, se tomará en cuenta la protuberancia del terreno, la cumbre con mayor elevación y las alturas de las antenas.

La figura 1.24 representa un perfil topográfico ideal que permitirá encontrar una expresión matemática para calcular el margen de despeje, que debe tener un valor mínimo del 60% para no tener pérdidas por obstrucción por cumbre.

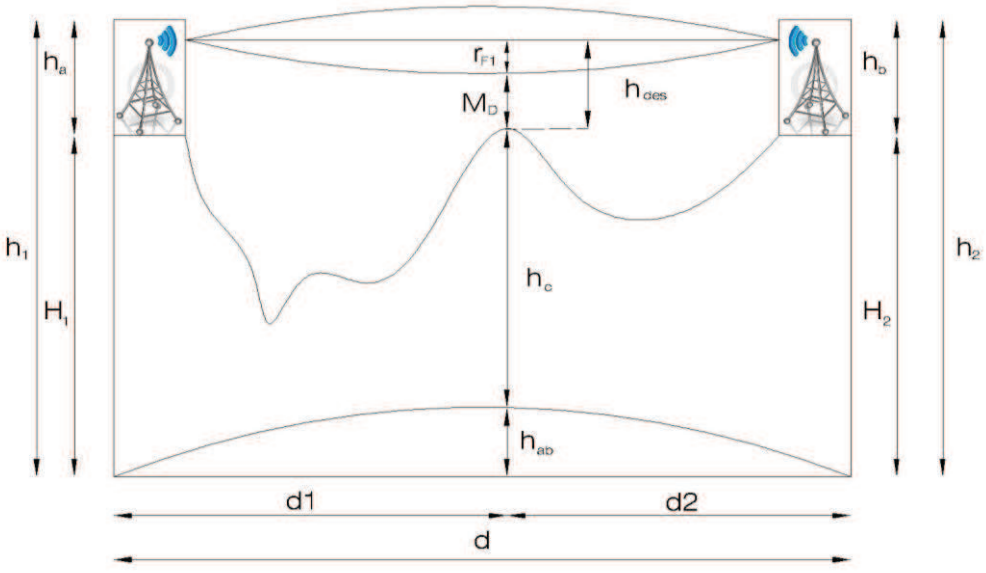


Figura 1.24 Despeje de la primera zona de Fresnel [18]

Donde:

d_1 = distancia desde el punto de transmisión al punto más alto del perfil [km]

d_2 = distancia desde el punto de recepción al punto más alto del perfil [km]

h_c= altura sobre el nivel del mar del obstáculo [m]

H_1= altura sobre el nivel del mar del punto de transmisión [m]

h_a= altura de la antena de transmisión [m]

h_1= altura total de transmisión [m]

H_2 = altura sobre el nivel del mar del punto de recepción [m]

h_b = altura de la antena de recepción [m]

h_2= altura total de recepción [m]

M_D= margen de despeje [m]

h_{ab}= protuberancia del terreno [m]

Para estimar si existe obstrucción en el trayecto de la trasmisión se calcula la altura de despeje mediante la ecuación 1.10 [18] que se deduce de la figura 1.24.

$$h_{desp} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - (h_c + h_{ab}) \qquad \text{(Ecuación 1.10)}$$

Donde:

$$h_1 = H_1 + h_a \qquad \text{(Ecuación 1.11)}$$

$$h_2 = H_2 + h_b \qquad \text{(Ecuación 1.12)}$$

La protuberancia del terreno se calcula con la ecuación 1.13 [18].

$$h_{ab} = \frac{d_1 d_2 10^3}{2ka} \qquad \text{(Ecuación 1.13)}$$

Donde:

a= radio real de la tierra 6370 [km]

k= factor de corrección del radio de la tierra [adimensional]

Otra forma de ver la ecuación 1.11 es con la ecuación 1.14.

$$h_{ab} = 0{,}0785\frac{d_1 d_2}{k} \qquad \text{(Ecuación 1.14)}$$

Reemplazando la ecuación 1.14 en la ecuación 1.10 se tiene:

$$h_{desp} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + 0{,}0785\frac{d_1 d_2}{k}\right) \qquad \text{(Ecuación 1.15)}$$

El Margen de despeje está dado por la ecuación 1.16 [18].

$$M_D\% = \left(\frac{h_{des}}{r_{F1}}\right) x100 \qquad \text{(Ecuación 1.16)}$$

Si $h_{des} < 0$ (negativo) hay obstrucción por cumbre, existe dos casos de obstrucción:

Caso a: $h > 0$

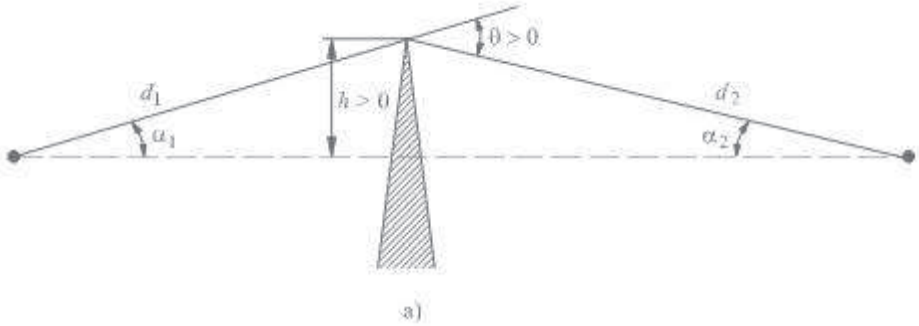


Figura 1.25 Obstrucción de la zona de Fresnel (caso a) [20]

Caso b: $h < 0$

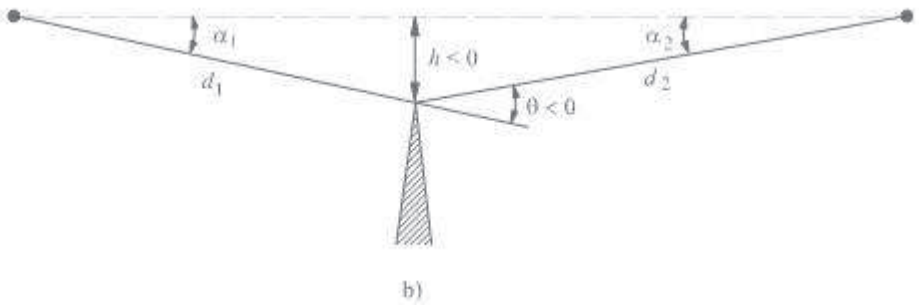


Figura 1.26 Obstrucción de la zona de Fresnel (caso b) [20]

Donde:

h = altura de la cima del obstáculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto.

h es positiva (+) si $h_{des} < 0$

h es negativa (-) si $h_{des} > 0$

La recomendación UIT-R P.526 proporciona la forma de calcular la atenuación producida por un obstáculo en función del parámetro adimensional *v*, definido por la ecuación 1.17 [20].

$$v = \sqrt{2}\left(\frac{-h_{des}}{R_{F1}}\right) \qquad \text{(Ecuación 1.17)}$$

La atenuación por difracción en función de *v*, se halla con las ecuaciones 1.18 [20] y 1.19 [20].

$$L_D(v) = 6{,}9 + 20log\left(\sqrt{(v-0{,}1)^2+1} + v - 0{,}1\right)\text{[dB]} \;;\quad \text{si } v > -1 \qquad \text{(Ecuación 1.18)}$$

$$L_D(v) = 0 \quad ;\text{si } v < -1 \qquad \text{(Ecuación 1.19)}$$

1.4.3 PÉRDIDAS EN TRAYECTORIA POR ESPACIO LIBRE

Para hallar las pérdidas por espacio libre se utiliza la ecuación 1.1 del método de propagación de espacio libre descrito anteriormente.

$$L_f(dB) = 32{,}45 + 20log_{10}(d) + 20log_{10}(f)$$

Donde la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en km.

1.4.4 BALANCE DE POTENCIA

El esquema que se muestra en la figura 1.27 expone de una forma simplificada el concepto de balance de potencia.

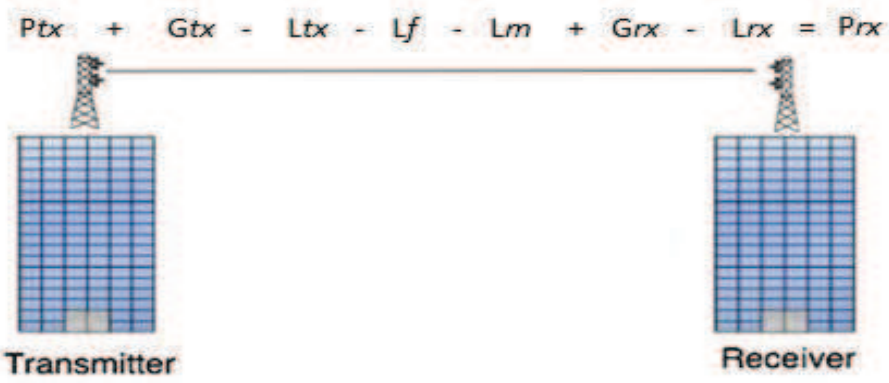


Figura 1.27 Balance de potencia [21]

El desempeño de un radio enlace se calcula con la ecuación 1.20 [22].

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \qquad \text{(Ecuación 1.20)}$$

Donde:

P_{RX} = Potencia de recepción (dBm)

P_{TX} = Potencia de transmisión (dBm)

G_{TX} = Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

L_{TX} = Pérdida de la línea de transmisión (dB)

L_f = Pérdida en espacio libre (dB)

L_M = Pérdidas misceláneas (dB)

G_{RX}= Ganancia de la antena de recepción (dBi)

L_{RX} = Pérdida de la línea en el receptor (dB)

1.4.5 MARGEN DE DESVANECIMIENTO

El margen de desvanecimiento se define como la diferencia entre potencia de recepción y la sensibilidad del receptor, se calcula con la ecuación 1.21 [18].

$$MD = P_{RX} - U_{RX} \qquad \text{(Ecuación 1.21)}$$

Donde:

$MD =$ Margen de desvanecimiento (dB)

$P_{RX} =$ Potencia de recepción (dBm)

$U_{RX} =$ Umbral de recepción o sensibilidad el equipo receptor (dBm)

1.4.6 DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

La confiabilidad corresponde al porcentaje de tiempo probable que un enlace no se interrumpe por consecuencia del desvanecimiento. A partir del margen de desvanecimiento (MD), se puede obtener la confiabilidad del sistema así [18]:

$$Undp = 2{,}5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10} \qquad \text{(Ecuación 1.22)}$$

$$C = (1 - Undp) * 100 \qquad \text{(Ecuación 1.23)}$$

Donde:

Undp = tiempo de indisponibilidad del sistema en un año

C = confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f = frecuencia de la portadora [GHz]

D= distancia entre transmisor y receptor [millas]

MD = margen de desvanecimiento [dB]

a = factor geográfico [adimensional]

$$a = \begin{Bmatrix} 4 & sobre\ agua\ o\ sobre\ un\ terreno\ muy\ liso \\ 1 & sobre\ un\ terreno\ promedio \\ 0{,}25 & sobre\ un\ terreno\ muy\ áspero\ y\ montañoso \end{Bmatrix}$$

b = factor climático [adimensional]

$$b = \begin{Bmatrix} 0{,}5 & región\ costera, calído, áreas\ humedas \\ 0{,}25 & región\ interior, temperatura\ moderada \\ 0{,}125 & región\ montañosa\ o\ muy\ seca \end{Bmatrix}$$

1.4.7 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA

La potencia isotrópica efectiva irradiada (EIRP), se puede escribir en función de la potencia de entrada y de la ganancia de potencia de la antena, así [23]:

$$EIRP = P_{ent} * A_t \qquad \text{(Ecuación 1.24)}$$

Donde:

EIRP = potencia efectiva radiada [watts]

P_{ent} = potencia de entrada a la antena [watts]

A_t= ganancia de la antena de transmisión [adimensional]

1.4.8 INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

El campo eléctrico es la región del espacio en donde se deja sentir el efecto de una carga eléctrica, se lo define mediante la intensidad en cada uno de sus puntos.

La intensidad de campo eléctrico E, es un punto situado a una cierta distancia del transmisor, su intensidad se mide en voltios por metro (V/m). La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente.

Tomando como referencia la recomendación UIT-R PN.525-2[15], la intensidad de campo eléctrico se mide mediante la ecuación 1.25 [24].

$$E_{dB(\mu V/m)} = EIRP_{(dBW)} - 20\log(d)_{km} + 74{,}8 \qquad \text{(Ecuación 1.25)}$$

[15] UIT-R PN.525-2, es una recomendación para cálculo de la atenuación en el espacio libre.

1.4.9 ALINEACIÓN DE LAS ANTENAS

El ultimo parámetro a considerar dentro de un radio enlace, es la orientación de la antenas de transmisión y recepción, para ello se determina el ángulo de elevación, apuntamiento y azimut.

1.4.9.1 Ángulo de elevación

Es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano horizontal. Mientras menor sea el ángulo de elevación, la distancia que debe recorrer una onda propagada a través de la atmosfera terrestre es mayor, así: [25]

$$\propto = tan^{-1}\frac{\Delta H}{D} \qquad \text{(Ecuación 1.26)}$$

Donde:

$\Delta H =$ Diferencia de alturas

$D =$ Distancia total

1.4.9.2 Ángulo de Apuntamiento

Se determina relacionando la variación de latitud con la variación de longitud, así:[26]

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\Delta latitud}{\Delta longitud}\right) \qquad \text{(Ecuación 1.27)}$$

1.4.9.3 Azimut

Es el ángulo horizontal que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano vertical. El ángulo de azimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj, así: [26]

$$Azimut = 90 + |\theta| \qquad \text{(Ecuación 1.28)}$$

1.5 MARCO REGULATORIO EN EL ECUADOR [27], [28], [29]

En nuestro país se regulan los servicios de telecomunicaciones según aspectos técnicos, políticos, económicos y sociales en los sectores públicos o privados con el fin de determinar la calidad y normas de los servicios de telecomunicaciones que deben prestarse protegiendo los derechos de los usuarios.

Para analizar el aspecto regulatorio en el Ecuador, necesariamente hay que identificar las instituciones que hacen cumplir las normas y leyes regentes para las telecomunicaciones.

1.5.1 ORGANISMOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR

Estos son organismos que se encargan de emitir y hacer cumplir las normas, reglamentos y leyes acerca de los servicios de telecomunicaciones en el país, las cuales se financian mediante los recursos provenientes de las tarifas por el alquiler del espectro radioeléctrico y sus frecuencias.

1.5.1.1 Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información [27]

"Es el órgano rector del desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ecuador, que emite políticas, planes generales y realiza el seguimiento y evaluación de su implementación, coordinando acciones de asesoría y apoyo para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el desarrollo armónico de la sociedad de la información para el buen vivir de toda la población".

1.5.1.2 Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) [28]

Es la institución encargada de regular y administrar los servicios de telecomunicaciones en el Ecuador en nombre del Estado y es el representante de del país ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Es el encargado de dictar las políticas del Estado con relación a las telecomunicaciones, así como aprobar el Plan nacional de Frecuencias y el uso del espectro radioeléctrico, las normas de homologación, regulación y control de los equipos y servicios de telecomunicaciones.

Como administrador de los servicios de telecomunicaciones, aprueba las tarifas de éstos, así como los cargos de interconexión que deban los concesionarios de servicios portadores; también el expedir reglamentos para la interconexión de redes. Adicionalmente autoriza a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para el uso del espectro radioeléctrico y explotación de servicios de Telecomunicaciones.

1.5.1.3 Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)

La SENATEL es la institución encargada de liderar la gestión de las telecomunicaciones en nuestro país, siendo el ente administrador, regulador, consultor y promotor de nuevas tecnologías.

Tiene la función de cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL, ejerciendo la administración y gestión del espectro radioeléctrico.

Es la responsable de elaborar el Plan Nacional de Frecuencias, las normas de homologación, regulación y control de los servicios de telecomunicaciones que serán aprobados por el CONATEL.

Presenta al CONATEL informes sobre pliegos tarifarios, la suscripción de contratos de concesión, autorización para el uso del espectro radioeléctrico, el plan de trabajo y proforma presupuestaria.

1.5.1.4 Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)

“Es el organismo encargado del control de las Telecomunicaciones en el país, su fundamento legal proviene de la Constitución Pública del Ecuador, cuya misión es controlar las instituciones públicas y privadas, con el fin de que las actividades económicas y los servicios que presten se sujeten a la Ley y que atiendan al interés general del país”.

Controla y supervisa el monitoreo del espectro radioeléctrico, el cumplimiento de los contratos de concesión, la correcta aplicación de los pliegos tarifarios; además se encarga de controlar que el mercado de las Telecomunicaciones se desarrolle en un ambiente de libre competencia

1.5.2 NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA

Debido a los avances tecnológicos y los nuevos servicios de telecomunicaciones, es necesario designar dentro del territorio nacional bandas de frecuencias radioeléctricas, para operar sistemas de telecomunicaciones sin causar interferencia perjudicial a un sistema que esté operando.

“El CONATEL resuelve expedir: NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL (Resolución No. 417 –

15- CONATEL – 2005)". A continuación se hace un resumen de los artículos más importantes.

1.5.2.1 Art.6.-Bandas de Frecuencias

Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

BANDA (MHz)	ASIGNACIÓN
902 – 928	ICM[16]
2400 - 2483.5	ICM
5150 - 5250	INI[17]
5250 - 5350	INI
5470 - 5725	INI
5725 - 5850	ICM, INI

Tabla 1.8 Banda de frecuencias [30]

"El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente norma, previo estudio sustentado y emitido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones".

1.5.2.2 Art.7.-Configuración de Sistemas que emplean Modulación Digital de Banda Ancha.

La operación de los sistemas con técnicas de modulación digital de banda ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

- ✓ Sistemas punto – punto.
- ✓ Sistemas punto – multipunto.
- ✓ Sistemas móviles.

[16] ICM, aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas.

[17] INI, Infraestructura Nacional de Información.

1.5.2.3 Art.9.-Homologación

Todos los equipos que utilicen Modulación Digital de Banda Ancha deberán ser homologados por la SUPTEL, de acuerdo con los anexos 1 y 2 de la presente norma.

1.5.2.4 Art. 10.- Bases de la Homologación

La homologación de los equipos se efectuará en base a las características estipuladas en el catálogo técnico del equipo, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

1.5.2.5 Art. 19.- Control

La SUPTEL realizará el control de los sistemas que utilicen Modulación Digital de Banda Ancha y vigilará que éstos cumplan con lo dispuesto en la presente norma y las disposiciones reglamentarias pertinentes.

En el anexo 1 de la NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA, se tienen algunas características que deben cumplir los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, el cual está detallado en la tabla 1.10.

Tipos de Configuración	Bandas de operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E (mW)	Densidad de P.I.R.E (mW/Hz)
Punto – Punto	902-928	250	--	--
Punto - Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	2400-2483.5	1000	--	--
Punto - Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	5150 - 5250	50	200	10
Punto - Multipunto				

Tabla 1.9 Características Técnicas de los Sistemas de Modulación de Banda Ancha (continúa) [31]

Tipos de Configuración	Bandas de operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E (mW)	Densidad de P.I.R.E (mW/Hz)
Móviles	5150 - 5250	50	200	10
Punto – Punto	5250 - 5350	--	200	10
Punto - Multipunto		250	1000	50
Móviles				
Punto – Punto	5470 - 5725	250	1000	50
Punto - Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	5725 - 5850	1000	--	--
Punto - Multipunto				
Móviles				

Tabla 1.10 Características Técnicas de los Sistemas de Modulación de Banda Ancha [31]

1.5.3 REGISTRO PARA USO DE FRECUENCIAS

Estos requisitos son tanto para personas naturales como jurídicas y son:

1.5.3.1 Información legal

☑ Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando: nombres y apellidos completos (en caso de personas jurídicas del representante legal), dirección domiciliaria y el tipo de servicio que requiere.

☑ Copia a color de la Cédula de Ciudadanía, Identidad o Pasaporte (en caso de personas jurídicas del representante legal).

1.5.3.2 Información financiera

☑ Original del Certificado de Obligaciones económicas de la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.

☑ Original del Certificado de no adeudar a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

1.5.3.3 Información técnica

- ☑ Estudio técnico del sistema elaborado en el formulario disponible en la página Web del CONATEL, suscrito por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, (Adjuntar registro SENESCYT[18]). La información técnica y operativa solicitada en el formulario, describirá la configuración del sistema a operar, las características del sistema radiante, las coordenadas geográficas donde se instalarán las estaciones fijas o de base del sistema móvil, localidades a cubrir, y los demás datos consignados en el formulario que para el efecto pondrá a disposición la SENATEL[19].
- ☑ Otros documentos que la SENATEL requiera, con la debida justificación.

[18] Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación

[19] Secretaria Nacional de Telecomunicaciones

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CENTROS EDUCATIVOS EN EL CANTÓN SHUSHUFINDI

En este capítulo se presentan los datos geográficos, el clima, la división política, la situación socio-económico y académica actual del cantón de Shushufindi.

Luego se presentan los datos obtenidos durante la visita técnica realizada a los centros educativos del cantón. En estos datos se describe a qué parroquia pertenece el centro educativo, el director encargado de la institución, el número de profesores, el número de alumnos, los equipos de computación disponibles y muestra la infraestructura civil.

Al final de este capítulo se muestran las necesidades tecnológicas que presentan los centros educativos.

2.1 INFORMACIÓN DEL CANTÓN SHUSHUFINDI [32], [33], [34]

2.1.1 ACCESIBILIDAD

A la ciudad de Shushufindi se llega desde Lago Agrio por carretero afirmado cubierto de asfalto en un viaje aproximado de 1 hora con 30 minutos. Para arribar a la ciudad de Lago Agrio puede ser por vía aérea en 30 minutos de viaje o por vía terrestre, en aproximadamente 8 horas de viaje desde la ciudad de Quito.

2.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El cantón Shushufindi pertenece a la provincia de Sucumbíos, en la figura 2.1 se ilustra la división política de la provincia de Sucumbíos, esta provincia se encuentra ubicada en la región nororiental del Ecuador, limita al norte con los cantones Lago Agrio y Cuyabeno; al sur con la provincia de Francisco de Orellana; al este con el cantón Cuyabeno; y al oeste con el cantón Lago Agrio y parte de la provincia Francisco de Orellana. La extensión cantonal es de 2.482 km^2.

Figura 2.1 División política de la provincia de Sucumbíos [35]

El cantón Shushufindi es una llanura amazónica cubierta de selva que se encuentra a 280 metros sobre el nivel del mar.

2.1.3 CLIMA

El sitio Shushufindi se encuentra en una extensa llanura y soporta grandes precipitaciones, en promedio 1600mm y su clima es muy húmedo, tiene una temperatura promedio de 27°C, humedad relativa de 80%, es un clima tropical húmedo típico de todo el Oriente Ecuatoriano.

2.1.4 DIVISIÓN POLÍTICO – ADMINISTRATIVO

El cantón Shushufindi tiene 6 parroquias que son: Shushufindi, Limoncocha, San Roque, Siete de Julio, San Pedro de los Cofanes y Pañacocha, las cuales se observan en la figura 2.2.

Shushufindi en la cabecera cantonal y tienen una relación directa con el resto de las parroquias, estas parroquias están unidas por diferentes vías terrestres y en algunos casos el acceso es fluvial.

Figura 2.2 División política del cantón Shushufindi [36]

2.1.5 TURISMO

Entre las principales atractivos del cantón Shushufindi se halla la reserva de Limoncocha, el 23 de septiembre de 1985 se declara como reserva a este sector de Limoncocha, se encuentra a 30 Km de Shushufindi y posee una superficie de 4613 ha.

Es un bosque húmedo tropical y básicamente está compuesta por la laguna de Limoncocha y la laguna Negra o Yanacocha, toda la reserva corresponde a la zona de vida bosque húmedo tropical, pero dentro de éste existe diferentes ambientes como los pantanos, tierras inundadas, tierra firme y los ecosistemas acuáticos.

Entre la flora que se encuentra en este lugar se tiene: la palma chontilla, el macrolobio, el morete en los pantanos, uña de gato, balsa. Entre los animales que

habitan en la reserva están: al martín pescador, garrapatero, garza, pericos, loras, guacamayos, gallinazos, pirañas, el sábalo, sardina, lisa, capibara, tapir, murciélagos, mono aullador y caimanes.

2.1.6 POBLACIÓN

Según la información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el periodo entre 2001 y 2010 la población de Shushufindi creció de 32.184 a 44.328 habitantes, con una tasa de crecimientos del 3.4 %, ver figura 2.3.

Figura 2.3 Tasa de crecimiento poblacional del cantón Shushufindi [37]

La población del cantón Shushufindi está distribuida como se muestra en la tabla 2.1.

Población del Cantón Shushufindi **por: Grupos de edad**	**Hombre**	**Mujer**	**Total**
Población del Cantón Shushufindi **por: De 0 a 14 años**	8013	7739	15752
Población del Cantón Shushufindi **por: De 15 a 64 años**	15300	11795	27095
Población del Cantón Shushufindi **por: De 65 años y más**	842	639	1481
Población del Cantón Shushufindi **por: Total**	24155	20173	**44.328**

Tabla 2.1 Población del cantón Shushufindi [38]

Para observar mejor la cantidad de población joven del cantón Shushufindi se hace el siguiente desglose:

Población del Cantón Shushufindi **por: Grupos de edad**	**Hombre**	**Mujer**	**Total**
Población del Cantón Shushufindi **por: Menor de 1 año**	448	464	912
Población del Cantón Shushufindi **por: De 1 a 4 años**	2147	2160	4307
Población del Cantón Shushufindi **por: De 5 a 9 años**	2777	2654	5431
Población del Cantón Shushufindi **por: De 10 a 14 años**	2641	2461	5102
Población del Cantón Shushufindi **por: De 15 a 19 años**	2480	2169	4649
TOTAL GENERAL			**20.401**

Tabla 2.2 Población joven del cantón Shushufindi [39]

En la tabla 2.2 indica que la mitad de la población de Shushufindi es joven, siendo este un factor importante para que los centros educativos tengan acceso a las telecomunicaciones.

2.1.7 EDUCACIÓN

La Educación en las provincias fronterizas del Ecuador, es una preocupación de todos. Al tomar el tema de la Educación en el Ecuador y especialmente en el cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos; el presente proyecto de titulación no pretende realizar un estudio detallado de los problemas del sistema educativo, sino de presentar indicadores que permitan entender la situación actual de los estudiantes escolares, muchos de los cuales arrastran grandes deficiencias, tras varios años de estudio en un sistema educativo inadecuado y sin tecnología; sin embargo, en este Gobierno se dan cambios profundos, aspirando a que el mejoramiento de la educación llegue a las escuelas y colegios tanto urbanos como rurales, y así estas instituciones educativas puedan ser parte de la educación universal.

2.2 CENTROS EDUCATIVOS

El presente proyecto está orientado a brindar servicio de Internet prioritariamente a zonas rurales no atendidas, para ello se realizaron visitas técnicas a los centros educativos de todo el cantón y así determinar sus necesidades. Para la visita técnica se contó con ayuda técnica y logística de funcionarios del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi. En la tabla 2.3 se resume la información obtenida luego de la visita técnica.

N°	INSTITUCIÓN	PARROQUIA	LUGAR	NOMBRE DEL DIRECTOR	N° PROFESORES	N° ALUMNOS APROX.
1	ÁNGEL ALMEIDA	Shushufindi	Barrio 9 de Diciembre	José Ramírez	4	102
2	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	Shushufindi	Barrio 4 de Octubre	Claudia Masache	12	160
3	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	Shushufindi	Barrio La Unión	Narcisa Ajila	29	558
4	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	Shushufindi	Barrio El Cisne	Alicia Vistin	26	650
5	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	Shushufindi	Barrio Integración	Sergio Tenelema	12	220
6	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	Shushufindi	Barrio Pedro Ángulo	Mercedes Molina	14	270
7	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	Shushufindi	Barrio Eloy Alfaro	Gladys Venegas	13	286
8	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	Shushufindi	Barrio Miraflores	Sandra Torres	28	333
9	COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	Shushufindi	Barrio Los Toritos	Juan Guamán	53	1300
10	ESCUELA 11 DE JULIO	Shushufindi	Barrio Amazonas	Rosita Carrera	47	600
11	ESCUELA 12 DE OCTUBRE	Shushufindi	Barrio Orellana	Cesar Aldás	18	445
12	LAS VEGAS	Shushufindi	Barrio Las Vegas	Fanny Rojas	7	200
13	NICOLÁS COPÉRNICO	Shushufindi	Barrio Miraflores	Amanda Arévalo	3	113
14	UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	Shushufindi	Barrio El Cisne	Edison Gómez	48	1200

Tabla 2.3 Descripción de los Centros Educativos del Cantón Shushufindi (Continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	PARROQUIA	LUGAR	NOMBRE DEL DIRECTOR	N° PROFESORES	N° ALUMNOS APROX.
15	PUERTO SAN LORENZO	Shushufindi	28 de Marzo	Jorge Verdezoto	4	60
16	RIO ENO	Shushufindi	La Fortuna	Isderi Piedrahita	3	59
17	GALÁPAGOS	Shushufindi	Los Olivos	Elvia Tulcán	2	36
18	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	Shushufindi	La Magdalena	Mariana Venegas	9	72
19	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	Shushufindi	Recinto La Victoria	Marco Jiménez	15	430
20	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	Shushufindi	Luz y Vida	Enma Mejía	9	104
21	ALBERTO EINSTEIN	Shushufindi	El Oro	Miguel Rodríguez	3	60
22	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	Shushufindi	Parroquia Miss Ecuador	Mirian Panchi	9	102
23	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	Shushufindi	Parroquia La Primavera	Freda Villarruel	15	278
24	COLEGIO RIO AGUARICO	Shushufindi	San Pablo	Eduardo Payaguaje	2	36
25	ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	Shushufindi	San Pablo	Irma Criollo	2	48
26	ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	Shushufindi	Cooperativa 11 de Julio	Fabián Maxi	2	48
27	ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	Shushufindi	Provincias Unidas	Efigenia Rodríguez	4	68
28	ESCUELA LIZARRO GARCÍA	Shushufindi	Valle Hermoso	Julia Orbe	2	36
29	ESCUELA LOS RÍOS	Shushufindi	El Mirador	Darwin Rojas	5	118

Tabla 2.3 Descripción de los Centros Educativos del Cantón Shushufindi (Continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	PARROQUIA	LUGAR	NOMBRE DEL DIRECTOR	N° PROFESORES	N° ALUMNOS APROX.
30	ESCUELA YANUNCAY	Shushufindi	16 de Abril	Zoila Centeno	3	60
31	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	7 de Julio	Unión Manabita	Narciza Herrera	13	97
32	26 DE OCTUBRE	7 de Julio	El Paraíso	Ángel Carrera	13	74
33	CARLOS MANTILLA JÁCOME	7 de Julio	El Paraíso	Marleni Quichimbo	8	165
34	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	7 de Julio	Luz de América	Magaly Montero	5	110
35	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	7 de Julio	7 de Julio	Mariana Ortiz	12	360
36	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	7 de Julio	San Antonio	Nervo Veloz	8	90
37	COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	7 de Julio	Unión Manabita	Janeth Echeverría	5	62
38	DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	7 de Julio	Abdón Calderón	Víctor Erique	2	43
39	ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	7 de Julio	Francisco Pizarro	Ángel Rea	2	44
40	ESCUELA INGAPIRCA	7 de Julio	Unión Paltence	Teresa Puente	3	50
41	UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	7 de Julio	Unión Manabita	Célida Zambrano	18	65
42	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	San Pedro de los Cofanes	San Pedro de los Cofanes	Marina González	13	136
43	COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	San Pedro de los Cofanes	Jivino Verde	Teresita Álvarez	25	460

Tabla 2.3 Descripción de los Centros Educativos del Cantón Shushufindi (Continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	PARROQUIA	LUGAR	NOMBRE DEL DIRECTOR	N° PROFESORES	N° ALUMNOS APROX.
44	ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	San Pedro de los Cofanes	Jivino Verde	Ana Ramos	14	386
45	ESCUELA PALORA	San Pedro de los Cofanes	Las Nieves	Cristian Fuentes	3	50
46	ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	Limoncocha	Alianza y Progreso	Edith Macías	2	40
47	RIO DE JANEIRO	Limoncocha	18 de Noviembre	Carmen Hernández	4	117
48	29 DE JULIO	San Roque	San Roque	Shyrley Pinza	6	130
49	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	San Roque	El Triunfo	Rosa Collaguazo	8	98
50	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	San Roque	Nueva Vida	Morayma Guanolui	14	290
51	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RIO YASUNÍ	San Roque	Tierras Orientales	Héctor Manobanda	7	65
52	COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	San Roque	San Roque	Olger Gaona	10	160
53	MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	San Roque	Unión Venceremos	Carlos Robles	2	52
54	PALMERAS DEL ECUADOR	San Roque	San Jacinto	Manuel Quinatoa	2	41
55	ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	Pañacocha	Unión Amazónica	Germania Gonzales	2	41

Tabla 2.3 Descripción de los Centros Educativos del Cantón Shushufindi [40]

Para visualizar mejor la distribución de los estudiantes y profesores según la parroquia, se presenta un resumen en la tabla 2.4 y en las figuras 2.4 y 2.5

PARROQUIA	N° ALUMNOS	N° PROFESORES
Shushufindi	8052	403
7 de Julio	1160	89
San Pedro de los Cofanes	1032	55
Limoncocha	157	6
San Roque	836	49
Pañacocha	49	2
TOTAL	11286	604

Tabla 2.4 Resumen de los Centros Educativos del Catón Shushufindi

Como se observa en la tabla 2.4 este proyecto beneficiará a 11.286 estudiantes, 604 docentes en 55 planteles distribuidos en todo el cantón Shushufindi.

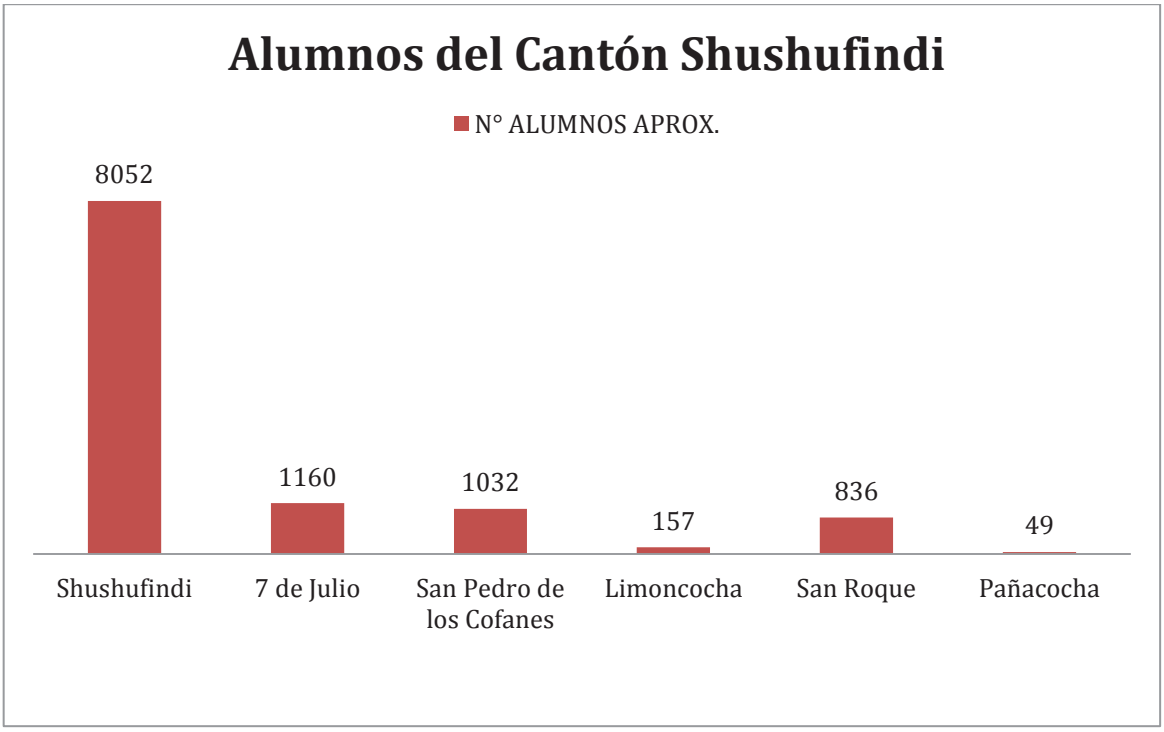


Figura 2.4 Número de alumnos por parroquia del cantón Shushufindi

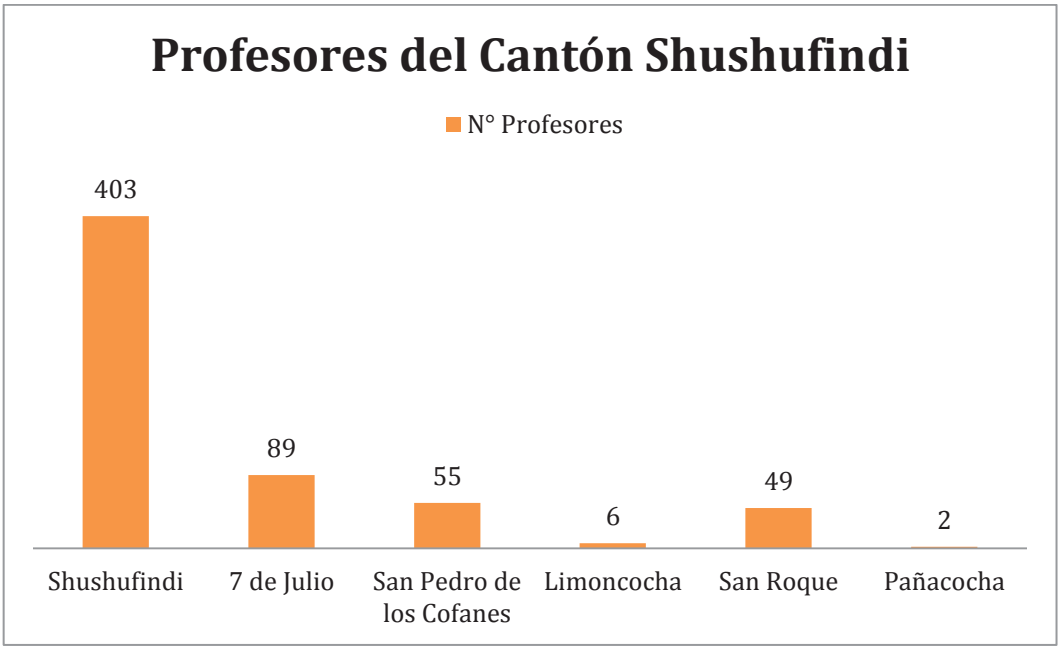


Figura 2.5 Número de profesores por parroquia del cantón Shushufindi

2.2.1 LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS EDUCATIVOS

Una vez identificados cuáles son los centros educativos que se beneficiarán con este proyecto, se presenta la ubicación con coordenadas geográficas tomadas mediante un GPS, adicionalmente se toma en cuenta la ubicación del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi debido a que aquí se ubicará el NOC (*Network Operations Center*), ver tabla 2.5.

N°	INSTITUCIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	ÁNGEL ALMEIDA	0°12'0.81"S	76°37'47.85"O
2	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	0°10'37.30"S	76°38'42.04"O
3	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	0°11'20.86"S	76°38'9.48"O
4	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	0°11'5.01"S	76°38'27.68"O
5	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	0°10'48.96"S	76°38'18.50"O
6	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	0°11'35.38"S	76°37'57.68"O
7	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	0°11'29.45"S	76°38'49.64"O
8	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	0°11'23.92"S	76°39'16.42"O

Tabla 2.5 Ubicación geográfica de los Centros Educativos del cantón Shushufindi (Continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	LATITUD	LONGITUD
9	COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	0°10'54.78"S	76°38'36.64"O
10	ESCUELA 11 DE JULIO	0°11'0.94"S	76°38'41.04"O
11	ESCUELA 12 DE OCTUBRE	0°11'18.74"S	76°39'7.59"O
12	LAS VEGAS	0°11'8.19"S	76°39'24.41"O
13	NICOLÁS COPÉRNICO	0°11'24.54"S	76°39'7.14"O
14	UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	0°11'0.48"S	76°38'18.85"O
15	PUERTO SAN LORENZO	0° 2'11.37"S	76°39'20.30"O
16	RIO ENO	0° 6'35.00"S	76°41'13.14"O
17	GALÁPAGOS	0°18'30.73"S	76°36'1.60"O
18	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	0°15'44.93"S	76°42'12.99"O
19	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	0°14'15.40"S	76°38'45.36"O
20	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	0°14'17.59"S	76°41'3.32"O
21	ALBERTO EINSTEIN	0°12'13.59"S	76°35'5.86"O
22	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	0°10'8.68"S	76°32'38.18"O
23	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	0° 5'1.93"S	76°38'38.62"O
24	COLEGIO RIO AGUARICO	0°14'16.38"S	76°33'37.78"O
25	ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	0°14'16.27"S	76°33'38.79"O
26	ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	0° 9'19.91"S	76°39'25.98"O
27	ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	0° 8'20.71"S	76°34'5.30"O
28	ESCUELA LIZARRO GARCÍA	0° 5'26.49"S	76°34'2.19"O
29	ESCUELA LOS RÍOS	0°11'6.32"S	76°41'28.88"O
30	ESCUELA YANUNCAY	0°12'12.16"S	76°40'46.39"O
31	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	0° 8'1.43"S	76°51'17.17"O
32	26 DE OCTUBRE	0°15'15.06"S	76°44'43.64"O
33	CARLOS MANTILLA JÁCOME	0°15'27.69"S	76°44'39.60"O
34	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	0° 8'25.73"S	76°48'19.97"O

Tabla 2.5 Ubicación geográfica de los Centros Educativos del cantón Shushufindi (Continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	LATITUD	LONGITUD
35	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	0°11'6.26"S	76°46'49.60"O
36	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	0° 7'41.37"S	76°44'52.85"O
37	COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	0°11'19.64"S	76°46'37.44"O
38	DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	0°13'23.53"S	76°43'44.03"O
39	ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	0°13'28.10"S	76°46'41.53"O
40	ESCUELA INGAPIRCA	0° 8'50.00"S	76°44'38.98"O
41	UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	0°11'0.33"S	76°47'33.35"O
42	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	0° 8'18.75"S	76°51'8.53"O
43	COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	0°10'45.47"S	76°49'55.73"O
44	ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	0°10'40.23"S	76°50'3.10"O
45	ESCUELA PALORA	0° 7'23.44"S	76°50'27.20"O
46	ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	0°16'45.57"S	76°40'34.33"O
47	RIO DE JANEIRO	0°16'14.36"S	76°39'0.93"O
48	29 DE JULIO	0°18'11.17"S	76°32'18.80"O
49	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	0°22'56.20"S	76°27'38.96"O
50	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	0°19'18.72"S	76°29'19.86"O
51	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RIO YASUNÍ	0°17'48.52"S	76°21'44.14"O
52	COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	0°18'10.90"S	76°32'23.20"O
53	MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	0°19'4.60"S	76°34'56.76"O
54	PALMERAS DEL ECUADOR	0°25'28.07"S	76°29'30.08"O
55	ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	0°25'28.08"S	76°28'44.74"O
56	GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SHUSHUFINDI	0°11'07,70"S	76°38'38.90"O

Tabla 2.5 Ubicación geográfica de los Centros Educativos del cantón Shushufindi [40]

2.2.2 CONDICIONES DE LOS CENTROS EDUCATIVOS

Al visitar cada centro educativo se puede constatar que en la zona urbana se encuentran en mejores condiciones físicas y en equipamiento, sin embargo en su

mayoría cuenta con muy poca seguridad, lo que supone un riesgo para los equipos a utilizar.

Todos los centros de educación cuentan con energía eléctrica pero carecen de un sistema de protección a sobrecargas, algunos centros educativos cuentan con pocos equipos de computación y no disponen de un sistema de cableado estructurado adecuado. A continuación se muestra el número de computadoras que dispone cada centro educativo.

N°	INSTITUCIÓN	N° COMPUTADORES APROX.
1	ÁNGEL ALMEIDA	2
2	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	5
3	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	10
4	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	9
5	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	4
6	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	6
7	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	4
8	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	7
9	COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	15
10	ESCUELA 11 DE JULIO	17
11	ESCUELA 12 DE OCTUBRE	11
12	LAS VEGAS	3
13	NICOLÁS COPÉRNICO	1
14	UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	10
15	PUERTO SAN LORENZO	1
16	RIO ENO	1
17	GALÁPAGOS	1
18	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	1
19	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	8

Tabla 2.6 Número de equipos disponibles en los Centros Educativos del cantón Shushufindi (continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	N° COMPUTADORES APROX.
20	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	2
21	ALBERTO EINSTEIN	1
22	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	1
23	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	4
24	COLEGIO RIO AGUARICO	1
25	ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	1
26	ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	1
27	ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	1
28	ESCUELA LIZARRO GARCÍA	1
29	ESCUELA LOS RÍOS	3
30	ESCUELA YANUNCAY	1
31	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	1
32	26 DE OCTUBRE	1
33	CARLOS MANTILLA JÁCOME	3
34	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	2
35	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	9
36	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	1
37	COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	1
38	DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	1
39	ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	1
40	ESCUELA INGAPIRCA	9
41	UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	1
42	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	3
43	COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	10
44	ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	8
45	ESCUELA PALORA	1
46	ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	1

Tabla 2.6 Número de equipos disponibles en los Centros Educativos del cantón Shushufindi (continúa) [40]

N°	INSTITUCIÓN	N° COMPUTADORES APROX.
47	RIO DE JANEIRO	5
48	29 DE JULIO	1
49	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	2
50	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	7
51	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RIO YASUNÍ	1
52	COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	4
53	MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	1
54	PALMERAS DEL ECUADOR	1
55	ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	1
TOTAL		**209**

Tabla 2.6 Número de equipos disponibles en los Centros Educativos del cantón Shushufindi [40]

La tabla 2.6 indica la necesidad de equipos de computación en los centros educativos del cantón Shushufindi, lo cual refleja el abandono de inversión en educación para este cantón.

2.2.3 INFRAESTRUCTURA FÍSICA

A continuación se muestran algunos de los centros educativos visitados con el propósito de hacer el levantamiento de información, para de esta manera constatar el estado actual de la infraestructura física de cada uno de ellos.

En la figura 2.6 muestra parte de la infraestructura civil de la escuela 11 de Julio, está ubicada en Shushufindi central, la mayor parte de sus aulas son de hormigón armado, cuenta con cerramiento y seguridad.

El centro de educación básica Dr. José Julián Coronel que se observa en la figura 2.7, también está ubicada en Shushufindi central, tiene una infraestructura civil nueva, cuenta con cerramiento pero carece de seguridad.

La Unidad Educativa a Distancia Juan Jiménez, véase en la figura 2.8; su infraestructura civil en parte es nueva con aulas de hormigón armado y la otra parte de sus aulas son de contextura mixta (hormigón y zinc), carece de cerramiento.

Figura 2.6 Escuela 11 de Julio [41]

Figura 2.7 Centro de Educación Básica Dr. José Julián Coronel [41]

Figura 2.8 Unidad Educativa a Distancia Juan Jiménez [41]

Figura 2.9 Centro de Educación Básica Ciudad De Portoviejo [41]

Figura 2.10 Escuela Presidente Isidro Ayora [41]

Figura 2.11 Centro de Educación Básica Yahuarcocha [41]

Figura 2.12 Centro de Educación Básica Vilcabamba [41]

Figura 2.13 Puerto San Lorenzo [41]

Figura 2.14 Colegio Nacional Juan Montalvo [41]

El centro de educación básica Ciudad de Portoviejo que se muestra en la figura 2.9, está ubicada en la parroquia 7 de Julio, cuenta con una infraestructura moderna y cerramiento.

La escuela Presidente Isidro Ayora, el centro de educación básica Yahuarcocha, el centro de educación básica Vilcabamba, la escuela Puerto San Lorenzo y el Colegio Nacional Juan Montalvo, véanse en las figuras: 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14 respectivamente; están ubicadas en el área rural de Shushufindi, sus aulas son de contextura mixta (hormigón y zinc) y la mayor parte de ellas no tienen cerramiento, cuentan con el espacio físico para ampliar sus infraestructura civil.

Luego del análisis anterior, la infraestructura civil del cantón Shushufindi tiene mejores condiciones en el área urbana, en el área rural la infraestructura de los establecimientos presentan condiciones paupérrimas.

2.3 ERRADICACIÓN DEL ANALFABETISMO DIGITAL

El Gobierno Nacional está interesado en la erradicación del analfabetismo digital, que se logra a través de:

2.3.1 INFRAESTRUCTURA

Con laboratorios de informática, este laboratorio debe ser diseñado con una adecuada distribución de los equipos, brindar los servicios básicos con baños

para hombres y mujeres, debe ser un laboratorio didáctico, agradable para los alumnos y personal docente, en estos laboratorios se aconseja el uso de persianas y aire acondicionado.

2.3.2 EQUIPAMIENTO

Un laboratorio de informática debe estar equipado con computadoras, proyectores, pizarras digitales, pantallas planas, cableado estructurado, sistemas de protección a tierra y con su respectivo amueblamiento.

2.3.3 CONECTIVIDAD

Es la conexión de los laboratorios de informática hacia el Internet, la conectividad se la realizará mediante medios guiados o no guiados, dependiendo de la ubicación y accesibilidad hacia el centro educativo. La conectividad permitirá que los equipos de computación este en red y así poder compartir recursos como por ejemplo una biblioteca virtual.

2.3.4 CAPACITACIÓN

La capacitación al personal docente es primordial para la erradicación del analfabetismo digital, parte de ellos están desactualizados en el área de informática, el docente al actualizar sus conocimientos tendrá a su alcance nuevas herramientas para desenvolverse de una mejor forma en sus labores. Los docentes serán los encargados que la informática forme parte de las vidas de los estudiantes.

2.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE USUARIOS

La red a implementarse tendrá como objetivo servir a los centros educativos anteriormente mencionados, con el levantamiento de información se pudieron obtener las necesidades expuestas por los representantes de las instituciones educativas, éstas son:

HARDWARE

- ☑ Computador con procesador Intel core i3, memoria RAM 2GB, Disco Duro de 500 GB, DVD-RW, lector de memorias, monitor LCD de 15", mouse, teclado y parlantes.

- ☑ Cámaras web, para servicio de videollamadas.
- ☑ Teléfono con agenda, identificador de llamadas y transferencia de llamadas.

Estas características de hardware son estándar para un computador con perfil de estudiante de secundaria, independientemente si usa Windows o Linux; además son las características más comunes que se encuentra en el mercado.

Mientras que las características de un computador para un docente o personal administrativo, debe tener mayores prestaciones por las funciones que realiza, por lo tanto un computador para un docente o personal administrativo tendrá las siguientes características:

- ☑ Procesador Intel core i5, memoria RAM 4GB, Disco Duro de 1 TB, DVD-RW, lector de memorias, monitor LCD de 17", mouse, teclado y parlantes.

La necesidad de realizar videollamadas para impartir clases virtuales, requiere la incorporación de cámaras web en las instituciones educativas.

Para realizar llamadas por medio de la telefonía fija, se requiere un teléfono con las características básicas como son: agenda, identificador de llamadas y transferencias de llamadas.

SOFTWARE

- ☑ Sistema operativo Microsoft Windows XP/7.
- ☑ Antivirus.
- ☑ Navegador de Internet.

El sistema operativo que solicitan los representantes de las instituciones educativas es Windows, ya sea en la versión XP o superior. Esta petición se debe a la gran influencia de este sistema operativo en la sociedad, pero se debe tener en cuenta que en el sistema educativo se debe utilizar software libre, por lo tanto el sistema operativo utilizado en las instituciones educativas será Linux en cualquiera de sus distribuciones.

Cuando una persona ingresa a Internet, su computador está expuesto a ser infectado de software malicioso, por lo tanto para proteger el computador de los peligros del Internet se requiere un antivirus.

El navegador web es la herramienta que permite ingresar a Internet, por lo tanto es indispensable un navegador web en el computador.

CONECTIVIDAD

De acuerdo a las entrevistas realizadas a los directores de las instituciones educativas, los requerimientos para conectividad son:

- ☑ Conexión a Internet con una velocidad de transmisión de al menos de 512 Kbps por computador.
- ☑ Línea telefónica.

La necesidad de obtener información requiere que un computador esté conectado a Internet, la velocidad de transmisión depende del perfil del usuario, éste puede ser un estudiante, docente o personal administrativo; la velocidad de transmisión que requiere cada perfil será analizada en el siguiente capítulo, por lo tanto la velocidad de transmisión no será los 512 Kbps que requieren los representantes de las instituciones educativas, sino será la velocidad calculada según el perfil de cada usuario.

Además de la necesidad de conectarse a Internet, las instituciones educativas necesitan una línea telefónica; como la gran parte de las escuelas son rurales, se comenzará con una extensión telefónica en cada institución, más adelante si una institución requiere otra extensión telefónica, deberá solicitarla al administrador de la red.

El servicio de videollamadas requiere de una buena infraestructura en las instituciones educativas, en la sección 2.2.3 de este capítulo se mencionó que no todas las instituciones están en buenas condiciones, por lo tanto el servicio de videollamadas será implementado en la institución con mejores condiciones físicas de cada parroquia, por ende el número de usuarios de videollamadas serán de 6, una por cada parroquia del cantón Shushufindi.

El alcance del presente proyecto de titulación será, el estudio y diseño de una red inalámbrica para dotar servicios de telecomunicaciones a 55 centros educativos del cantón Shushufindi, aplicando criterios de calidad de servicio y seguridad de red.

Por lo tanto, el equipamiento de computadores con sistema operativo Linux, navegador web y antivirus, corre por cuenta de las autoridades de las instituciones educativas.

Las necesidades de los centros educativos serán analizadas con criterios técnicos, para dimensionar la velocidad de transmisión de acceso a Internet y el número de líneas telefónicas.

La red inalámbrica deberá tener las siguientes características:

☑ La red debe garantizar la zona de cobertura a lo largo de todos los centros educativos.

Para que ninguna institución quede marginada de la red inalámbrica, se debe tener enlaces estables, esto se logra al tener línea de vista y garantizando que la sensibilidad del receptor sea menor que la potencia de recepción.

☑ La red deberá ser segura.

Debido que la señal es inalámbrica puede ser receptada por cualquier equipo que tenga Wi-Fi, por esta razón la red debe garantizar el acceso sólo a los usuarios autorizados.

☑ La red deberá soportar la transmisión de datos, VoIP y video.

Los servicios que brindará la red son: Internet, VoIP y videollamadas, por lo tanto existe 3 tipos de tráficos: datos, VoIP y video.

☑ La red deberá tener calidad de servicio.
Para diferenciar cada tipo de tráfico, se hace necesario contar con calidad de servicio para no degradar el servicio de VoIP y video.

☑ La red deberá ser escalable.

Como las instituciones educativas cada año acogen a más estudiantes y docentes, la red debe garantizar la prestación del servicio a un número mayor de usuarios en el futuro.

☑ La red deberá ser capaz de gestionarse.
Para la administración de la red, los equipos deben ser capaces de permitir la monitorización y administración remotamente, para solventar cualquier anomalía en la red

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

En el presente capítulo se realizará el diseño de la red inalámbrica, la cual permitirá la compartición de recursos y servicios tales como el acceso a Internet, VoIP y videollamada; dando cobertura a los diferentes centros educativos ubicados a lo largo del cantón Shushufindi, que beneficiará a estudiantes, profesores y personal administrativo de los mismos.

Primero se empieza calculando la velocidad de transmisión requerida para las diferentes aplicaciones. Luego se determinarán los parámetros que deben cumplir los equipos en base a características comerciales y normas de regularización del país.

Antes de utilizar un software de simulación se realiza un procedimiento para demostrar que los datos obtenidos por el software son válidos.

Luego se presenta los criterios para la calidad de servicio y seguridad en la red, la gestión de la red se lo realizará a través de un software de monitoreo; y, como parte final de este capítulo se diseñará el NOC.

3.1 REQUERIMIENTOS DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

Se distingue tres clases de aplicaciones que el usuario utilizará y son: datos, audio y video, a continuación se analiza la velocidad de transmisión[20] requerida por cada una de ellas.

3.1.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA DATOS

El tráfico de un computador será aquel generado por aplicaciones como: navegación web, correo electrónico, descargas de documentos y transferencia de archivos.

[20] Velocidad de transmisión, es común denominar ancho de banda digital a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo, esto es en realidad la velocidad de transmisión máxima permitida por el sistema.

Para estimar el tiempo de uso y las razones por la cuales una persona utiliza el Internet, se tomará como referencia el Reporte Anual de Estadísticas Sobre Tecnología de Información y Comunicación para el año 2012 publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [21], ver figura 3.1.

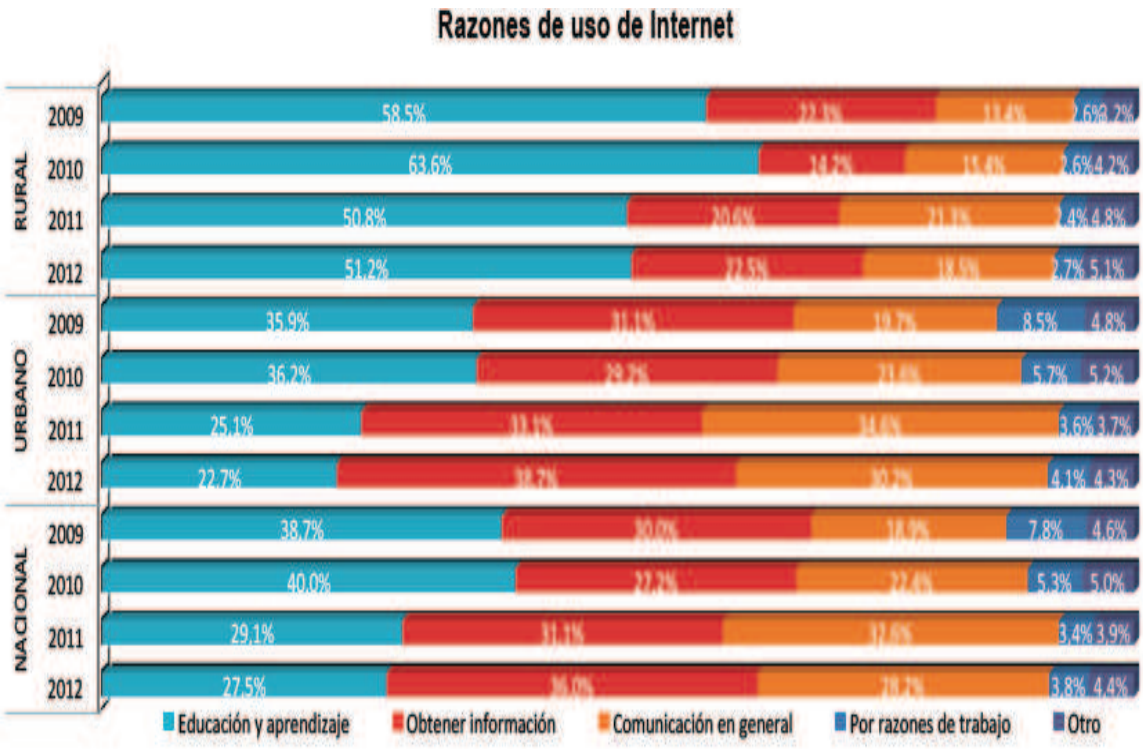


Figura 3.1 Razones de uso de Internet en Ecuador 2012 [42]

De la figura 3.1 se observa que en el año 2012 las personas que se encuentran en una zona rural cuando ingresan a Internet, utilizan el 51.2% de su tiempo por motivos de educación y aprendizaje, el 22.5% para obtener información, el 18.5% para comunicación general, el 2.7% por razones de trabajo y 5.1% por otras razones. Se puede concluir que las personas del área rural utilizan el 73.7% de su tiempo en Internet por razones de educación, aprendizaje y para obtener información.

Para estimar el tiempo que un estudiante o docente destinará por razones de educación, aprendizaje, obtener información, comunicación en general, por razones de trabajo u otras razones, se tomará como referencia los porcentajes de uso de Internet presentados por el INEC para el año 2012 en el área rural del

[21] El reporte sobre las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC´S) 2012, realizado por el INEC es el más actual a la fecha del mes de enero del 2014.

Ecuador (ver figura 3.1). Se hace esta relación porque no existen datos históricos en las instituciones educativas, debido a que actualmente no cuentan con el servicio de Internet.

Cuando una persona utiliza el Internet por motivos de educación y aprendizaje, genera tráfico del tipo de navegación web, para obtener información necesita descargar documentos, para comunicación en general utiliza correos electrónicos, y por razones de trabajo necesita transferir archivos.

Se asume que un estudiante o docente utilizará el Internet mínimo una hora diaria para realizar todas las actividades mencionadas anteriormente. Por lo tanto para calcular el tiempo para cada tipo de tráfico se debe multiplicar el porcentaje de las razones de uso de Internet por una hora, en la tabla 3.1 se resume los diferentes tipos de tráficos y el tiempo que utiliza cada uno de ellos en una hora de uso de Internet.

RAZONES DE USO INTERNET	TIPO DE TRÁFICO	PORCENTAJE (%)	TIEMPO DE USO (min)
Educación y aprendizaje	Navegación Web	51.2	31
Obtener información	Descarga de documentos	22.5	14
Comunicación en general	Correo electrónico	18.5	11
Por trabajo y otros	Transferencia de archivos	7.8	4

Tabla 3.1 Relación entre razones de uso de Internet y el tipo de tráfico generado de una computadora

En la tabla 3.1 se establece el tiempo que una persona destina para navegar por la web, descargar documentos o información, revisar su correo electrónico y transferir archivos, estos datos serán utilizados para estimar la velocidad de transmisión de los diferentes tipos de tráfico.

Anteriormente en el capítulo 2 se establecieron 3 tipos de perfiles para acceder a Internet, estos perfiles son: estudiante, docentes y personal administrativo.

La diferencia entre el perfil de un estudiante y un docente, radica en la cantidad de correos que recibe, la cantidad de información que baja del Internet, la cantidad de información que comparte; es decir un docente genera mayor tráfico de datos que un estudiante. Además un docente tendrá acceso a páginas con

contenido de streaming de video, por la razón que existe material educativo en formato de video.

El perfil de docente será igual al del personal administrativo, debido a que en la mayoría de las instituciones educativas el rol de director (administrador), es realizado por un docente.

Se considera el mismo tiempo de uso de Internet para todos los perfiles, debido a que las estadísticas presentadas por el INEC (ver figura 3.1) son para una persona en general, indistintamente sea estudiante, docente, etc.

A continuación se procede a calcular la velocidad de transmisión que requiere un estudiante, docente o personal administrativo.

3.1.1.1 Navegación Web

En la tabla 3.1 se estableció que el tiempo promedio de un estudiante o docente para navegar por la web es de 31 minutos en una hora. Para determinar la velocidad de transmisión para navegar por la web se debe conocer el tamaño promedio de una página web y el tiempo de carga de una página web. Según Google Analytics [43] el tiempo de carga de una página web en países de primer mundo como Japón es de 4 segundos y en Canadá es de 4.8 segundos, para Ecuador es de 12.2 segundos. Mientras que el tamaño promedio de una página web es de 320 KBytes [44], según las métricas web de Google.

Por lo tanto para calcular la velocidad de transmisión para navegar por la web, ya sea un estudiante o un docente, necesita cargar una página web con un tamaño promedio de 320 KBytes en 12,2 segundos, entonces se tiene:

$$Velocidad\ Transmisión_{Web} = \frac{320KByte}{12{,}2\ seg} * \frac{8bits}{1Byte} = 209{,}84\ Kbps$$

Entonces, si un estudiante o docente necesita abrir una página web, requiere una velocidad de transmisión de 209,84 Kbps.

3.1.1.2 Correo electrónico

En la tabla 3.1 se observa que un estudiante o docente, necesita 11 minutos en promedio para revisar su correo electrónico, se asume que un estudiante recibe

en promedio 5 correos en un día [45], mientras que un docente por sus funciones se estima que recibirá el doble de correos que un estudiante.

Para enviar un correo electrónico se emplea el protocolo SMTP en la capa aplicación, en la capa transporte se emplea el protocolo TCP, en la capa de red utiliza el protocolo IP, y luego se encapsula en una trama Ethernet, como se observa ver figura 3.2.

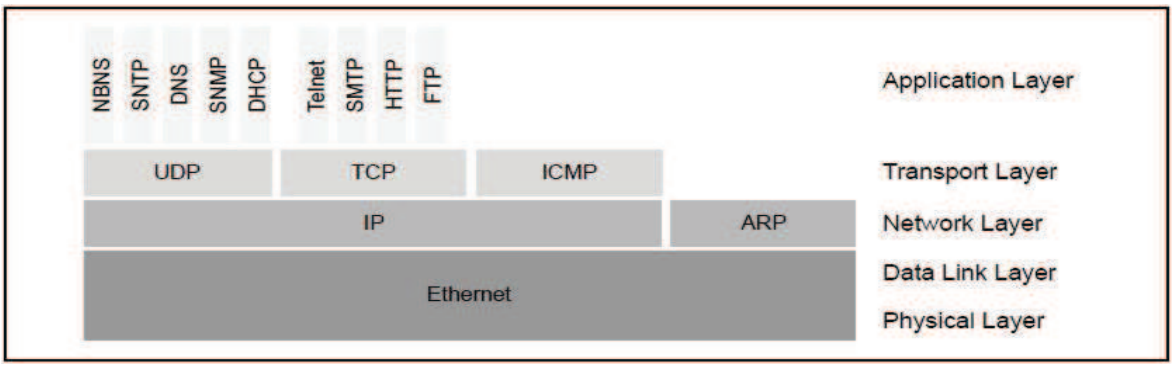


Figura 3.2 Pila de protocolos de Internet [141]

Para enviar un correo electrónico es necesario utilizar un formato de codificación de caracteres, el *Internet Mail Consortium* (IMC)[22] recomienda que todos los programas de correo electrónico sean capaces de crear y mostrar mensajes codificados utilizando UTF-8; el tamaño de un carácter Unicode es de 1 a 4 bytes.

El tamaño promedio de un correo electrónico es de 100 Kbits [46] sin datos adjuntos, con 100 Kbits (12800 bytes) se puede escribir 12800 caracteres Unicode, estos 12800 caracteres son la peor condición, porque generalmente un correo electrónico es corto, si se desea enviar mayor información se utiliza archivos adjuntos. El tamaño de un archivo adjunto según las métricas web de Google, para un documento es de aproximadamente de 477 KBytes [44].

El tamaño total para los 5 correos electrónicos con documentos adjuntos es:

$$Tamaño_{Correo} = 5 * (100Kb + 477KByte * \frac{8\ bites}{1Byte}) = 19580\ Kb$$

La velocidad de transmisión necesaria para que un estudiante revise 5 correos

[22] El *Internet Mail Consortium(IMC)* proporciona información sobre todos los estándares de correo de Internet y preparan informes al *Internet Engineering Task Force* (IETF)

electrónicos con documentos adjuntos en un promedio de 11 minutos es:

$$Velocidad\ Transmisión_{Correo\ estudiante} = \frac{19580Kb}{11min} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 29{,}67\ Kbps$$

Mientras que la velocidad de transmisión necesaria para que un docente revise 10 correos electrónicos o éstos se descarguen en el buzón de correo del computador, en un promedio de 11 minutos, será:

El tamaño total para los 10 correos electrónicos con documentos adjuntos es:

$$Tamaño_{Correo} = 10 * (100Kb + 477KByte * \frac{8\ bites}{1Byte}) = 39160\ Kb$$

$$Velocidad\ Transmisión_{Correo\ docente} = \frac{39160Kb}{11min} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 59{,}33\ Kbps$$

3.1.1.3 Descarga de documentos

En la tabla 3.1 se tiene que un estudiante o docente, utiliza 14 minutos para obtener información, como por ejemplo documentos en formato PDF (*Portable Document Format)* , un documento en formato PDF en promedio tiene un tamaño de 3 MB [47].

Se estima que un estudiante bajará del Internet un documento en formato PDF para realizar sus tareas escolares, mientras que un docente por su constante capacitación, se estima que bajará tres documentos en formato PDF; por lo tanto se tiene:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ est} = \frac{3MB}{14\ min} * \frac{1min}{60seg} * \frac{1024KByte}{1MB} * \frac{8bits}{1Byte}$$

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ estudiante} = 29{,}26\ Kbps$$

Por lo tanto para que un estudiante baje un documento en formato PDF en 11 minutos, necesita una velocidad de transmisión de 29,26 Kbps. Mientras que un docente necesitará el triple de la velocidad que necesita un estudiante, porque bajará 3 documentos en formato PDF en el mismo lapso de tiempo.

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ docente} = 87{,}78\ Kbps$$

3.1.1.4 Transferencia de archivos

Según el comportamiento de una persona, ya sea éste un estudiante o docente, utiliza 4 minutos (ver tabla 3.1) para transferir información, como por ejemplo un archivo comprimido, según las métricas web de Google el tamaño promedio de un archivo comprimido es de 287 KB [44].

Se asume que un estudiante compartirá 1 archivo, por la razón que la mayor parte de su tiempo cuando ingresa a Internet es para obtener información, y compartirá esta información en un archivo comprimido. Mientras que un docente por sus funciones necesita compartir información como por ejemplo calificaciones de estudiantes, tareas escolares, cronograma de actividades, etc. Por esta razón se estima que un docente compartirá 5 archivos.

A continuación se calcula la velocidad de transmisión de transferencia de archivos para un estudiante.

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Tranferencia\ archivos\ estudiante} = \frac{287KB}{4\ min} * \frac{1min}{60seg} * \frac{8bits}{1Byte}$$

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Tranferencia\ archivos\ estudiante} = 9{,}57\ Kbps$$

Por lo tanto si un estudiante comparte un archivo comprimido en 4 minutos, necesita una velocidad de transmisión de 9,57 Kbps. Mientras que un docente necesita 5 veces la velocidad de un estudiante, porque comparte 5 archivos en el mismo lapso de tiempo, entonces se tiene:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Tranferencia\ archivos\ docente} = 47{,}85\ Kbps$$

3.1.1.5 *Streaming* de video

En el perfil de un docente se permitirá el acceso a páginas de video *streaming*, por el contenido educativo que existe en video. Se tomará como referencia la página de YouTube, por ser el sitio web más visitado a nivel mundial en *streaming* de video. En YouTube existen 5 tipos de resoluciones de video y son [48]:

- 1.080 píxeles: 1920 x 1080.
- 720 píxeles: 1280 x 720.
- 480 píxeles: 854 x 480.

- 360 píxeles: 640 x 360.
- 240 píxeles: 426 x 240.

Para estimar la velocidad de transmisión que requiere cada resolución de video, en la tabla 3.2 se resumen las velocidades de transmisión presentadas por YouTube.

Resolución	Bit rate (Kbps)	Calidad
426 x 240 (240p)	300	Baja
640×360 (360p)	500	Baja
854×480 (480p)	800	Media
1280×720 (720p)	1800	Alta
1920×1080 (1080p)	2400	Alta

Tabla 3.2 Resolución y bit rate de YouTube [49]

En la tabla 3.2 se observa las diferentes resoluciones de video para Youtube, las resoluciones de baja calidad (240p y 360p) hacen que los videos sean borrosos, y no son ideales como herramienta de aprendizaje. Con una resolución de video 480p se puede observar eventos como noticias, documentales, etc, por lo que es ideal como herramienta de aprendizaje. Mientras con las resoluciones de 720p y 1080p, los videos son de alta calidad y requieren altas velocidades de transmisión para acceder al Internet.

Para determinar la resolución de video se comparará las velocidades de trasmisión que requieren las resoluciones de 480p y 720p. Para éste ejemplo solo se considerará los 55 directores de los centros educativos con un 100% de simultaneidad, más adelante se calculará el total de la velocidad de transmisión para *streaming* de video.

Resolución	Bit rate (kbps)	No. Directores	Vtx streaming video (Mbps)
480p	800	55	44
720p	1800	55	99

Tabla 3.3 Velocidad de transmisión para las resoluciones de 480 y 720p

En la tabla 3.3 se observa que la resolución de 720p requiere más del doble de la velocidad de transmisión que la resolución de 480p, esto significa que se gastaría el doble si se utiliza la resolución de 720p. Este gasto no es necesario en este proyecto, porque no se requiere acceder a videos de alta calidad, además este proyecto está enfocado al sector educativo de las áreas rurales, y con una resolución de 480p los directores y docentes, tienen una nueva herramienta de aprendizaje; por lo tanto la resolución de *streaming* de video será de 480p.

A continuación en la tabla 3.4 se presenta un resumen de las velocidades de transmisión que necesita un estudiante y docente para acceder a Internet.

SERVICIO	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR ESTUDIANTE (Kbps)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR DOCENTE (Kbps)
Navegación web	209,84	209,84
Correo electrónico	29,67	59,33
Descarga de documentos	29,26	87,78
Transferencia de archivos	9,57	47,85
Streaming de video	0,00	800,00
Total	**278,30**	**1204,80**

Tabla 3.4 Ancho de banda requerido por un usuario en una hora pico

Por lo tanto la capacidad requerida para un estudiante y docente es:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{DATOS\ POR\ ESTUDIANTE} \approx 280\ Kbps$$

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{DATOS\ POR\ DOCENTE} \approx 1,200\ Mbps$$

3.1.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA VOZ

Para la transmisión de voz sobre una red Ethernet se emplea la tecnología VoIP, la velocidad de transmisión necesaria para VoIP depende del códec que se utilice, los diferentes tipos de códec y sus características se detallan en el Anexo A.

El códec que se empleará en este proyecto es el G.729 por tener buena calidad de voz, poco retardo y consume poca velocidad de transmisión, en la tabla 3.5 se muestra sus características.

CÓDEC	TAMAÑO DE LA MUESTRA (bytes)	INTERVALO DE MUESTREO (ms)	TASA DE BITS (Kbps)	TAMAÑO PAYLOAD (bytes)	PAQUETES POR SEGUNDO (pps)
G. 729	10	10	8	20	50

Tabla 3.5 Características del códec G. 729 [50]

Los paquetes de VoIP emplean el protocolo RTP (Protocolo de transporte en Tiempo Real), el cual va encapsulado en paquetes UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario), debido a que TCP (Protocolo de Control de Transmisión) es demasiado lento para aplicaciones en tiempo real.

Dado que UDP no tiene control sobre el orden en el cual los paquetes son recibidos, RTP resuelve este problema permitiendo que el receptor ponga los paquetes en el orden correcto.

Los datagramas UDP son encapsulados en el paquete IP y éstos a su vez son encapsulados en tramas Ethernet. Cada protocolo contribuye con una cabecera y la trama de VoIP se observa en la figura 3.3, por lo tanto el tamaño total de la trama VoIP sobre una red Ethernet es de 78 Bytes.

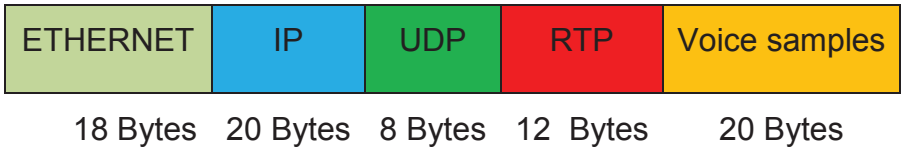


Figura 3.3 Trama VoIP [48]

Para calcular la velocidad de transmisión se lo hace mediante la siguiente formula [50]:

$$Vtx_{VoIP(bps)} = Tamaño\ total\ del\ paquete[bits] x\ Tasa\ paquete[pps]$$

La tasa por paquete (PPS) representa el número de paquetes que deben ser transmitidos cada segundo y se calcula mediante la siguiente formula [50]:

$$Tasa\ paquete[pps] = \frac{tasa\ de\ bit}{tamaño\ payload}$$

El códec G.729 tiene un tamaño de carga útil de 20 bytes (160 bits) con una tasa de bits de 8 Kbps; por lo tanto se tiene:

$$Tasa\ paquete[pps] = \frac{8\ Kbps}{160\ bits} = 50\ pps$$

Entonces, se tiene que para realizar una llamada utilizando el códec G.729 el tamaño total del paquete es 78 Bytes (624 bits) con una tasa por paquete de 50 pps y una velocidad de transmisión de 31,2 Kbps como se demuestra a continuación:

$$Vtx_{VoIP(bps)} = 624[bits]x\ 50[pps] = 31200\ bps$$

$$Vtx_{VoIP(kbps)} = 31{,}2\ Kbps$$

Anteriormente en el capítulo 2 se definió una extensión telefónica por cada institución educativa, la justificación es que al menos cada escuela cuente con un medio de comunicación independiente del servicio de Internet, por lo tanto el total de extensiones telefónicas será de 55.

La velocidad de transmisión de VoIP necesaria para las 55 escuelas es:

$$\boldsymbol{Velocidad\ Transmisión_{VoIP\ TOTAL} = 31{,}2\ Kbps * 55 = 1716\ Kbps}$$

$$\boldsymbol{Velocidad\ Transmisión_{VoIP\ TOTAL} = 1{,}72\ Mbps}$$

Para conectar los usuarios a la red pública de telefonía conmutada (PSTN*, Public Switched Telephone Network*) se lo realizará mediante líneas telefónicas.

Como se trata de una nueva central telefónica, no existen datos históricos que permitan dimensionar la central telefónica, por lo tanto se tomará como referencia los datos históricos de una central telefónica de una pequeña empresa privada [51], por tener un comportamiento similar al de una institución educativa.

A continuación se presentan los datos de la central telefónica de una pequeña empresa privada, los cuales permitirán dimensionar los enlaces troncales necesarios para conectarse con la PSTN, estos son [51]:

- ✓ El número medio de intentos de llamadas en hora pico (BHCA, *Busy Call Attempts*)[23] es de 5.
- ✓ El tiempo medio de ocupación es de 2 minutos.
- ✓ Tráfico interno del 70%.
- ✓ Trafico saliente a la PSTN del 30%.
- ✓ Trafico entrante de la PSTN es igual al tráfico saliente.
- ✓ La probabilidad de bloqueo desde y hacia la PSTN es del 1%.

Para calcular el tráfico en la central telefónica se lo realiza con la siguiente ecuación [51].

$$A = \frac{n * BHCA * t}{1\ hora} \quad [Erlang]$$

Dónde:

A: Intensidad de tráfico.

n: Número de extensiones.

BHCA: El número de intento de llamada que se genera en una hora cargada.

t: tiempo medio de ocupación.

Por lo tanto el tráfico de la central telefónica es:

$$A = \frac{55 * 5 * 2\ min}{1\ hora} * \frac{1\ hora}{60\ min} = 9{,}17\ [Erlang]$$

El tráfico interno es del 70% del tráfico total, por lo tanto se tiene:

$$Tráfico\ interno = 0{,}7 * 9{,}17\ [Erlang] = 6{,}42\ Erlang$$

El tráfico saliente hacia la PSTN es del 30 % del tráfico total, por lo tanto se tiene:

$$Tráfico\ saliente\ hacia\ la\ PSTN = 0{,}3 * 9{,}17\ [Erlang] = 2{,}75\ Erlang$$

El tráfico entrante desde la PSTN es igual al tráfico de salida hacia la PSTN, por lo tanto:

$$Tráfico\ entrante\ desde\ la\ PSTN = 2{,}75\ Erlang$$

[23] BHCA, es el número de intentos de llamadas telefónicas en la hora de mayor actividad del día (hora pico), es usado para planificar la capacidad de conmutación telefónica y con frecuencia está relacionado con la capacidad de la unidad de cálculo Erlang.

El tráfico total para la PSTN, es la suma del tráfico de entrada y salida.

$$Tráfico\ total\ \ PSTN = Tráfico\ entrada + Tráfico\ de\ salida$$

$$Tráfico\ total\ \ PSTN = 2{,}75\ Erlang + 2{,}75\ Erlang = 5{,}5\ Erlang$$

$$\boldsymbol{Tráfico\ total\ \ PSTN = 5{,}5\ Erlang}$$

Se considera un sistema de tráfico con pérdida, es decir cuando todos los recursos de la PSTN estén ocupados y un usuario desee realizar una llamada, esta llamada se pierde, no se pone en cola o se vuelve a intentar.

Para calcular en este tipo de sistemas de tráfico se lo hace a través de la fórmula de Erlang – B; también existen tablas de Erlang-B, donde se debe conocer el tráfico expresado en Erlang y la probabilidad de bloqueo.

Para el diseño de la PSTN se tiene una probabilidad de bloqueo del 1% y 5,5 Erlang de tráfico, en la figura 3.4 se presenta la tabla de Erlang-B, la primera columna es el número de enlaces, la primera fila es la probabilidad de bloqueo, que van desde el 0.01 % hasta el 40 %.

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N

B is in %

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89

Figura 3.4 Tabla de tráfico Erlang B [52]

En la figura 3.4 se observa que en la sexta columna corresponde a una probabilidad de bloqueo del 1%, luego se busca el valor de 5.5, como no existe este valor se escoge el valor próximo superior a éste, siempre se debe escoger el valor próximo superior, caso contrario la probabilidad de bloque seria mayor al 1%. Por lo tanto para un valor de 5.876 Erlang se requiere 12 enlaces.

Por lo tanto la central telefónica necesita 12 líneas telefónicas para conectar las 55 extensiones con la PSTN.

3.1.3 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA VIDEOLLAMADA [53], [54], [55]

Para determinar la velocidad necesaria para realizar una videollamada se debe establecer el códec de video que se utilizará, la resolución y los fotogramas por segundo (FPS), estos parámetros se detallan en el Anexo A; con lo mencionado anteriormente para el diseño se empleará el códec H.264 por tener buen nivel de compresión y por su buena calidad, la resolución será de 1280 X 720 a 25 imágenes por segundo, con estos parámetros el usuario podrá tener un video en alta resolución.

El tamaño promedio de un fotograma (*frame*) con el códec H.264 con una resolución de 1280X720 es 18 Kbyte, en la tabla 3.6 se resumen los parámetros para el cálculo de la velocidad de transmisión de video.

FORMATO	RESOLUCIÓN	TAMAÑO *FRAME* *(Kbyte)*	FOTOGRAMAS POR SEGUNDO (fps)
H. 264	1280 X 720	18	25

Tabla 3.6 Datos para cálculo de velocidad de transmisión de video [53]

Para calcular la velocidad de transmisión de video sobre una red Ethernet se debe tener en cuenta las cabeceras que cada una de las capas añade para la transmisión, ver figura 3.5.

Para transmitir un fotograma, primero éste se divide en paquetes de 188 bytes conocidos como flujo elemental por paquetes (PES, *Packetized Elementary Stream*), los cuales se encapsulan en una trama IP, debido a que una trama IP tiene una carga útil de hasta 1500 bytes, sólo 7 PSE pueden encajar en una trama IP, la trama IP resultante es 1316 bytes sin incluir los encabezados.

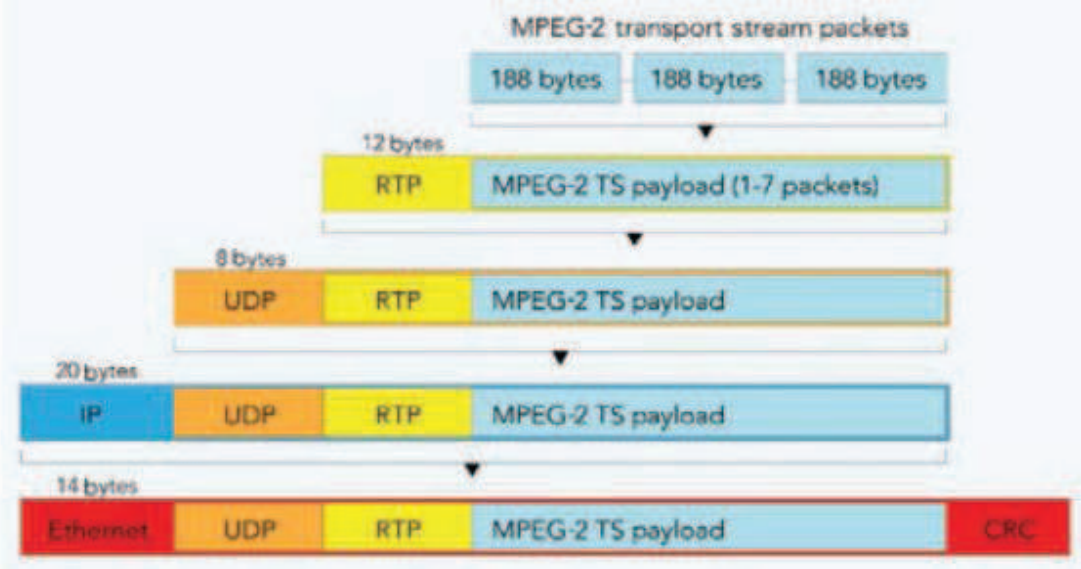


Figura 3.5 Encapsulado de video sobre una red Ethernet [54]

El protocolo UDP se utilizar para aplicaciones en tiempo real como teleconferencias. Los protocolos UDP y RTP cada uno proporcionan un método para multiplexar canales juntos como audio y vídeo.

Por lo tanto la sobrecarga por trama para transmitir video es 58 bytes, como se observa en la figura 3.6.

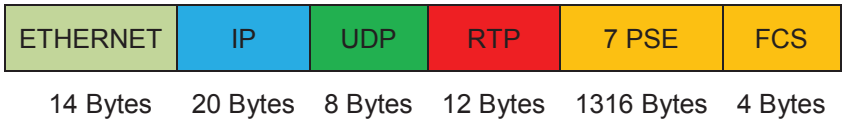


Figura 3.6 Trama de video sobre una red Ethernet [54]

Ahora se procede a calcular el número de tramas necesarias para transportar un fotograma de 18 Kbytes sobre una red Ethernet con una carga útil de 1316 bytes.

$$Número\ Tramas = \frac{tamaño\ del\ fotograma}{datos\ útiles\ de\ la\ trama\ Ehernet}$$

$$Número\ Tramas = \frac{18KBytes}{1316Bytes}$$

$$Número\ Tramas = 13{,}67 \approx 14$$

La sobrecarga total es igual al número tramas por los 58 bytes de las cabeceras de los protocolos RTP, UDP, IP y Ethernet.

$$Sobrecarga\ Total = \#\ Tramas * sobrecaga\ encabezados$$

$$Sobrecarga\ Total = 14 * 58\ Bytes = 812\ Bytes$$

Entonces para transmitir un fotograma es necesario añadir 812 Bytes por sobrecarga, por lo tanto la cantidad de datos transmitidos es:

$$Total\ de\ de\ datos\ trasmitidos\ = Datos\ de\ 1\ fotograma + sobrecarga\ total$$

$$Total\ de\ de\ datos\ trasmitidos\ = 18Kbytes + 812Bytes$$

$$Total\ de\ de\ datos\ trasmitidos\ = 18812\ Bytes$$

$$Total\ de\ de\ datos\ trasmitidos\ = 150496\ bits$$

Finalmente la velocidad de transmisión para realizar video conferencia es igual a [55].

$$Vtx\ videollamada\ = \frac{total\ de\ datos\ transmitidos}{1\ fotograma} * FPS$$

$$Vtx\ videollamada\ = \frac{150496\ bits}{1\ fotograma} * \frac{25\ fotogramas}{segundo} = 3726400\ bps$$

$$\boldsymbol{Vtx\ videollamada \approx\ 3,73\ Mbps}$$

Para validar este resultado, se procede a utilizar una calculadora de ancho de banda de video que está disponible en el Internet, el resultado se ilustra en la figura 3.7.

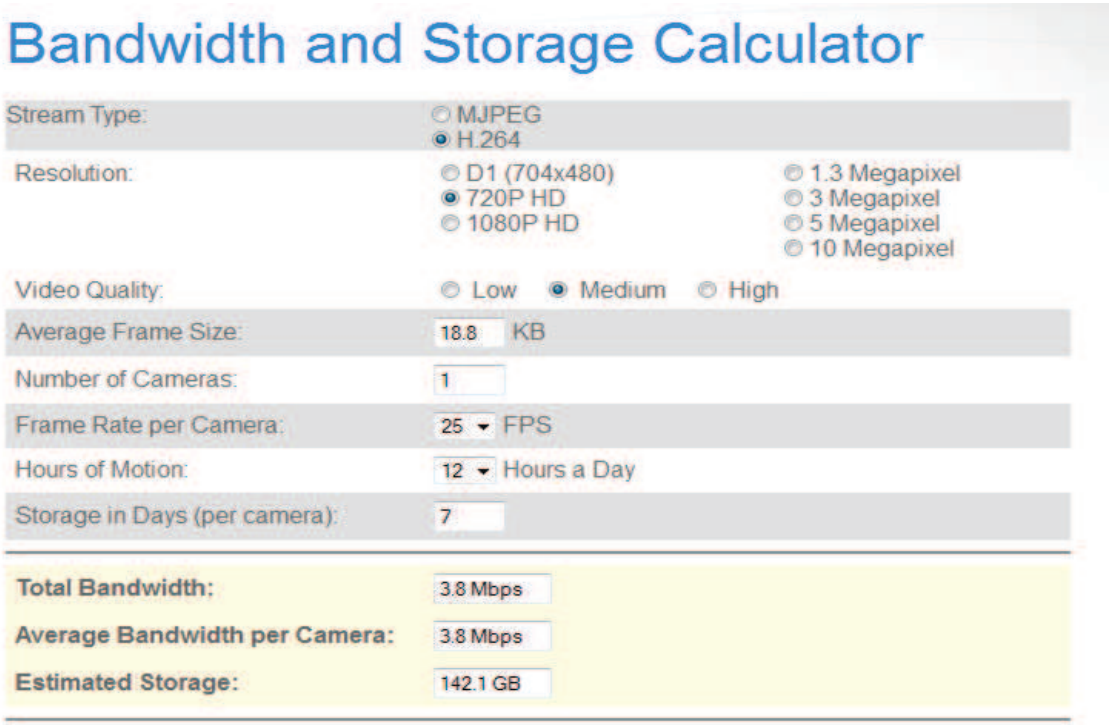


Figura 3.7 Calculadora de ancho de banda de video [56]

Como se observa en la figura 3.7 se valida el resultado calculado anteriormente, debido a que se tiene una velocidad de transmisión calculada de 3.73 Mbps, mientras que la calculadora da un resultado de 3.8 Mbps, la diferencia se debe a que la herramienta redondea el resultado.

Anteriormente en el capítulo 2 se definió que el servicio de videollamada estará disponible en cada una de las 6 parroquias del cantón Shushufindi, debido a que no todas las escuelas tienen la adecuada infraestructura para su implementación, por lo tanto el número de usuarios de videollamada será de 6. Por lo tanto, la velocidad de transmisión de videollamada total resultante es igual a:

$$Vtx\ videollamada\ total = 6 * 3{,}73\ Mbps = 22{,}38\ Mpbs$$

$$\boldsymbol{Vtx\ videollamada\ total = 22,38\ Mpbs}$$

3.1.4 PROYECCIÓN DE USUARIOS

Una vez determina la velocidad de transmisión de los diferentes tipos de tráfico, se realiza una estimación del crecimiento de usuarios, y así determinar la velocidad de transmisión requerida por cada institución. En el capítulo 2 se establecieron 3 tipos de perfiles de usuarios, estos son: estudiantes, docentes y personal administrativo.

Al ser instituciones educativas rurales, el personal administrativo en su mayor parte solo es el director de la escuela, además cuentan con el personal docente necesario para recibir más estudiantes sin necesidad de contratar nuevo personal, por esta razón se mantendrá constante el número de docentes que trabajan actualmente en cada institución educativa. Sin embargo se establece que deberá existir 1 computador por cada 2 docentes, y en el futuro lo ideal sería que exista un computador por docente. También se establece que deberá existir 1 computador para el personal administrativo, es decir un computador para cada director de la institución educativa, en la tabla 3.7 se resumen estos parámetros.

N°	Institución	N° Docentes	N° Computadores por docentes	N° Computadores por Director	Total de computadores
1	ÁNGEL ALMEIDA	4	2	1	3

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director (continúa)

N°	Institución	N° Docentes	N° Computadores por docentes	N° Computadores por Director	Total de computadores
2	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	12	6	1	7
3	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	29	15	1	16
4	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	26	13	1	14
5	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	12	6	1	7
6	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	14	7	1	8
7	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	13	7	1	8
8	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	28	14	1	15
9	COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	53	27	1	28
10	ESCUELA 11 DE JULIO	47	24	1	25
11	ESCUELA 12 DE OCTUBRE	18	9	1	10
12	LAS VEGAS	7	4	1	5
13	NICOLÁS COPÉRNICO	3	2	1	3
14	UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	48	24	1	25

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director (continúa)

N°	Institución	N° Docentes	N° Computadores por docentes	N° Computadores por Director	Total de computadores
15	PUERTO SAN LORENZO	4	2	1	3
16	RIO ENO	3	2	1	3
17	GALÁPAGOS	2	1	1	2
18	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	9	5	1	6
19	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	15	8	1	9
20	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	9	5	1	6
21	ALBERTO EINSTEIN	3	2	1	3
22	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	9	5	1	6
23	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	15	8	1	9
24	COLEGIO RIO AGUARICO	2	1	1	2
25	ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	2	1	1	2
26	ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	2	1	1	2
27	ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	4	2	1	3
28	ESCUELA LIZARRO GARCÍA	2	1	1	2
29	ESCUELA LOS RÍOS	5	3	1	4
30	ESCUELA YANUNCAY	3	2	1	3
31	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	13	7	1	8

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director (continúa)

N°	Institución	N° Docentes	N° Computadores por docentes	N° Computadores por Director	Total de computadores
32	26 DE OCTUBRE	13	7	1	8
33	CARLOS MANTILLA JÁCOME	8	4	1	5
34	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	5	3	1	4
35	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	12	6	1	7
36	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	8	4	1	5
37	COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	5	3	1	4
38	DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	2	1	1	2
39	ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	2	1	1	2
40	ESCUELA INGAPIRCA	3	2	1	3
41	UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	18	9	1	10
42	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	13	7	1	8
43	COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	25	13	1	14
44	ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	14	7	1	8
45	ESCUELA PALORA	3	2	1	3
46	ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	2	1	1	2
47	RIO DE JANEIRO	4	2	1	3

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director (continúa)

N°	Institución	N° Docentes	N° Computadores por docentes	N° Computadores por Director	Total de computadores
48	29 DE JULIO	6	3	1	4
49	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	8	4	1	5
50	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	14	7	1	8
51	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RIO YASUNÍ	7	4	1	5
52	COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	10	5	1	6
53	MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	2	1	1	2
54	PALMERAS DEL ECUADOR	2	1	1	2
55	ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	2	1	1	2
TOTAL		**604**	**314**	**55**	**369**

Tabla 3.7 Número de computadores por docentes y por Director

Según las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC)[24] y por la rápida evolución tecnológica, la vida útil de los equipos de computación y de redes es usualmente de 5 años, por lo tanto durante este tiempo se debe garantizar el servicio de Internet, voz y video, transcurrido este periodo se debe hacer un nuevo estudio para determinar los recursos y condiciones físicas de los centros educativos.

[24] Las Normas Internacionales de Contabilidad NIC o IFRS *(International Financial Reporting Standards*) son un conjunto de estándares creados en Londres, por el IASB que establecen la información que deben presentarse en los estados financieros y la forma en que esa información debe aparecer, en dichos estados.

Es primordial considerar un factor de crecimiento, para determinar el número aproximado de estudiantes a futuro y así lograr que la red sea escalable.

La tasa de matriculación escolar en la región Amazónica según el censo del 2010 realizado por Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC es del 0,92 % como se observa en la figura 3.8, se considera la tasa de crecimiento de los estudiantes de primaria porqué más de la mitad de la población se encuentran en la edad escolar, ver tabla 2.2.

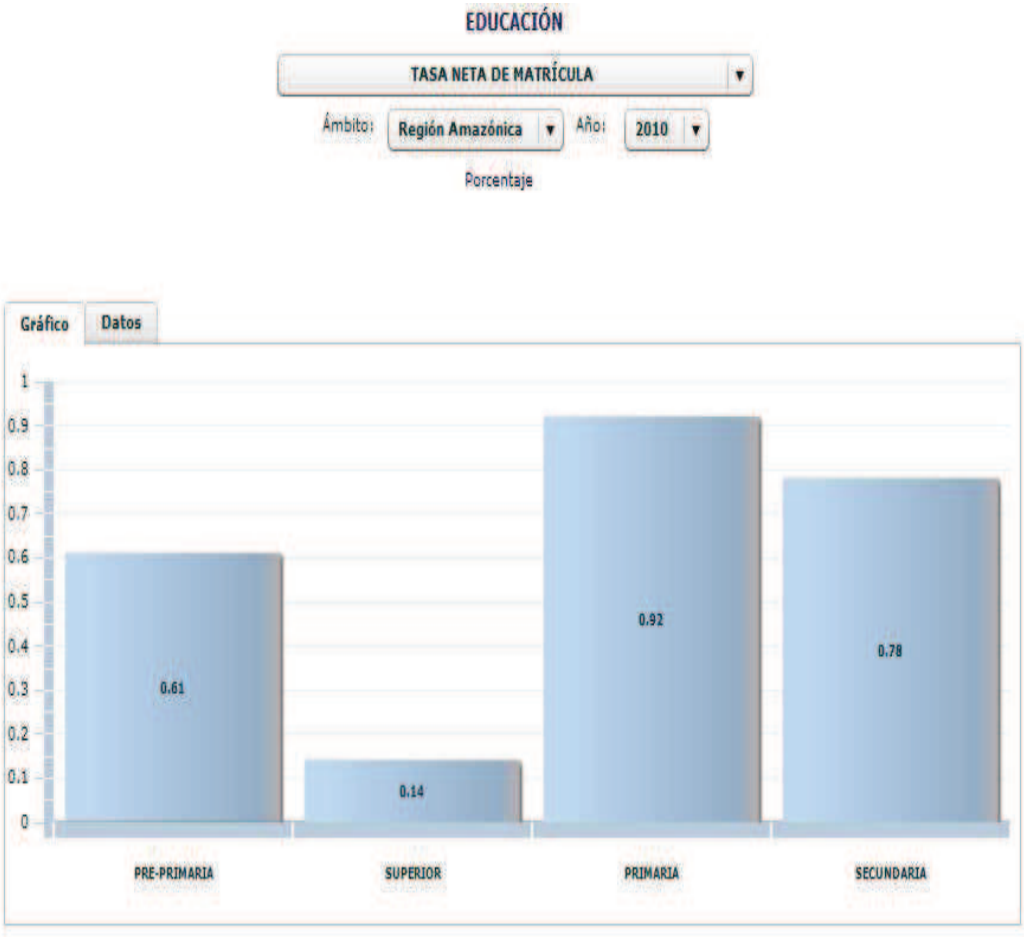


Figura 3.8 Tasa neta de matriculación para la región Amazónica [57]

Para estimar el número de computadoras se utiliza el indicador de alumnos por computador, en el informe presentado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) del año 2011 [58] para Ecuador se tiene que por cada 20 alumnos existe una computadora. Sin embargo para disminuir la brecha de acceso a la tecnología se debe invertir en equipamiento durante los próximos 5 años y se establece que debe existir 1 computador por cada 10 estudiantes; y de esta forma en un futuro llegar a tener 1 computador por cada estudiante.

Con todos estos precedentes se calcula la población estudiantil para un periodo de 5 años con una tasa de crecimiento del 0,92 % y el número de computadoras que deberá existir, será de 1 computador por cada 10 estudiantes.

Para calcular el crecimiento poblacional estudiantil durante 5 años, se debe usar la fórmula de crecimiento población compuesto que se describe en la ecuación 3.1 [59].

$$Pf = Po(1 + r)^t \qquad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Pf= población final

Po= población inicial

r= tasa de crecimiento poblacional

t= periodo de tiempo

En la tabla 3.8 se presenta la población estudiantil y el número de computadores dentro de 5 años.

N°	Institución	Año 2013		Año 2018	
		N° Alumnos	N° Computadores	N° Alumnos	N° Computadores mínimo
1	ÁNGEL ALMEIDA	102	2	107	11
2	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	160	5	167	17
3	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	558	10	584	58
4	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	650	9	680	68
5	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	220	4	230	23
6	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	270	6	283	28

Tabla 3.8 Crecimiento estudiantil dentro de 5 años (continúa)

N°	Institución	Año 2013		Año 2018	
		N° Alumnos	N° Computadores	N° Alumnos	N° Computadores mínimo
7	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	286	4	299	30
8	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	333	7	349	35
9	COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	1300	15	1361	136
10	ESCUELA 11 DE JULIO	600	17	628	63
11	ESCUELA 12 DE OCTUBRE	445	11	466	47
12	LAS VEGAS	200	3	209	21
13	NICOLÁS COPÉRNICO	113	1	118	12
14	UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	1200	10	1256	126
15	PUERTO SAN LORENZO	60	1	63	6
16	RIO ENO	59	1	62	6
17	GALÁPAGOS	36	1	38	4
18	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	72	1	75	8
19	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	430	8	450	45
20	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	104	2	109	11
21	ALBERTO EINSTEIN	60	1	63	6
22	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	102	1	107	11
23	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	278	4	291	29
24	COLEGIO RIO AGUARICO	36	1	38	4

Tabla 3.8 Crecimiento estudiantil dentro de 5 años (continúa)

N°	Institución	Año 2013		Año 2018	
		N° Alumnos	N° Computadores	N° Alumnos	N° Computadores mínimo
25	ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	48	1	50	5
26	ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	48	1	50	5
27	ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	68	1	71	7
28	ESCUELA LIZARRO GARCÍA	36	1	38	4
29	ESCUELA LOS RÍOS	118	3	124	12
30	ESCUELA YANUNCAY	60	1	63	6
31	CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	97	1	102	10
32	26 DE OCTUBRE	74	1	77	8
33	CARLOS MANTILLA JÁCOME	165	3	173	17
34	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	110	2	115	12
35	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	360	9	377	38
36	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	90	1	94	9
37	COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	62	1	65	6
38	DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	43	1	45	5
39	ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	44	1	46	5
40	ESCUELA INGAPIRCA	50	9	52	5
41	UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	65	1	68	7

Tabla 3.8 Crecimiento estudiantil dentro de 5 años (continúa)

N°	Institución	Año 2013		Año 2018	
		N° Alumnos	N° Computadores	N° Alumnos	N° Computadores mínimo
42	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	136	3	142	14
43	COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	460	10	482	48
44	ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	386	8	404	40
45	ESCUELA PALORA	50	1	52	5
46	ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	40	1	42	4
47	RIO DE JANEIRO	117	5	122	12
48	29 DE JULIO	130	1	136	14
49	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	98	2	103	10
50	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	290	7	304	30
51	CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RIO YASUNÍ	65	1	68	7
52	COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	160	4	167	17
53	MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	52	1	54	5
54	PALMERAS DEL ECUADOR	41	1	43	4
55	ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	41	1	43	4
TOTAL		**11.278**	**209**	**11.806**	**1.180**

Tabla 3.8 Crecimiento estudiantil dentro de 5 años

3.1.5 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN TOTAL REQUERIDA

La velocidad de transmisión total para la red a implementarse es la suma de las velocidades de datos (Internet), voz (VoIP) y videollamada.

El acceso a Internet tiene un factor de compartición de 1 a 4 que establece el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) en su Norma Técnica del Servicio de Valor Agregado de Acceso a Internet [60].

Sin embargo la mayoría de los proveedores de servicio de Internet (ISP) utilizan un factor de compartición de 1 a 8 para planes de Internet *home*. En las zonas rurales el plan básico de Internet es 2 Mbps con un factor de compartición de 1 a 8, por lo tanto cuando el canal de acceso a Internet se encuentra saturado, cada suscriptor tendría una velocidad de transmisión de 256 Kbps.

La diferencia entre un usuario de casa y el perfil de estudiante, radica que en el perfil de estudiante no tiene acceso a páginas de *streaming* de video y a páginas de redes sociales, por esta razón la velocidad de transmisión para un estudiante es menor.

En la tabla 3.4 se determinó la velocidad de transmisión para un estudiante en 280 Kbps, si se establece un factor de compartición de 1 a 8 y el 100% de simultaneidad como el peor escenario, la velocidad de transmisión para un estudiante en la hora pico sería de 35 Kbps, con esta velocidad de transmisión un estudiante no podría navegar adecuadamente.

Por otro lado existen dos jornadas de trabajo en las instituciones educativas: diurna y vespertina, esto permite tener un 50% de simultaneidad. Con un factor de compartición de 1 a 2 y con el 50% de simultaneidad, la velocidad de transmisión sería de 140 Kbps.

Por lo tanto con un factor de compartición de 1 a 2 y con un 50% de simultaneidad, se tendrá la mitad de velocidad de transmisión de un usuario de casa, por esta razón se establece este factor de compartición en el diseño de la red.

La velocidad de transmisión de datos (Internet) que necesitará un estudiante por cada computador es igual a 280 Kbps, por los 1180 computadores estimados para el año 2018, dividido para el factor de compartición y multiplicado por la simultaneidad, se tendrá:

$$Velocidad\ Transmisión_{\ DATOS\ ESTUDIANTES} = \frac{280\ Kbps * 1180}{2} * 50\%$$

$$\boldsymbol{Velocidad\ Transmisión_{DATOS\ ESTUDIANTES} = 82,60\ Mbps}$$

Mientras que la velocidad de transmisión necesaria para cada que un docente o un director acceda a Internet es de 1.2 Mbps. Se establece el 50% de simultaneidad de acceso a Internet para los docentes y directores, por la razón que existe dos jornadas laborales.

En la tabla 3.7 se observa que el número total de computadoras para los docentes y directores es igual a 369, por lo tanto la velocidad de transmisión total será igual a:

$$Velocidad\ Transmisión_{\ DATOS\ DOCENTES\ Y\ ADMNISTRATIVOS} = \frac{1.2Mbps * 369}{2} * 50\%$$

$$\boldsymbol{Velocidad\ Transmisión_{DATOS\ DOCENTES\ Y\ ADMINISTRATIVOS} = 110,70\ Mbps}$$

La velocidad de transmisión total de datos será igual a la suma de velocidad de los estudiantes, docentes y personal administrativo, entonces se tiene:

$$Vtx_{TOTAL\ DATOS} = Vtx_{estudiantes} + Vtx_{\ docentes\ y\ administrativos}$$

$$Vtx_{TOTAL\ DATOS} = 82{,}60\ Mbps + 110{,}70\ Mbps$$

$$\boldsymbol{Vtx_{TOTAL\ DATOS} = 193,30\ Mbps}$$

La velocidad de transmisión que debe soportar la red es:

$$Vtx_{TOTAL} = Vtx_{TOTAL\ DATOS} + Vtx_{TOTAL\ VoIP} + Vtx_{TOTAL\ Videollamada}$$

$$Vtx_{TOTAL} = 193{,}30\ Mbps + 1{,}72\ Mbps + 22{,}38 Mbps$$

$$\boldsymbol{Velocidad\ Transmisión_{TOTAL} = 217,40\ Mbps}$$

3.2 TECNOLOGÍA PARA EL DISEÑO [61], [62], [63], [64]

Para el diseño de la red se tiene dos soluciones inalámbricas que son Wi-Fi y WiMAX, a continuación se presenta los requisitos de la red:

- ✓ Las frecuencias de operación deben ser 2.4 GHz y 5.8 GHz, porque son las frecuencias destinadas para operar en los sistemas de modulación digital de banda ancha en el Ecuador.
- ✓ Debe trabajar en ambientes de exteriores (*outdoor*).
- ✓ Debe soportar largas distancias.

- ✓ La velocidad de transmisión debe ser igual o superior a 54 Mbps, para soportar el tráfico en los enlaces troncales.
- ✓ Debe tener calidad de servicio porque la red soportará voz y video.
- ✓ Tiene que ser administrable y segura.

Requisitos de red	Wi-Fi	WiMAX
Frecuencia en 2.4 GHz	Si	No
Frecuencia en 5 GHz	Si	Si
Outdoor	Opcional	Si
Largas distancias	Opcional	Si
Velocidad ≥ 54 Mbps	Si	Si
Calidad de servicio	Opcional	Si
Administración red	Si	Si
Seguridad	Si	Si
Costo	Medio	Alto

Tabla 3.9 Comparación entre Wi-Fi, WiMAX y requisitos de la red [61], [62], [63]

En la tabla 3.9 se compara Wi-Fi y WiMAX con los requisitos de la red, con la tecnología WiMAX se puede tener enlaces de hasta 50 Km con línea de vista, y de hasta 10 Km sin línea de vista. El estándar 802.16 - 2004 establece la frecuencia de trabajo en 5.7 GHz, sin embargo actualmente (enero 2014) el WiMAX Forum solo certifica productos en las bandas de 2.5 GHz y 3.5 GHz [142].

Por ende no existen productos WiMAX en la banda de frecuencia no licenciada, siendo una desventaja frente a la tecnología Wi-Fi que no requiere de permisos.

Por otro lado la tecnología WiMAX no existe en el mercado local, y se requiere de trámites de importación, lo que eleva sus costos y dificulta el proceso de garantías. Finalmente los precios de una radio base con tecnología WiMAX varían desde los 9 mil dólares hasta los 19 mil dólares [64], por lo que la hacen una tecnología muy costosa.

En cambio la tecnología Wi-Fi, algunas de sus características de largo alcance y de ambientes en exteriores dependen del fabricante, es decir son opcionales, no están establecidos por defecto en todos los equipos. Con una solución Wi-Fi se puede conseguir enlaces de hasta 30 Km con línea de vista.

Los equipos Wi-Fi trabajan en la bandas de frecuencias no licenciadas, por lo que no se requiere de permisos adicionales para su implementación. En el mercado local existen una gran variedad de marcas y productos Wi-Fi, siendo una ventaja en procesos de garantías. Por últimos los precios para implementar una radio base con tecnología de Wi-Fi varían desde los 3 mil dólares hasta los 12 mil dólares.

De lo expuesto anteriormente se concluye que técnicamente es viable realizar el proyecto tanto con Wi-Fi como con WiMAX. En el aspecto regulatorio, en la tabla 1.10 se muestra las bandas de operación para sistemas de modulación de banda ancha en el País, Wi-Fi trabaja en estas bandas de operación; mientras que WiMAX no lo hace, por lo que requiere de permisos para operar en las bandas de 2.5 GHz y 3.5 GHz. En el aspecto económico WiMAX es una tecnología que no existe en el mercado local y requiere de trámites de importación, esto eleva sus costos y dificulta procesos de garantías; mientras que Wi-Fi es una tecnología que existe en el mercado local y es más accesible al consumidor.

Por estas razones la tecnología que se utilizará para el diseño del presente proyecto es Wi-Fi.

3.3 DISEÑO DE LA RED

La red estará constituida por un Centro de Operaciones de la Red (NOC), la red troncal y la red de acceso. El NOC estará ubicado en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, desde donde se proveerá todos los servicios hacia toda la red.

La red troncal estará constituida por enlaces inalámbricos punto – punto, también llamados enlaces troncales por soportar un mayor flujo de datos.

La red de acceso conecta las diferentes radio bases con las escuelas por medio de enlaces punto a multipunto; estos enlaces serán llamados enlaces de acceso, por su función dentro de la red. Para los enlaces punto a multipunto se utilizará antenas sectorial por tener mayor ganancia que las antenas omnidireccionales, por lo tanto en cada radio base existirán 3 *access point* para los enlaces punto a multipunto.

3.3.1 CONSIDERACIONES PARA LA RED INALÁMBRICA

Para enlaces punto a punto se trabajará en la frecuencia de 5.8 GHz y para enlaces punto a multipunto en la frecuencia de 2.4 GHz, porque se puede utilizar antenas de mayor ganancia en enlaces punto a punto. En la tabla 1.10 se indicó la potencia máxima que sugiere la SENATEL, para las frecuencias de 2.4 GHz y 5.8 GHZ se tiene una potencia máxima de transmisión de 1000 mW y no se especifica la ganancia máxima de la antena.

Para el diseño de los enlaces punto a punto es necesario conocer las características de los equipos que existen en el mercado, la marca Motorola es referente en equipos de telecomunicaciones de alto desempeño, por esta razón se tomará como referencia los valores de los equipos Motorola, éstos se observan en la figura 3.9.

SPECIFICATIONS	
MAXIMUM TRANSMIT POWER	Up to 22 dBm; varies with modulation mode and settings.
DEPLOYMENT RANGE	20 MHz Channel – Up to 34 mi (54 km) 40 MHz Channel – Up to 17 mi (27 km)
SENSITIVITY (dBm typical)	Adaptive, varying between -93 dBm and -71 dBm

Figura 3.9 Características del equipo PTP 250 de Motorola [65]

Como se observa en la figura 3.9 la potencia de transmisión máxima es de 22 dBm y la sensibilidad está dentro del rango de -71 dBm y -93 dBm, para el diseño de enlaces punto a punto se tomará un valor para la sensibilidad de -75 dBm para obtener una mayor velocidad de transmisión.

Otra marca que brinda un buen desempeño en equipos de telecomunicaciones es Proxim Wireless y será referente para enlaces punto a multipunto, el modelo del equipo es Tsunami MP 8100 y sus características se observan en la figura 3.10.

En la figura 3.10 se observa las características del equipo Proxim Wireless para enlaces punto a multipunto, la potencia de transmisión máxima es de 21 dBm, este valor será el utilizado en el diseño de la red.

El equipo Tsunami MP 8100 brinda una sensibilidad entre -71 dBm y – 96 dBm con velocidades de transmisión desde 6 Mbps (MSC0[25]) a 300 Mbps (MSC15). La

[25] MCS, son las siglas de *Modulation and Coding Scheme*, que podría traducirse como “Sistema de Modulación y Codificación”. El estándar 802.11n define un total de 77 MCS. Cada MCS es una combinación de una modulación determinada por ejemplo BPSK, QPSK, 64-QAM, la tasa de

sensibilidad del equipo depende de la velocidad de transmisión del enlace, entre mayor sea la velocidad de transmisión menor es la magnitud de la sensibilidad del equipo; para enlaces punto a multipunto se necesita una velocidad media debido a que el tráfico de datos comprende a una sola escuela, por tal razón se escoge una sensibilidad de -85dBm con una velocidad de transmisión de 30 Mbps (MSC8) con un ancho de canal de 40 MHz.

PRODUCTOS					
MP-8100-BSU	Tsunami MP 8100 BSU (Base Station Unit), 300Mbps, MIMO 3x3 conectores tipo N				
MP-8100-SUA	Subscriptora Tsunami MP 8100, 300 Mbps, MIMO 3x3, conectores tipo N				
MP-8150-SUR	Subscriptora Tsunami MP 8150, 300 Mbps, MIMO 2x2, antena integrada de 23dBi				
MP-8150-SUR-100	Subscriptora Tsunami MP 8150, 2x50 Mbps, MIMO 2x2, antena integrada de 23dBi				
INTERFACES					
ETHERNET	Dos puertos auto MDI-X RJ45 10/100/1000Mbps - Puerto 1 con PoE y datos - Puerto 2 con PoE out (802.3af pin out) y datos (No disponible para MP8150-SUR-100)				
Protocolo Radio	WORP® (Wireless Outdoor Router Protocol)				
RADIO Y Tx					
MIMO	3x3 MIMO				
MODULACIÓN	OFDM				
FRECUENCIA	2.3 – 2.5 GHz 4.9 – 6.0 GHz (Depende de las regulaciones de cada país)				
TAMAÑO DE CANAL	Anchos de canal de 40MHz, 20MHz, 10MHz, 5MHz				
DATA RATE	MCS 0 hasta MCS 15 (6,5 – 300Mbps) con asignación dinámica de modulación. BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM para modo compatibilidad (6-54Mbps)				
POTENCIA DE Tx	Hasta 21 dBm (2 cadenas de Tx)				
CONTROL DE POTENCIA	0 – 25 dB, en pasos de 0,5 dB. TPC (Transmit Power Control) automático con límite PIRE configurable.				
SENSIBILIDAD DE Rx (BER=10^{-6})	*Tamaño de Canal*	*40 MHz*	*20 MHz*	*10 MHz*	*5 MHz*
	MCS 0	-87 dBm	-93 dBm	-94 dBm	-96 dBm
	MCS 7	-71 dBm	-75 dBm	-78 dBm	-81 dBm
	MCS 8	-87 dBm	-93 dBm	-94 dBm	-95 dBm
	MCS 15	-69 dBm	-71 dBm	-74 dBm	-77 dBm
ANTENA	Modelo MP-8100-BSU y MP-8100-SUA: 3 conectores tipo-N con protector de voltaje integrado. Modelo MP-8150-SUR(-100) incluye una antena integrada de 23dBi MIMO 2x2				

Figura 3.10 Características del equipo Tsunami MP 8100 [66]

Para los enlaces punto a punto se utilizará antenas directivas con ganancias de 28 dBi [26] para alcanzar largas distancias. Para enlaces punto a multipunto se utilizarán antenas sectoriales por tener mayor ganancia que las antenas omnidireccionales, la ganancia en antenas sectoriales de 120° varía entre 14 dBi y 17 dBi, por lo tanto se escoge un valor medio de 15 dBi.

La ganancia de la antena para la unidad suscriptora según la figura 3.10 es de 23 dBi, este valor será el que se utilizará en este diseño. Todos estos valores se los resume en la tabla 3.10, que serán la base del diseño.

---

codificación (*Coding Rate)* por ejemplo 1 / 2, 3 / 4, el intervalo de guarda (*Guard Interva)* de 800ns o 400ns y el número de secuencias espaciales (Spatial Streams).

[26] dBi o decibelio isótropo, corresponde a la ganancia de un dipolo isotrópico de ¼ de onda.

PARÁMETRO	ENLACE PUNTO A PUNTO	ENLACE PUNTO - MULTIPUNTO
Rango de frecuencia	5725 – 5875 [MHz]	2400-2483.5[MHz]
Frecuencia central	5800 [MHz]	2400 [MHz]
Potencia de transmisión	22 [dBm]	21 [dBm]
Ganancia de Tx	28 [dBi]	15 [dBi]
Ganancia de Rx	28 [dBi]	23 [dBi]
Sensibilidad mínima de Rx	-75 [dBm]	-85 [dBm]

Tabla 3.10 Parámetros para los enlaces punto a punto y punto multipunto

Con los parámetros para los enlaces punto a punto y punto a multipunto que se observan en la tabla 3.10, los fabricantes proponen distancias mayores a 30 Km para enlaces PtP, y distancias de hasta 15 Km para enlaces PtMP. Para el diseño de la red, los enlaces PtP no serán mayores a 20 Km y los enlaces PtMP no serán mayores a 10 Km. Por lo tanto se procede a calcular la distancia máxima que se puede tener con los parámetros establecidos en la tabla 3.10.

Para calcular la distancia máxima se debe establecer la magnitud de la potencia de recepción mínima que puede recibir el equipo, en la tabla 3.10 la sensibilidad mínima de recepción para los enlaces PtP es de -75 dBm y para los enlaces PtMP es de -85 dBm, pero se establece un margen de desvanecimiento mínimo de 10 dB para los enlaces PtP y 15 dB para los enlaces PtMP, por si existen pérdidas adicionales en el enlace. Por lo tanto la potencia de recepción mínima para los enlaces PtP será de -65 dBm y para los enlaces PtMP será de -70 dBm.

A continuación se procede a calcular las pérdidas de propagación en espacio libre con la ecuación 1.20 (balance de potencia de un radio enlace), se considera 2 dB por pérdidas de la línea de transmisión, estas pérdidas son por el cable coaxial RG-58 (0.7 dB/m a 5.8 GHz) y los dos conectores tipo N (0.5 dB por conector).

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \qquad \text{(Ecuación 1.20)}$$

Donde:

P_{RX} = Potencia de recepción (dBm)

P_{TX} = Potencia de transmisión (dBm)

G_{TX} = Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

L_{TX} = Pérdida de la línea de transmisión (dB)

L_f = Pérdida en espacio libre (dB)

L_M = Pérdidas misceláneas (dB)

G_{RX}= Ganancia de la antena de recepción (dBi)

L_{RX} = Pérdida de la línea en el receptor (dB)

De la ecuación 1.20 se despeja la pérdida de espacio libre (L_f), por lo tanto se tiene:

$$L_f = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - P_{RX} - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

$$L_f = 22 + 28 - 2 - (-65) - 0 + 28 - 2$$

$$L_f = 22 + 28 - 2 + 60 - 0 + 28 - 2$$

$$\boldsymbol{L_f = 139\ dB}$$

Para determinar la distancia máxima del enlace con los parámetros de la tabla 3.10, se utilizará la ecuación 1.1 (pérdidas de propagación en espacio libre).

$$L_f(dB) = 32{,}45 + 20log_{10}(d)_{Km} + 20log_{10}(f)_{MHz} \qquad \text{Ecuación 1.1}$$

De la ecuación 1.11 se despeja la distancia, por lo tanto se tiene:

$$(d)_{Km} = antilog\left(\frac{L_f(dB) - 32{,}45 - 20log_{10}(f)_{MHz}}{20}\right)$$

$$(d)_{Km} = antilog\left(\frac{139 - 32{,}45 - 20log_{10}(5800)_{MHz}}{20}\right)$$

$$\boldsymbol{d = 36{,}65\ Km}$$

La distancia máxima para un enlace PtP con los parámetros establecidos en la tabla 3.10 es de 36,65 kilómetros. Con el mismo procedimiento se calcula la distancia máxima para los enlaces PtMP, a continuación en la tabla 3.11 se resume estos resultados.

PARÁMETRO	Enlace Punto a multipunto	Enlace Punto a punto
Frecuencia de operación [MHz]	2400	5800
Potencia de transmisión [dBm]	21	22
Ganancia de transmisión [dBi]	15	28
Ganancia de recepción [dBi]	23	28
Sensibilidad mínima de recepción [dBm]	-85	-75
Margen de desvanecimiento mínimo [dB]	15	10
Potencia de recepción mínima [dBm]	-70	-65
Pérdidas por línea de transmisión [dB]	2	2
Pérdidas en espacio libre “Lf” [dB]	125	139
Distancia máxima del enlace “d” [Km]	**17,68**	**36,65**

Tabla 3.11 Parámetros y distancia máxima para los enlaces PtP y PtMP

Como se observa en la tabla 3.11, con los parámetros establecidos en la tabla 3.10, la distancia máxima para los enlaces punto a multipunto es de 17 kilómetros, mientras para los enlaces punto a punto es de 36 kilómetros, por lo tanto se justifica las distancias aconsejadas por los fabricantes.

3.3.2 UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES

La ubicación de las radio bases depende de la distancia existente entre los centros educativos, el objetivo de una radio base es asociar el mayor número de escuelas dentro de un radio no mayor a 10 Km y que exista línea de vista entre la radio base y la escuela.

Los 10 Km de radio de cobertura es consecuencia de los parámetros para los enlaces punto a multipunto, con los cuales se puede tener distancias máximas entre 12 Km a 15 Km, para asegurar el diseño de la red se toma como distancia límite 10 Km.

Cada radio base será instalada en alguna de las 55 escuelas de las cantón Shushufindi, porque cuenta con el suministro de energía eléctrica y con el espacio físico necesario para su implementación.

Para identificar de una forma más ágil a los centros educativos se les dará una nomenclatura de SS que significa estación estática, como se muestra en la tabla 3.12.

INSTITUCIÓN	NOMENCLATURA
ÁNGEL ALMEIDA	SS1
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JOSÉ JULIÁN CORONEL	SS2
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA DR. JULIO ÁLVAREZ CRESPO	SS3
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA FRANCISCO JAVIER PEÑARRETA	SS4
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JUAN LEÓN MERA	SS5
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA NELSON ESTUPIÑAN BASS	SS6
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA SHUSHUFINDI	SS7
CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL 6 DE DICIEMBRE	SS8
COLEGIO NACIONAL TÉCNICO SHUSHUFINDI	SS9
ESCUELA 11 DE JULIO	SS10
ESCUELA 12 DE OCTUBRE	SS11
LAS VEGAS	SS12
NICOLÁS COPÉRNICO	SS13
UNIDAD EDUCATIVA A DISTANCIA JUAN JIMÉNEZ	SS14
PUERTO SAN LORENZO	SS15
RIO ENO	SS16
GALÁPAGOS	SS17
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 7 DE AGOSTO	SS18
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO	SS19
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA YAHUARCOCHA	SS20
ALBERTO EINSTEIN	SS21
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ELOY ALFARO	SS22
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA VILCABAMBA	SS23

Tabla 3.12 Centros educativos con su respectiva nomenclatura (continúa)

INSTITUCIÓN	NOMENCLATURA
COLEGIO RIO AGUARICO	SS24
ESCUELA BILINGÜE CIUDAD DE OTAVALO	SS25
ESCUELA FISCAL MIXTA CELIANO MONGE	SS26
ESCUELA FISCAL MIXTA PROVINCIAS UNIDAS	SS27
ESCUELA LIZARRO GARCÍA	SS28
ESCUELA LOS RÍOS	SS29
ESCUELA YANUNCAY	SS30
CENTRO DE FORMACIÓN ARTESANAL OCHO DE MARZO	SS31
26 DE OCTUBRE	SS32
CARLOS MANTILLA JÁCOME	SS33
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA 14 DE ABRIL	SS34
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA CIUDAD DE PORTOVIEJO	SS35
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA TAHUANTINSUYO	SS36
COLEGIO NACIONAL FISCAL MIXTO 7 DE JULIO	SS37
DR. JOAQUÍN CHIRIBOGA	SS38
ESCUELA 2 DE NOVIEMBRE	SS39
ESCUELA INGAPIRCA	SS40
UNIDAD DE FORMACIÓN ARTESANAL NUEVO AMANECER	SS41
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	SS42
COLEGIO GUILLERMO BUSTAMANTE CEVALLOS	SS43
ESCUELA JOSÉ MARÍA URBINA	SS44
ESCUELA PALORA	SS45
ESCUELA PRESIDENTE ISIDRO AYORA	SS46
RIO DE JANEIRO	SS47
29 DE JULIO	SS48

Tabla 3.12 Centros educativos con su respectiva nomenclatura (continúa)

INSTITUCIÓN	NOMENCLATURA
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA ADALBERTO ORTIZ	SS49
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA HNA. INÉS ARANGO VELÁSQUEZ	SS50
CENTRO DE EDUCACIÓN BÁSICA. RÍO YASUNÍ	SS51
COLEGIO NACIONAL JUAN MONTALVO	SS52
MONS. CESAR ANTONIO MOSQUERA	SS53
PALMERAS DEL ECUADOR	SS54
ESCUELA PROVINCIA DE CAÑAR	SS55

Tabla 3.12 Centros educativos con su respectiva nomenclatura

Luego de analizar la topografía del cantón Shushufindi con ayuda del software *Radio Mobile,* se tiene que la ubicación de las radio bases (BS) serán en 8 centros educativos y 1 radio base en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, la razón es porque cada radio base asociará al mayor número de instituciones educativas que se encuentren en un perímetro de 10 km de radio, siempre y cuando exista línea de vista. En la figura 3.11 se muestra la ubicación específica de las radio bases, y en la tabla 3.13 se detalla la ubicación específica de cada una de ellas.

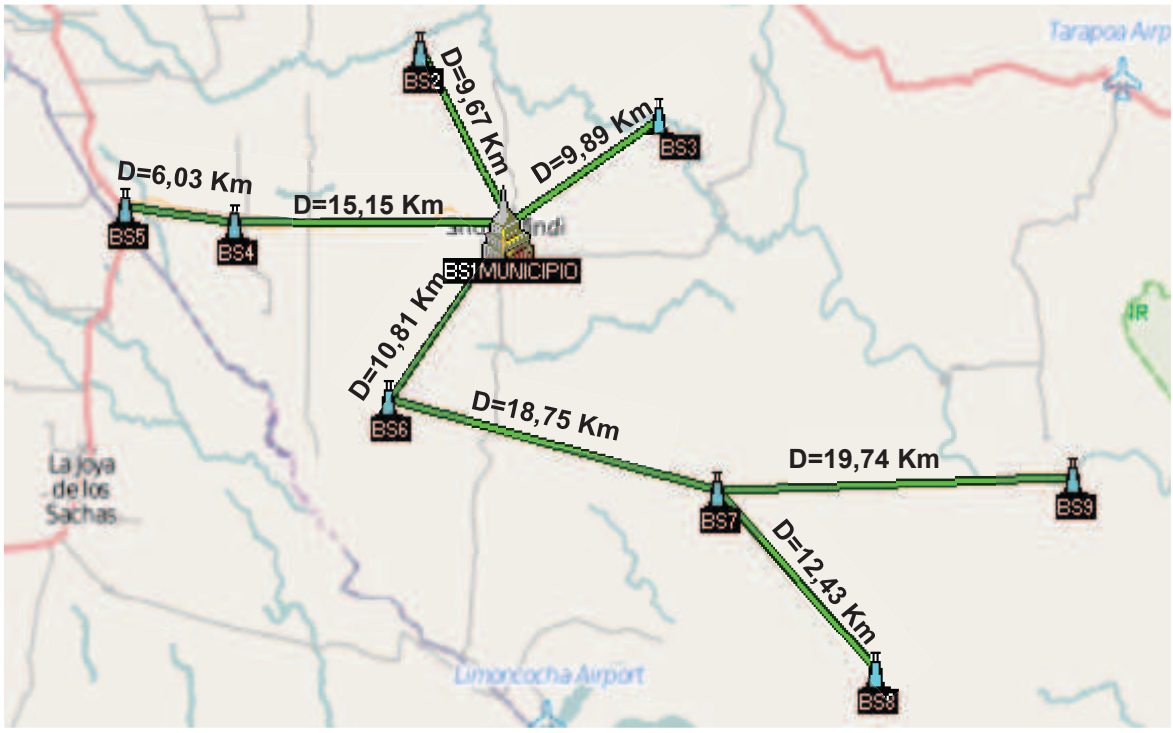


Figura 3.11 Ubicación de las radio bases

TORRE	LATITUD	LONGITUD	LOCALIDAD
BS1	0º11'7.71''S	76°38'38.88''O	**G. A.D. M del Cantón Shushufindi**
BS2	0°06'35.00''S	76°41'13.14''O	**Río Eno**
BS3	0°08'20.71''S	76°34'05.30''O	**Escuela Fiscal Mixta Provincias Unidas**
BS4	0°11'6.26''S	76°46'49.60''O	**C.E.B Ciudad de Portoviejo**
BS5	0°10'40.23''S	76°50'03.10''O	**Escuela José María Urbina**
BS6	0°14'17.59''S	76°41'03.32''O	**C.E.B 7 de Agosto**
BS7	0°15'44.93''S	76°42'12.99''O	**Colegio Nacional Juan Montalvo**
BS8	0°22'56.20''S	76°27'38.96''O	**C.E.B Río Adalberto Ortiz**
BS9	0°17'48.52''S	76°21'44.14''O	**C.E.B Río Yasuní**

Tabla 3.13 Ubicación de las radio bases

En la tabla 3.14 se presenta la asociación entre las radio bases y los centros educativos.

RADIO BASE	INSTITUCIONES ASOCIADAS
BS1	SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS6, SS7, SS8, SS9 ,SS10, SS11, SS12, SS13, SS14, SS21,SS29,SS30
BS2	SS15,SS16,SS23,SS26
BS3	SS22,SS27,SS28
BS4	SS35,SS36, SS37, SS39, SS40, SS41
BS5	SS31, SS34, SS42,SS43,SS44,SS45
BS6	SS18,SS19,SS20,SS32, SS33, SS38, SS46, SS47
BS7	SS17, SS24, SS25, SS48, SS50,SS52, SS53
BS8	SS49,SS54, SS55
BS9	SS51

Tabla 3.14 Radio bases e instituciones asociadas

3.3.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN RADIO ENLACE

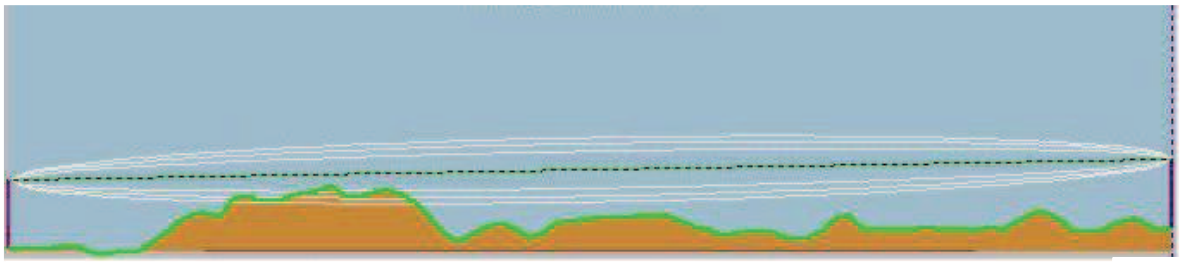
A continuación se describe paso a paso un ejemplo para el cálculo del desempeño de un radioenlace, el enlace a considerar será entre la radio base BS1 y la radio base BS2.

PASO 1. Consiste en determinar la posición geográfica de las estaciones, para luego construir el perfil topográfico con la ayuda de mapas topográficos o digitales, en la tabla 3.15 se resumen la ubicación de las radio bases BS1 y BS2.

PARÁMETRO	BS1	BS2
Latitud	0º11'7.71''S	0°06'35.00''S
Longitud	76°38'38.88''O	76°41'13.14''O
Elevación	259 [m]	274 [m]

Tabla 3.15 Ubicación de las radios bases BS1 y BS2

En la figura 3.12 se presenta el perfil topográfico entre la radio base BS1 y BS2.



BS1 BS2

Figura 3.12 Perfil topográfico entre BS1 y BS2

PASO 2. Se determina la distancia existente entre la estación de transmisión y recepción, así:

$$D_{(Km)} = \sqrt{(\Delta longitud * 111)^2 + (\Delta latitud * 111)^2 + (\Delta h)^2} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde:

D= distancia entre la radio base BS1 y BS2.

$\Delta longitud =$ Diferencia entre longitudes de las dos coordenadas [grados]

$\Delta latitud =$ Diferencia entre latitudes de las dos coordenadas [grados]

$\Delta h =$ Diferencia entre elevaciones de la estación de transmisión y recepción [km]

111= factor para transformar grados a km (1º equivale aproximadamente 111 km)

Previamente se transforma las coordenadas geográficas a grados decimales.

$$Latitud\ BS1 = 0° + \frac{11}{60} + \frac{7{,}71}{3600} = 0{,}185475°$$

$$Latitud\ BS2 = 0° + \frac{6}{60} + \frac{35}{3600} = 0{,}109722°$$

$$Longitud\ BS1 = 76° + \frac{38}{60} + \frac{38{,}88}{3600} = 76{,}644133°$$

$$Longitud\ BS2 = 76° + \frac{41}{60} + \frac{13{,}14}{3600} = 76{,}686983°$$

$$\Delta longitud = 76{,}644133° - 76{,}686983°$$

$$\Delta longitud = 0{,}185475° - 0{,}109722°$$

$$\Delta latitud = 0{,}075753°$$

$$\Delta h = 259 - 274$$

$$\Delta h = -0.015[km]$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{(-0{,}04285 * 111)^2 + (0{,}075753 * 111)^2 + (-0{,}015)^2}$$

$$D_{(Km)} = 9{,}66$$

PASO 3. Una vez determinada la distancia del radioenlace, se escoge la altura del obstáculo más alto del trayecto para determinar si la primera zona de Fresnel está despejada.

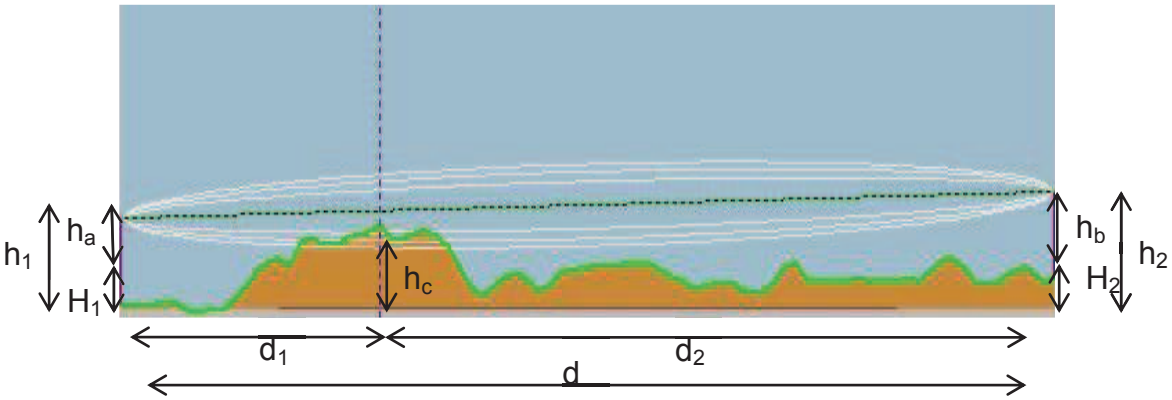


Figura 3.13 Despeje de la primera zona de Fresnel

Donde:

d_1 = distancia desde BS1 al punto más alto [km]

d_2 = distancia desde BS2 al punto más alto [km]

d_2 = distancia total [km]

h_c= altura sobre el nivel del mar del obstáculo [m]

H_1= altura sobre el nivel del mar de BS1 [m]

h_a= altura de la antena de BS1 [m]

h_1= altura total de BS1 [m]

H_2 = altura sobre el nivel del mar de BS2 [m]

h_b = altura de la antena de BS2 [m]

h_2= altura total de BS2 [m]

En la figura 3.9 se observa el perfil del terreno y se tiene:

$d_1 = 2{,}70$[km]

$d_2 = 6{,}96$ [km]

$h_C = 293{,}6$ [m]

En la figura 3.13 se observa que existe obstrucción por cumbre, la diferencia entre la estación BS1 y la cumbre es 35 metros por esta razón se asume un valor inicial de 40 metros para la altura de la antena en la radio base BS1 y BS2; para calcular la altura de despeje se utiliza la ecuación 1.15.

$$h_{desp} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + 0{,}0785\frac{d_1 d_2}{k}\right) \qquad \text{(Ecuación 1.15)}$$

Para calcular la altura total de BS1 y BS2 se utilizará las ecuaciones 1.11 y 1.12.

$$h_1 = H_1 + h_a \qquad \text{(Ecuación 1.11)}$$

$$h_2 = H_2 + h_b \qquad \text{(Ecuación 1.12)}$$

$h_1 = H_1 + h_a$

$h_1 = 259 + 40$

$h_1 = 299$ [m]

$h_2 = H_2 + h_b$

$h_2 = H_2 + h_b$

$$h_2 = 274 + 40$$

$$h_2 = 314 \text{ [m]}$$

$$h_{desp} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + 0{,}0785\frac{d_1 d_2}{k}\right)$$

$$h_{desp} = 299 + \frac{2{,}70}{9{,}66}(314 - 299) - \left(293{,}6 + 0{,}0785\frac{2{,}7 * 6{,}96}{\frac{4}{3}}\right)$$

$$h_{desp} = 299 + 4{,}19 - (293{,}6 + 1{,}11)$$

$$h_{des} = 8{,}48\ [m]$$

Para calcular el radio de la primera zona de Fresnel, se aplica la ecuación 1.9, en la tabla 3.11 se estableció la frecuencia en 5.8 GHz para un enlace punto a punto, por lo tanto la primera zona de Fresnel será:

$$r_{F1} = 547{,}72 * \sqrt{\frac{d_{1(km)} * d_{2(km)}}{f_{(MHz)} * d_{(km)}}} \qquad \text{(Ecuación 1.9)}$$

$$r_{F1} = 547{,}72 * \sqrt{\frac{2{,}7 * 6{,}96}{5800 * 9{,}66}}$$

$$r_{F1} = 10{,}03$$

Para calcular el margen de despeje se utiliza la ecuación 1.16.

$$M_D\% = \left(\frac{h_{des}}{r_{F1}}\right) x100 \qquad \text{(Ecuación 1.16)}$$

$$M_D\% = \left(\frac{8{,}48}{10{,}03}\right) x100$$

$$M_D\% = 85$$

La primera zona de Fresnel se encuentra liberada el 85 %, por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción.

PASO 4. Se determina las pérdidas por obstrucción en caso de que la primera zona de Fresnel no esté despejada mínimo el 60%. Para calcular las pérdidas por obstrucciones se utiliza las ecuaciones 1.17, 1.18 y 1.19.

$$\nu = \sqrt{2}\left(\frac{-h_{des}}{R_{F1}}\right) \qquad \text{(Ecuación 1.17)}$$

$$L_D(v) = 6{,}9 + 20log\left(\sqrt{(v-0{,}1)^2+1}+v-0{,}1\right)\text{[dB]} \;;\quad \text{si } v > -1 \qquad \text{(Ecuación 1.18)}$$

$$L_D(v) = 0 \quad ;\text{si } v < -1 \qquad \text{(Ecuación 1.19)}$$

PASO 5. Se determina las pérdidas de propagación en espacio libre aplicando la ecuación 1.1.

$$L_f(dB) = 32{,}45 + 20log_{10}(d)_{Km} + 20log_{10}(f)_{MHz} \qquad \text{Ecuación 1.1}$$

$$L_f = 32{,}4 + 20\log(9{,}66) + 20\log(5800)$$

$$L_f = 127{,}37\ [dB]$$

PASO 6. Se calcula la potencia de recepción a partir de la ecuación de balance de potencia (Ecuación 1.20).

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \qquad \text{(Ecuación 1.20)}$$

Donde:

P_{RX} = Potencia de recepción (dBm)

P_{TX} = Potencia de transmisión (dBm)

G_{TX} = Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

L_{TX} = Pérdida de la línea de transmisión (dB)

L_f = Pérdida en espacio libre (dB)

L_M = Pérdidas misceláneas (dB)

G_{RX}= Ganancia de la antena de recepción (dBi)

L_{RX} = Pérdida de la línea en el receptor (dB)

Para conectar el radio con la antena direccional o sectorial se utiliza un cable coaxial RG-58 y dos conectores tipo N, la pérdida en el cable coaxial por metro a una frecuencia de 5.8 GHz es de 0,7 dB /m [67], mientras las pérdidas en los conectores dependen de la calidad del conector usado y varían entre 0.1 y 0.5 dB [68].

Como el radio y la antena serán instalados en el exterior, se considera 1.5 m de cable para conectarlos, por lo tanto las pérdidas por transmisión serán de 1 dB

por cable coaxial y 1 dB por los dos conectores, teniendo un total de 2 dB por pérdidas en línea de transmisión.

Las pérdidas misceláneas son el resto de pérdidas que se pueden presentar en un radio enlace como por ejemplo pérdidas por polarización, para el diseño de la red no se considerará este tipo de pérdidas debido a que son despreciables.

La potencia de transmisión para un enlace punto a punto se estableció en 22 dBm con una ganancia de 28 dBi (ver tabla 3.10), por lo tanto la potencia de recepción es:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

$$P_{RX} = 22 + 28 - 2 - 127{,}37 - 0 + 28 - 2$$

$$P_{RX} = -53{,}37\ [dBm]$$

PASO 7. Se determina el margen de desvanecimiento con la ecuación 1.21; la sensibilidad para un enlace punto a punto se estableció en -75 dBm (ver tabla 3.10), por lo tanto el margen de desvanecimiento es:

$$MD = P_{RX} - U_{RX} \qquad \text{(Ecuación 1.21)}$$

$$MD = -53{,}37 - (-75)$$

$$MD = 21{,}63\ [dB]$$

PASO 8. Se determina la indisponibilidad y confiablidad del radioenlace aplicando la ecuación 1.22 y 1.23.

$$Undp = 2{,}5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10} \qquad \text{(Ecuación 1.22)}$$

$$C = (1 - Undp) * 100 \qquad \text{(Ecuación 1.23)}$$

Donde:

Undp = tiempo de indisponibilidad del sistema en un año

C = confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f = frecuencia de la portadora [GHz]

D= distancia entre transmisor y receptor [millas]

MD = margen de desvanecimiento [dB]

a = factor geográfico [adimensional]

$$a = \begin{Bmatrix} 4 & sobre\ agua\ o\ sobre\ un\ terreno\ muy\ liso \\ 1 & sobre\ un\ terreno\ promedio \\ 0{,}25 & sobre\ un\ terreno\ muy\ áspero\ y\ montañoso \end{Bmatrix}$$

b = factor climático [adimensional]

$$b = \begin{Bmatrix} 0{,}5 & región\ costera, calído, áreas\ humedas \\ 0{,}25 & región\ interior, temperatura\ moderada \\ 0{,}125 & región\ montañosa\ o\ muy\ seca \end{Bmatrix}$$

En el capítulo 2 se describe a Shushufindi como una extensa llanura con clima muy húmedo, por lo tanto los factores geográficos y climáticos son:

a = 1 sobre un terreno promedio

b = 0,5 región costera, cálido, áreas húmedas.

Indisponibilidad:

$$Undp = 2{,}5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10}$$

$$Undp = 2{,}5 * 1 * 0{,}5 * 10^{-6} * 5{,}8 * \left(\frac{9{,}66}{1{,}609}\right)^3 * 10^{-21{,}63/10}$$

$$Undp = 10{,}779565 * 10^{-6}\ [Año]$$

$$Undp = 10{,}779565 * 10^{-6} * 365 * 24 * 60 * 60\ [segundos]$$

$$Undp = 340\ [segundos]$$

Por lo tanto el enlace no estará disponible 340 segundos en un año de funcionamiento.

Confiabilidad:

$$C = (1 - Undp) * 100$$

$$C = (1 - 10{,}779565 * 10^{-6}) * 100$$

$$C = 99{,}9989\ \%$$

PASO 9. Se determina la EIRP, el nivel de voltaje recibido por el receptor y la intensidad de campo eléctrico, así:

EIRP: Aplicando la ecuación 1.24 se tiene:

$$EIRP_{(W)} = P_{ent(W)} * A_t \qquad \text{(Ecuación 1.24)}$$

$$P_{ent(dBm)} = P_{TX\,(dBm)} - L_{TX(dB)}$$

$$P_{ent(dBm)} = 22 - 2 = 20$$

$$P_{ent(W)} = 0{,}001 * antilog\left(\frac{P_{ent(dBm)}}{10}\right)$$

$$P_{ent(W)} = 0{,}001 * antilog\left(\frac{20}{10}\right)$$

$$P_{ent(W)} = 0{,}100$$

$$A_t = antilog\left(\frac{A_{t(dBi)}}{10}\right)$$

$$A_t = antilog\left(\frac{28}{10}\right)$$

$$A_t = 630{,}96$$

$$EIRP_{(W)} = 0{,}100 * 630{,}96$$

$$EIRP_{(W)} = 63{,}10$$

Nivel de voltaje recibido por el receptor. Aplicando la ley de Ohm, se tiene:

$$P_{RX} = \frac{{V_{RX}}^2}{R}$$

Donde:

$P_{RX} =$ Potencia de recepción [W]

$V_{RX} =$ Nivel de voltaje [v]

R = Impedancia nominal de la antena [Ω]

$$V_{RX} = \sqrt{P_{RT(w)} * R_{(\Omega)}}$$

$$P_{RX(W)} = 0{,}001 * antilog\left(\frac{P_{RX(dBm)}}{10}\right)$$

$$P_{RX(W)} = 0{,}001 * antilog\left(\frac{-53{,}37}{10}\right)$$

$$P_{RX(W)} = 4{,}60X10^{-9}$$

$$V_R = \sqrt{4{,}60X10^{-9} * 50}$$

$$V_{R(\mu V)} = 479{,}72$$

Intensidad de campo eléctrico: Utilizando la ecuación 1.25, se tiene:

$$E_{dB(\mu V/m)} = EIRP_{(dBW)} - 20\log(d)_{km} + 74{,}8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10\log(EIRP_{(W)}) - 20\log(d)_{km} + 74{,}8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10\log(63{,}10) - 20\log(9{,}66) + 74{,}8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 73{,}10$$

PASO 10. Finalmente se alinean las antenas de transmisión y recepción, para ello se determina el ángulo de elevación, apuntamiento y azimut con la ecuaciones 1.26, 1.27 y 1.28.

Ángulo de elevación:

$$\propto = tan^{-1}\frac{\Delta H}{D} \qquad \text{(Ecuación 1.26)}$$

Donde:

$\Delta H =$ Diferencia de alturas

$D =$ Distancia total

$H_1 = 299$ [m]

$H_2 = 314$ [m]

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

$$\Delta H = 299 - 312$$

$$\Delta H = 15\,m$$

$$D = 9660\,m$$

$$\propto = tan^{-1}\frac{15}{9660}$$

$$\propto = 0{,}044°$$

Ángulo de apuntamiento:

$$\theta = arctan\left(\frac{\Delta latitud}{\Delta longitud}\right)$$

$$\theta = arctan\left(\frac{0.075753}{-0.04285}\right)$$

$$\theta = -60{,}51°$$

Azimut:

$$Azimut_{BS1} = 270° + |\theta|$$

$$Azimut_{BS1} = 270° + 60{,}51°$$

$$Azimut_{BS1} = 330{,}51°$$

$$Azimut_{BS2} = 90° + |\theta|$$

$$Azimut_{BS2} = 90° + 60{,}51°$$

$$Azimut_{BS1} = 150{,}51°$$

3.3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO TEÓRICO Y DEL SOFTWARE RADIO MOBILE

El software Radio Mobile permite obtener resultados de enlace de forma muy rápida, los datos que el usuario debe introducir son:

- ✓ Ubicación del transmisor y receptor, está expresada en longitud y latitud.
- ✓ Rango de frecuencia de operación en MHz.
- ✓ Polarización de la antena, ya sea vertical u horizontal.
- ✓ Potencia de transmisión en Watt o dBm.
- ✓ Sensibilidad de equipo receptor en dBm.
- ✓ Pérdidas por líneas de transmisión.
- ✓ Tipo de Antena, ya sea omnidireccional o direccional.
- ✓ Ganancia de antena en dBi, tanto para el transmisor y receptor.
- ✓ Altura de la torre en metros, para transmisor y receptor.

Para más detalles de la forma de utilizar el software Radio Mobile, se dispone en el Anexo B del manual de usuario.

Luego de introducir estos datos se obtiene una ventana donde está el perfil topográfico entre el transmisor y receptor, además presenta los resultados del enlace.

Para explicar los resultados del software Radio Mobile se presenta como ejemplo en la figura 3.14, el enlace entre la radio base BS1 y BS2.

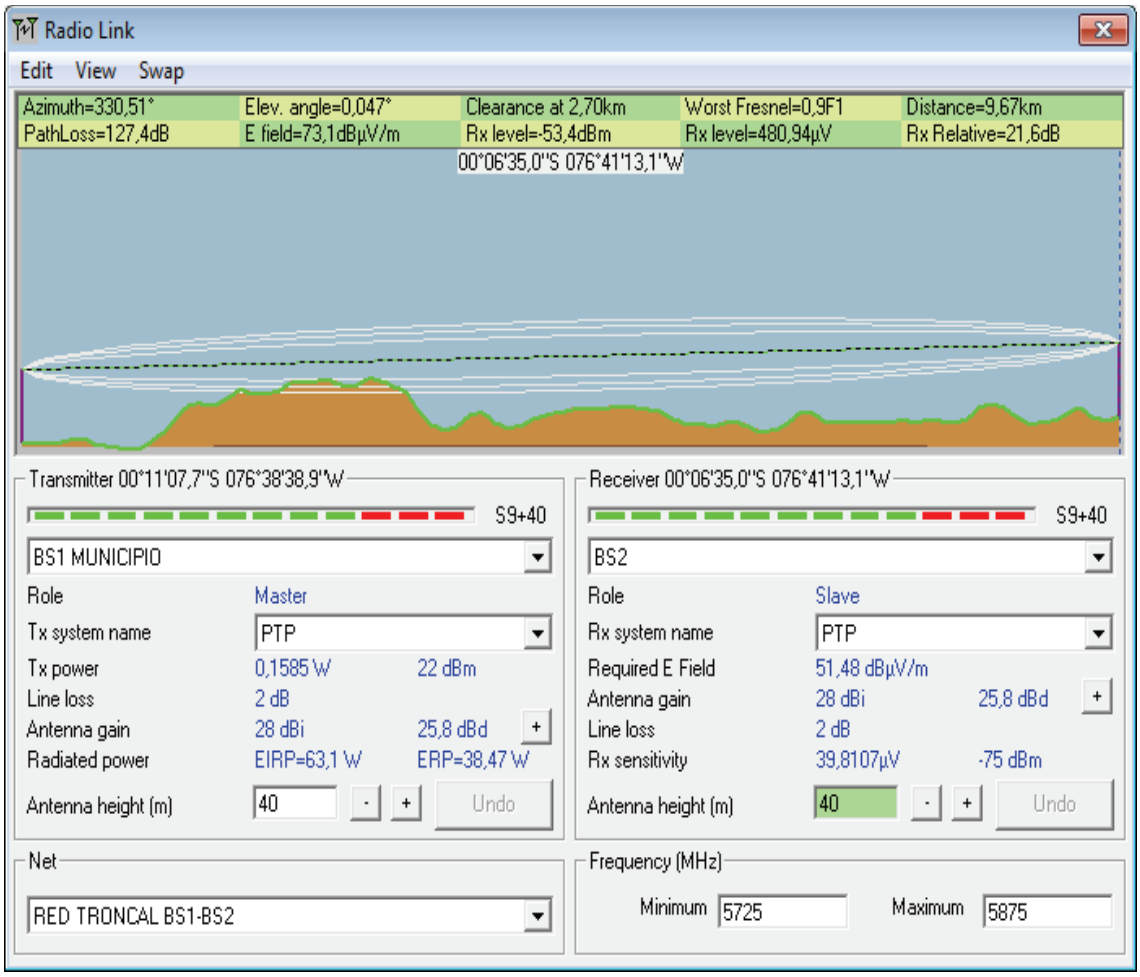


Figura 3.14 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS2

En la parte inferior izquierda de la figura 3.14, están los datos ingresados para el transmisor (BS1) y éstos son:

- ✓ Ubicación (*Transmitter*): Latitud = 00°11'07,7''S.

  Longitud= 076°38'38,9''W.
- ✓ Potencia de transmisión (*Tx power*) = 0,1585 W o 22 dBm.
- ✓ Pérdidas por línea de transmisión (*Line loss*)= 2dB.
- ✓ Ganancia de antena (*Antenna gain*) = 28 dBi o 25,8 dBd.
- ✓ Potencia isotrópica efectiva irradiada "EIRP" (*Radiated power*) = 63,1 W.
- ✓ Altura de la antena (*Antenna height*) = 40 m.

Los datos ingresados para el receptor (BS2) están ubicados en la parte inferior derecha de la figura 3.14 y son:

- ✓ Ubicación (*Receiver*): Latitud = 00°’06’35,7’’S.

  Longitud= 076°41’13,1’’W.

- ✓ Intensidad de campo eléctrico requerido (*Required E field*)= 51,48 dBμVm.
- ✓ Ganancia de antena (*Antenna gain*) = 28 dBi o 25,8 dBd.
- ✓ Pérdidas por línea de transmisión (*Line loss*)= 2dB.
- ✓ Sensibilidad del equipo (*Rx sensitivity*)= -75dBm.
- ✓ Altura de la antena (*Antenna height*) = 40 m.

El rango de frecuencia de operación se encuentra en la parte inferior derecha, en este caso será de 5725 – 5875 MHz.

En la parte superior de la figura 3.14 se observa los siguientes resultados:

- ✓ Azimut= 330,51.
- ✓ Pérdidas por espacio libre (*Path Loss*) = 127, 4 dB.
- ✓ Ángulo de elevación (Elev. angle) = 0,047°.
- ✓ Intensidad de campo eléctrico (*E field*)= 73,1 dBμVm.
- ✓ Distancia a la cumbre más elevada (*Clearance*) = 2,7 Km.
- ✓ Potencia de recepción (*Rx level*) = -53,4 dBm.
- ✓ Margen de despeje (*Worst Fresnel*) = 0,9.
- ✓ Nivel de voltaje recibido en el receptor (*Rx level*) = 480,94 μV.
- ✓ Distancia entre las dos radios bases (*Distance*) = 9,67 Km.
- ✓ Margen de desvanecimiento (*Rx Relative*) = 21,6 dB.

En la figura 3.14 se observa una barra de menú, al entrar en la opción *View, Details,* se genera un resumen de los datos anteriores, como se observa en la figura 3.15.

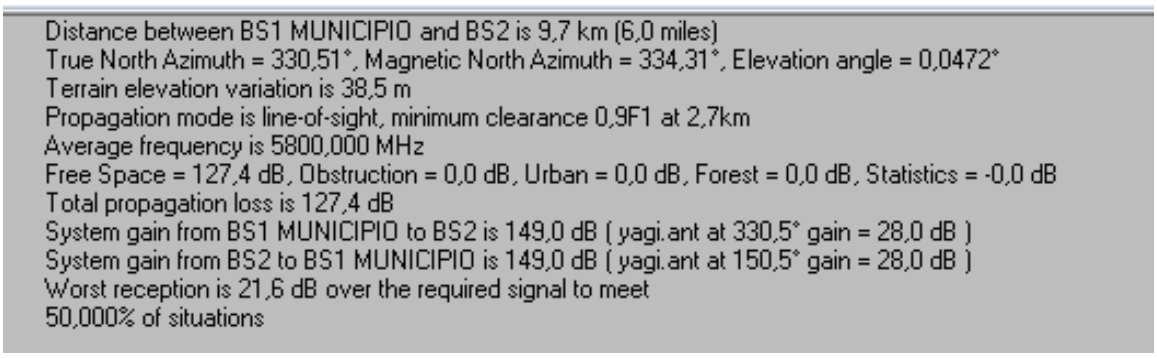


Figura 3.15 Resultados del radioenlace BS1 – BS2

Para validar los resultados obtenidos con el software Radio Mobile se compara con el modelo teórico, estos datos se observan en la tabla 3.16.

PARÁMETRO	CÁLCULO TEÓRICO	SOFTWARE RADIO MOBILE	ERROR %
Distancia de enlace "D" [Km]	9,66	9,67	0,10
Ángulo de elevación BS1- BS2 [º]	0,047	0,047	0
Azimut BS1-BS2 [º]	330,51	330,51	0
Azimut BS2-BS1 [º]	150,51	150,51	0
Altura de despeje "hdes" [m]	8,48	8,54	0,71
Margen de despeje "Hdes/RF1"	0,85	0,9	5,88
Pérdidas en espacio libre "Lf" [dB]	127,37	127,4	0,02
Pérdidas por obstrucción "LD(v)" [dB]	0,00	0,00	0,00
Potencia de recepción "P_{RX}" [dBm]	-53,37	-49,4	0,06
Margen de desvanecimiento "MD" [dB]	21,63	21,64	0,04
Potencia isotrópica efectiva irradiada "EIRP" [w]	63,10	63,1	0,00
Nivel de voltaje recibido en el receptor "V_{RX}" [μV]	479,72	480,94	0,26
Intensidad de campo eléctrico "E" [dB(μV/m)]	73,10	73,1	0

Tabla 3.16 Comparación entre el cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio Mobile

Como se observa en la tabla 3.16 los errores entre el cálculo teórico y los resultados de Radio Mobile no superan el 1% excepto en el margen de despeje, esto se debe a que el software trabaja con una cifra decimal, si se redondea el valor teórico el error será del 0 %.

Por lo tanto se valida los resultados del software Radio Mobile y se procede a simular el resto de radioenlaces del diseño. En el Anexo C se presenta una comparación entre los cálculos teóricos y Radio Mobile para todos los enlaces.

3.4 RED DE ACCESO

La red de acceso constituye cada uno de los enlaces entre una escuela y la correspondiente radio base, para ello se instalará 3 antenas sectoriales de 120°

en la radio base, logrando un radio de cobertura aproximado de 10 Km con los parámetros descritos en la tabla 3.10. Por lo tanto en cada radio base existirán 3 *access point* para los enlaces punto a multipunto

Anteriormente en la tabla 3.14 se asoció las escuelas con las diferentes radio bases, el objetivo es tener línea de vista y que la distancia no supere los 10 Km para tener un enlace estable.

El propósito principal de la red de acceso es aportar un medio de conexión al usuario final hacia la red, los usuarios se conectarán a la red a través de un *switch* de acceso que se instalará en cada una de las instituciones educativas, la figura 3.16 representa la topología de la red de acceso.

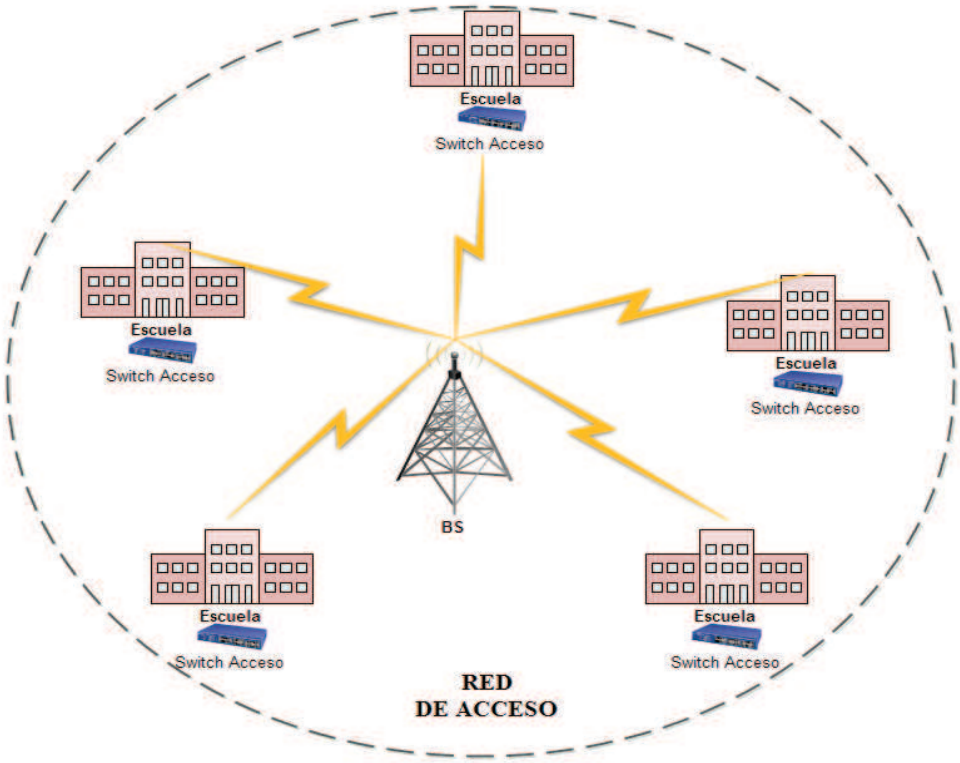


Figura 3.16 Topografía de red de acceso

A continuación se procede a diseñar las diferentes redes de acceso.

3.4.1.1 Red de acceso BS1

La radio base BS1 está ubicada en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi y asocia a 17 instituciones educativas, su topología se observa en la figura 3.17.

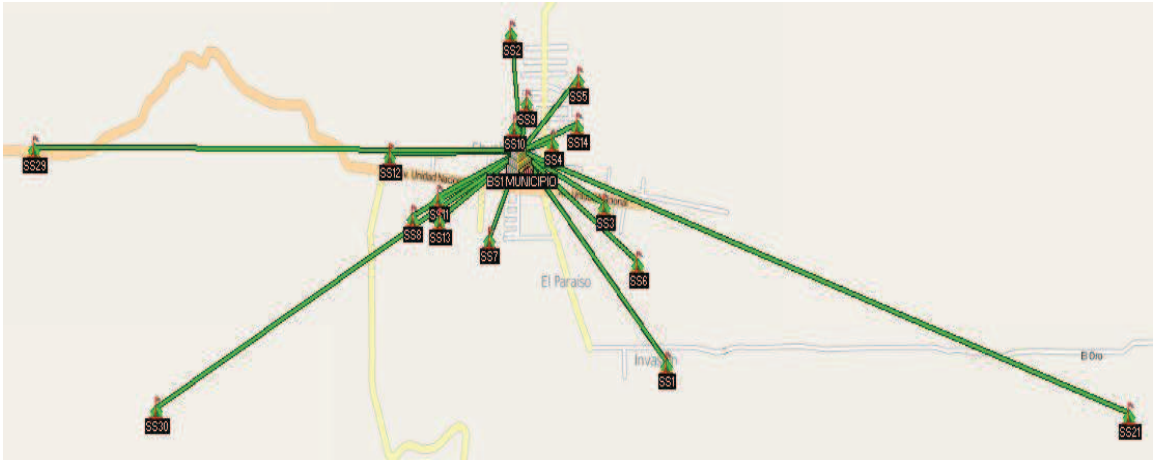


Figura 3.17 Topografía de red de acceso BS1

Cada institución educativa requiere diferentes velocidades de transmisión porque no tienen el mismo número de computadores, en la tabla 3.17 se realiza un resumen de las velocidades de transmisión que cada una de las 17 instituciones necesita para transmitir hacia la radio base BS1.

INST. EDUCAT.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS1	11	280	3	1,20	2	50%	1,67	31,20	0,00	1,70
SS2	17	280	7	1,20	2	50%	3,29	31,20	0,00	3,32
SS3	58	280	16	1,20	2	50%	8,86	31,20	0,00	8,89
SS4	68	280	14	1,20	2	50%	8,96	31,20	0,00	8,99
SS5	23	280	7	1,20	2	50%	3,71	31,20	0,00	3,74
SS6	28	280	8	1,20	2	50%	4,36	31,20	0,00	4,39
SS7	30	280	8	1,20	2	50%	4,50	31,20	0,00	4,53
SS8	35	280	15	1,20	2	50%	6,95	31,20	0,00	6,98
SS9	136	280	28	1,20	2	50%	17,92	31,20	3730,00	21,68
SS10	63	280	25	1,20	2	50%	11,91	31,20	0,00	11,94
SS11	47	280	10	1,20	2	50%	6,29	31,20	0,00	6,32
SS12	21	280	5	1,20	2	50%	2,97	31,20	0,00	3,00
SS13	12	280	3	1,20	2	50%	1,74	31,20	0,00	1,77
SS14	126	280	25	1,20	2	50%	16,32	31,20	0,00	16,35
SS21	6	280	3	1,20	2	50%	1,32	31,20	0,00	1,35
SS29	12	280	4	1,20	2	50%	2,04	31,20	0,00	2,07
SS30	6	280	3	1,20	2	50%	1,32	31,20	0,00	1,35
TOTAL	**699**		**184**				**104,13**	**530,40**	**3730,00**	**108,39**

Tabla 3.17 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS1

El Colegio Técnico Nacional Shushufindi (SS9), es la institución fiscal más grande e importante del cantón Shushufindi, por esta razón contará con el servicio de videollamada, además tiene infraestructura civil necesaria para su implementación.

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red.

3.4.1.1.1 *Enlace de acceso BS1-SS1*

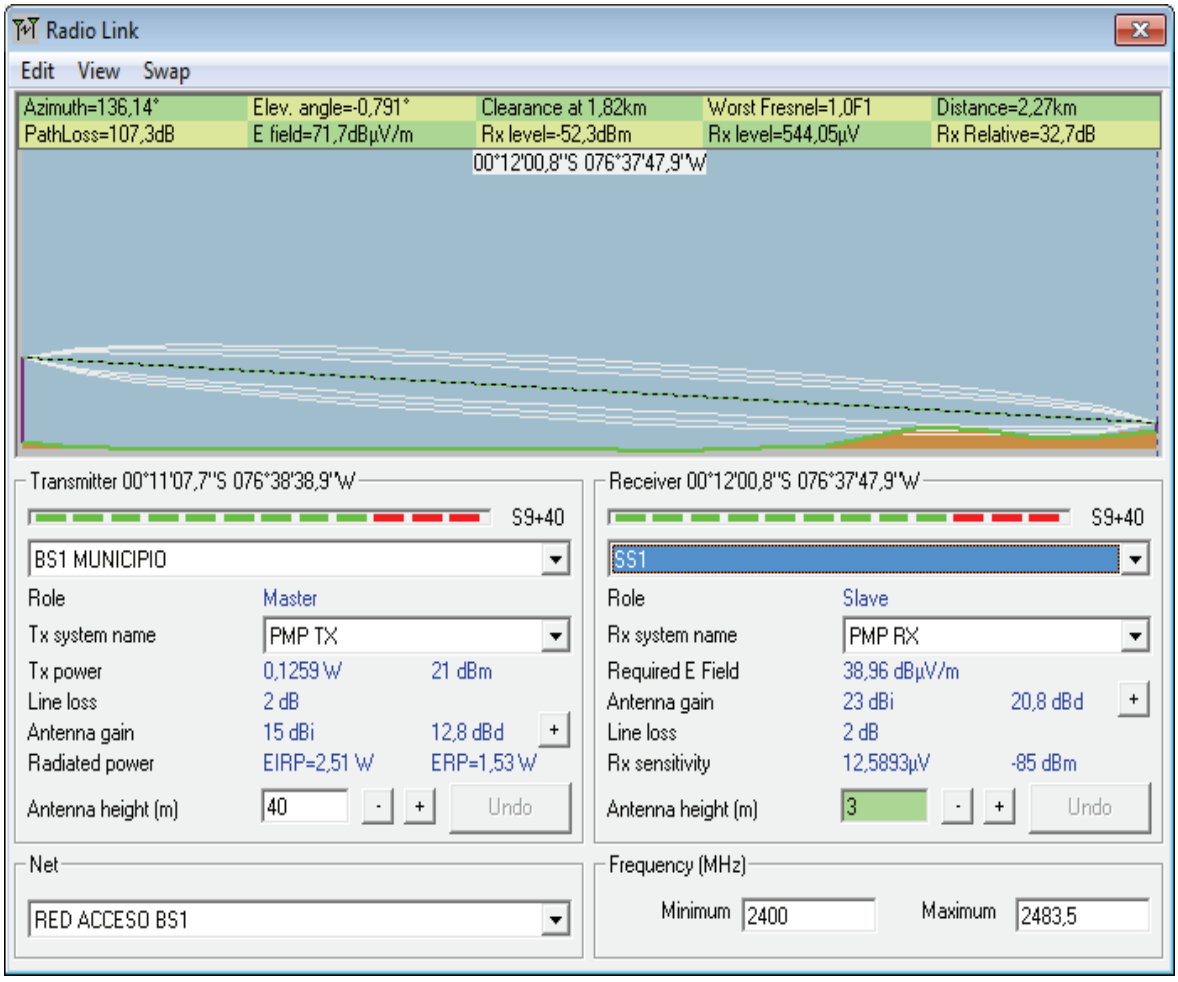


Figura 3.18 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS1

De la figura 3.18 se observa que la escuela SS1 se encuentra a 2.27 Km de distancia desde la radio base BS1, la altura de antena en la escuela debe ser colocada a una distancia igual o superior a los 3 metros para tener línea de vista, el margen de despeje es del 100% por lo que no existe pérdidas por obstrucción, el margen de desvanecimiento es de 32.7 dB por lo que el equipo receptor es capaz de recibir la señal emitida por el transmisor.

3.4.1.1.2 *Enlace de acceso BS1-SS2*

En la figura 3.19 se observa el perfil para el enlace de acceso BS1-SS2, el cual es una extensa llanura, no existe ninguna obstrucción, tiene un margen de despeje del 380%, la distancia del enlace es de 940 metros, la altura de la antena de recepción debe ser colocada a 3 metros, además se tiene 40,3 dB de margen de desvanecimiento por lo que es un enlace muy estable.

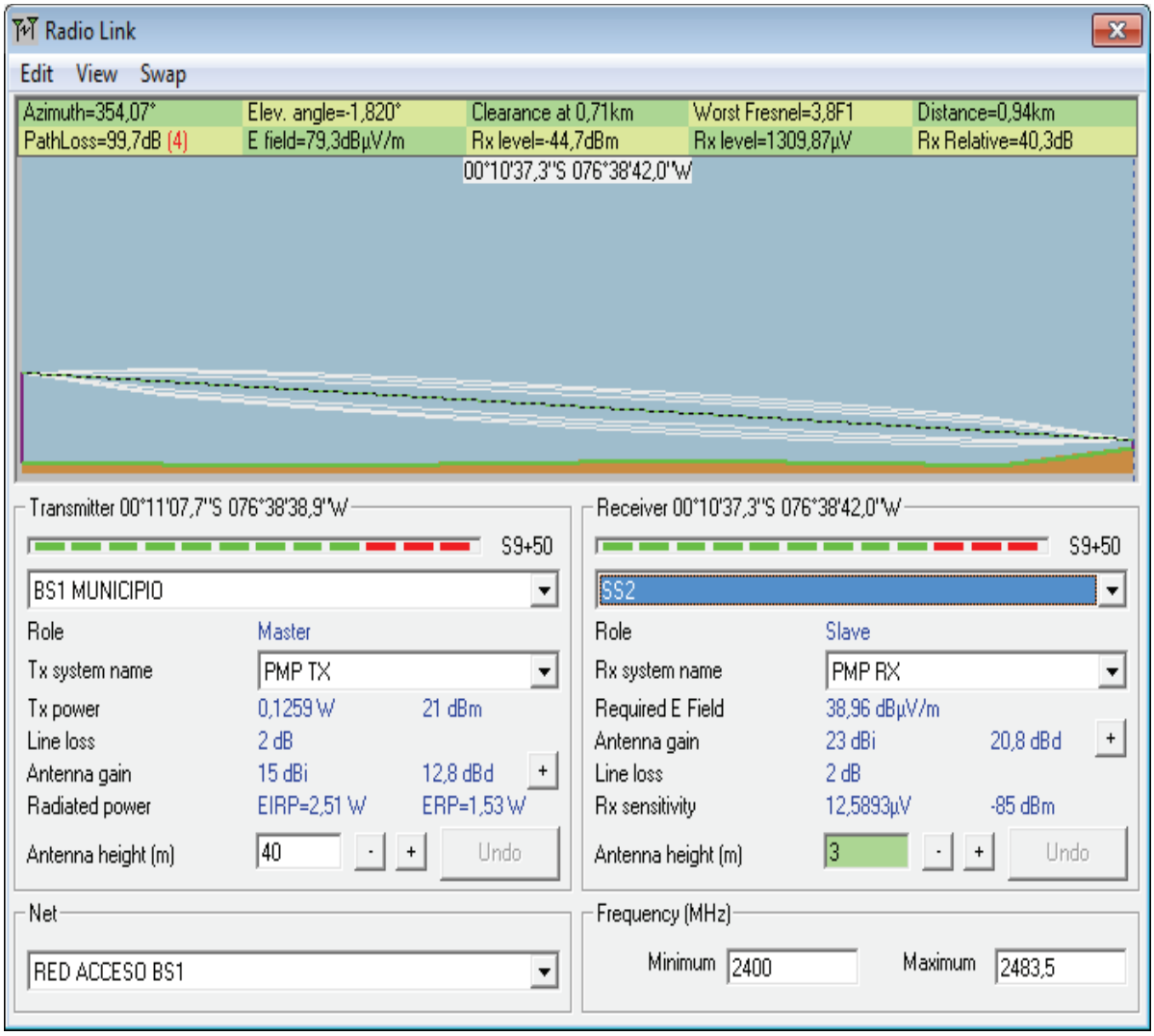


Figura 3.19 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS2

3.4.1.1.3 *Enlace de acceso BS1-SS3*

En el enlace de acceso BS1-BS3 que se observa en la figura 3.20, tiene 1 km de distancia, un margen de despeje del 340%, por lo tanto no existe perdidas por obstrucción, con una altura de 3 metros en la escuela SS3 se consigue línea de vista.

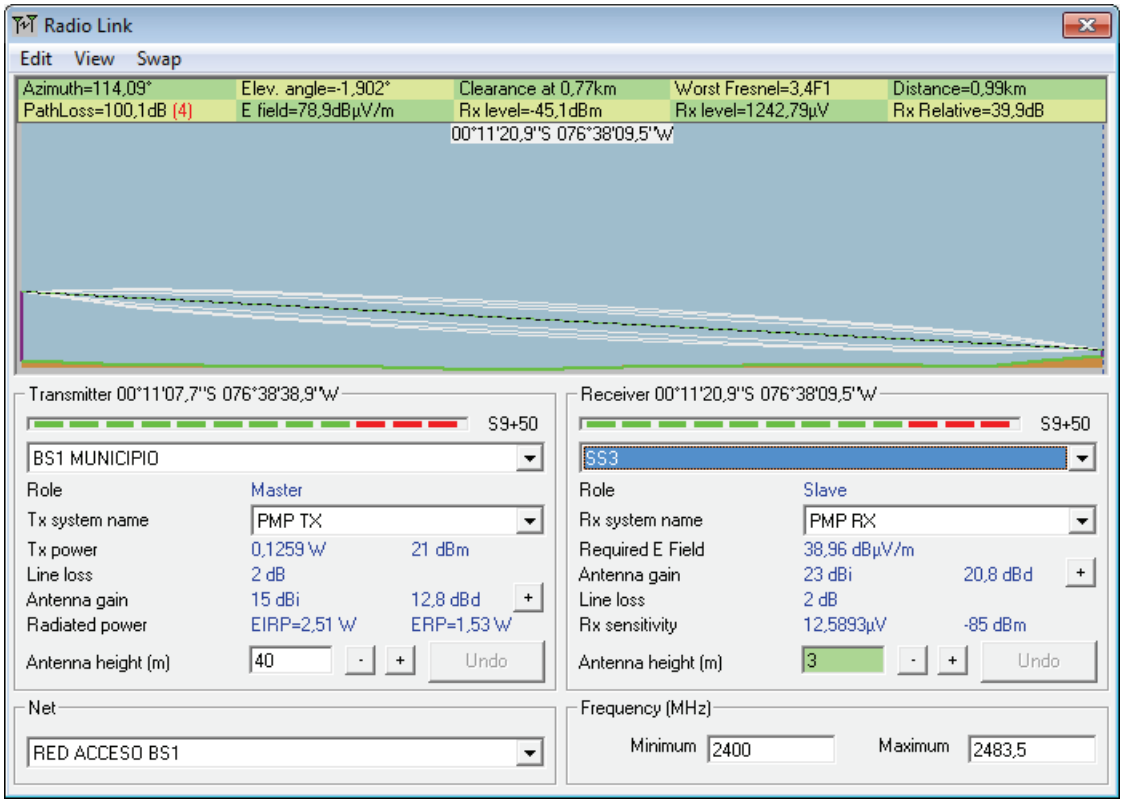


Figura 3.20 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS3

3.4.1.1.4 *Enlace de acceso BS1-SS4*

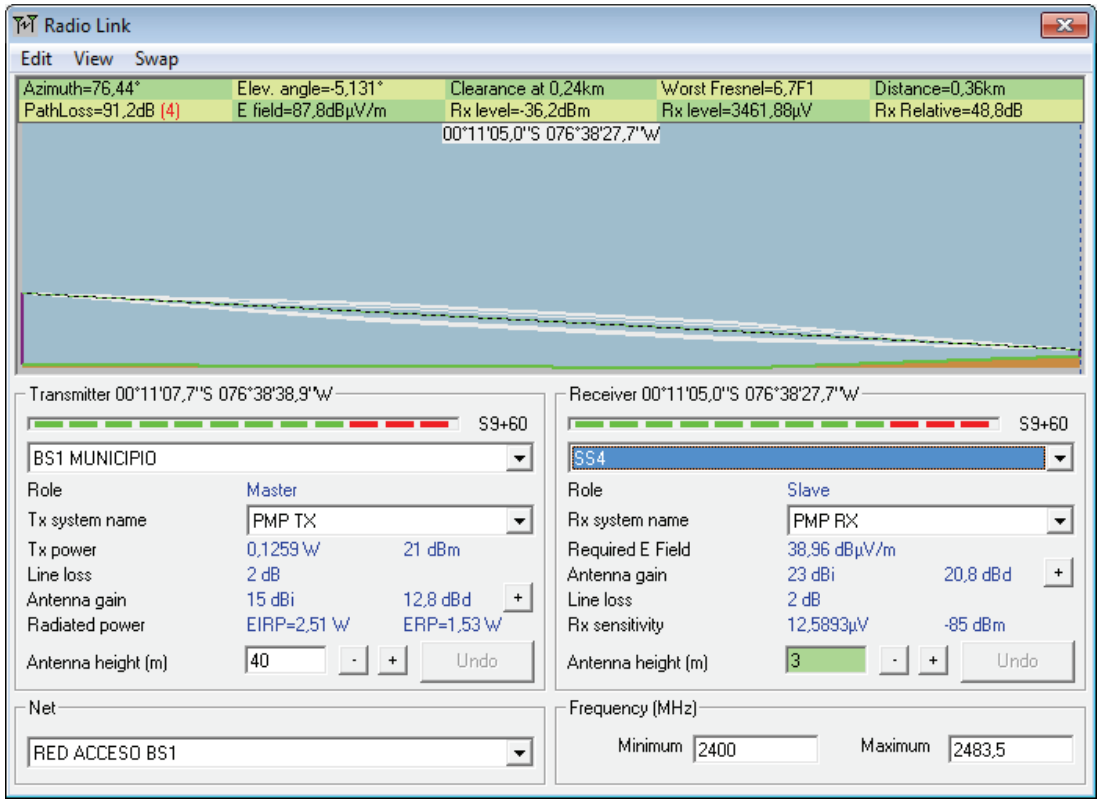


Figura 3.21 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS4

La escuela SS4 se encuentra muy cercana de la radio base BS1, está ubicada a 360 metros como se observa en la figura 3.21, con una altura de 3 metros se consigue obtener línea de vista, se tiene un enlace muy estable por tener un margen de despeje de 48.8 dB.

3.4.1.1.5 *Enlace de acceso BS1-SS5*

En la figura 3.22 se observa que la escuela SS5 se encuentra a 850 metros de distancia desde la radio base BS1, para conseguir línea de vista se debe colocar la antena receptora a una altura de 3 metros, por estar a una distancia cercana se obtiene un margen de desvanecimiento de 41.2 dB, lo que garantiza la estabilidad del enlace.

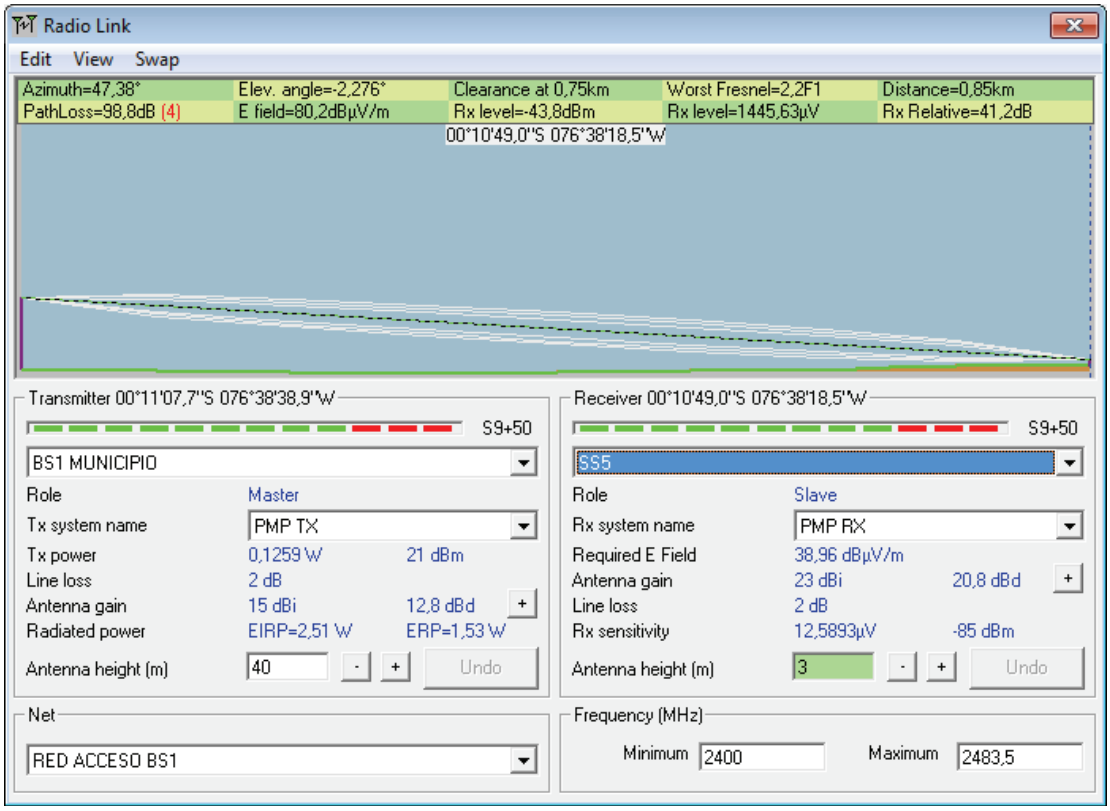


Figura 3.22 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS5

3.4.1.1.6 *Enlace de acceso BS1-SS6*

El enlace de acceso para la escuela SS6 y BS1 está libre de pérdidas por obstrucción por tener un margen de despeje de 380%, la distancia para el enlace es de 1.53 Km, para tener línea de vista se debe colocar la antena receptora a una altura de 3 metros.

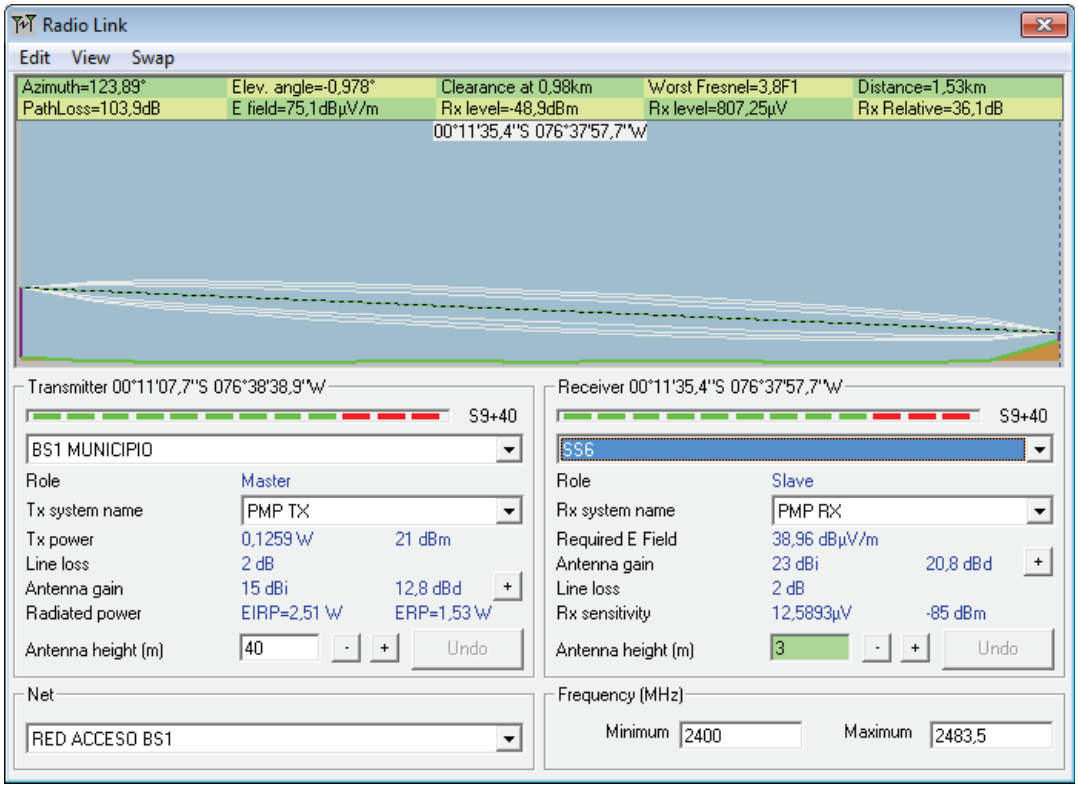


Figura 3.23 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS6

3.4.1.1.7 *Enlace de acceso BS1-SS7*

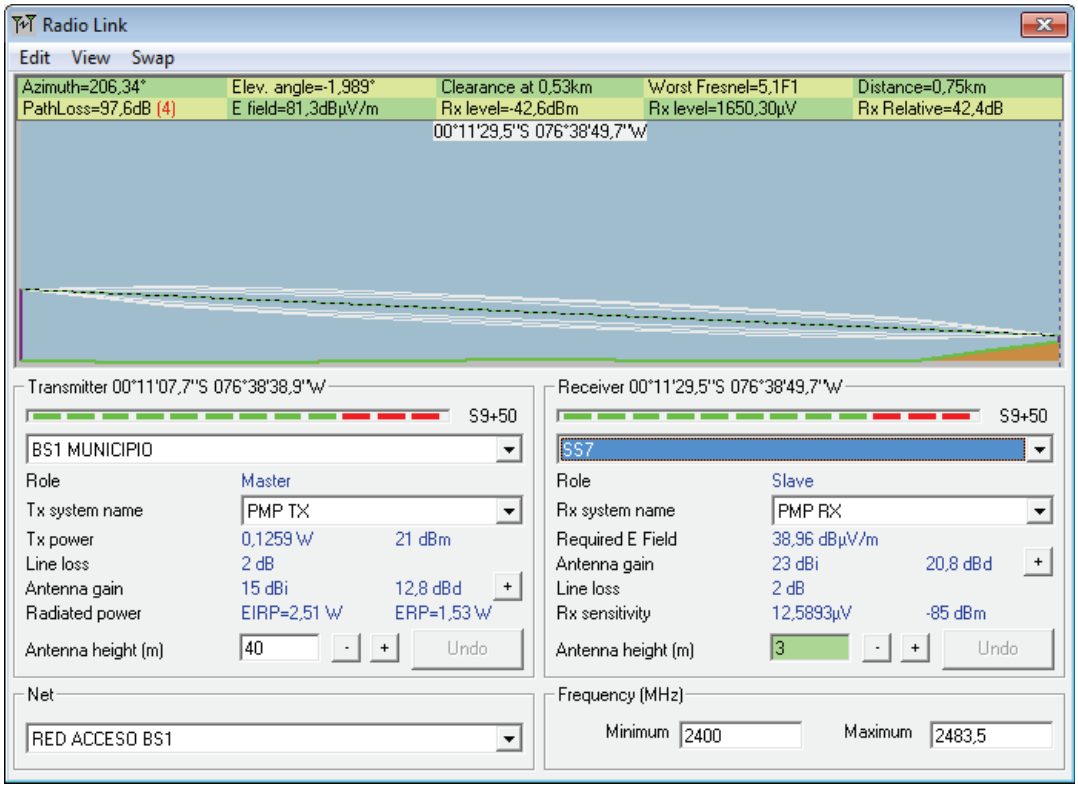


Figura 3.24 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS7

La escuela SS7 se encuentra a menos de un 1 Km desde la radio base BS1, en el perfil del enlace no presenta elevaciones que causen pérdidas por obstrucción, para tener línea de vista se debe colocar la antena en la escuela a una altura de 3 metros, el enlace es estable porque tiene un margen de despeje de 42.4 dB.

3.4.1.1.8 *Enlace de acceso BS1-SS8*

En la figura 3.25 se observa que la distancia para el enlace de acceso BS1-SS8 es de 1.26 Km, se obtiene línea de vista de una manera muy simple debido que el perfil topográfico no tiene elevaciones, la antena en la escuela debe ser colocada a una altura de 3 metros, el enlace es estable por tener una margen de desvanecimiento de 37,8 dB.

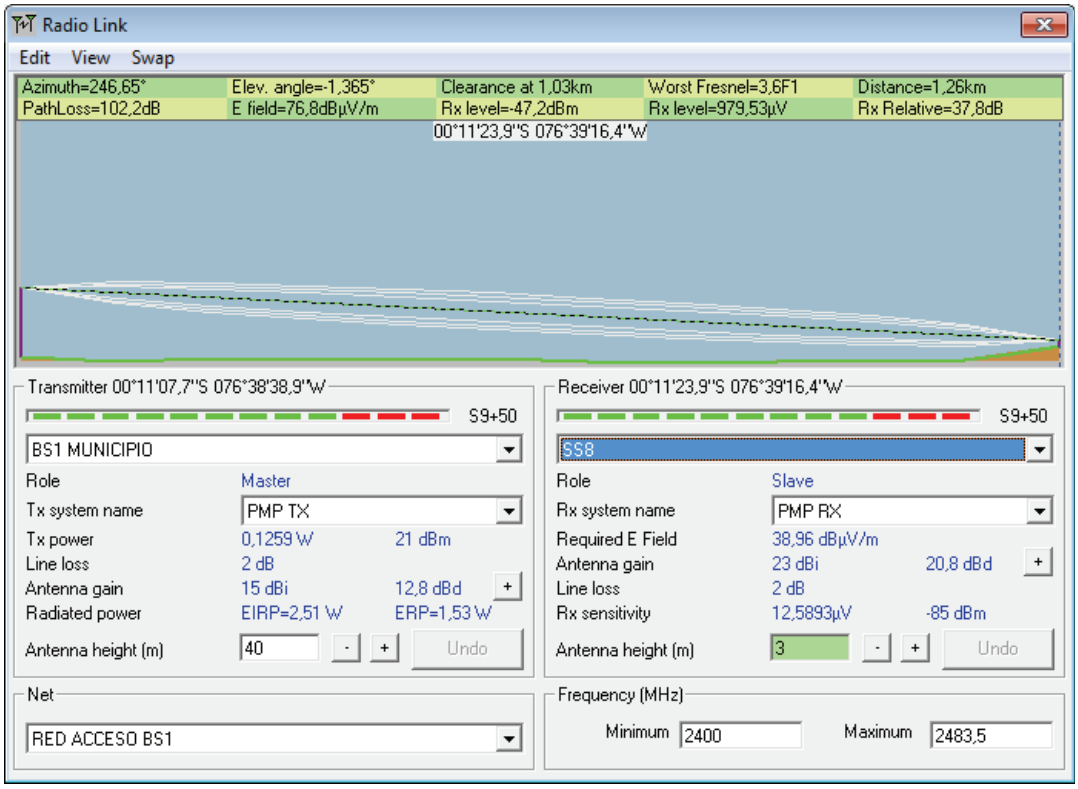


Figura 3.25 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS8

3.4.1.1.9 *Enlace de acceso BS1-SS9*

La escuela SS9 se encuentra muy próxima a la radio base BS9, está a una distancia de 441 metros, a esta distancia el enlace es muy estable por tener un margen de desvanecimiento de 47.7 dB, para tener línea de vista la antena receptora debe estar ubicada a 3 metros de altura.

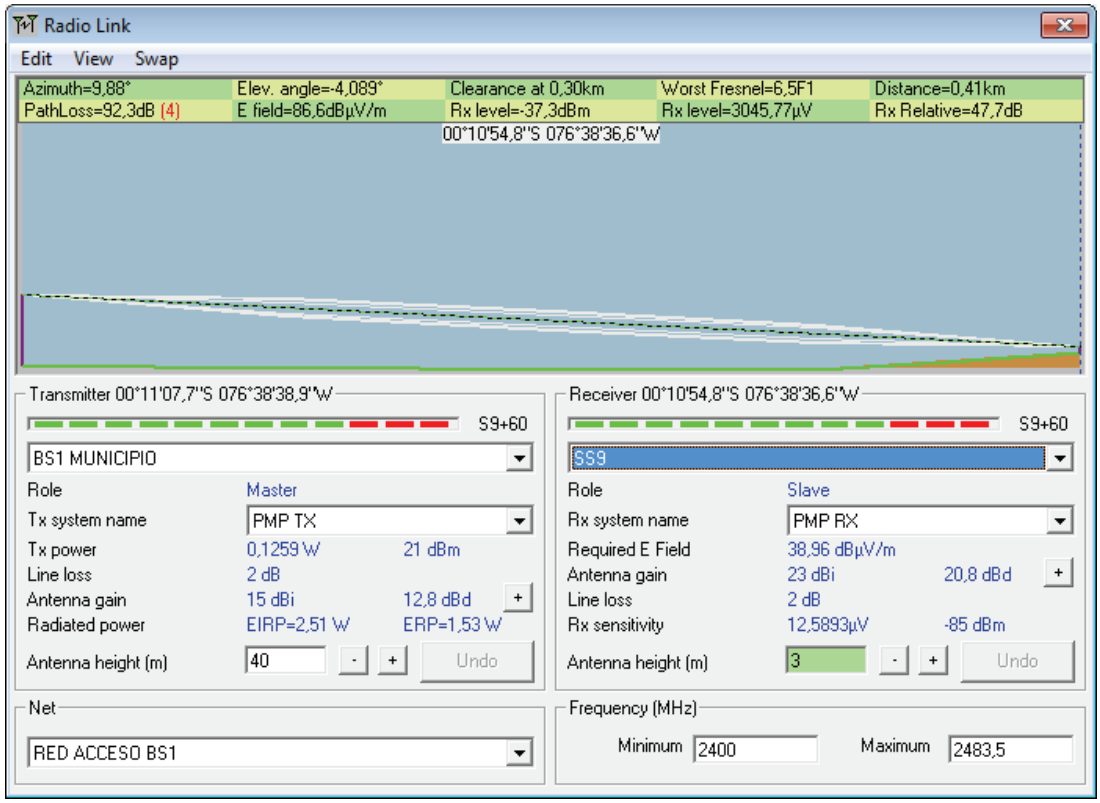


Figura 3.26 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS9

3.4.1.1.10 *Enlace de acceso BS1-SS10*

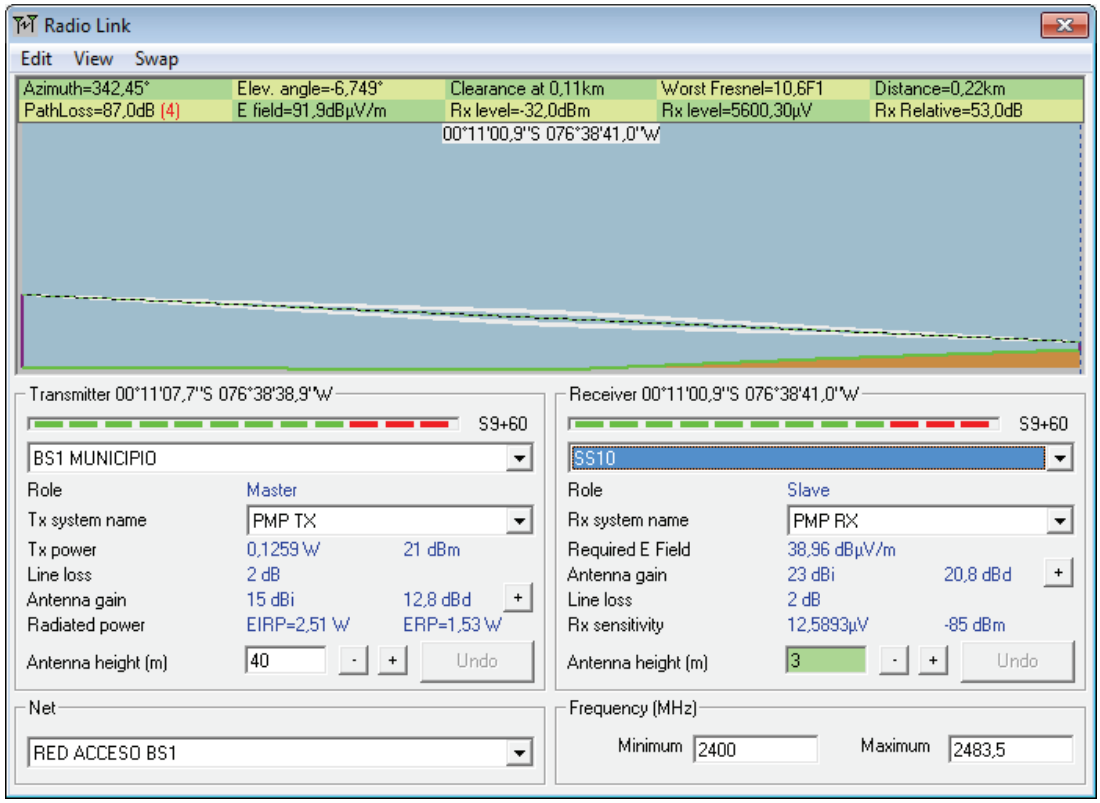


Figura 3.27 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS10

En la figura 3.27 se observa el enlace entre la escuela SS10 y la radio BS1, el cual tiene una distancia de 220 metros, además se obtiene línea de vista de una manera muy simple debido que no existe obstrucción por cumbre, éste enlace es muy estable por tener una distancia muy corta y no existir pérdidas por obstrucción.

3.4.1.1.11 *Enlace de acceso BS1-SS11*

En la figura 3.28 se tiene los resultados para el enlace BS1-SS11, este enlace presenta una distancia de 950 metros, un margen de despeje del 470% por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción, el enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 40.3 dB.

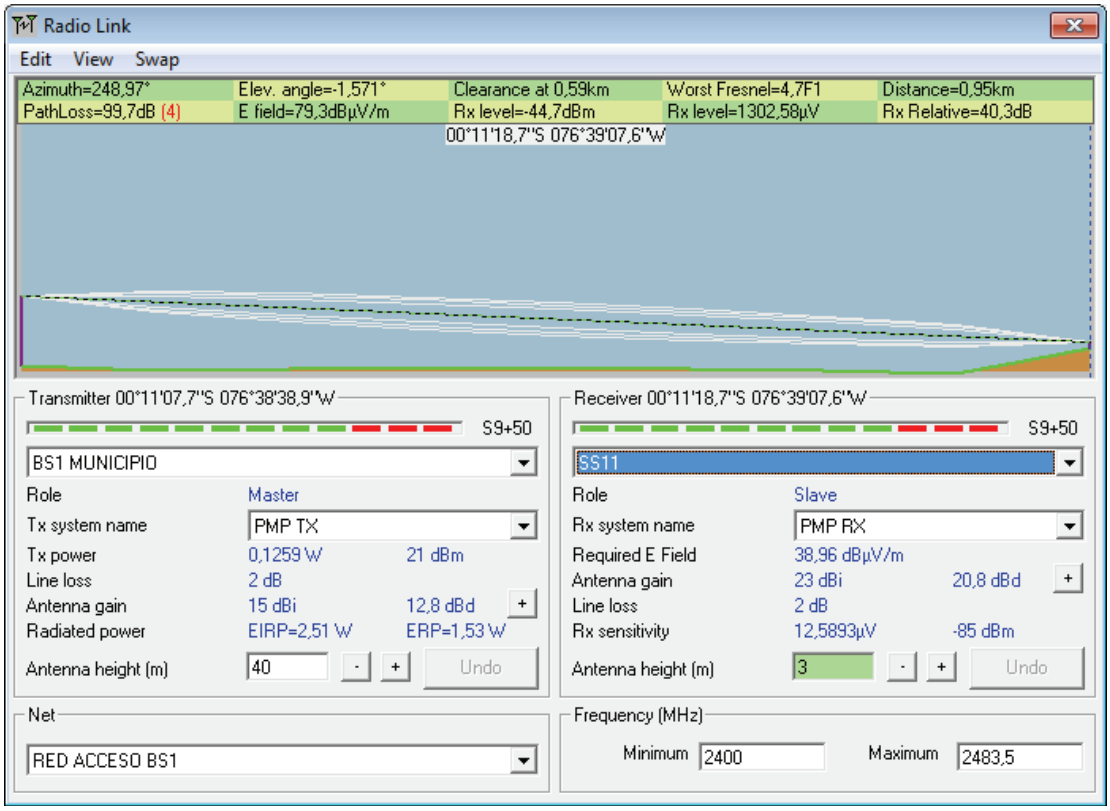


Figura 3.28 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS11

3.4.1.1.12 *Enlace de acceso BS1-SS12*

El enlaces BS1-SS12 tiene una distancia de 1.4 Km, el perfil topográfico es una llanura por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción, para tener línea de vista la altura de la antena debe estar colocada a 3 metros de altura, el enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 36.9 dB.

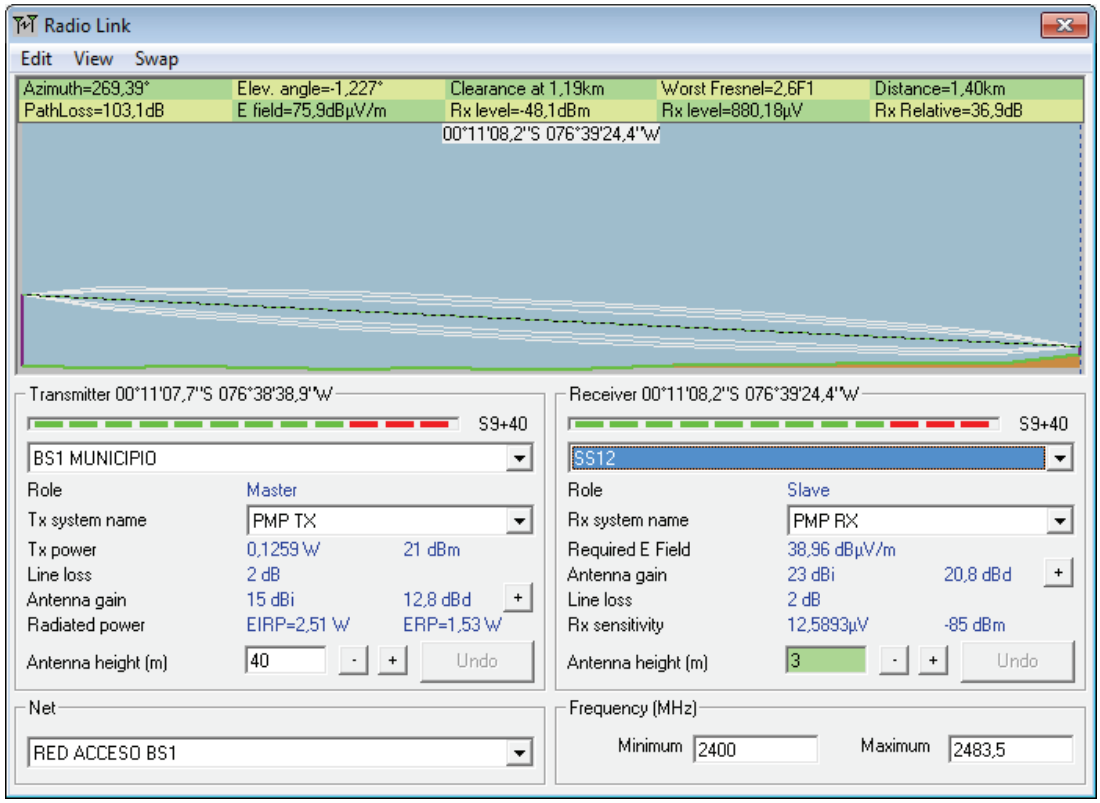


Figura 3.29 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS12

3.4.1.1.13 *Enlace de acceso BS1-SS13*

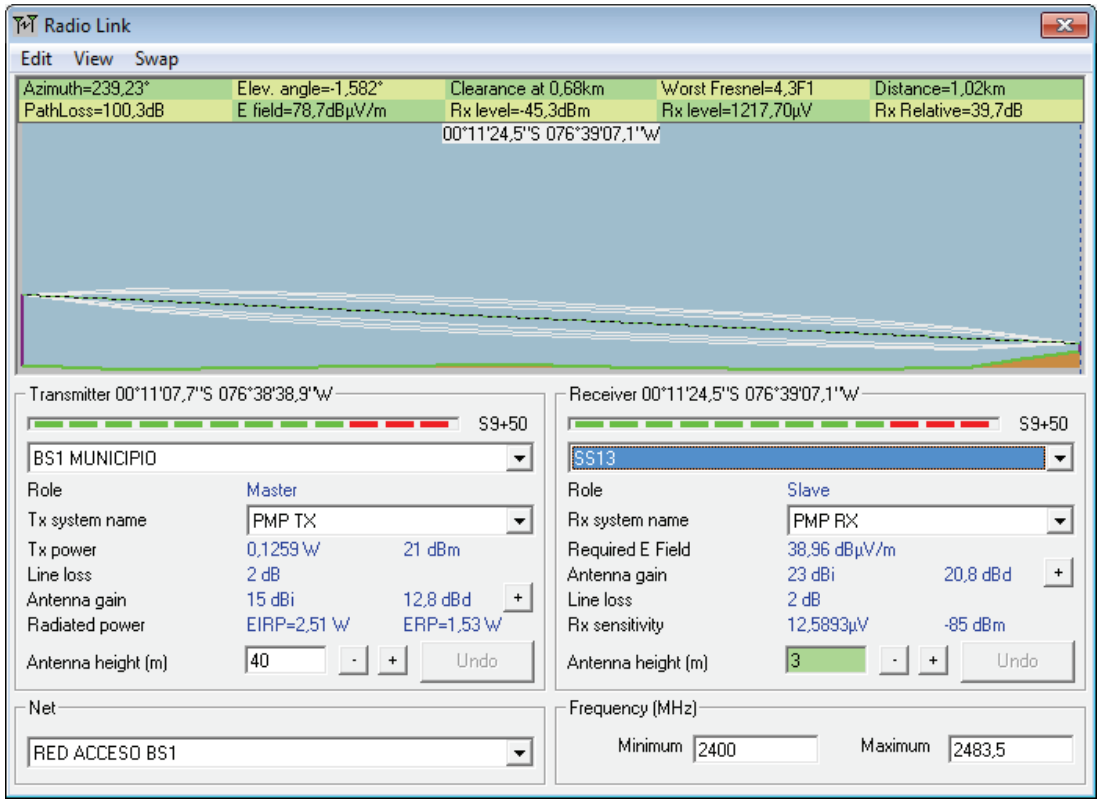


Figura 3.30 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS13

La escuela SS13 se encuentra a una distancia de 1 Km desde la radio base BS1 como se observa en la figura 3.30, tiene un margen de despeje del 430% por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción, se tiene línea de vista colocando la antena receptora a 3 metros de altura, el enlace es estable pues tiene un margen de desvanecimiento de 39.7 dB.

3.4.1.1.14 *Enlace de acceso BS1-SS14*

En la figura 3.31 se observa que el enlace de acceso para la escuela SS14 y la radio base BS1 tiene una distancia de 660 metros, no existe pérdidas por obstrucción debido que su margen de despeje es del 670%, la atura de la antena en la escuela debe ser de 3 metros para tener línea de vista, el enlace es estable porque su margen de desvanecimiento es de 43.5 dB.

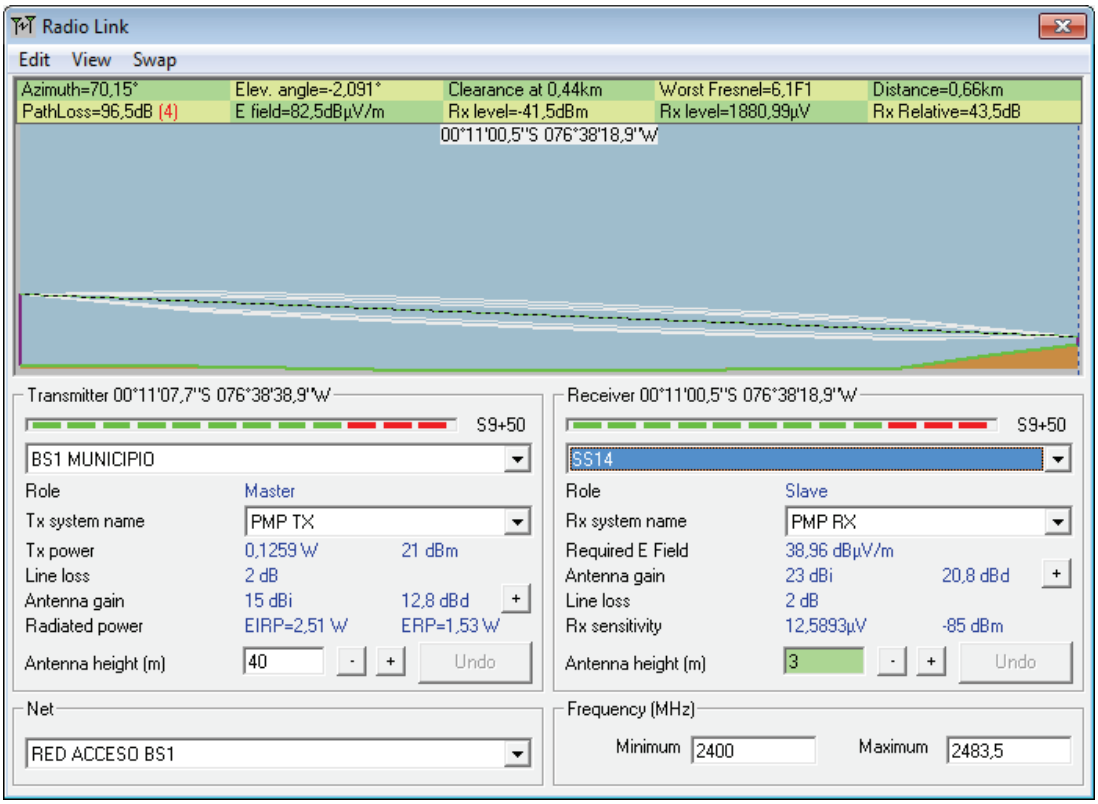


Figura 3.31 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS14

3.4.1.1.15 *Enlace de acceso BS1-SS21*

Para el enlace de acceso de la escuela SS21 y la radio base BS1 el perfil del terreno presenta una elevación de terreno a 5.53 Km de distancia desde la radio base BS1, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70% la altura de la antena receptor debe ser de 7 metros, con ésta altura no existe pérdidas por

obstrucción; el enlace es estable porque su margen de desvanecimiento es de 23.1 dB.

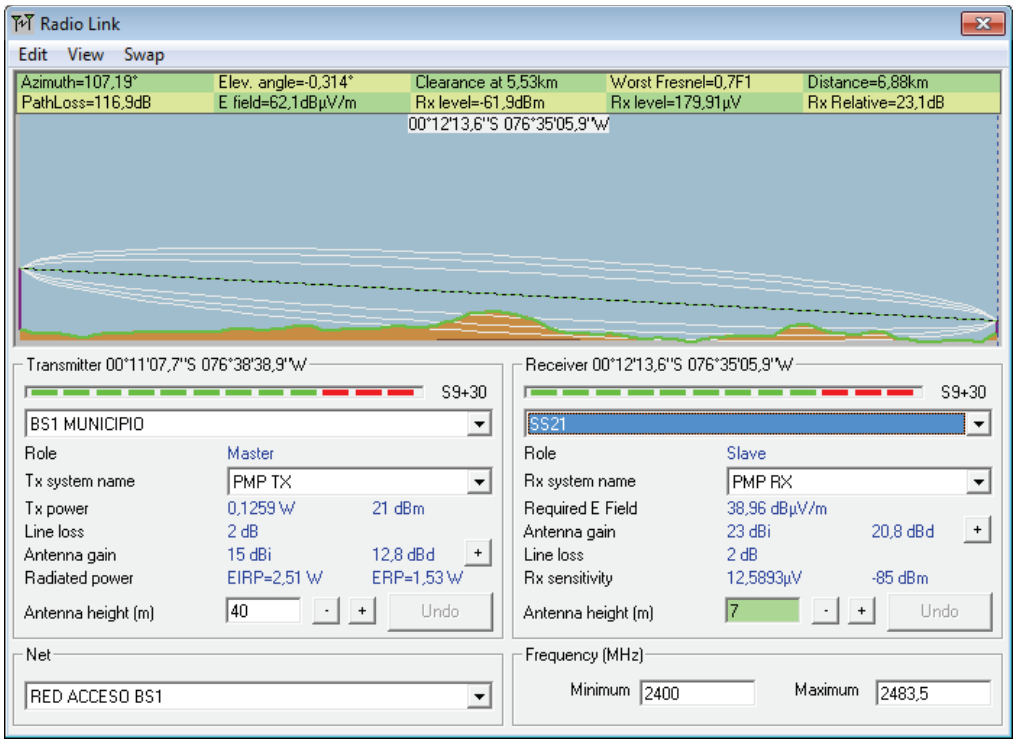


Figura 3.32 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS21

3.4.1.1.16 *Enlace de acceso BS1-SS29*

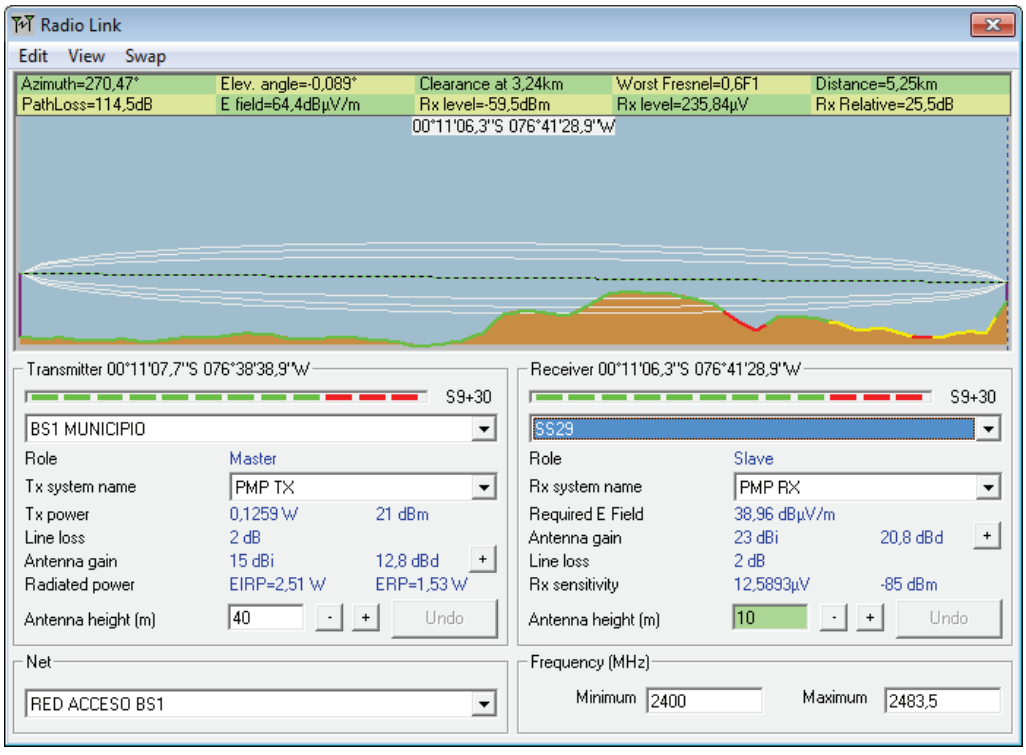


Figura 3.33 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS29

El perfil del enlace de acceso entre la escuela SS29 y la radio base BS1 que se observa en la figura 3.33, presenta una elevación de terreno a una distancia de 5.25 Km desde la radio base, para que exista línea de vista y conseguir un margen de despeje del 60%, la antena en la escuela debe ser ubicada a una altura de 10 metros, con esto se logra que no exista pérdidas por obstrucción y tener un enlace confiable con un margen de despeje de 25.5 dB.

3.4.1.1.17 *Enlace de acceso BS1-SS30*

El perfil del enlace de acceso BS1-SS30 que se observa en la figura 3.34, presenta una pequeña elevación de terreno a 3.71 Km desde la radio base BS1, para tener línea de vista la antena en la escuela debe estar a una altura de 6 metros, con esta altura se logra que no exista pérdidas por obstrucción, el enlace es estable porque tiene un margen de desvanecimiento de 27.0 dB.

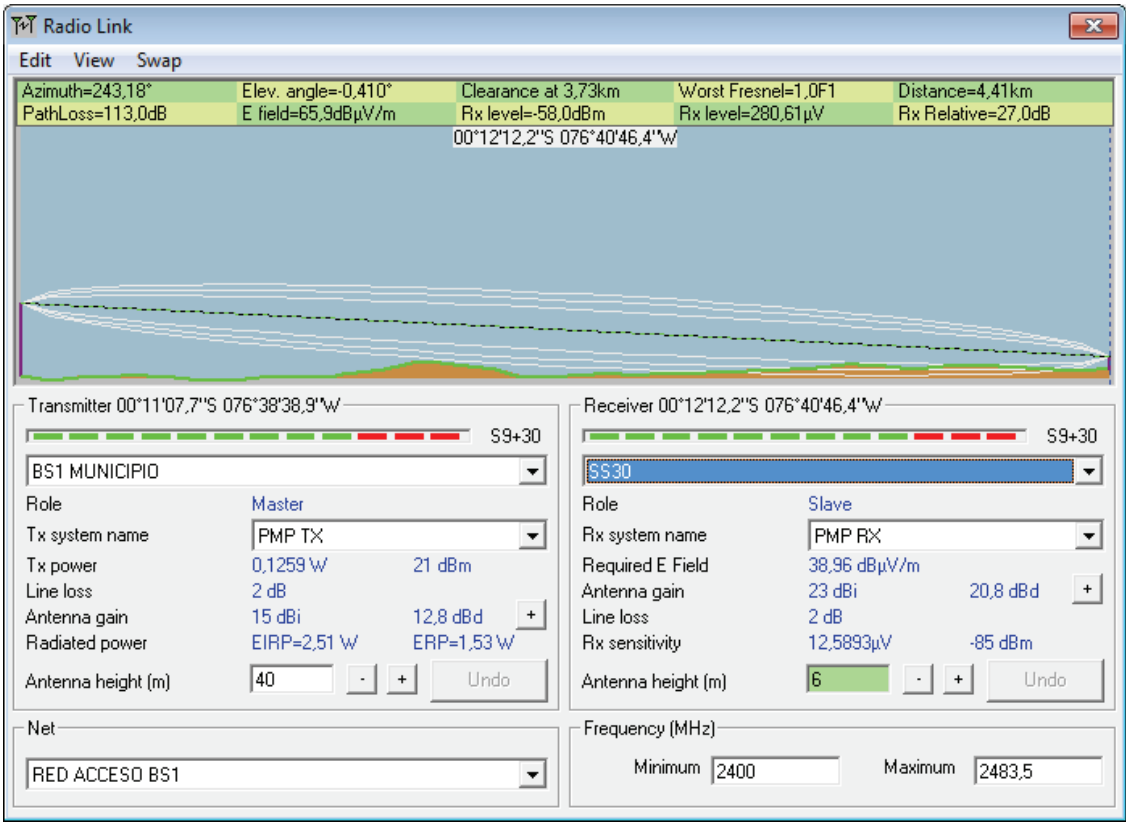


Figura 3.34 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – SS30

3.4.1.2 Red de acceso BS2

La radio base BS2 está ubicada en la escuela Río Eno, asocia a 4 instituciones educativas, su topología se observa en la figura 3.35.

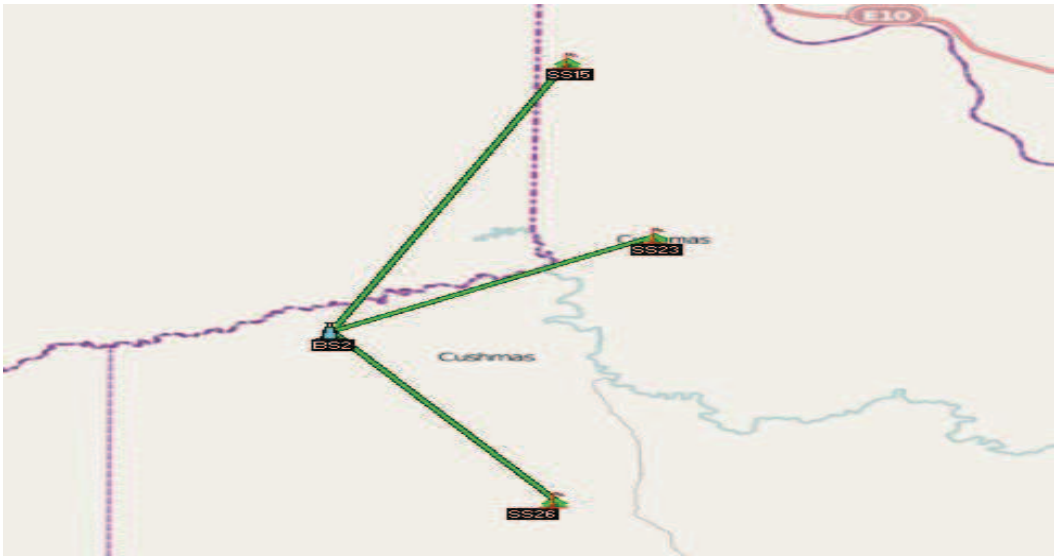


Figura 3.35 Topología de red acceso BS2

La velocidad de transmisión que requiere cada institución educativa se estable en la tabla 3.18.

INST. EDUCAT.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS15	6	280	3	1,20	2	50%	1,32	31,20	0,00	1,35
SS16	6	280	3	1,20	2	50%	1,32	31,20	0,00	1,35
SS23	29	280	9	1,20	2	50%	4,73	31,20	0,00	4,76
SS26	5	280	2	1,20	2	50%	0,95	31,20	0,00	0,98
TOTAL	**46**		**17**				**8,32**	**124,80**	0,00	**8,44**

Tabla 3.18 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS2

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red de acceso BS2.

3.4.1.2.1 *Enlace de acceso BS2-SS15*

En la figura 3.36 se observa que el perfil topográfico para el enlace BS2-SS15 presenta pequeñas elevaciones de terreno, la distancia del enlace es de 8.85 Km, para que exista línea de vista la altura de la antena receptora debe estar a una altura de 10 metros, y de ésta forma se obtiene un margen de despeje del 90% con cero pérdidas por obstrucción. El enlace es estable porque tiene un margen de desvanecimiento de 20.9 dB.

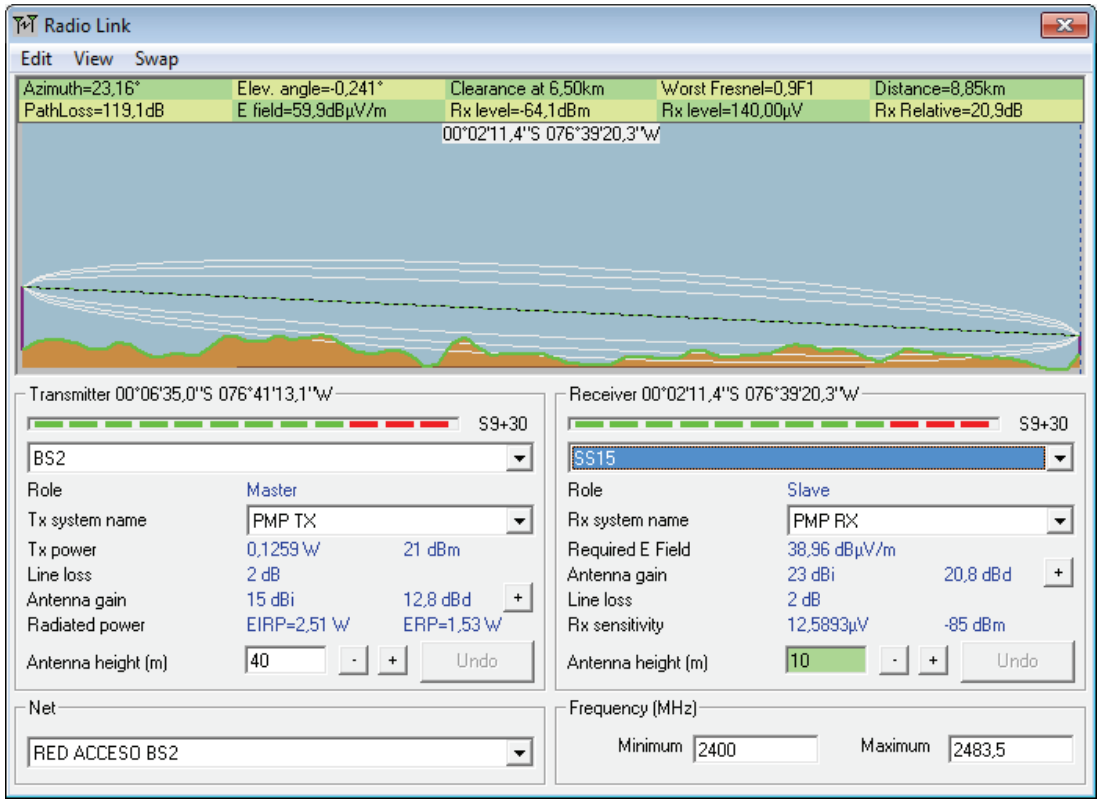


Figura 3.36 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS15

3.4.1.2.2 *Enlace de acceso BS2-SS23*

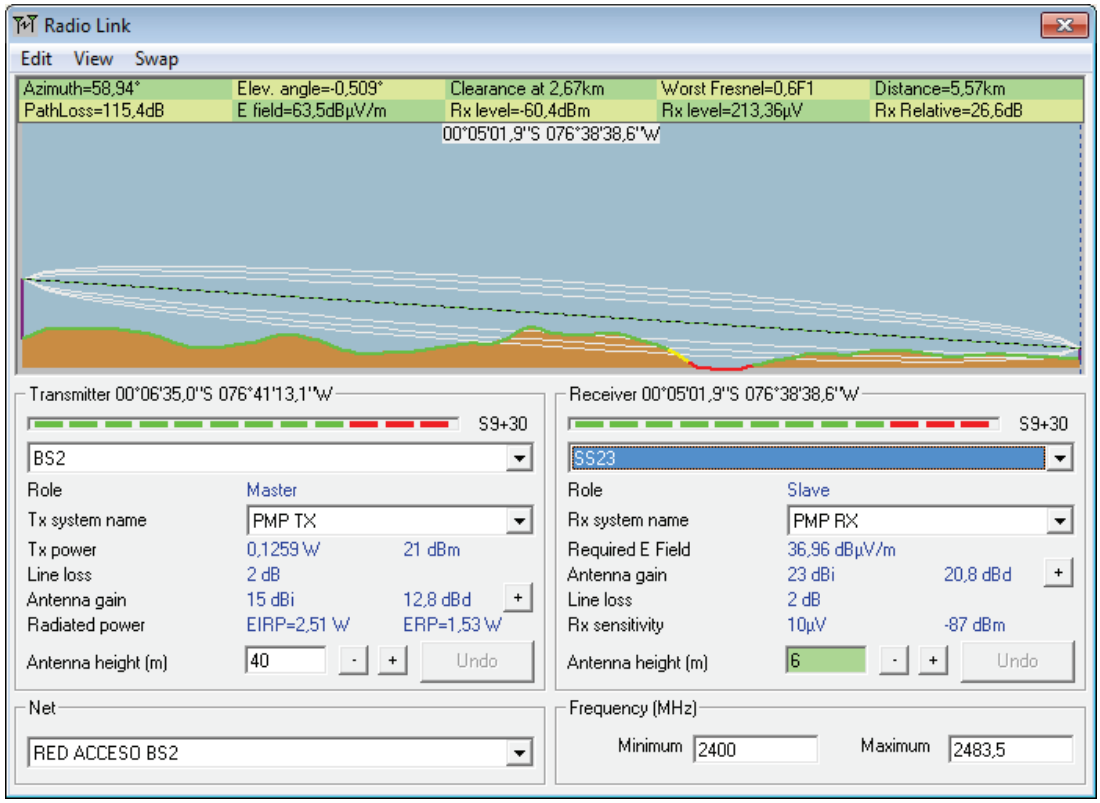


Figura 3.37 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS23

El perfil topográfico del enlace BS2-SS23 que se muestran en la figura 3.37, tiene una elevación de terreno a 2.67 Km desde la radio base BS2, para tener línea de vista y un margen de despeje del 60% la antena de la escuela SS23 deberá estar colocada a 6 metros de altura. El enlace es estable porque su margen de desvanecimiento es de 26.6 dB.

3.4.1.2.3 *Enlace de acceso BS2-SS26*

En la figura 3.38 se observa que el perfil topográfico del enlace de acceso BS2-SS26 presenta una elevación de terreno a 4.6 Km desde la radio base BS2, para que exista línea de vista, un margen de despeje del mayor al 60% y que no exista pérdidas por esta obstrucción, la antena en la escuela SS26 debe estar a una altura de 3 metros. El enlace tiene una distancia de 6 Km y tiene un margen de desvanecimiento de 24.2 dB, por lo tanto es un enlace estable.

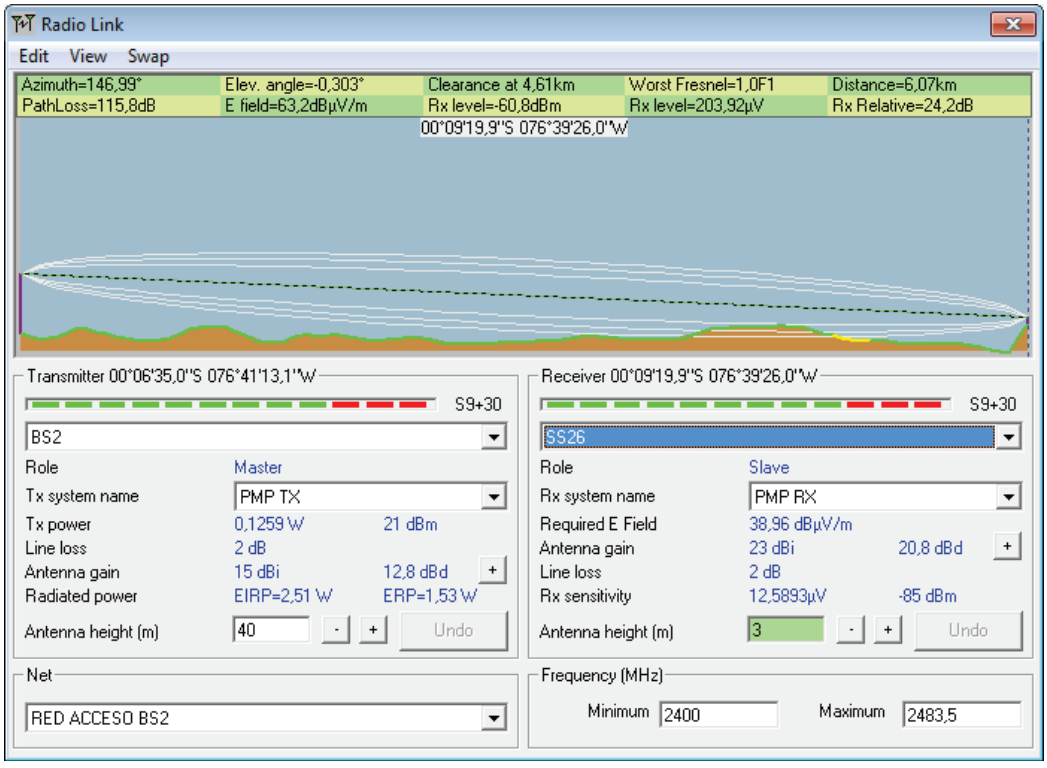


Figura 3.38 Perfil y resultados del radioenlace BS2 – SS26

3.4.1.3 Red de acceso BS3

La radio base BS3 estará ubicada en la escuela Fiscal Mixta Provincias Unidas, está asociada a 3 instituciones educativas, la topología de la red de acceso BS3 se observa en la figura 3.39.

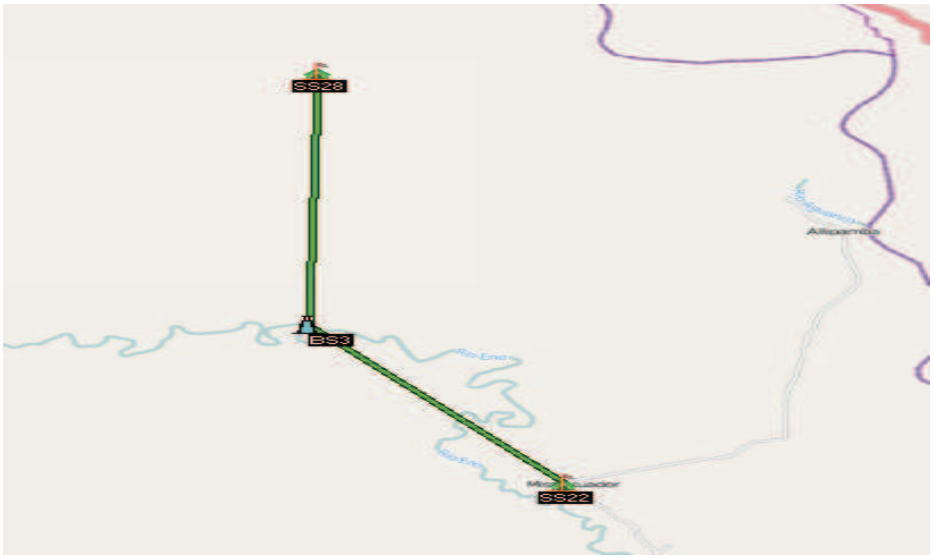


Figura 3.39 Topología de la red acceso BS3

La velocidad de transmisión que necesita cada institución educativa se establece en la tabla 3.19.

INST. EDUCATIVA	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS22	11	280	6	1,20	2	50 %	2,57	31,20	0,00	2,60
SS27	7	280	3	1,20	2	50 %	1,39	31,20	0,00	1,42
SS28	4	280	2	1,20	2	50 %	0,88	31,20	0,00	0,91
TOTAL	**22**		**11**				**4,84**	**93,60**	0,00	**4,93**

Tabla 3.19 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS3

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red de acceso BS3.

3.4.1.3.1 *Enlace de acceso BS3-SS22*

El perfil topográfico para el enlace BS3-SS22 presenta una elevación de terreno a 3.27 Km desde la radio base BS3, para tener línea de vista la antena receptora debe estar a una altura de 3 metros, con esta altura se tiene un margen de despeje del 120 %, por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción.

La distancia del enlace es de 4.28 Km, además es un enlace estable porque tiene un margen de desvanecimiento de 27.2 dB.

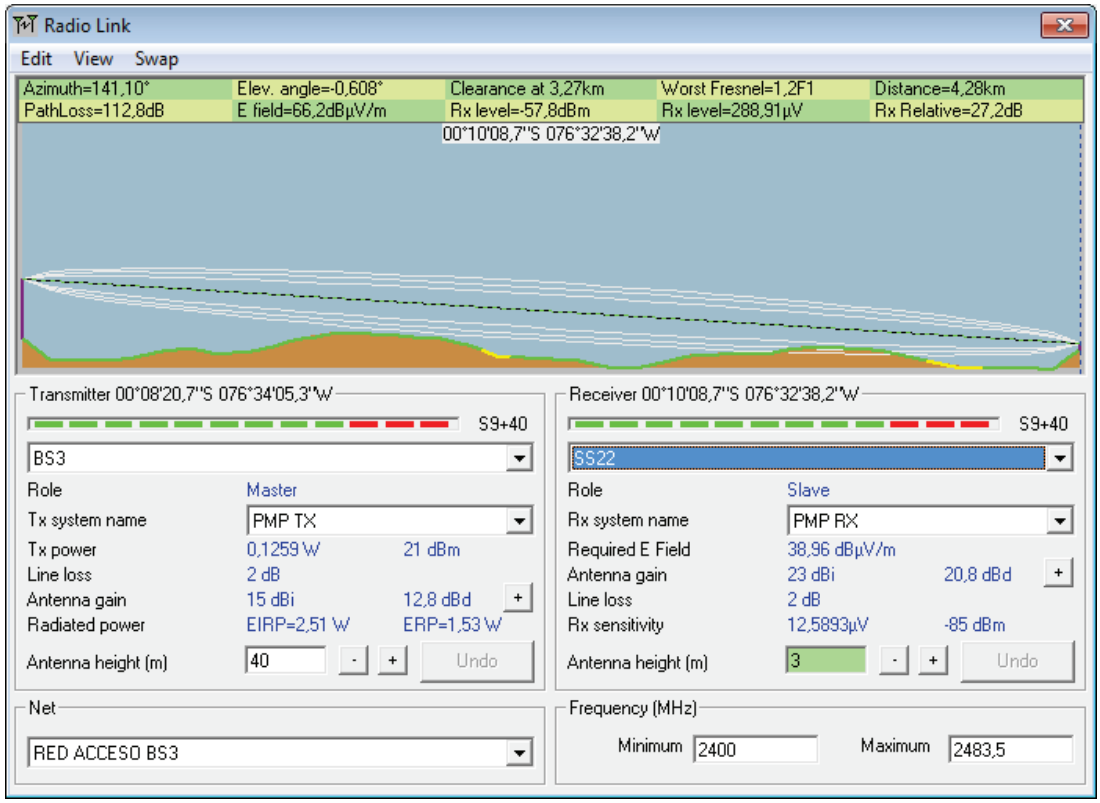


Figura 3.40 Perfil y resultados del radioenlace BS3 – SS22

3.4.1.3.2 *Enlace de acceso BS3-SS28*

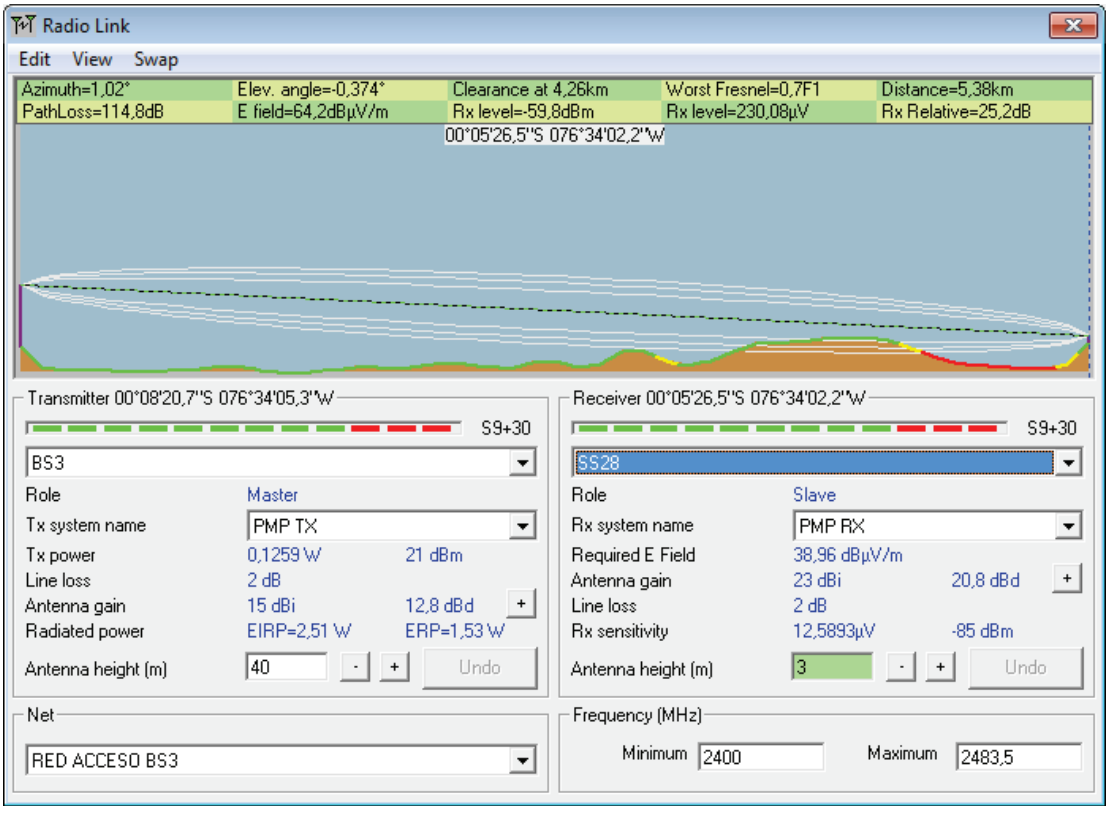


Figura 3.41 Perfil y resultados del radioenlace BS3 – SS28

Los resultados de Radio Mobile para el enlace BS3-SS28, presentan un perfil con una elevación de terreno a una distancia de 4.26 Km desde la radio base BS3, para tener línea de vista y un margen de despeje mayor al 60% se debe colocar la antena receptora a una altura de 3 metros. El enlace tiene una distancia de 5.38 Km y un margen de desvanecimiento de 25.2 dB, por lo tanto es un enlace estable.

3.4.1.4 Red de acceso BS4

La radio base BS4 está ubicada en el Centro de Educación Básica Ciudad de Portoviejo que pertenece a una de las instituciones de la parroquia 7 de Julio, a esta radio base se asocian 6 instituciones educativas, ver figura 3.42.

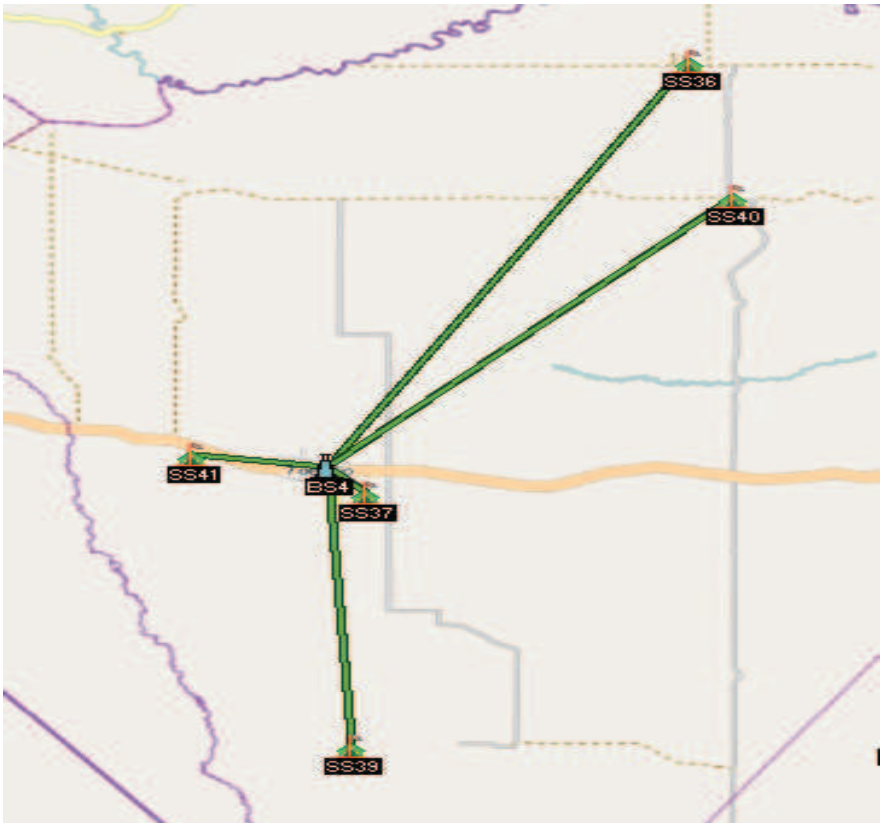


Figura 3.42 Topología de red acceso BS4

La velocidad de transmisión que necesita cada institución educativa se detalla en la tabla 3.20, es necesario mencionar que en el Centro de Educación Básica Ciudad de Portoviejo (SS35) se instalará el equipo de videollamada, por ser el instituto educativo que presta las condiciones necesarias para su implementación, además está ubicado en el centro de la parroquia, por lo tanto es muy accesible.

INST. EDUC.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS35	38	280	7	1,20	2	50%	4,76	31,20	3730,00	8,52
SS36	9	280	5	1,20	2	50%	2,13	31,20	0,00	2,16
SS37	6	280	4	1,20	2	50%	1,62	31,20	0,00	1,65
SS39	5	280	2	1,20	2	50%	0,95	31,20	0,00	0,98
SS40	5	280	3	1,20	2	50%	1,25	31,20	0,00	1,28
SS41	7	280	10	1,20	2	50%	3,49	31,20	0,00	3,52
TOTAL	**70**		**31**				**14,20**	**187,20**	**3730,00**	**18,11**

Tabla 3.20 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS4

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red de acceso BS4.

3.4.1.4.1 *Enlace de acceso BS4-SS36*

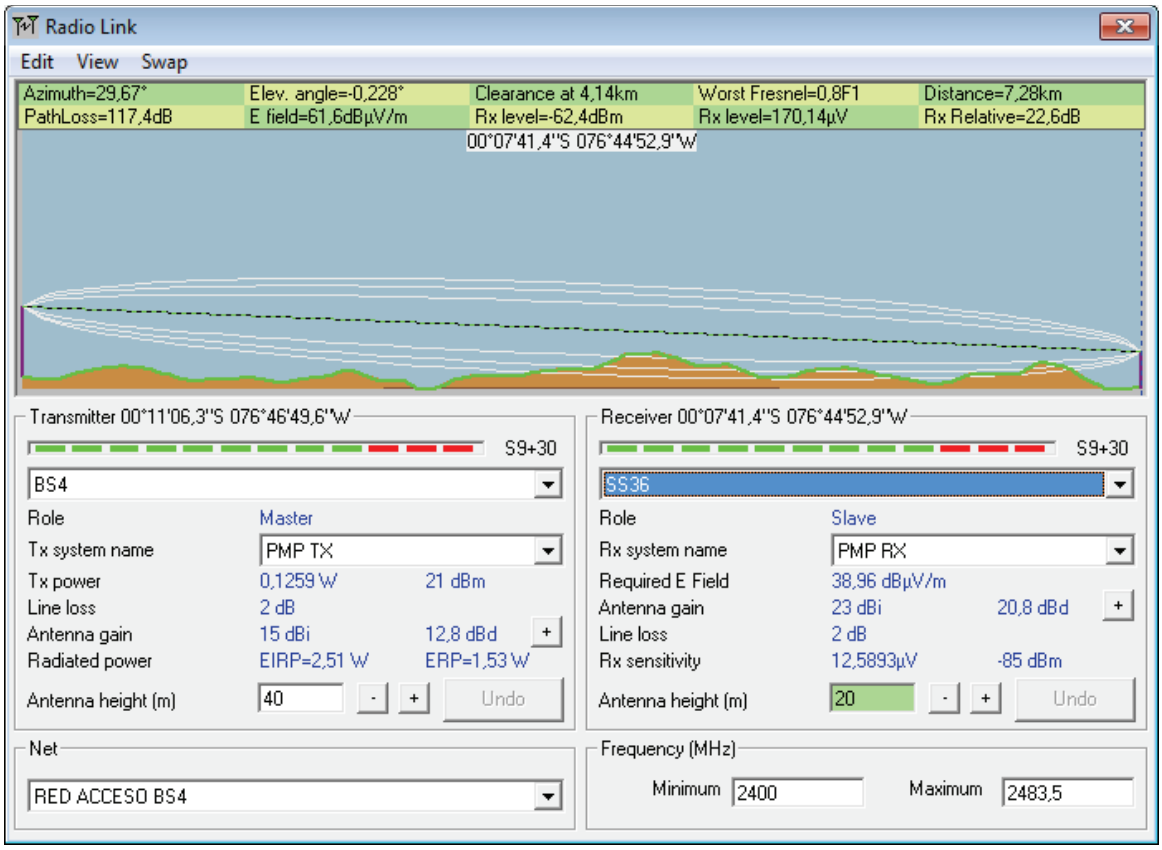


Figura 3.43 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS36

En el perfil del enlace BS4 – SS36 que se observa en la figura 3.43, la institución educativa SS36 se encuentra rodeada por una cumbre, por tal razón para que

exista línea de vista y tener un margen de despeje mayor al 60% se debe colocar la antena receptora a una altura de 20 metros. La distancia del enlace es de 7.28 Km, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 22.6 dB.

3.4.1.4.2 *Enlace de acceso BS4-SS37*

La institución educativa SS37 se encuentra cerca de la torre base BS4 como se observa en la figura 3.44, la distancia del enlace es de 560 metros, su perfil topográfico es una llanura, por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción. La línea de vista se consigue al colocar la antena receptora a una altura de 4 metros, es un enlace estable por tener un margen de desvanecimiento de 44.9 dB.

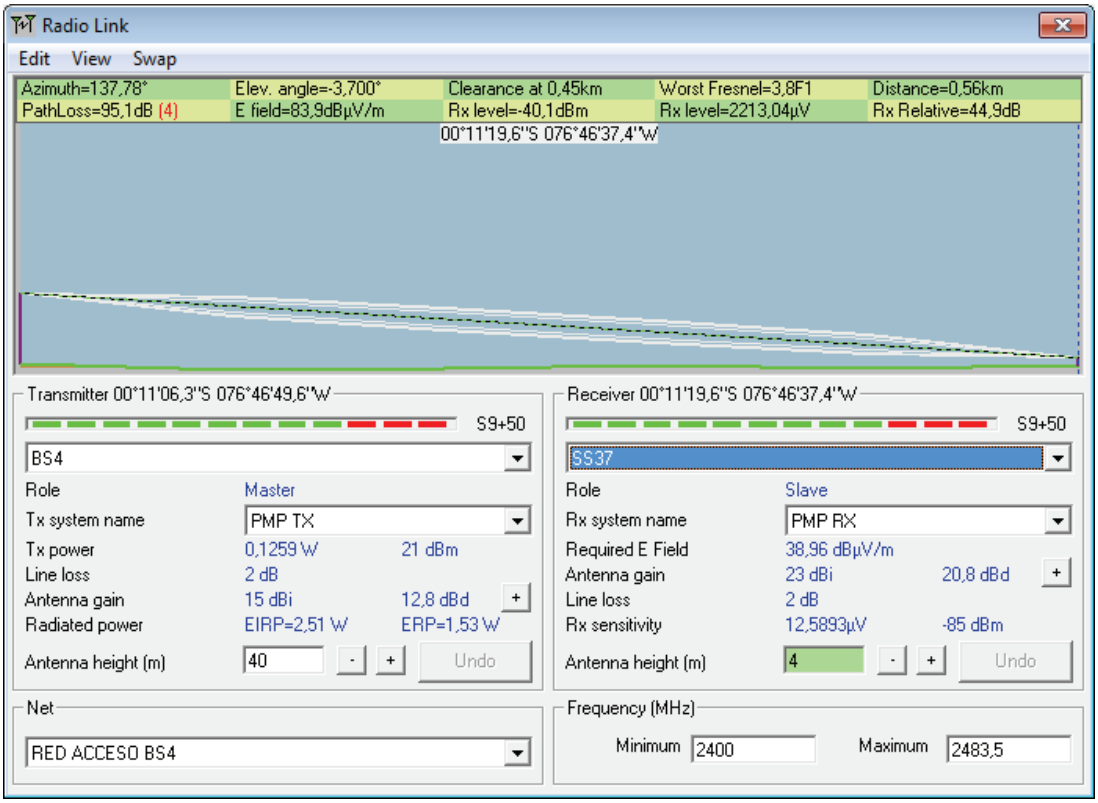


Figura 3.44 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS37

3.4.1.4.3 *Enlace de acceso BS4-SS39*

En la figura 3.45 se tiene el perfil del enlace BS4-SS39, el cual tiene una distancia de 4.39 Km, la escuela SS39 se encuentra sobre una elevación por lo que facilita obtener línea de vista, con tan solo poner la antena receptora a una altura de 3 metros se logra tener línea de vista y un margen de despeje de 160%. El margen de desvanecimiento es de 27 dB, por lo que es un enlace estable.

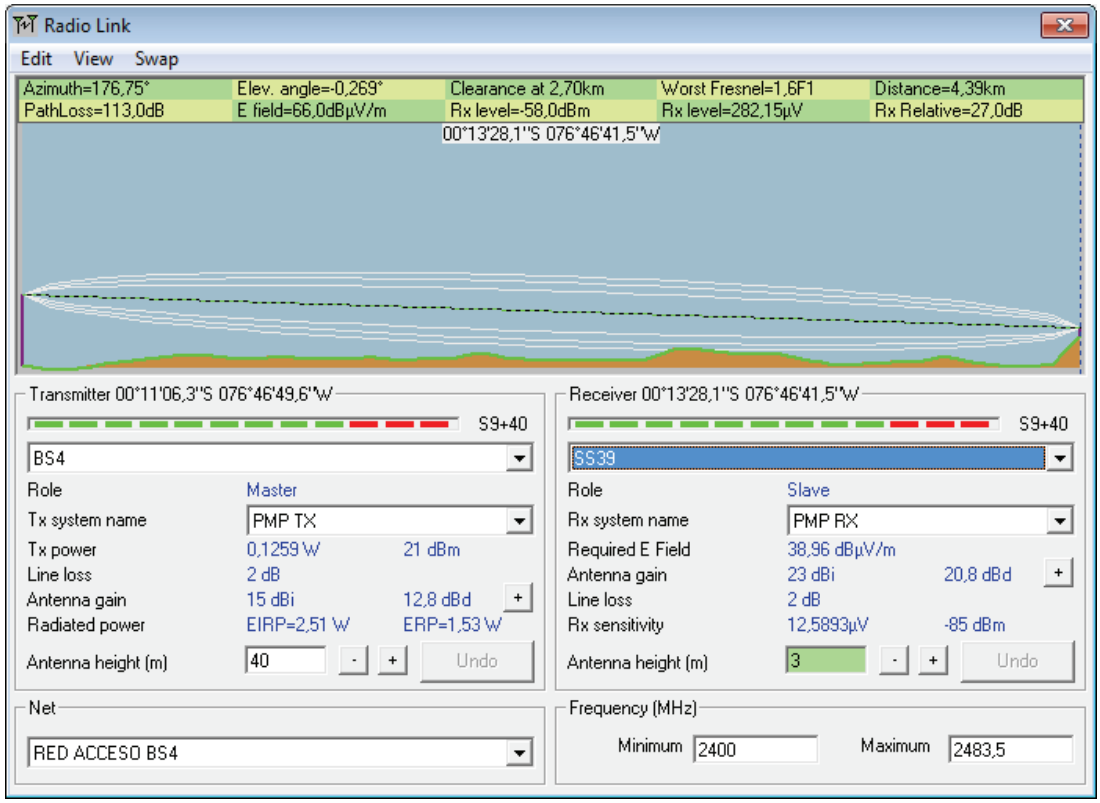


Figura 3.45 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS39

3.4.1.4.4 *Enlace de acceso BS4-SS40*

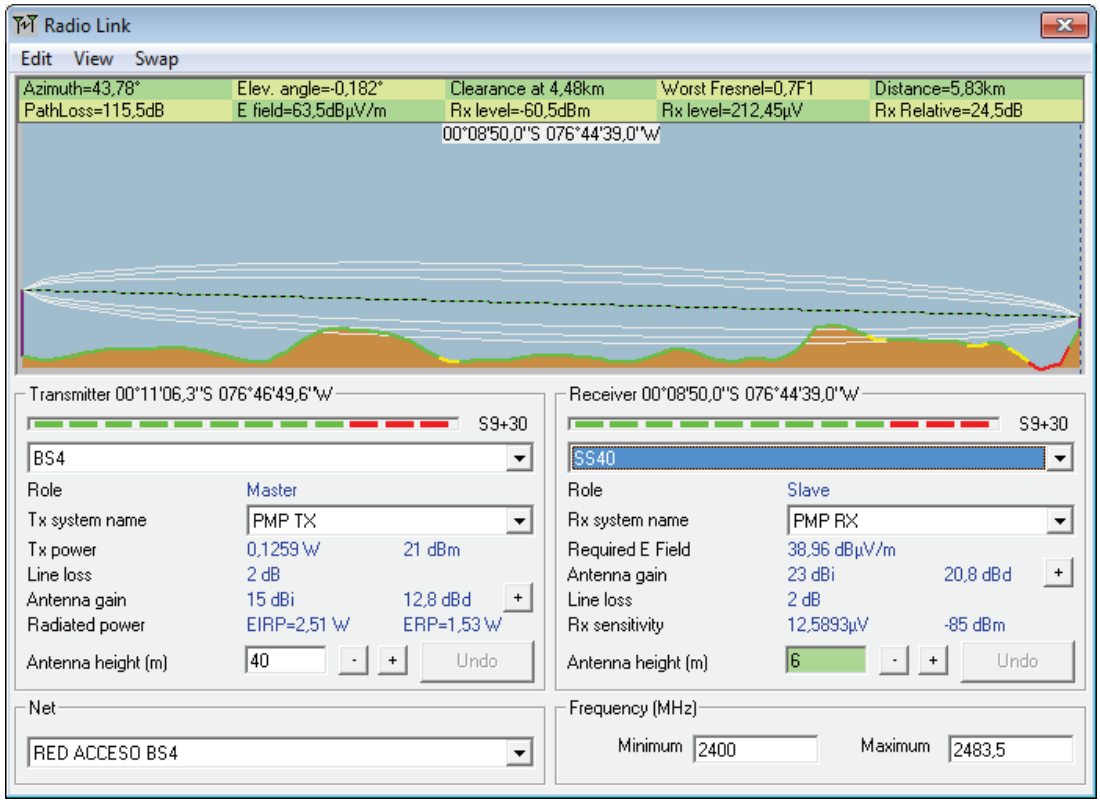


Figura 3.46 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS40

En la figura 3.46 se tiene el perfil del enlace BS4-SS40, éste presenta varias elevaciones de terreno, pero la de mayor elevación se encuentra a una distancia de 4.26 Km desde la radio base BS4, para tener línea de vista y tener un margen de despeje del 70%, la altura de la antena receptora debe ser colocada a una altura de 6 metros. La distancia del enlace es de 5.8 Km y tiene un margen de desvanecimiento de 24.5 dB, por tanto es un enlace estable.

3.4.1.4.5 *Enlace de acceso BS4-SS41*

El perfil del enlace BS4-SS4 que se observa en la figura 3.47, es una llanura y no presenta ninguna obstrucción para obtener línea de vista, con una altura de 3 metros de la antena receptora se logra tener un margen de despeje del 400%. El enlace tiene una distancia de 1.36 Km y es estable por tener un margen de desvanecimiento de 37.2 dB.

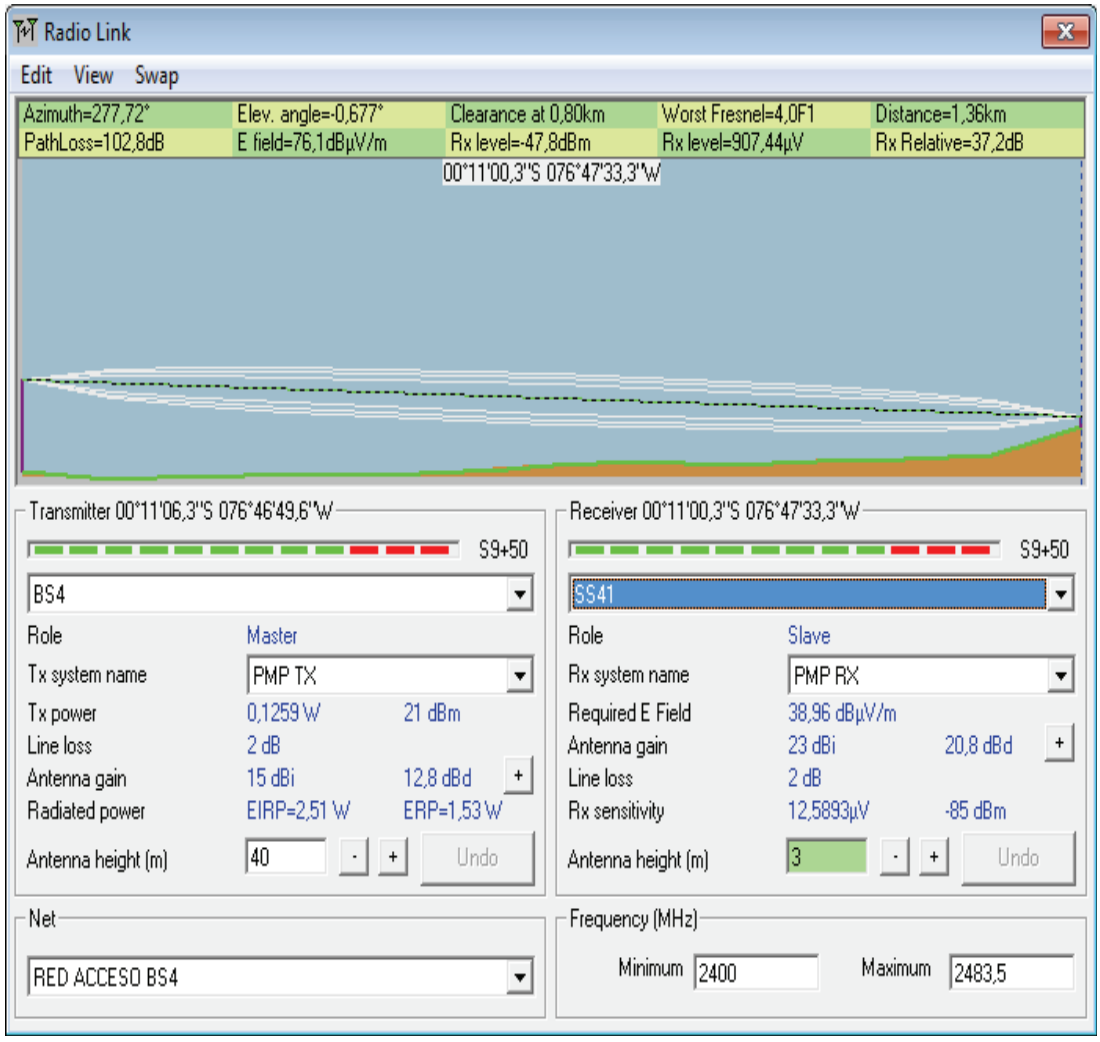


Figura 3.47 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – SS41

3.4.1.5 Red de acceso BS5

La radio base BS5 está ubicada en el sector de Jivino Verde, su topología se observa en la figura 3.48 y asocia a 6 instituciones educativas.

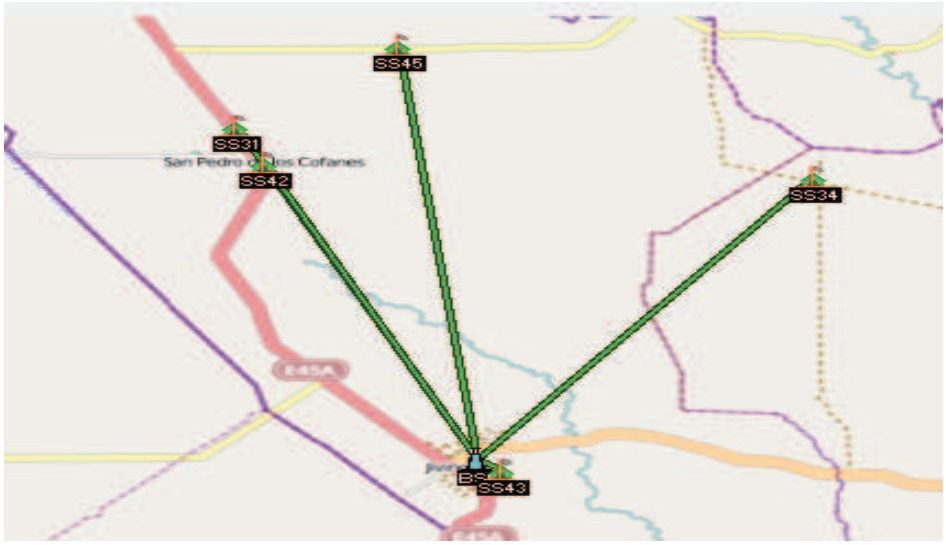


Figura 3.48 Topología de red acceso BS5

En el Centro de Educación José Joaquín de Olmedo (SS42), se instalará el servicio de videollamada por tener una adecuada infraestructura civil y además es la institución más accesible de la parroquia San Pedro de los Cofanes. La velocidad de transmisión que requiere cada institución educativa se detalla en la tabla 3.21.

INST. EDUC.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS31	10	280	8	1,20	2	50%	3,10	31,20	0,00	3,13
SS34	12	280	4	1,20	2	50%	2,04	31,20	0,00	2,07
SS42	14	280	8	1,20	2	50%	3,38	31,20	3730,00	7,14
SS43	48	280	14	1,20	2	50%	7,56	31,20	0,00	7,59
SS44	40	280	8	1,20	2	50%	5,20	31,20	0,00	5,23
SS45	5	280	3	1,20	2	50%	1,25	31,20	0,00	1,28
TOTAL	**129**		**45**				**22,53**	**187,20**	**3730,00**	**26,45**

Tabla 3.21 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS5

A continuación se presenta la simulación de los diferentes enlaces de red que conforman la red de acceso BS5.

3.4.1.5.1 *Enlace de acceso BS5-SS31*

El enlace de red BS5-SS31 tiene una distancia de 5.41 Km, el perfil topográfico es irregular y la mayor de sus elevaciones se encuentra a 4.4 Km de distancia desde la radio base BS5. Para tener un margen de despeje del 60 % y línea de vista se debe colocar la antena receptora a una altura de 4 metros. El enlace es estable pues presenta un margen de desvanecimiento del 25.2 dB.

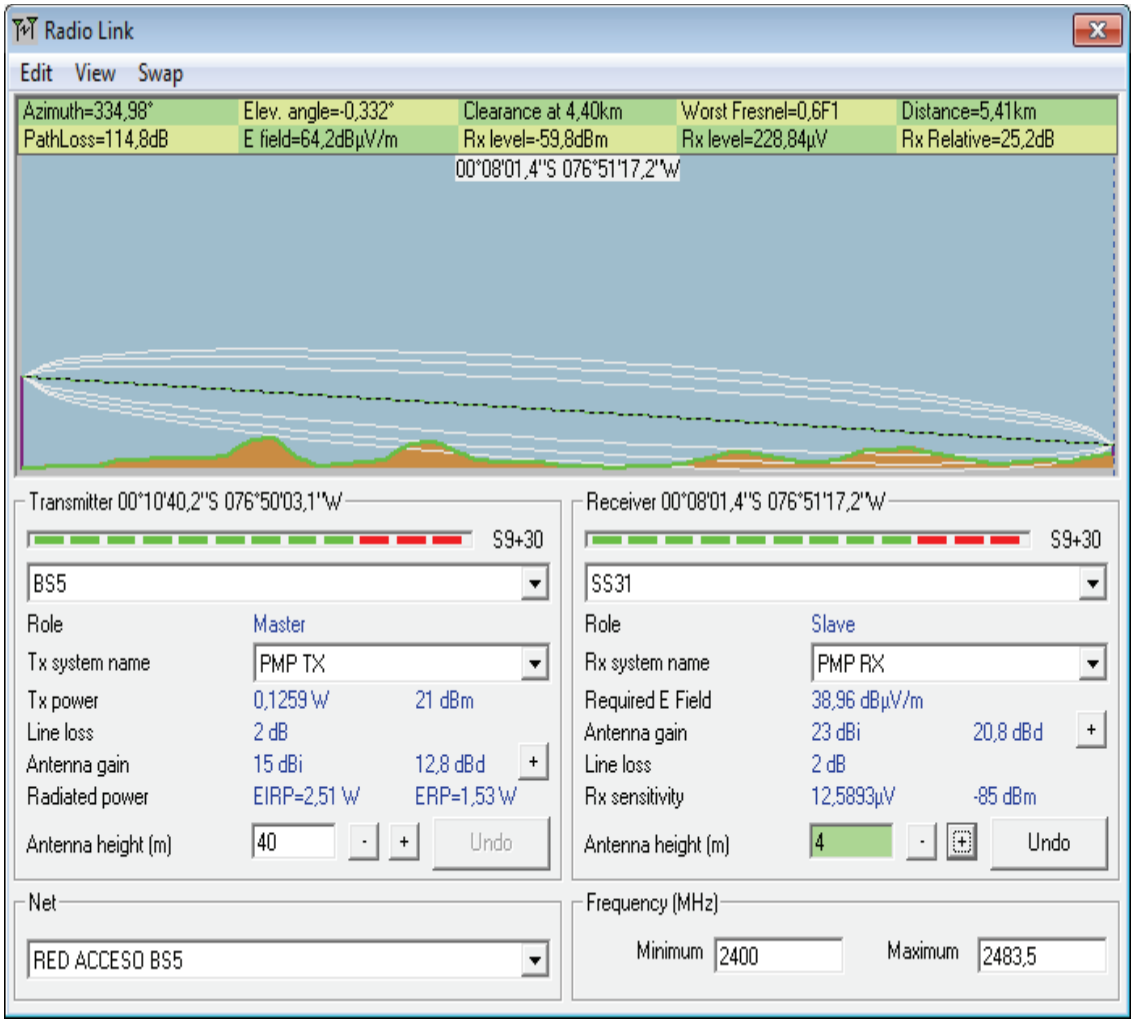


Figura 3.49 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS31

3.4.1.5.2 *Enlace de acceso BS5-SS34*

La figura 3.50 muestra los resultados del enlace BS5-SS34, donde el perfil topográfico tiene una elevación de terreno a 4.67 Km de distancia desde la radio base BS5, para tener un margen de despeje mayor del 60% la antena receptora debe estar a 3 metros de altura. La distancia del enlace es de 5.23 Km y es un enlace estable por tener un margen de desvanecimiento de 25.1 dB.

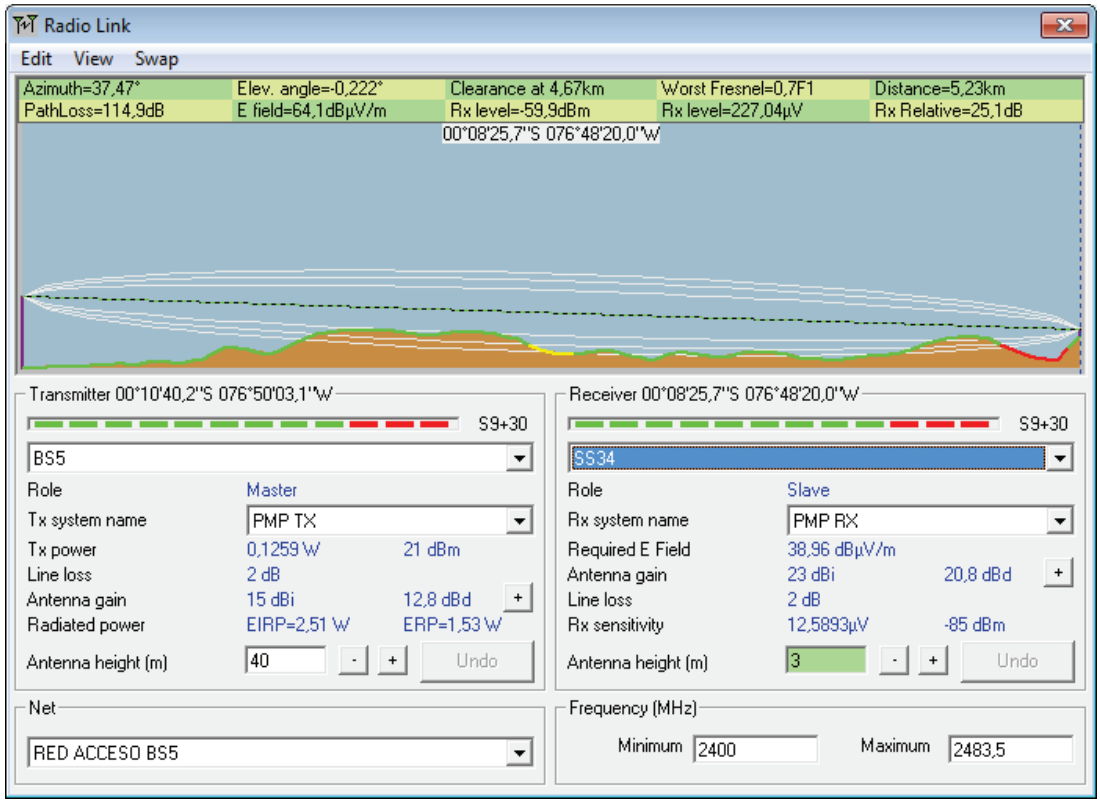


Figura 3.50 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS34

3.4.1.5.3 *Enlace de acceso BS5-SS42*

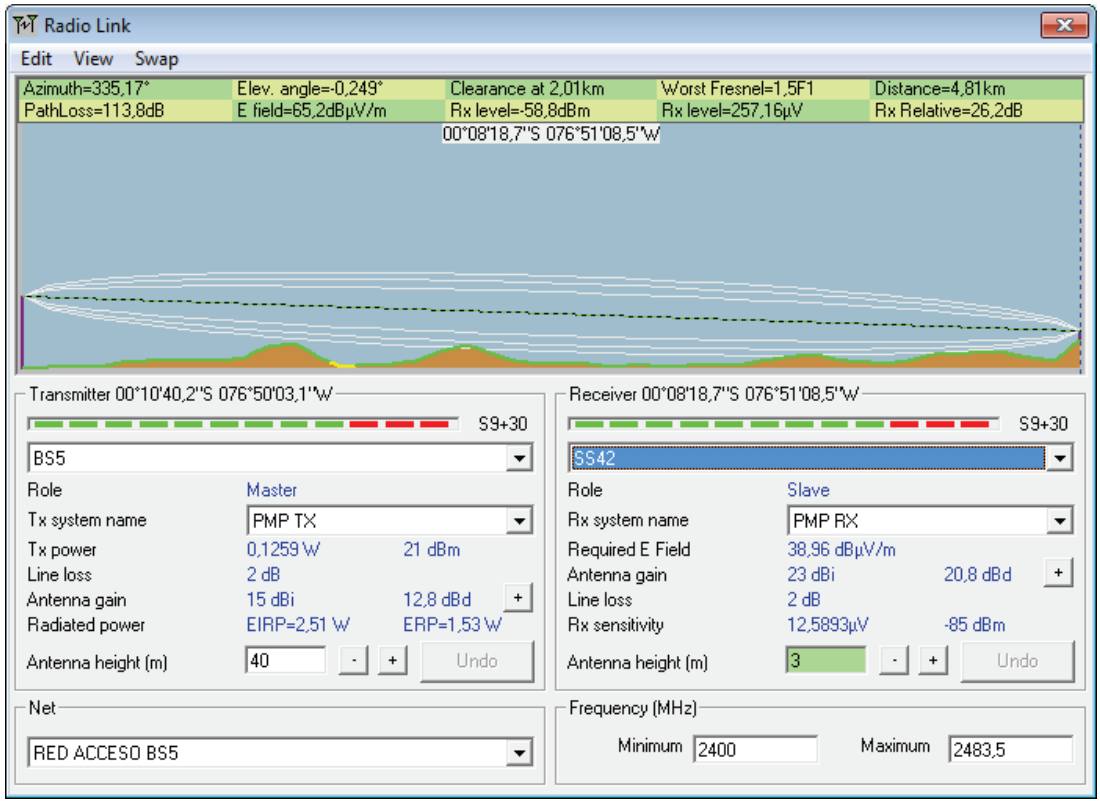


Figura 3.51 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS42

Para el enlace de acceso BS5-SS42 se tiene línea de vista de una forma simple como se observa el perfil topográfico en la figura 3.51, con una altura de 3 metros de la antena receptora se tiene un margen de despeje de 150%. El enlace tiene una distancia de 4.81 Km y un margen de desvanecimiento de 26.2 dB.

3.4.1.5.4 *Enlace de acceso BS5-SS43*

La escuela SS43 se encuentra muy próxima a la radio base BS5 como se observa en la figura 3.52, la distancia del enlace es de 280 metros y se tiene línea de vista al colocar la antena receptora a una altura de 3 metros. El enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 50.9 dB.

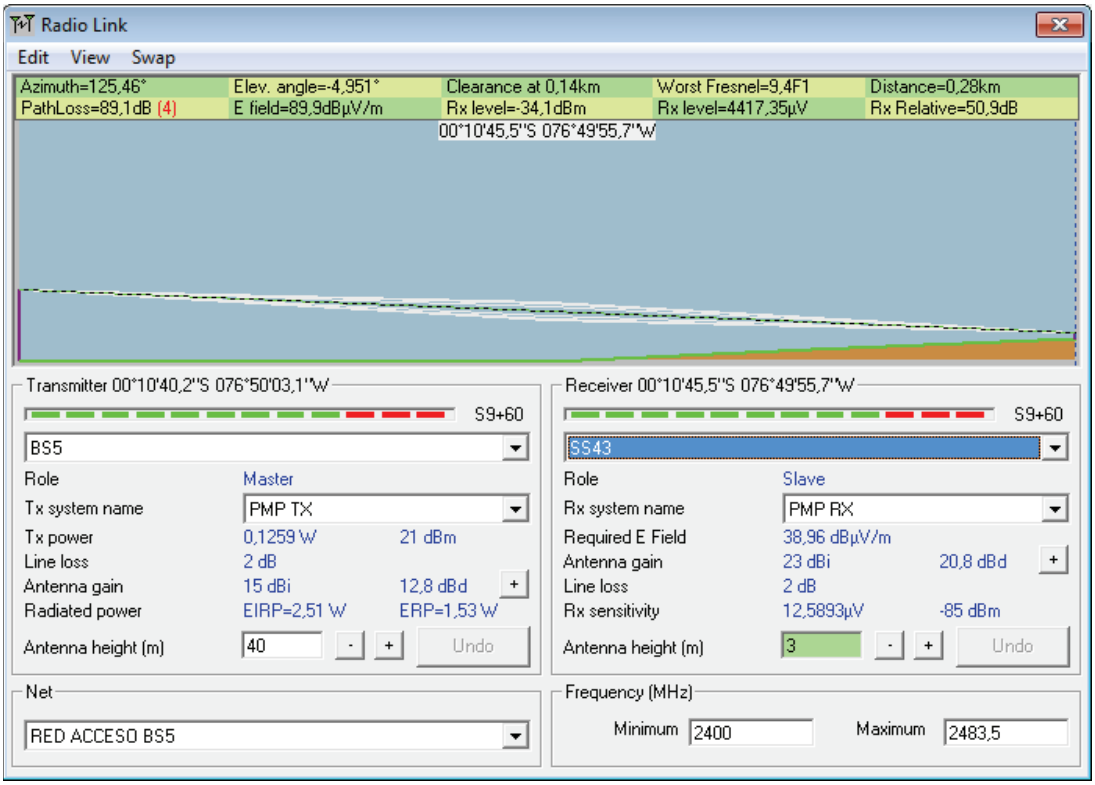


Figura 3.52 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS43

3.4.1.5.5 *Enlace de acceso BS5-SS45*

La escuela SS45 se encuentra a una distancia de 6.12 Km desde la radio base BS5 como se observa en la figura 3.53, el perfil topográfico es irregular y la mayor elevación está a una distancia de 5.45 Km de distancia desde la radio base BS5. Para tener un margen de despeje mayor al 60% la antena receptora debe estar a una altura de 12 metros, el enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 24.1 dB.

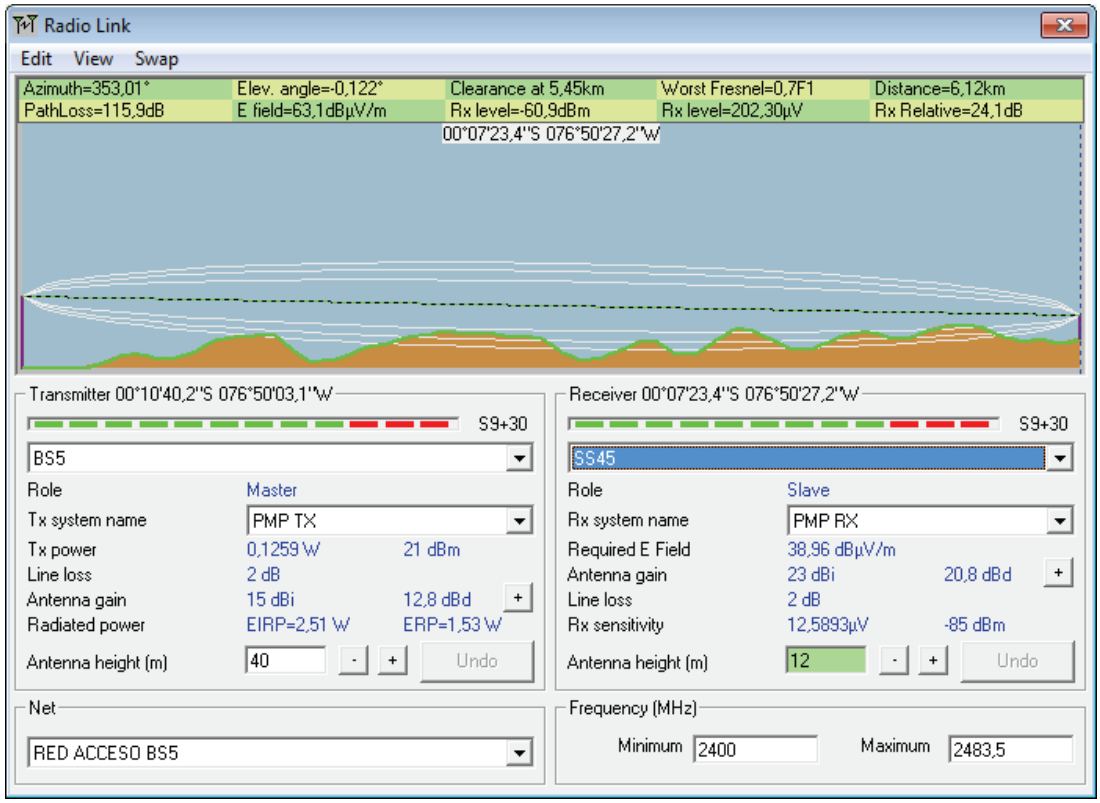


Figura 3.53 Perfil y resultados del radioenlace BS5 – SS45

3.4.1.6 Red de acceso BS6

En el Centro de Educación Básica 7 de Agosto se instalará la radio base BS6, a ella se enlazan 8 instituciones educativas, su topología se observa en la figura 3.54.

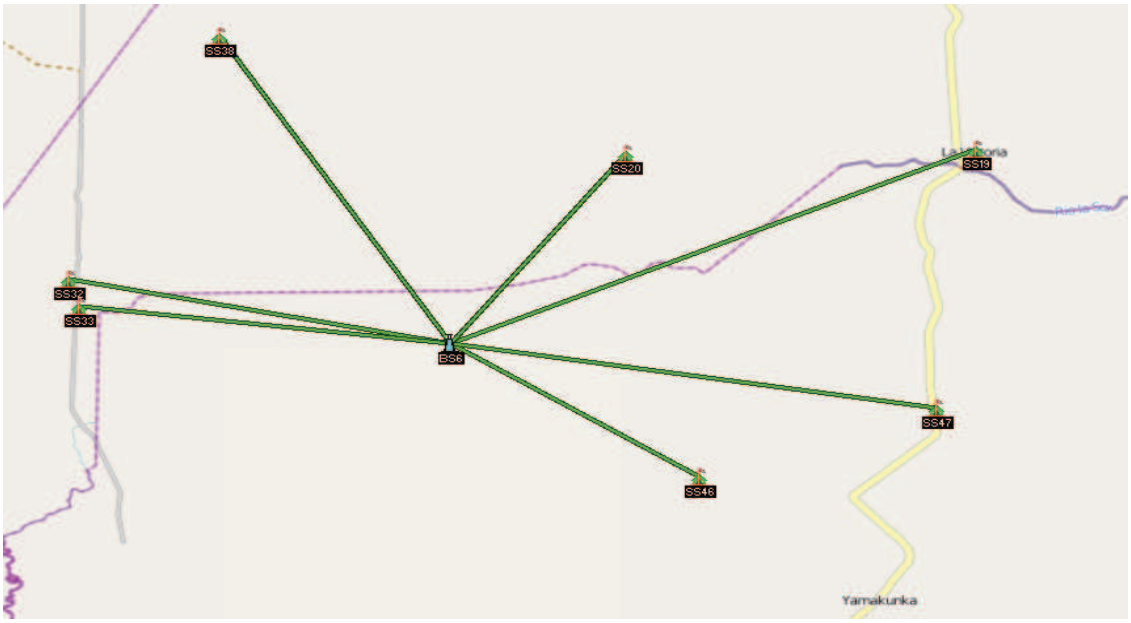


Figura 3.54 Topología de red acceso BS6

La escuela Rio de Janeiro (SS47) pertenece a la parroquia Limoncocha, ésta institución educativa presenta la infraestructura civil adecuada y la accesibilidad para brindar el servicio de videollamada. En la tabla 3.22 se resumen las velocidades de transmisión necesarias de las instituciones educativas asociadas a la radio base BS6.

INST. EDUC.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS18	8	280	6	1,20	2	50%	2,36	31,20	0,00	2,39
SS19	45	280	9	1,20	2	50%	5,85	31,20	0,00	5,88
SS20	11	280	6	1,20	2	50%	2,57	31,20	0,00	2,60
SS32	8	280	8	1,20	2	50%	2,96	31,20	0,00	2,99
SS33	17	280	5	1,20	2	50%	2,69	31,20	0,00	2,72
SS38	5	280	2	1,20	2	50%	0,95	31,20	0,00	0,98
SS46	4	280	2	1,20	2	50%	0,88	31,20	0,00	0,91
SS47	12	280	3	1,20	2	50%	1,74	31,20	3730,00	5,50
TOTAL	**110**		**41**				**20,00**	**249,60**	**3730,00**	**23,98**

Tabla 3.22 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS6

A continuación se presenta la simulación de los diferentes enlaces de red que conforman la red de acceso BS6.

3.4.1.6.1 *Enlace de acceso BS6-SS19*

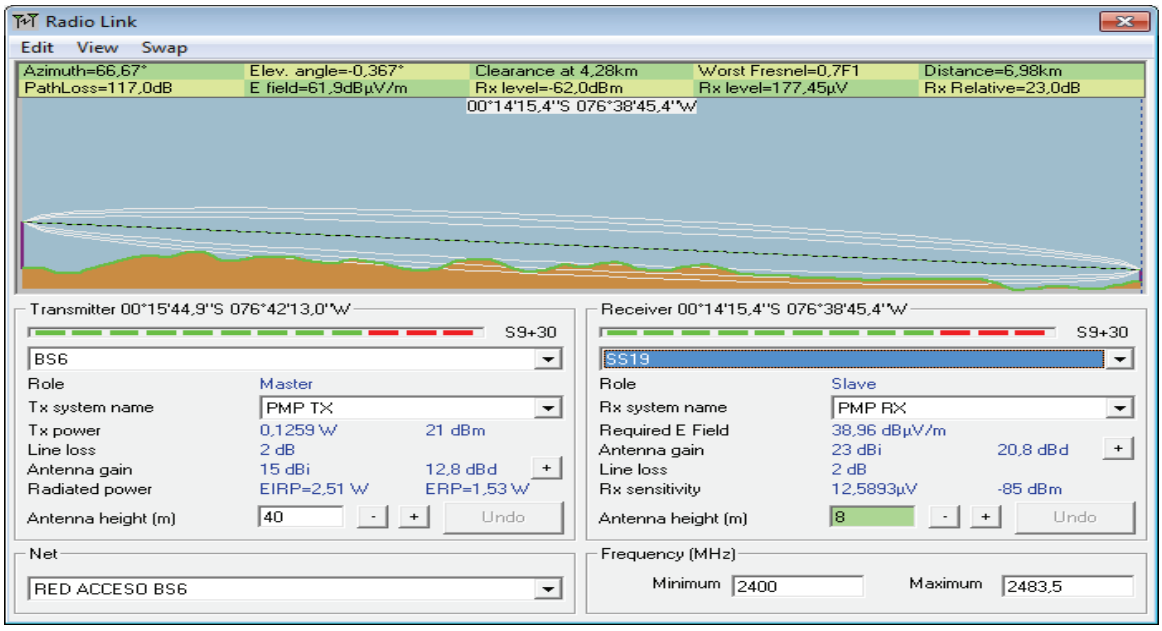


Figura 3.55 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS19

La escuela SS19 se encuentra a una dista de 7 Km desde la radio base BS6 como se muestra en la figura 3.55, a 4.28 Km de la radio base BS6 se tiene obstrucción por cumbre, para tener línea de vista y tener un margen de despeje mayor al 60% la antena receptora debe estar a una altura de 8 metros. El enlace presenta un margen de desvanecimiento de 23 dB, por lo tanto es estable.

3.4.1.6.2 *Enlace de acceso BS6-SS20*

El perfil del enlace BS6-SS20 que se muestra en la figura 3.56 presenta un terreno irregular, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70%, la altura de la antena receptora debe ser de 6 metros. La distancia del enlace es de 3.45 Km y su margen de desvanecimiento es de 32 dB, por lo tanto es un enlace estable.

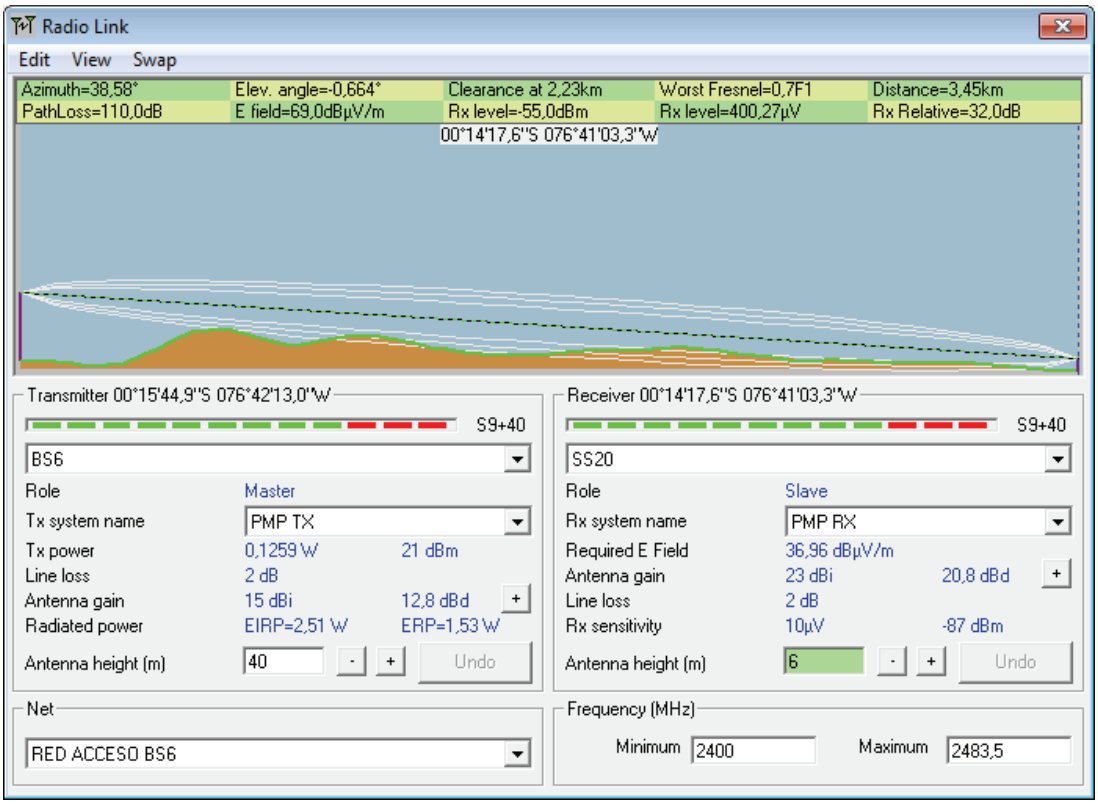


Figura 3.56 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS20

3.4.1.6.3 *Enlace de acceso BS6-SS32*

El enlace de acceso BS6 –SS32 tiene una distancia de 4.74 Km como se observa en la figura 3.57, la escuela SS32 se encuentra sobre una elevación y esto facilita obtener línea de vista de una forma simple, con un altura de 3 metros de la antena

receptora se logra tener un margen de despeje del 90%. Es un enlace estable por tener un margen de desvanecimiento de 26.3 dB.

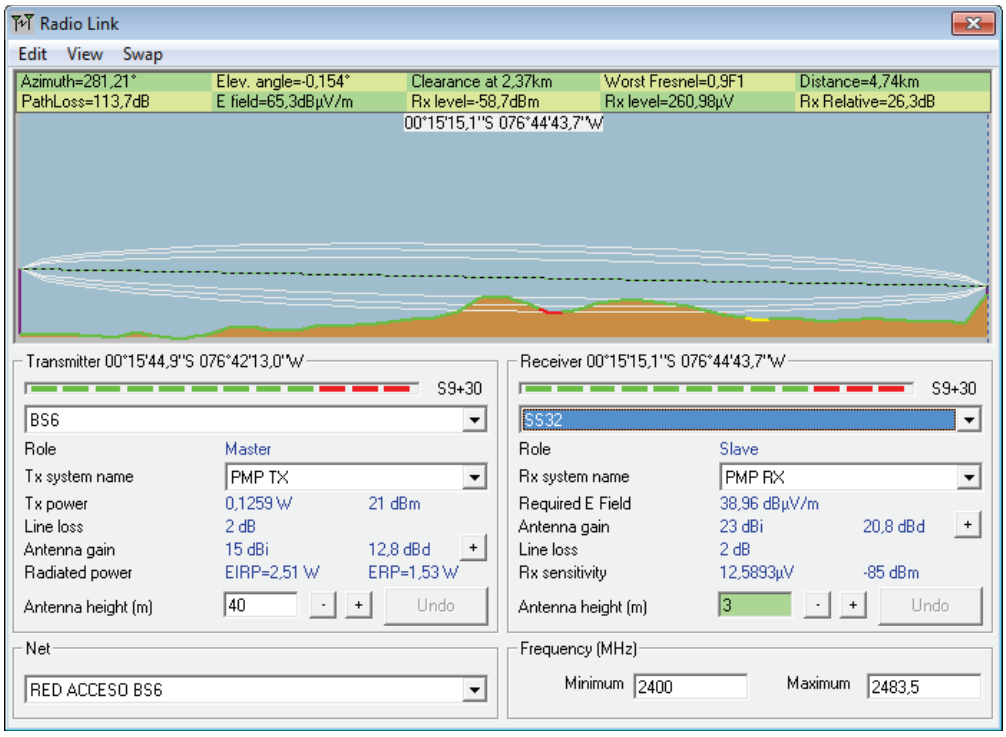


Figura 3.57 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS32

3.4.1.6.4 *Enlace de acceso BS6-SS33*

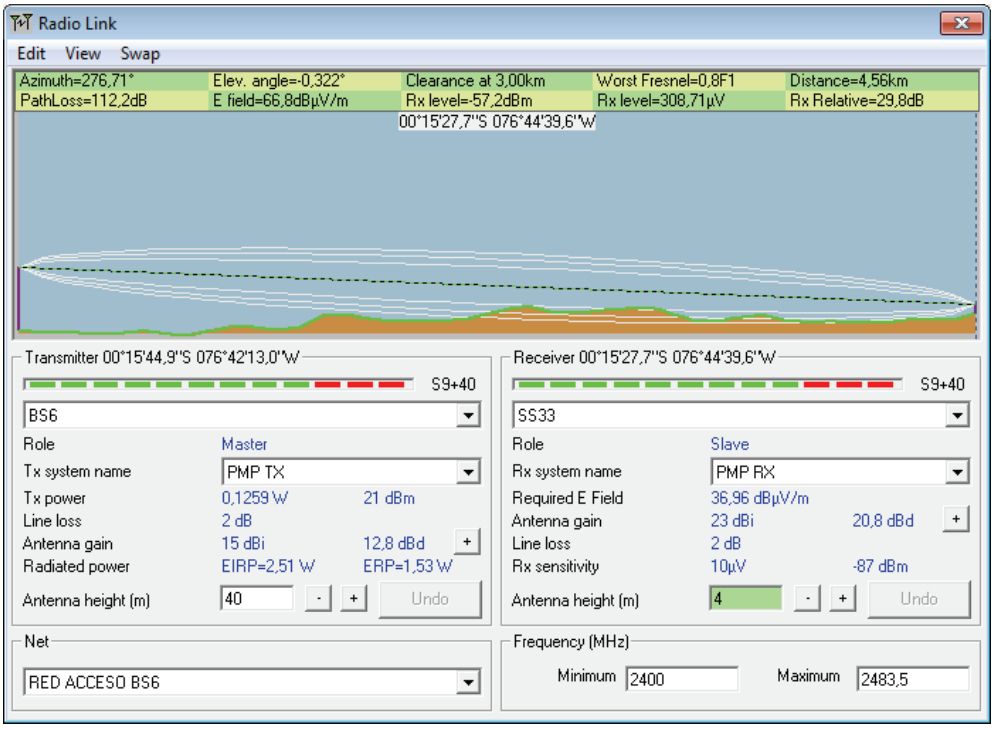


Figura 3.58 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS33

La escuela SS33 se encuentra a 4.56 Km de distancia desde la radio base BS6 como se muestra en la figura 3.58, para tener línea de vista y un margen de despeje del 80% la altura de la antena receptora debe ser de 4 metros, el enlace tiene un margen de desvanecimiento de 29.8 dB.

3.4.1.6.5 *Enlace de acceso BS6-SS38*

El perfil topográfico del enlace de acceso BS6-SS38 que se muestra en la figura 3.59, presenta una elevación de terreno a 3.5 Km de distancia desde la radio base BS6, para tener línea de vista y un margen de despeje mayor al 60% se debe colocar la antena receptora a una altura de 22 metros. El margen de desvanecimiento es de 25.5 dB.

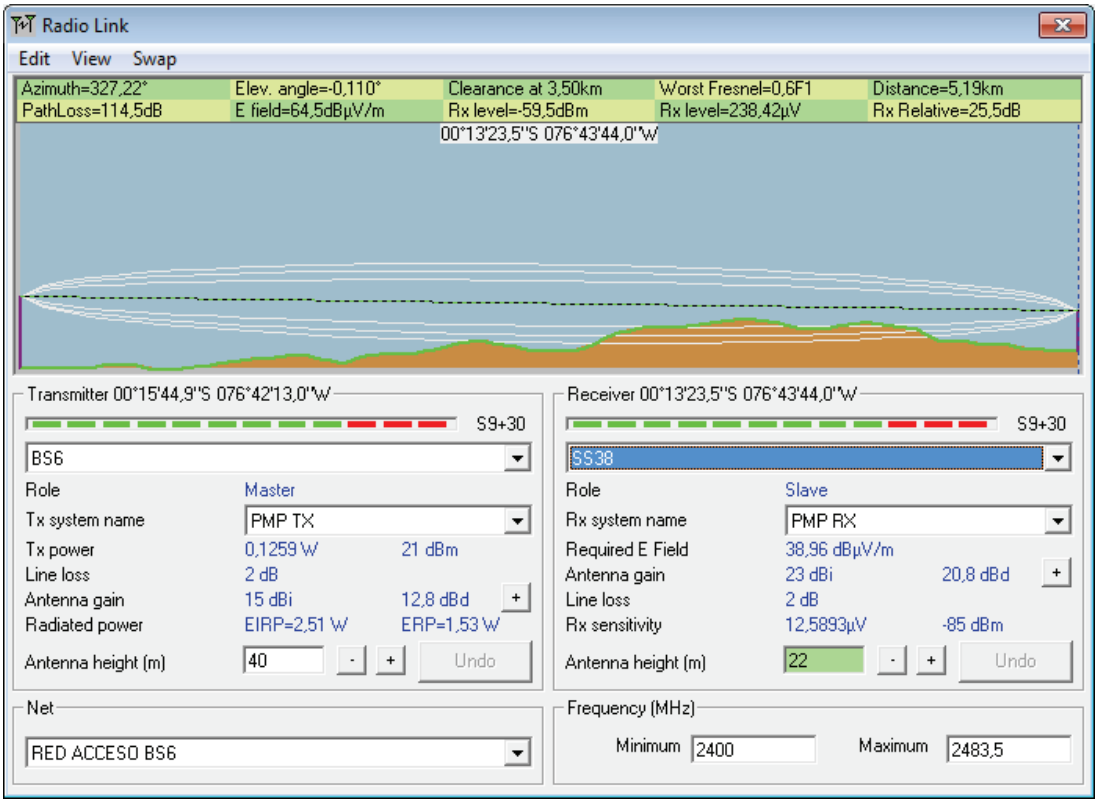


Figura 3.59 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS3

3.4.1.6.6 *Enlace de acceso BS6-SS46*

El enlace de acceso BS6-SS46 que se observa en la figura 3.60 tiene una distancia de 3.58Km, el perfil topográfico presenta una elevación de terreno a 1.56 Km desde la radio base BS6, para tener un margen de despeje del 90% la altura de la antena receptora debe ser de 6 metros. Es un enlace estable por tener un margen de desvanecimiento de 30.8 dB.

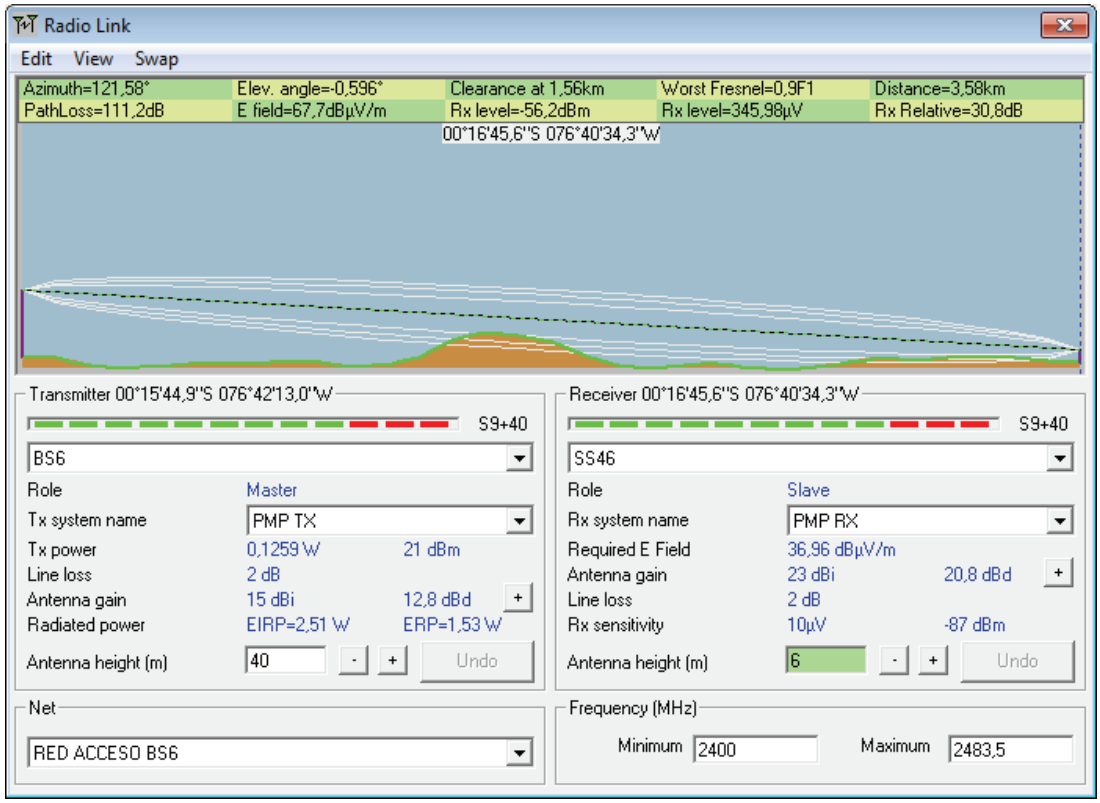


Figura 3.60 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS46

3.4.1.6.7 *Enlace de acceso BS6-SS47*

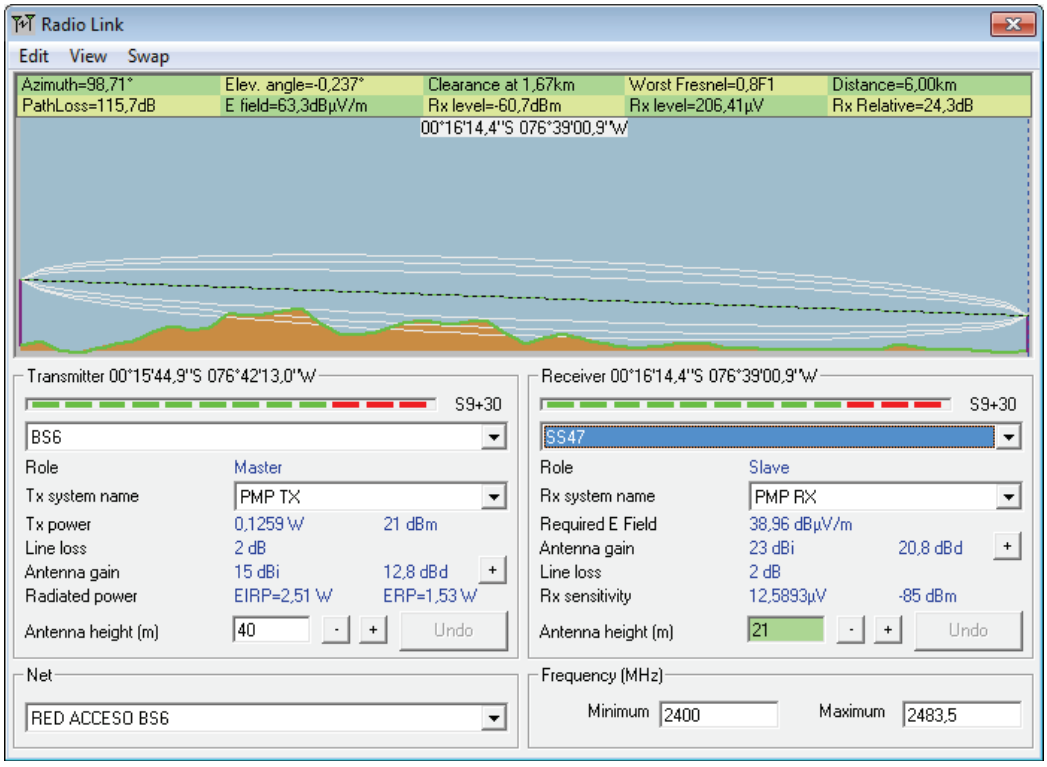


Figura 3.61 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – SS47

La escuela SS47 se encuentra a 6 kilómetros de distancia desde la torre BS6 como se observa en la figura 3.61, a 1.67 Km desde la radio base se encuentra una elevación de terreno y para tener línea de vista se debe colocar la antena receptora a 21 metros de altura. El enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 24.3 dB.

3.4.1.7 Red de acceso BS7

La radio base BS7 estará ubicada en el Colegio Juna Montalvo, que pertenece a la parroquia de San Roque, esta radio base asocia 7 instituciones educativas como se observa en la figura 3.62.

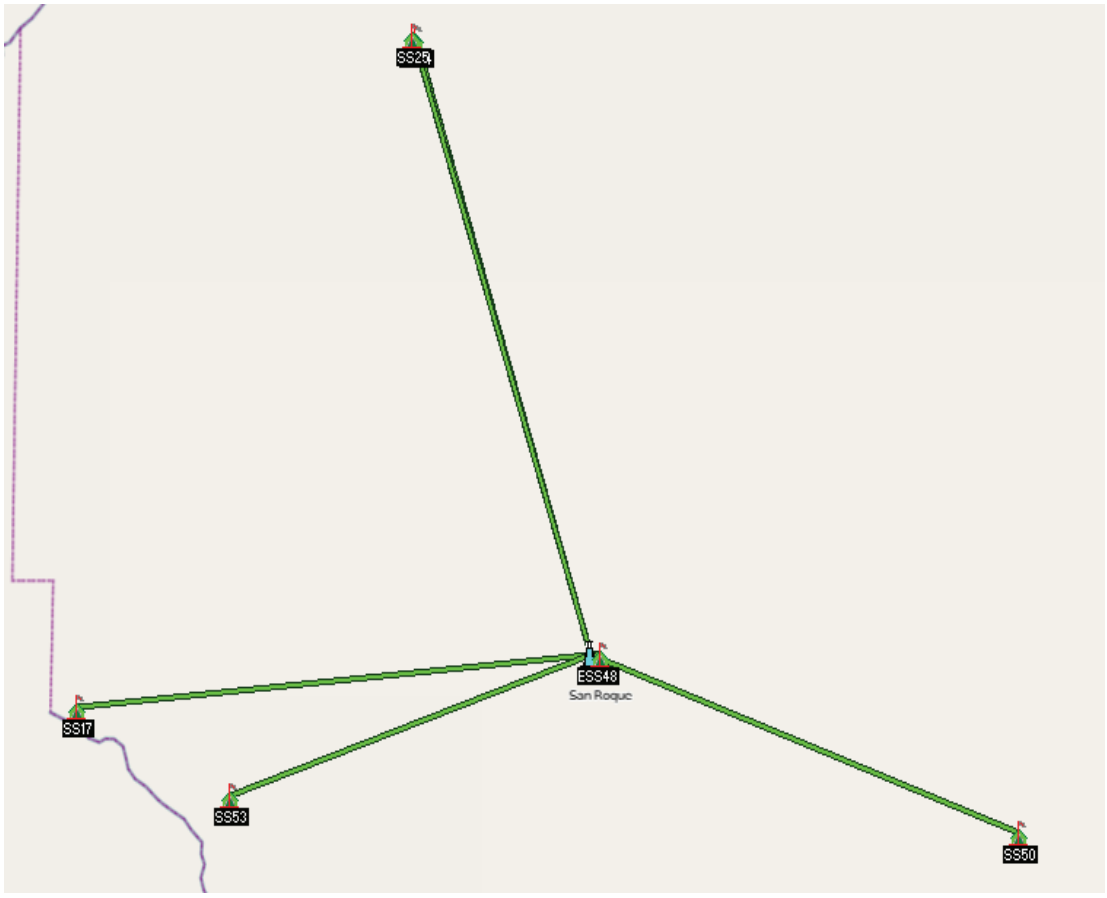


Figura 3.62 Topología de red acceso BS7

El Centro de Educación Básica Hna. Inés Arango Velásquez (SS50) está ubicado en la parroquia San Roque, esta institución educativa tiene la infraestructura civil necesaria para el servicio de videollamada, por lo tanto contará con este servicio. En la tabla 3.23 se resumen las velocidades de transmisión que necesita cada institución educativa asociada a la radio base BS7.

INST. EDUC.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS17	4	280	2	1,20	2	50%	0,88	31,20	0,00	0,91
SS24	4	280	2	1,20	2	50%	0,88	31,20	0,00	0,91
SS25	5	280	2	1,20	2	50%	0,95	31,20	0,00	0,98
SS48	14	280	4	1,20	2	50%	2,18	31,20	0,00	2,21
SS50	30	280	8	1,20	2	50%	4,50	31,20	3730,00	8,26
SS52	17	280	6	1,20	2	50%	2,99	31,20	0,00	3,02
SS53	5	280	2	1,20	2	50%	0,95	31,20	0,00	0,98
TOTAL	**79**		**26**				**13,33**	**218,40**	**3730,00**	**17,28**

Tabla 3.23 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS7

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red de acceso BS7.

3.4.1.7.1 *Enlace de acceso BS7-SS17*

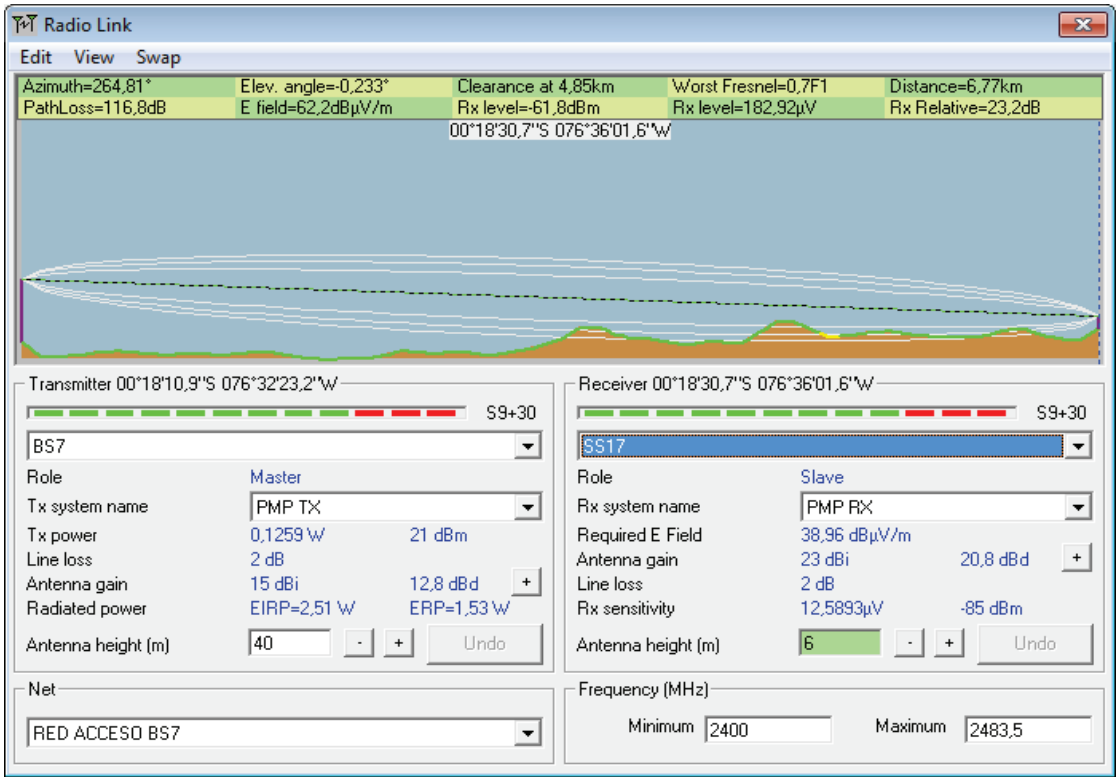


Figura 3.63 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS17

El enlace de acceso BS7 – SS17 tiene una distancia de 6.77 Km, el perfil topográfico presenta una elevación de terreno a 4.85 Km de distancia desde la

radio base BS7, para tener línea de vista y un margen de despeje superior al 60%, la antena receptora debe estar a 6 metros de altura. El enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 23.2 dB.

3.4.1.7.2 *Enlace de acceso BS7-SS24*

El perfil del enlace de acceso BS7- SS24 que se observa en la figura 3.64, presenta pequeñas elevaciones de terreno, la distancia del enlace es de 7.6 kilómetros, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70 % la antena de la escuela SS24 debe estar a una altura de 3 metros.

El enlace tiene un margen de desvanecimiento de 22.2 dB, esto permite tener un enlace estable.

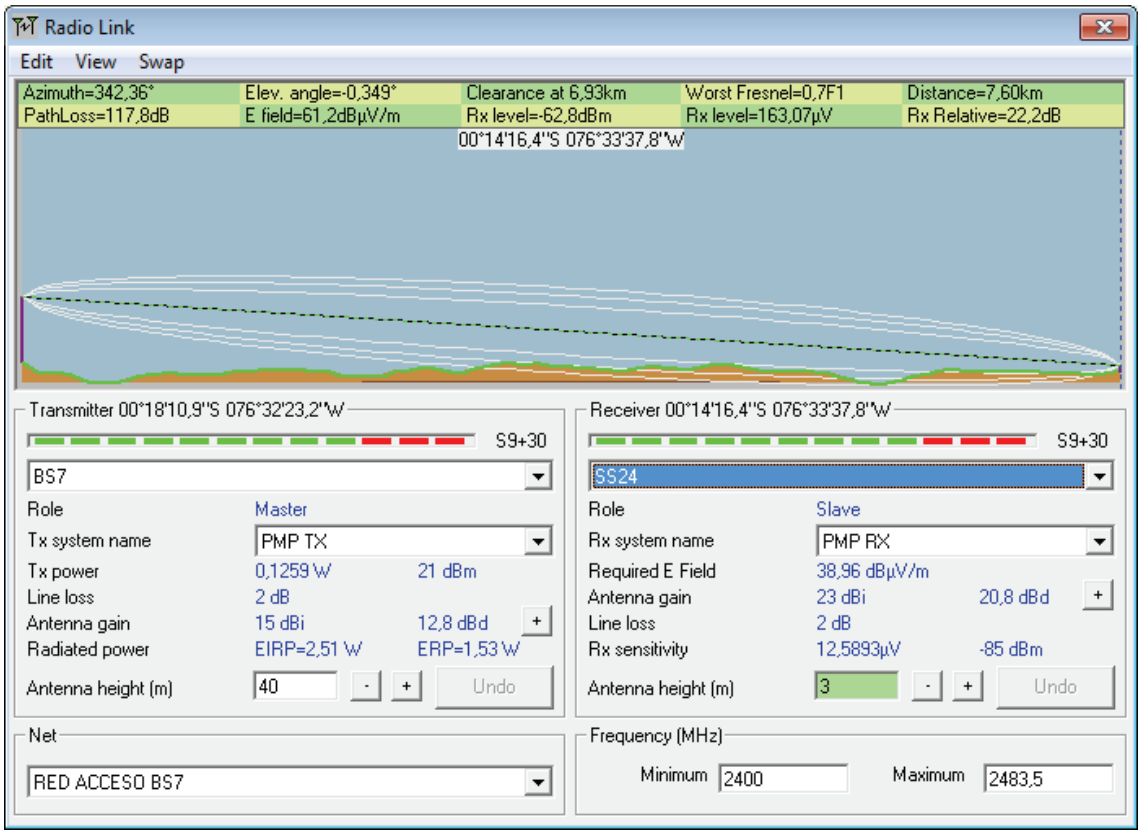


Figura 3.64 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS24

3.4.1.7.3 *Enlace de acceso BS7-SS25*

La escuela SS25 se encuentra a 7.61 Km de distancia de la radio base BS7 como se muestra en la figura 3.65, a 6.94 Km de la radio base se encuentra una elevación de terreno, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70% la

antena receptora debe estar a 3 metros de altura. El enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 22.2 dB.

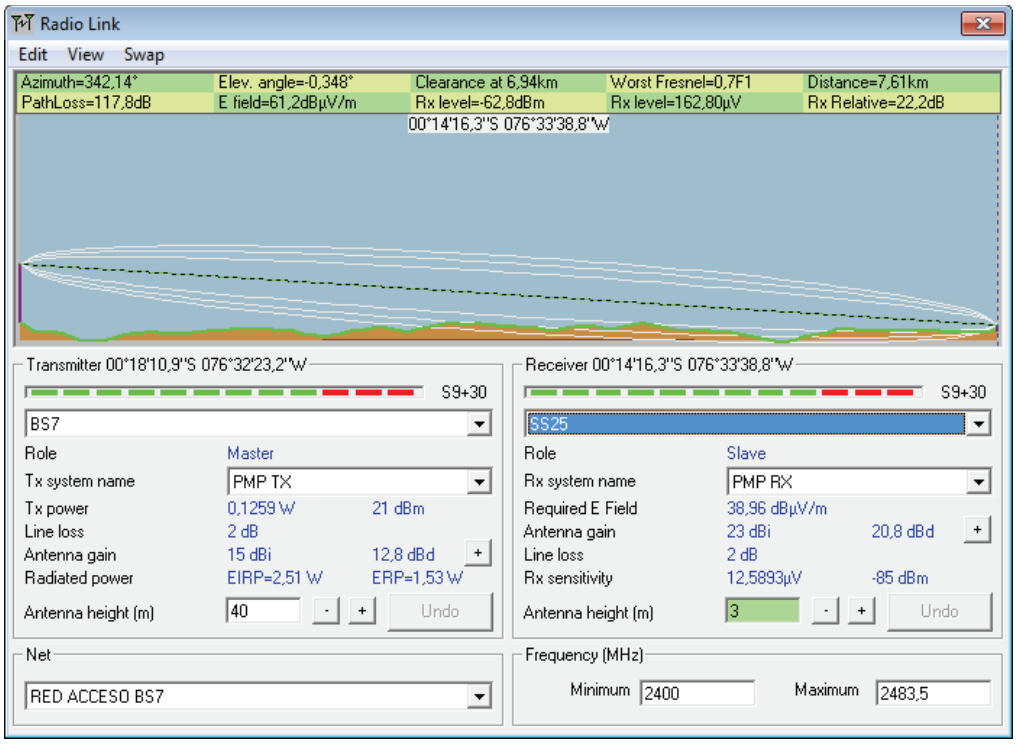


Figura 3.65 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS25

3.4.1.7.4 *Enlace de acceso BS7-SS48*

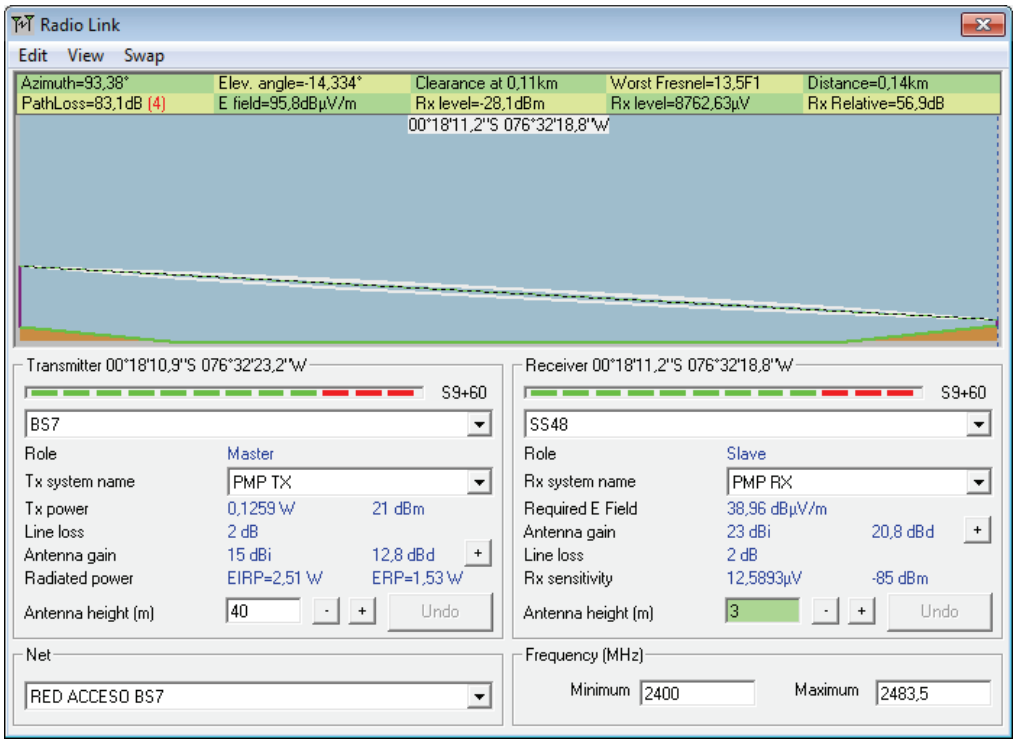


Figura 3.66 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS48

La escuela SS48 se encuentra muy próxima a la radio base BS7 como muestra la figura 3.66, la distancia del enlace es de 140 metros y existe línea de vista al colocar la antena receptora a una altura de 3 metros. El enlace es muy estable por tener un margen de desvanecimiento de 56.9 dB.

3.4.1.7.5 *Enlace de acceso BS7-SS50*

El enlace de acceso BS7-SS50 tiene una distancia de 6 Km como se observa en la figura 3.67, existe línea de vista colocando la antena de recepción a una altura de 3 metros. El margen de despeje es del 120% y el margen de desvanecimiento es 24.2 dB, por lo tanto el enlace es estable.

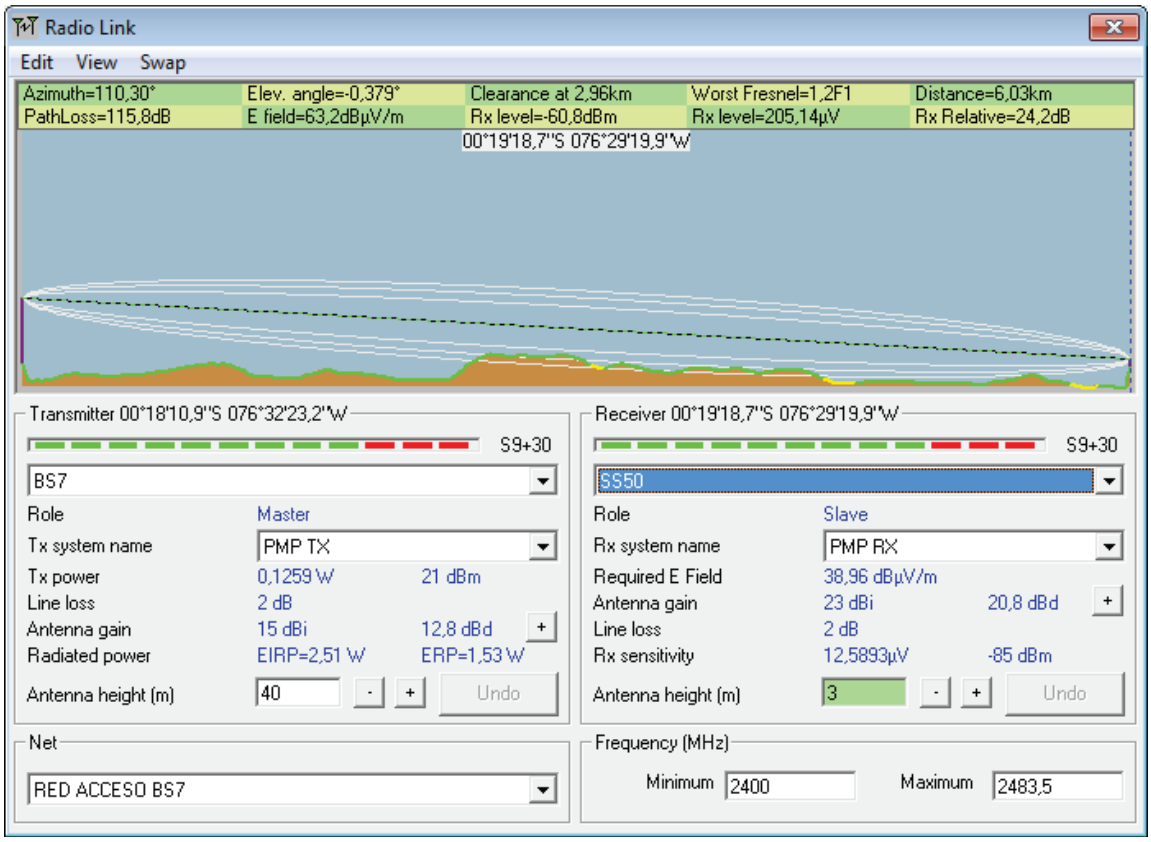


Figura 3.67 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS50

3.4.1.7.6 *Enlace de acceso BS7-SS53*

El perfil del enlace BS7 – SS53 que se muestra en la figura 3.68, presenta una elevación de terreno a 4.25 Km desde la radio base, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70% la antena receptora debe estar a una altura de 18 metros. El margen de desvanecimiento es de 25.8 dB, por lo tanto es un enlace estable.

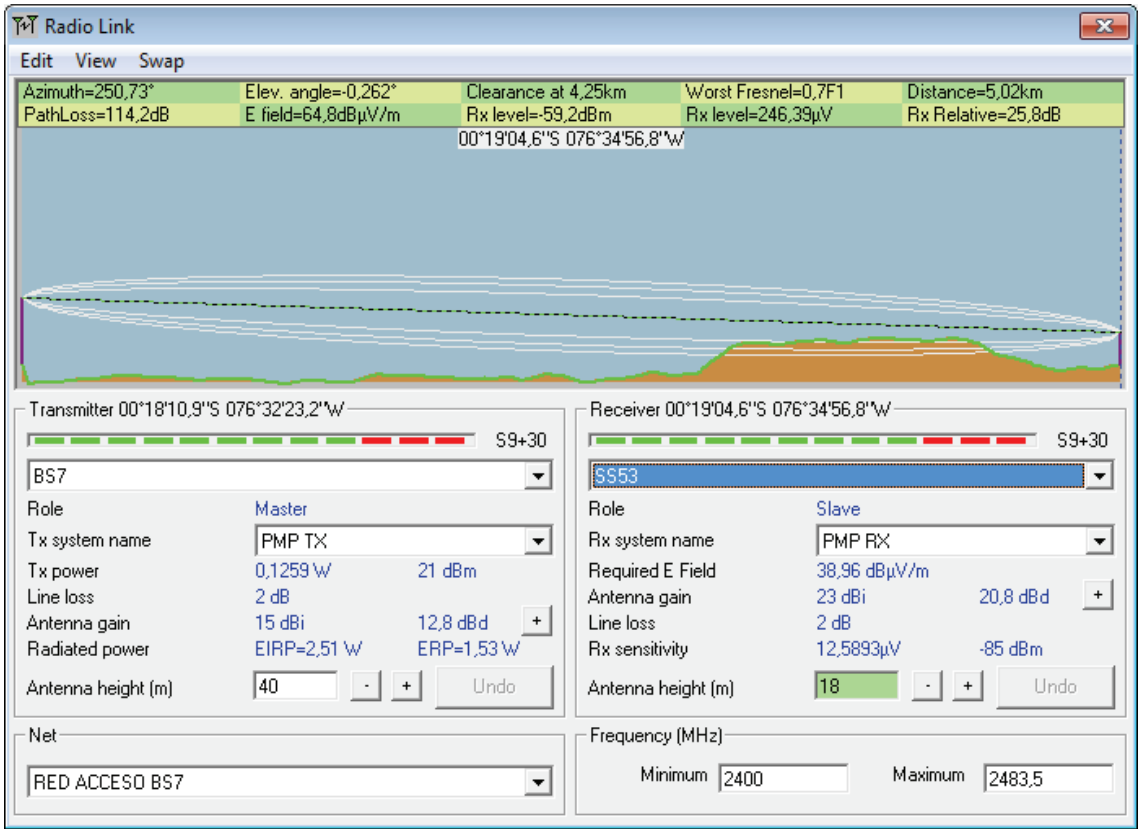


Figura 3.68 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – SS53

3.4.1.8 Red de acceso BS8

En el Centro de Educación Básica Adalberto Ortíz se instalará la radio base BS8, asocia a 3 instituciones educativas, en la figura 3.69 se observa su topología.

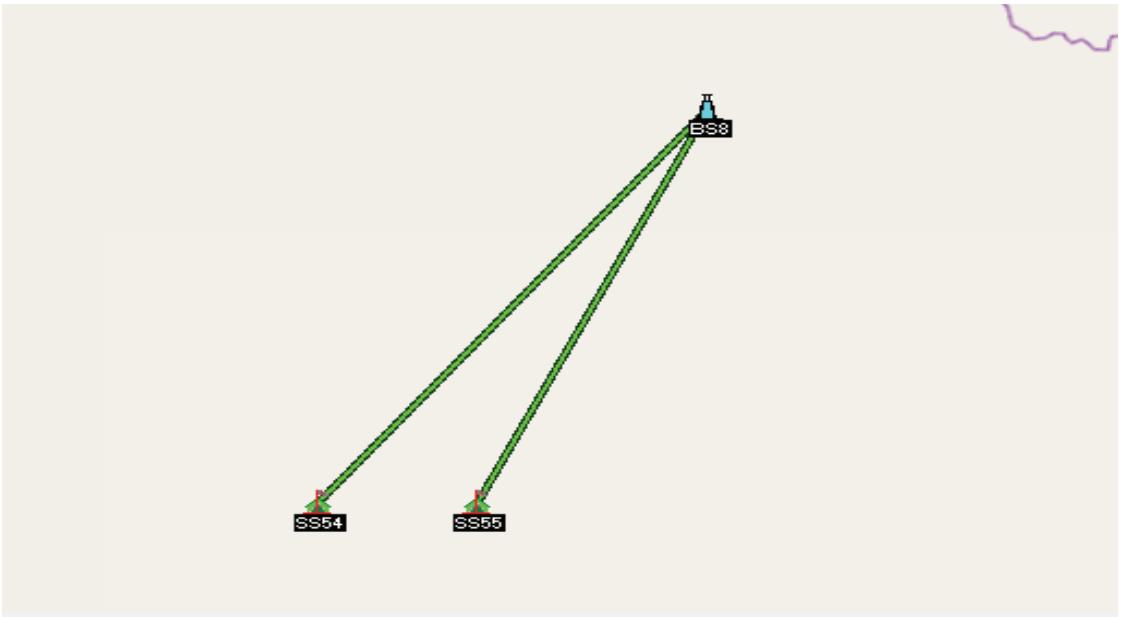


Figura 3.69 Topología de red acceso BS8

La escuela Provincia de Cañar (SS55), es la única institución educativa de la parroquia Pañacocha, el servicio de videollamada estará disponible para esta parroquia desde esta institución. En la tabla 3.24 se resumen las velocidades de transmisión para las 3 instituciones educativas asociadas a la radio base BS8.

INST. EDUC.	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS49	10	280	5	1,20	2	50%	2,20	31,20	0,00	2,23
SS54	4	280	2	1,20	2	50%	0,88	31,20	0,00	0,91
SS55	4	280	2	1,20	2	50%	0,88	31,20	3730,00	4,64
TOTAL	**18**		**9**				**3,96**	**93,60**	**3730,00**	**7,78**

Tabla 3.24 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS8

A continuación se presenta los resultados de la simulación con Radio Mobile para cada uno de los enlaces que conforman la red de acceso BS8.

3.4.1.8.1 *Enlace de acceso BS8-SS54*

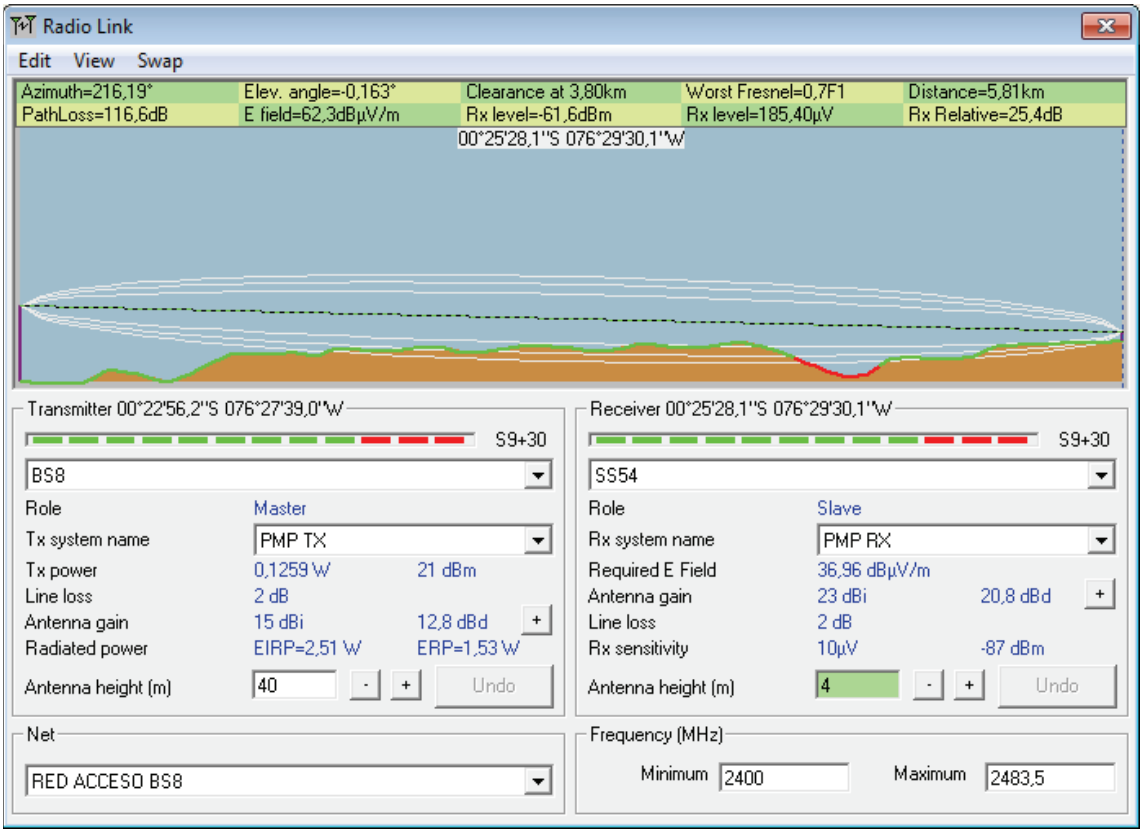


Figura 3.70 Perfil y resultados del radioenlace BS8 – SS54

En enlace BS8-SS54 tiene una distancia de 5.81 Km, su perfil topográfico es irregular, para tener línea de vista y un margen de despeje del 70% la antena receptora debe tener una altura de 4 metros. El margen de desvanecimiento es de 25.4 dB, por tanto es un enlace estable.

3.4.1.8.2 *Enlace de acceso BS8-SS55*

En la figura 3.71 muestra el perfil y los resultados para el enlace de acceso BS8-SS5, su perfil topográfico es irregular y presenta una elevación a 3.66 Km desde la radio base. Para tener línea de vista y un margen de despeje mayor al 60% la altura de antena receptora debe estar a 4 metros.

El enlace tiene un margen de desvanecimiento de 26.6 dB, por lo tanto es un enlace estable.

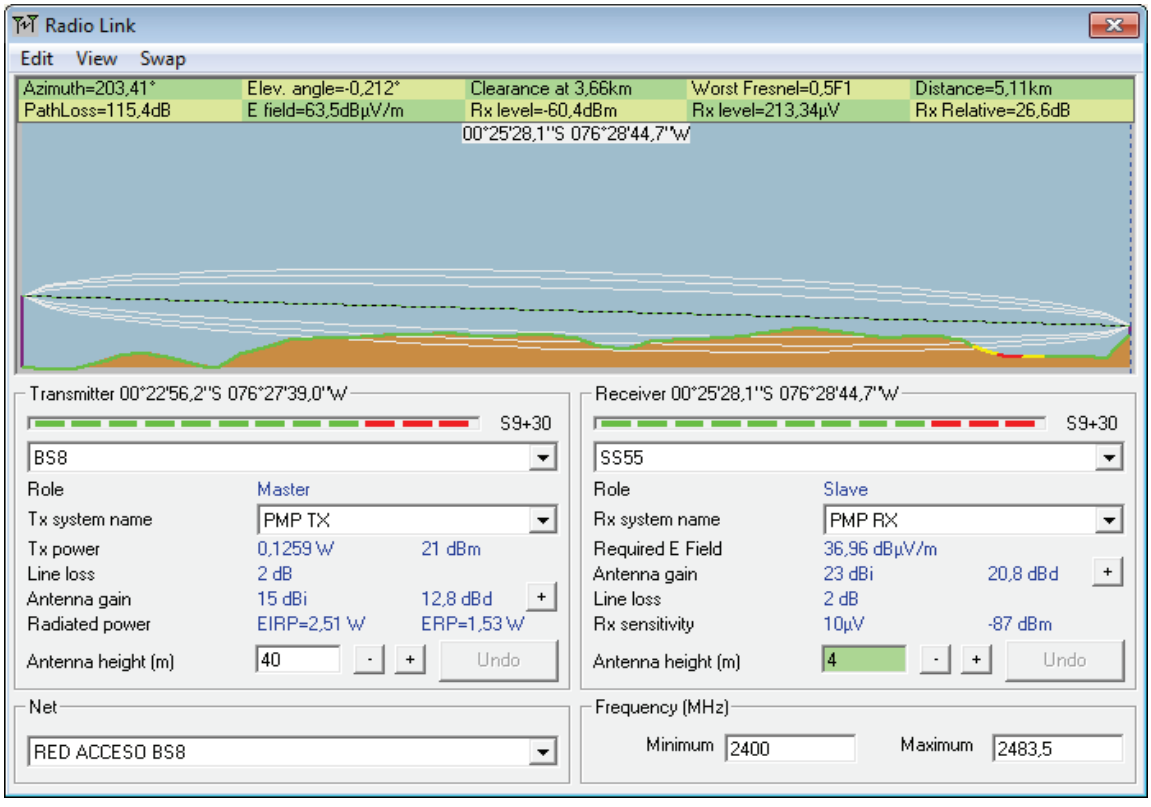


Figura 3.71 Perfil y resultados del radioenlace BS8 – SS55

3.4.1.9 Red de acceso BS9

El Centro de Educación Básica Río Yasuní se encuentra a 20 Km de la radio base más próxima, por ésta razón se instalará la radio base BS9 exclusivamente para ésta institución. La velocidad de transmisión necesaria para la radio base BS9 se detalla en la tabla 3.25.

INST. EDUCATIVA	N° Comp. por estudiantes	Vtx datos por estudiante (Kbps)	N° Comp. por docentes y personal administrativo	Vtx datos por docente (Mbps)	Factor de compartición	Simultaneidad	Vtx Total Datos (Mbps)	Vtx VoIP (Kbps)	Vtx Video (Kbps)	Vtx Total por escuela (Mbps)
SS51	7	280	5	1,20	2	50%	1,99	31,20	0,00	2,02
TOTAL	**7**		**5**				**1,99**	**31,20**	0,00	**2,02**

Tabla 3.25 Tráfico y velocidades de transmisión de red acceso BS9

Debido que la radio base BS9 y la institución educativa se encuentran a una distancia muy próxima no es posible simular el enlace.

3.5 RED TRONCAL

La red troncal está compuesta por los enlaces punto a punto, estos enlaces también se los conoce como enlaces troncales por transportar un mayor flujo de datos. El objetivo de la red troncal es transportar el tráfico generado por la red de acceso hacia el NOC.

Anteriormente en la tabla 3.13 se estableció la ubicación de las radio bases con el objetivo de asociar el mayor número de instituciones educativas a una radio base, en la figura 3.72 se muestra topología para la red troncal, además en la figura consta la distancia de cada enlace troncal.

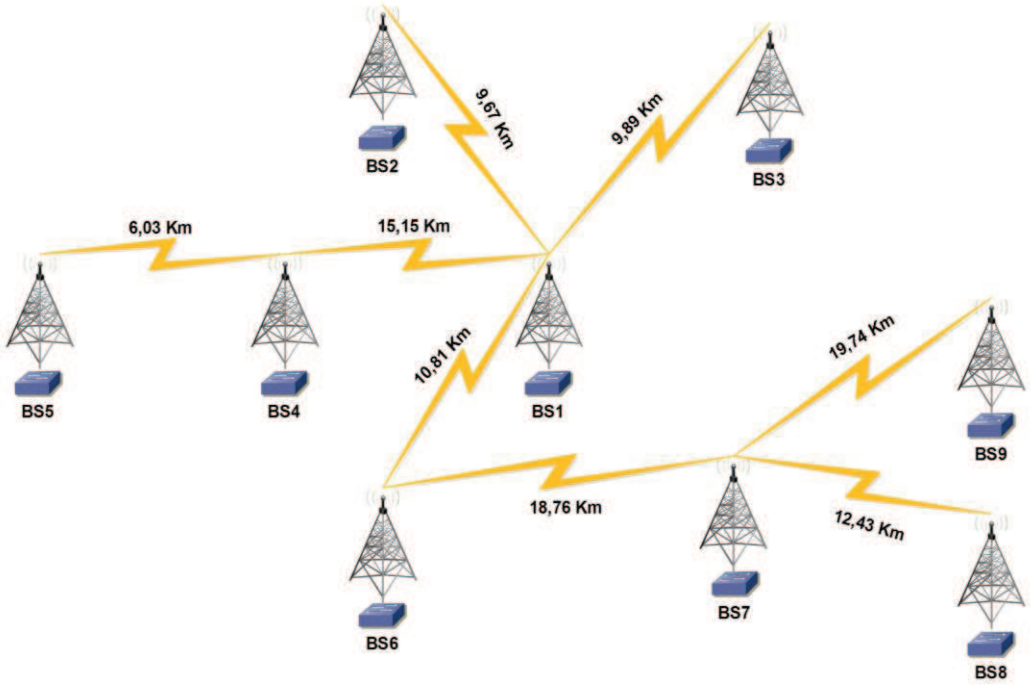


Figura 3.72 Topología de la red troncal

Los parámetros de los equipos garantizan enlaces de hasta 50 Km, la red troncal tiene enlaces con distancias máximas de 20 Km, la altura de las radio bases dependerá de que exista línea de vista con la escuela asociada.

Los parámetros para el cálculo de los enlaces están en la tabla 3.10, por lo tanto se procede a realizar la simulación de los enlaces troncales con el software Radio Mobile.

3.5.1.1 Enlace troncal BS1 - BS3

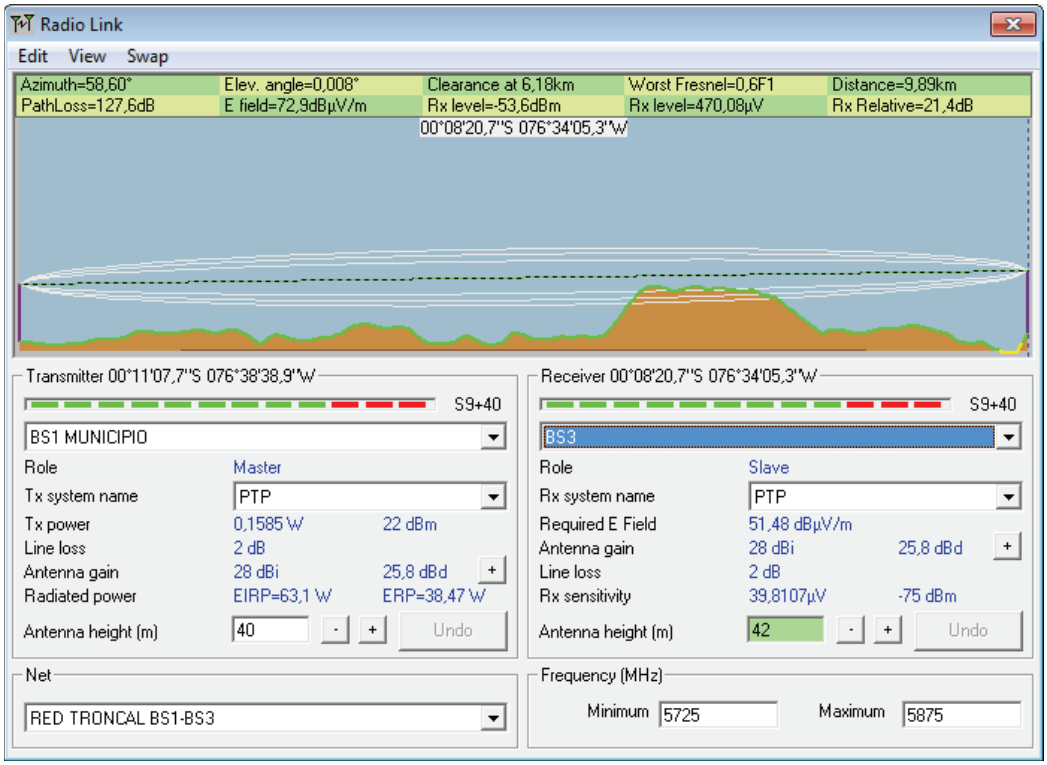


Figura 3.73 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS3

El enlace troncal BS1-BS3 tiene una distancia de 9.89 kilómetros como se muestra en la figura 3.73, el perfil topográfico presenta un elevación de terreno a 6.18 kilómetros desde la radio base BS1, para tener línea de vista y un margen de despeje del 60% la altura de la radio base BS3 debe ser de 42 metros. El enlace tiene un margen de desvanecimiento de 21.4 dB, por lo tanto es un enlace estable.

3.5.1.2 Enlace troncal BS1 – BS4

La figura 3.74 muestra el enlace troncal BS1-BS4, el cual tiene una distancia de 15.15 Km, el perfil topográfico presenta una elevación de terreno a 3.25 Km de

distancia de la radio base BS1, para tener línea de vista y un margen de despeje mayor al 60% la altura de la radio base BS4 debe ser 40 metros. El enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 17.8 dB.

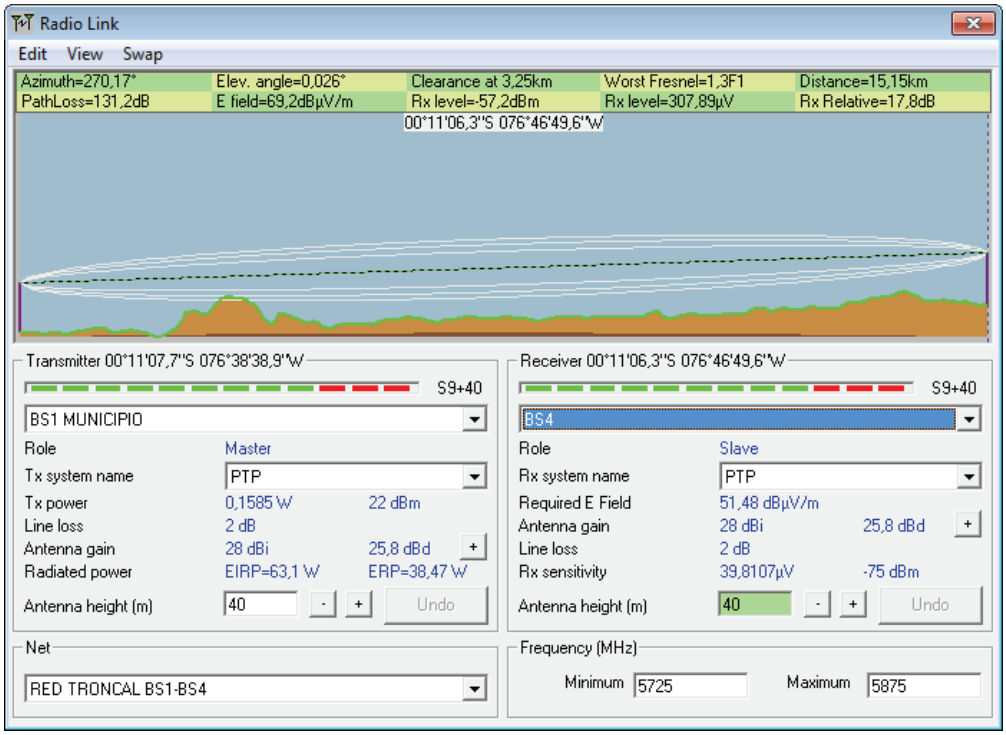


Figura 3.74 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS4

3.5.1.3 Enlace troncal BS1 – BS6

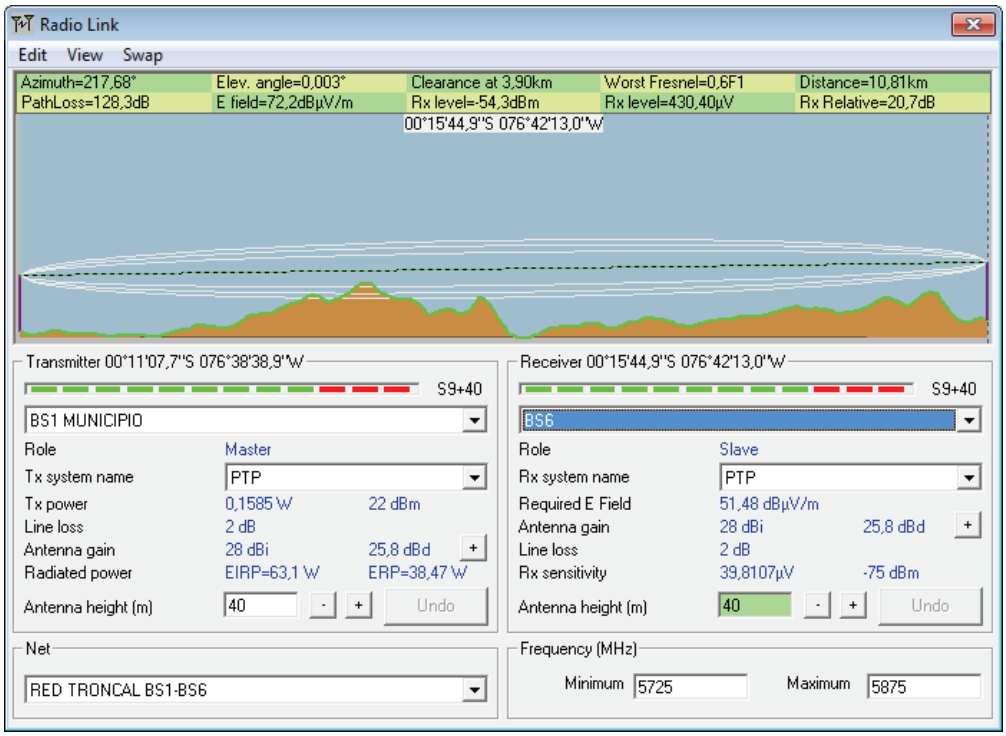


Figura 3.75 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS6

La figura 3.75 muestra los resultados de la simulación para el enlace troncal BS1-BS6, el enlace tiene una distancia de 10.81 Km, a 3.9 kilómetros de la radio base BS1 existe una elevación de terreno, para tener línea de vista y un margen de despeje del 60% la altura de la radio base debe ser de 40 metros.

El enlace tiene un margen de desvanecimiento de 20.7 dB, por lo tanto es un enlace estable.

3.5.1.4 Enlace troncal BS4 – BS5

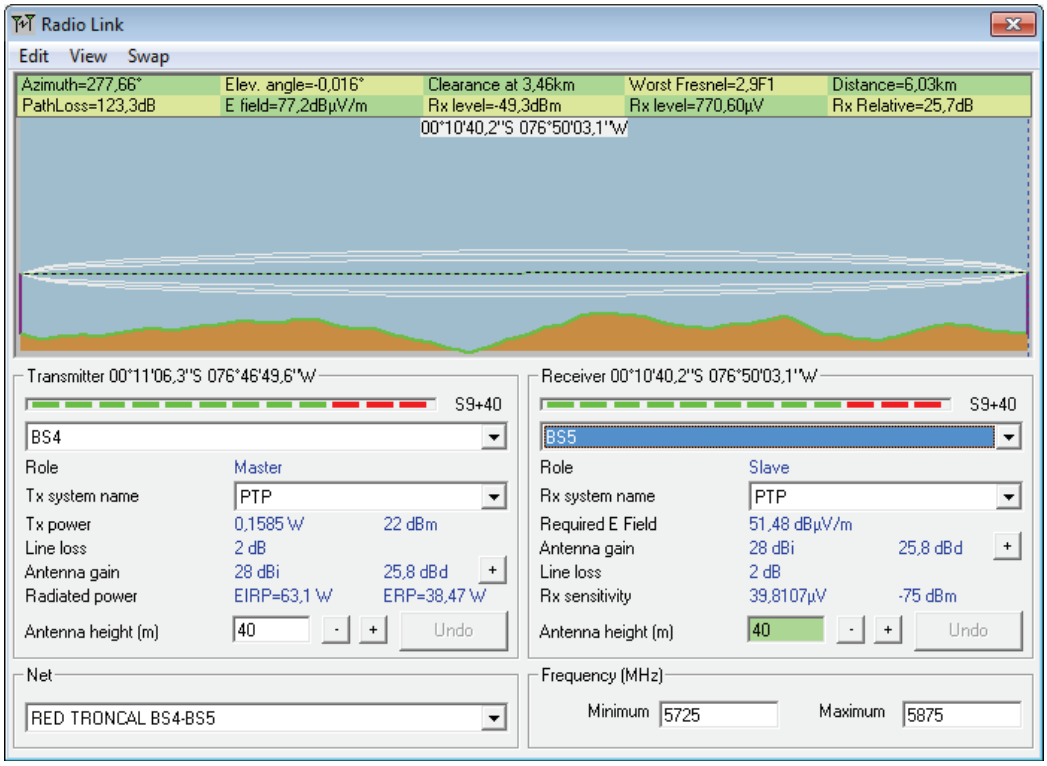


Figura 3.76 Perfil y resultados del radioenlace BS4 – BS5

El enlace troncal BS4-BS5 tiene una distancia de 6 kilómetros como se muestra en la figura 3.76, el perfil topográfico no presenta ninguna elevación de terreno importante, por lo que facilita tener línea de vista. Con una altura de 40 metros en la radio base BS5 se tiene un margen de despeje del 290%, el enlace es estable por tener un margen de desvanecimiento de 25.7 dB.

3.5.1.5 Enlace troncal BS6 – BS7

El enlace troncal BS6 – BS7 tiene una distancia de 18.75 kilómetros como se observa en la figura 3.77, el perfil topográfico es irregular, presenta una elevación de terreno a 7.64 kilómetros desde la radio base BS6. Para tener línea de vista y

un margen de despeje mayor al 60% la altura de la radio base BS7 debe ser de 40 metros. El margen de desvanecimiento para este enlace es de 15.9 dB, por lo tanto es un enlace estable.

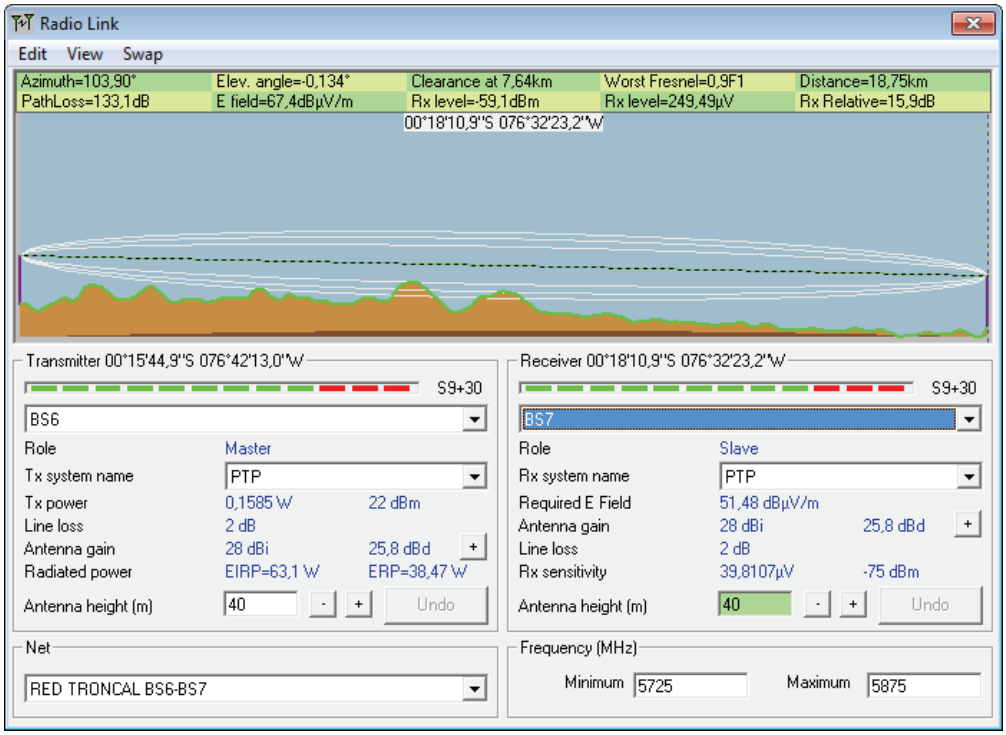


Figura 3.77 Perfil y resultados del radioenlace BS6 – BS7

3.5.1.6 Enlace troncal BS7 – BS8

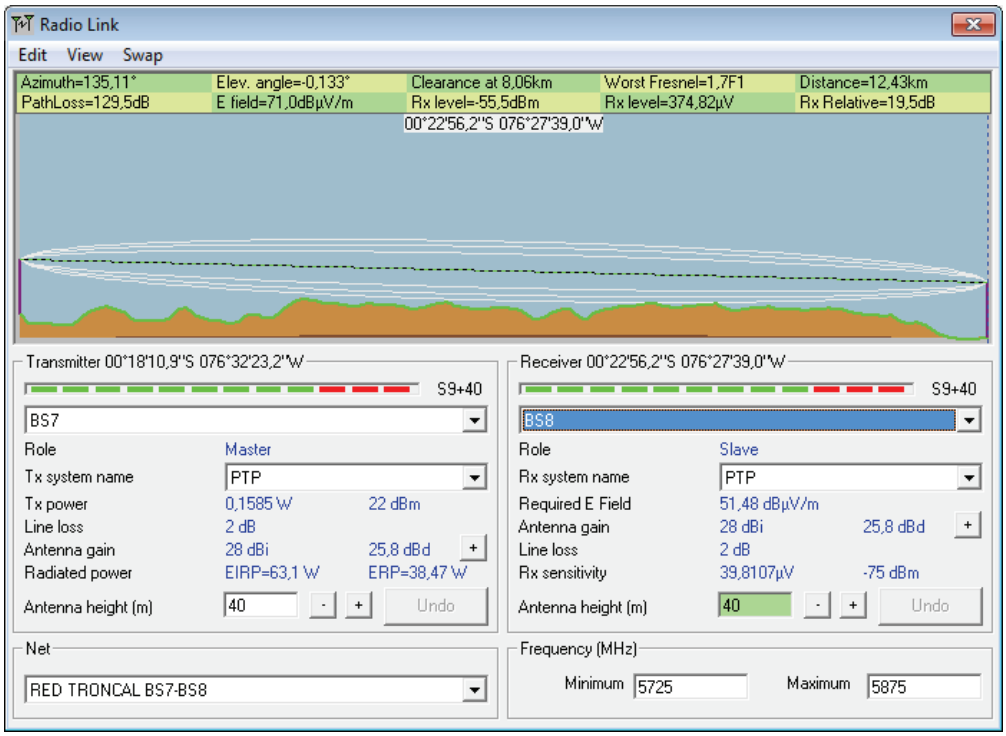


Figura 3.78 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – BS8

La radio base BS8 se encuentra a una distancia de 12.43 kilómetros de la radio base BS7 como se muestra en la figura 3.78, existe una elevación de terreno a 8 kilómetros de la radio base BS7. Para tener línea de vista y un margen de desvanecimiento mayor al 60%, la altura de la radio base BS8 debe ser de 40 metros. Para este enlace el margen de desvanecimiento es de 19.5 dB, por lo tanto es un enlace estable.

3.5.1.7 Enlace troncal BS7 – BS9

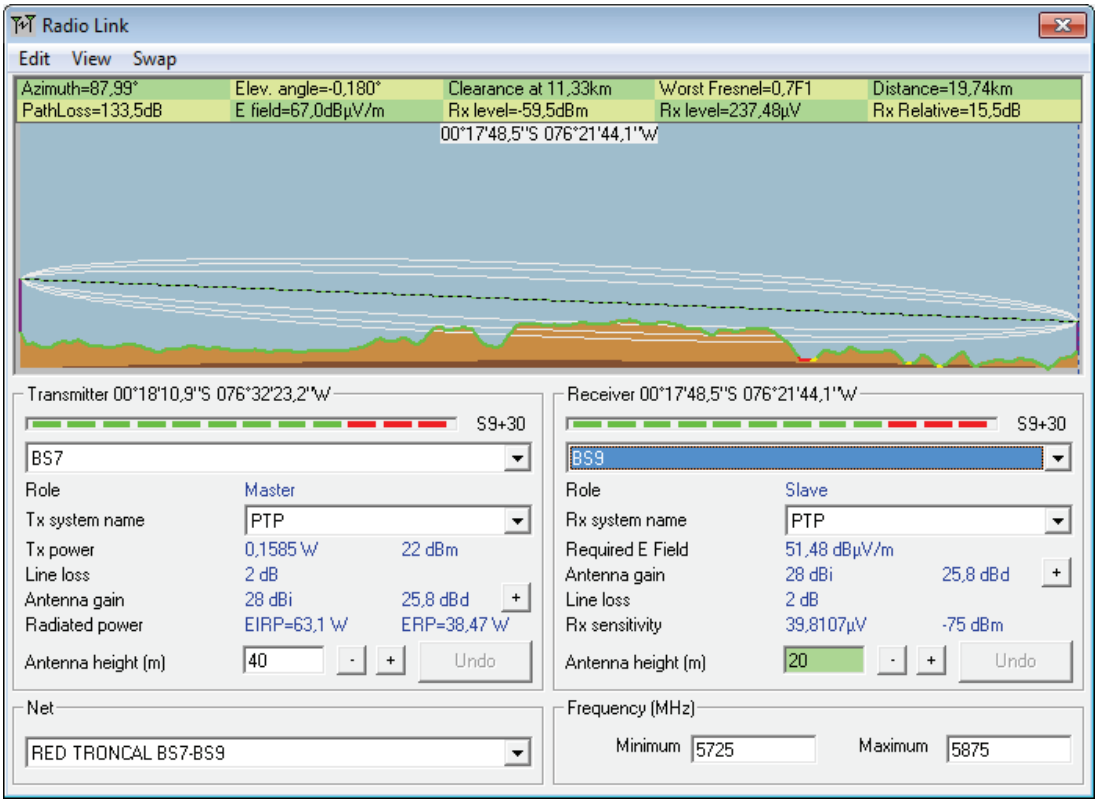


Figura 3.79 Perfil y resultados del radioenlace BS7 – BS9

El enlace troncal BS7-BS9 tiene una distancia de 19.74 kilómetros como se aprecia en la figura 3.79, lo que lo hace el enlace más largo de la red. El perfil topográfico es muy irregular y presenta una elevación de terreno a 11.33 kilómetros desde la radio base BS7. Con una altura de 20 metros de la radio base BS9 se consigue línea de vista y un margen de despeje del 70%, por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción. El enlace tiene un margen de desvanecimiento de 15.5 dB, por lo tanto es un enlace estable.

En la figura 3.80 se observan los diferentes enlaces troncales obtenidos con el software Radio Mobile.

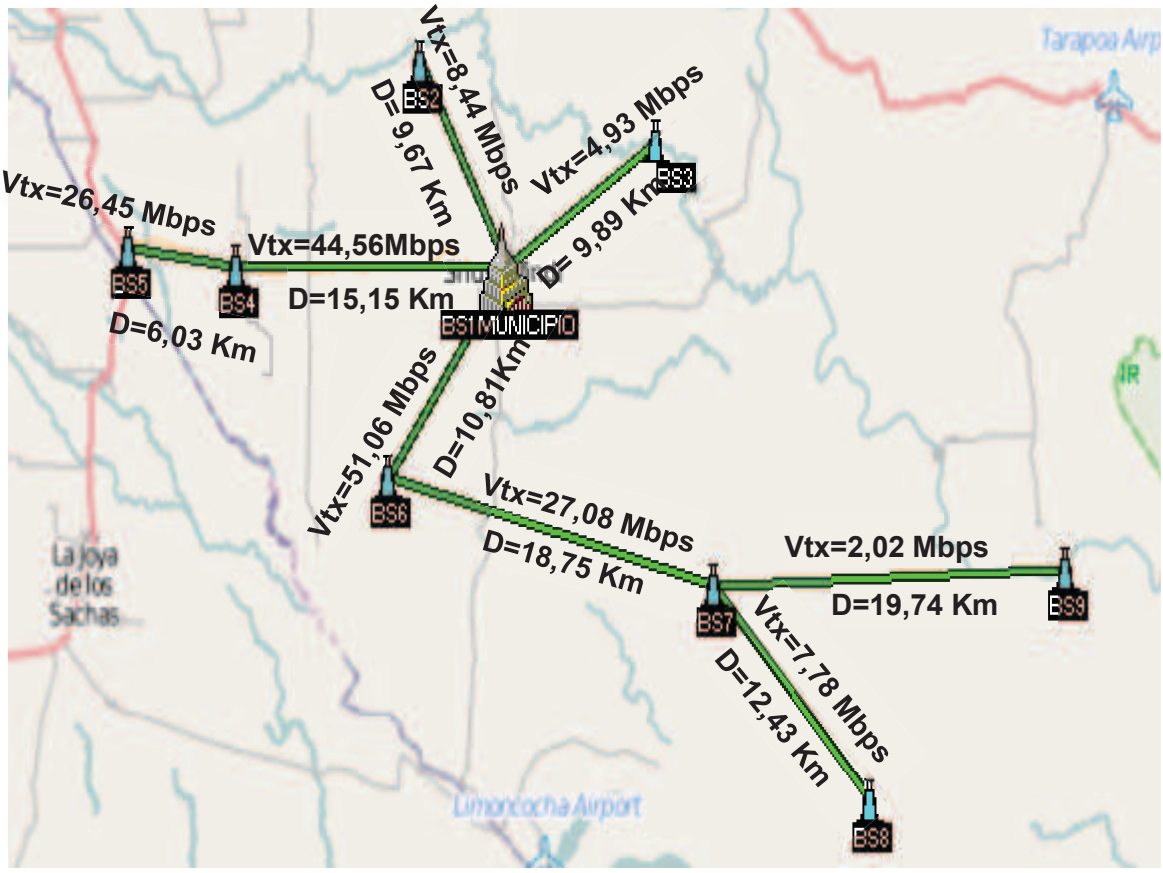


Figura 3.80 Simulación de la topología de red troncal

3.6 CALIDAD DE SERVICIO Y SEGURIDAD EN LA RED

El diseño de la red debe contar con criterios de calidad de servicio y seguridad, a continuación se establece cada uno de ellos.

3.6.1 CALIDAD DE SERVICIO [69], [70], [71], [72]

La Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) se refiere a la capacidad de proporcionar el nivel de servicio adecuado a cada tipo de tráfico.

El estándar IEEE 802.11 trabaja a nivel de capa 2 y utiliza el mecanismo de mejor esfuerzo (*Best Effort*), es decir que la red no puede garantizar que los datos lleguen a su destino, ni ofrecer al usuario una determinada calidad de servicio (QoS) en sus comunicaciones.

Para poder implementar calidad de servicio en dispositivos de capa 2, se requiere algún procedimiento que permita marcar el tráfico para que los dispositivos puedan reconocer los diferentes tipos de tráficos, esto se logra por medio de la utilización del encabezado de encapsulación 802.1q.

El encabezado 802.1q agrega una etiqueta a la trama de Ethernet original y utiliza 3 bits para marcación de tráfico, este procedimiento también suele ser denominado IEEE 802.1p.

La norma IEEE 802.1p define la prioridad del tráfico en la capa 2 del modelo OSI, se utiliza para priorizar los paquetes a medida que atraviesan un segmento de red, cuando la red se congestiona los paquetes marcados con mayor prioridad reciben un trato preferencial y son procesados antes que los paquetes con menor prioridad.

La norma IEEE 802.1p brinda 8 niveles de prioridad que se especifican con un valor de prioridad de entre 0 y 7, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) recomienda la siguiente priorización de tráfico, ver tabla 3.26.

Prioridad	Tipos de tráfico
0 (más baja)	Segundo plano
1	Mejor esfuerzo
2	Excelente esfuerzo
3	Aplicaciones criticas
4	Video
5	Voz
6	Control de red interna
7 (más alta)	Control de red

Tabla 3.26 Niveles de prioridad del estándar IEEE 802.1p [69]

En el diseño de la red se identifican 3 tipos de tráfico: datos, video y VoIP, siguiendo la recomendación de la IEEE para el tráfico de datos la prioridad será de 1, la de mejor esfuerzo, por la razón que es los datos son tolerantes a retados. El tráfico de video tendrá una prioridad de 4, la prioridad de video es menor que la prioridad de voz, porque en una videollamada se puede perder un fotograma pero se debe mantener una conversación fluida, por lo tanto la prioridad de voz será de 5.

En la tabla 3.27 se resumen la prioridad correspondiente a los distintos tipos de tráfico.

PRIORIDAD	TIPO DE TRÁFICO
1	Datos
4	Video
5	VoIP

Tabla 3.27 Prioridad para tráfico

3.6.2 SEGURIDAD [72]

La seguridad hoy en día es primordial en una red, en el anexo D se exponen los ataques a los que está expuesta una red. Para mitigar dichos ataques se presentan los siguientes mecanismos:

- ✓ Cortafuegos.
- ✓ Autentificación y encriptación de datos.

3.6.2.1 Cortafuegos [73], [74], [75], [76]

Un cortafuegos (*Firewall*) es un sistema que protege a un ordenador o a una red de ordenadores contra intrusiones provenientes de redes de terceros, generalmente desde Internet, es decir un firewall filtra paquetes de datos que se intercambian a través de Internet, ver figura 3.81.

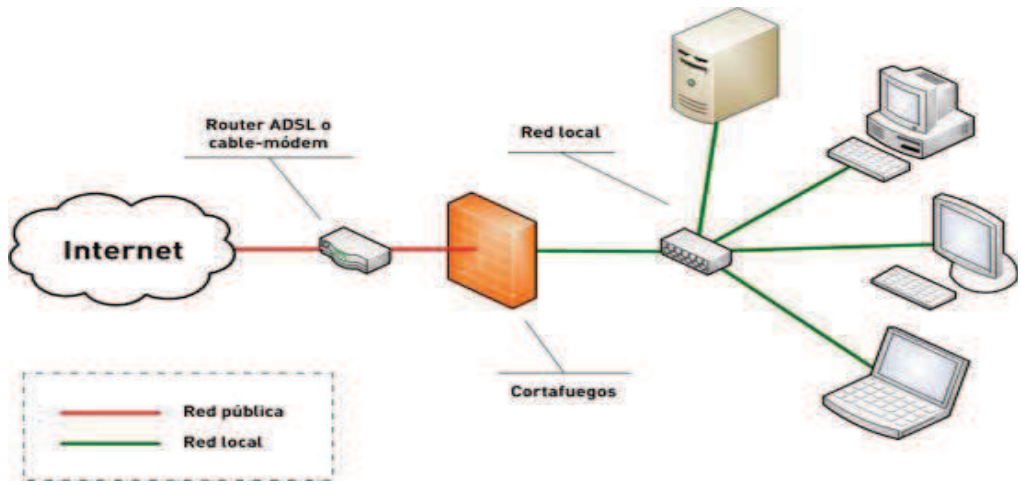


Figura 3.81 Topología del firewall [77]

El firewall puede estar conectado a una tercera red, llamada zona desmilitarizada (DMZ, *Demilitarized Zone*). Una zona desmilitarizada es una red local que se ubica entre la red interna de una organización y una red externa, generalmente en Internet, ver figura 3.82.

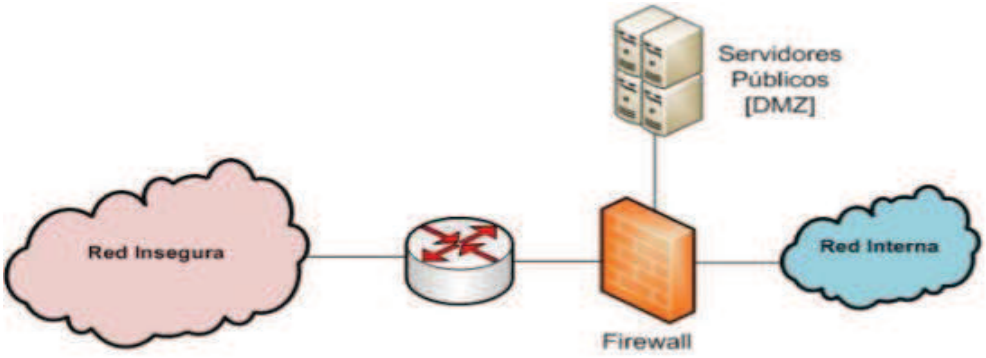


Figura 3.82 Topología del Firewall con DMZ [78]

El objetivo de una DMZ es que las conexiones desde la red interna y la externa a la DMZ estén permitidas, mientras que las conexiones desde la *DMZ* sólo se permitan a la red externa.

Por lo tanto para proteger la red mediante firewall se puede utilizar la zona desmilitarizada o simplemente conectando directamente el firewall.

Un firewall con zona desmilitarizada se convierte en un callejón sin salida para cualquier red externa que quiera conectarse ilegalmente a la red interna, por esta razón el diseño de la red utilizará un firewall con DMZ.

Las políticas que se aplicarán en el firewall para la zona desmilitarizada serán las siguientes:

- ✓ El tráfico de la red externa a la DMZ está autorizado.
- ✓ El tráfico de la red externa a la red interna está prohibido.
- ✓ El tráfico de la red interna a la DMZ está autorizado.
- ✓ El tráfico de la red interna a la red externa está autorizado.
- ✓ El tráfico de la DMZ a la red interna está prohibido.
- ✓ El tráfico de la DMZ a la red externa está denegado.

El firewall deberá filtrar el contenido web por seguridad de la red y para no congestionar el acceso a Internet, las páginas que estarán prohibidas serán:

- ✓ Páginas web con contenido pornográfico.
- ✓ Páginas web con contenido de violencia.
- ✓ Páginas web con contenido de drogas.
- ✓ Páginas web de streaming de video.
- ✓ Páginas de redes sociales.

El firewall deberá tener abiertos solos los puertos de navegación web, correo electrónico y transferencia de archivos; en caso de que una aplicación o servicio necesite abrir un puerto en especial, se lo deberá solicitar al administrador de la red. Por lo tanto el firewall deberá tener abiertos los puertos:

- ✓ Puerto 80 (HTTP), para navegación web.
- ✓ Puerto 443 (HTTPS), para navegación web en modo seguro.
- ✓ Puerto 53 (DNS), para resolver la dirección IP de un dominio.
- ✓ Puerto 20 y 21 (FTP), para transferencia de archivos.
- ✓ Puerto 25 (SMTP), para envío de correos.
- ✓ Puerto 110 (POP3), para recibir correos.

3.6.2.2 Autentificación y encriptación de datos [79], [80], [81], [82]

Un protocolo de autentificación tiene el propósito de autentificar usuarios registrados para poder ingresar al sistema de forma segura.

La encriptación de datos es el proceso mediante el cual cierta información o texto sin formato es cifrado, de forma que el resultado sea ilegible a menos que se conozcan los datos necesarios para su interpretación.

Para autentificación y encriptación de datos en redes inalámbricas existe dos formas de hacerlo, éstas son:

- ✓ Privacidad equivalente al cable (WEP, *Wired Equivalent Privacy*).
- ✓ Acceso protegido Wi-Fi (WPA, *Wi-Fi Protected Access*).

3.6.2.2.1 *Privacidad equivalente al cable (WEP)*

WEP es un método de seguridad de red antiguo, proporciona un cifrado a basado en el algoritmo de cifrado RC4[27] que utiliza claves de 64 bits o de 128 bits. La autentificación se lo puede hacer mediante un sistema abierto o clave compartida, sin embargo la seguridad WEP es relativamente fácil de vulnerar.

[27] El RC4 funciona expandiendo una semilla (*seed*) para generar una secuencia de números pseudoaleatorios de mayor tamaño. Esta secuencia de números se unifica con el mensaje mediante una operación XOR para obtener un mensaje cifrado.

3.6.2.2.2 *Acceso protegido Wi-Fi (WPA)*

WPA cifra la información y también comprueba que la clave de seguridad de red no haya sido modificada. Además, WPA autentica a los usuarios con el fin de garantizar que únicamente los usuarios autorizados puedan tener acceso a la red.

WPA fue diseñado para utilizar un servidor de autenticación, normalmente un servidor RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Server),* que distribuye claves diferentes a cada usuario a través del protocolo 802.1x.

WPA2 es la segunda generación de WPA, incluye el algoritmo de cifrado AES (*Advanced Encryption Standard*), éste proporciona una encriptación segura y ha sido elegido por la Agencia de Seguridad Nacional de los Estados Unidos (NSA) para proteger la información clasificada hasta el nivel ALTO SECRETO.

WPA2 es el estándar más moderno para proteger redes inalámbricas y el que recomienda la *Wi-Fi Alliance*, por lo tanto será el que se implementará en el diseño de la red. Con el estándar WPA2 los datos de la red serán encriptados con el algoritmo AES y los usuarios se autentificarán mediante un servidor RADIUS.

3.7 GESTIÓN DE RED [83], [84], [85]

La gestión de red consiste en monitorizar y controlar los recursos de una red con el fin de evitar que ésta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones.

La gestión de red se realizará en el NOC (*Network Operations Center*) mediante software a través del protocolo SNMP. En el Anexo E, se detalla el funcionamiento del protocolo SNMP y las funciones del NOC.

Los datos a ser monitoreados deben estar de acuerdo a las características propias del equipo gestionado, por ejemplo: memoria, puertos, interfaces, procesador, entre otros. El administrador del NOC debe fijar un periodo de tiempo en el cual los valores serán recolectados y luego evaluar los resultados obtenidos.

Es muy importante que el Administrador de la red documente los equipos activos, pasivos, topología de red, también debe notificar y detallar las soluciones a una falla surgida en la red.

Para monitorear la red se lo hará mediante software, a continuación se presenta dos opciones:

- ✓ JFFNMS (*Just For Fun Network Management System*).
- ✓ Zabbix.

JFFNMS (*Just For Fun Network Management System*), es un software que ayuda a gestionar routers, *switches*, servidores y otros equipos de red, está escrito en PHP, funciona en entorno GNU/ Linux, freeBSD y W2k/XP y se distribuye bajo la licencia GPL. JFFNMS genera gráficas para todos los dispositivos de la red, tráfico de red, uso de CPU, errores, además realiza consultas y captura datos.

Zabbix es un sistema de monitoreo de redes, está escrito en código abierto y se distribuye bajo la licencia GPL, a continuación se muestra algunas de las funciones disponibles en Zabbix:

- ✓ Administración completamente web.
- ✓ Escalabilidad, hasta 10.000 dispositivos.
- ✓ Posibilidad de monitorizar redes internas y externas.
- ✓ Sistema de alertas (email, SMS).
- ✓ Creación de plantillas de configuración exportables/importables.
- ✓ Autodescubrimiento de dispositivos.
- ✓ Multiplataforma (Windows, Linux, AIX, FreeBSD, HP-UX, Solaris).
- ✓ Base de datos (Oracle, MySQL, PostgreSQL o SQLite).

En la figura 3.83 se muestra el monitoreo de una interfaz Ethernet realizada con Zabbix, donde se aprecia la velocidad de transmisión durante 3 días.

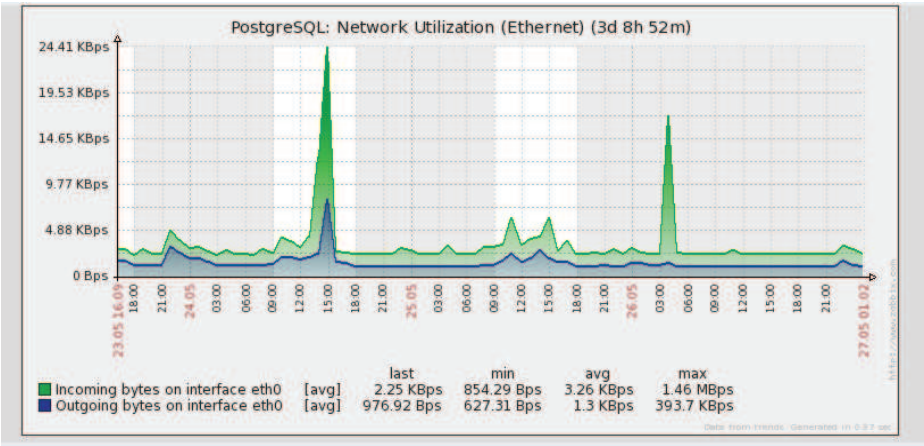


Figura 3.83 Reporte de una interfaz Ethernet generado por Zabbix [85]

En la figura 3.84 se muestra el reporte del rendimiento de un CPU en el periodo de una hora.

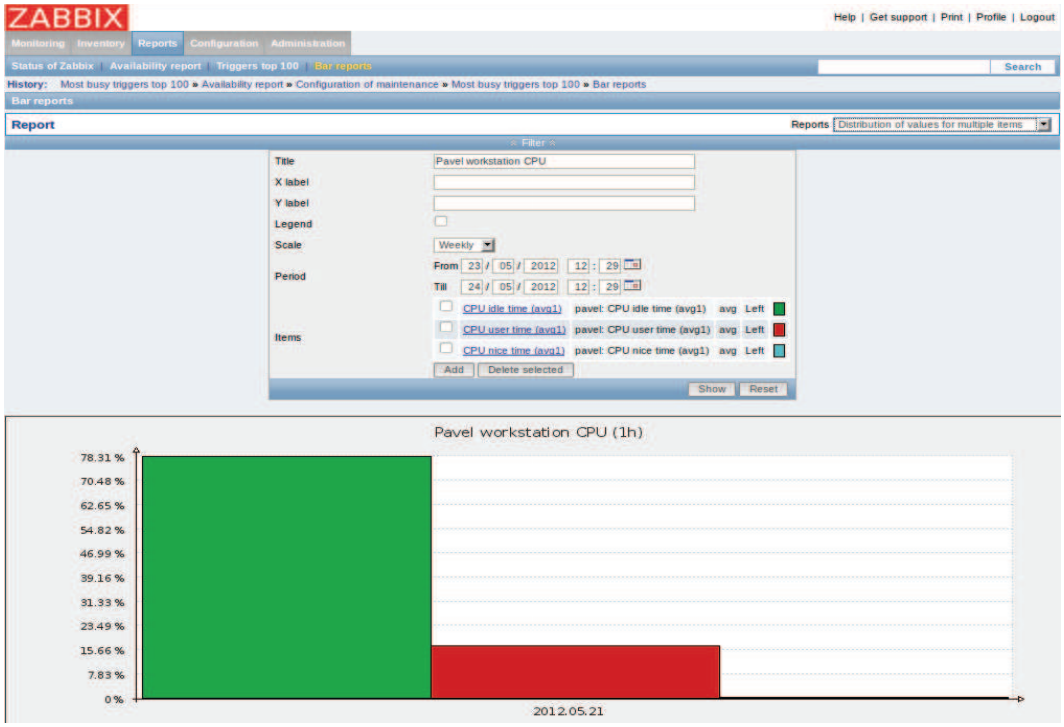
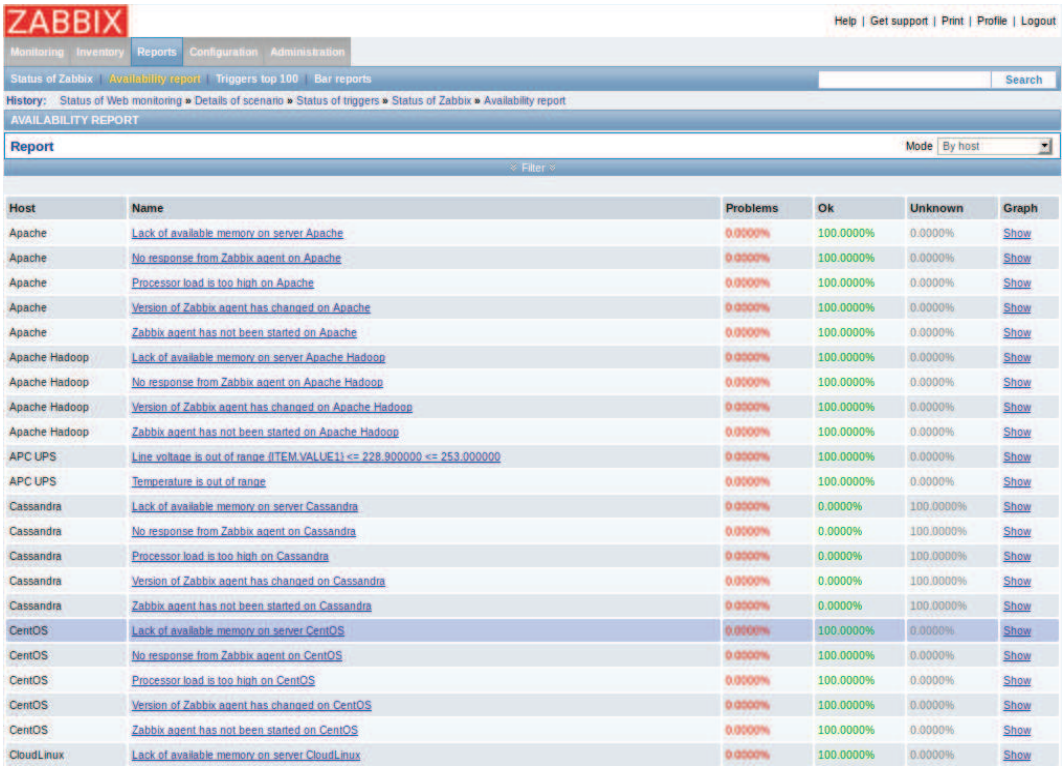


Figura 3.84 Reporte del rendimiento de un CPU generado por Zabbix. [85]

La figura 3.85 muestra los reportes de los host que son monitoreados por Zabbix.



Host	Name	Problems	Ok	Unknown	Graph
Apache	Lack of available memory on server Apache	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache	No response from Zabbix agent on Apache	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache	Processor load is too high on Apache	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache	Version of Zabbix agent has changed on Apache	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache	Zabbix agent has not been started on Apache	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache Hadoop	Lack of available memory on server Apache Hadoop	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache Hadoop	No response from Zabbix agent on Apache Hadoop	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache Hadoop	Version of Zabbix agent has changed on Apache Hadoop	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Apache Hadoop	Zabbix agent has not been started on Apache Hadoop	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
APC UPS	Line voltage is out of range {ITEM.VALUE1} <= 228.900000 <= 253.000000	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
APC UPS	Temperature is out of range	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
Cassandra	Lack of available memory on server Cassandra	0.0000%	0.0000%	100.0000%	Show
Cassandra	No response from Zabbix agent on Cassandra	0.0000%	0.0000%	100.0000%	Show
Cassandra	Processor load is too high on Cassandra	0.0000%	0.0000%	100.0000%	Show
Cassandra	Version of Zabbix agent has changed on Cassandra	0.0000%	0.0000%	100.0000%	Show
Cassandra	Zabbix agent has not been started on Cassandra	0.0000%	0.0000%	100.0000%	Show
CentOS	Lack of available memory on server CentOS	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
CentOS	No response from Zabbix agent on CentOS	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
CentOS	Processor load is too high on CentOS	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
CentOS	Version of Zabbix agent has changed on CentOS	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
CentOS	Zabbix agent has not been started on CentOS	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show
CloudLinux	Lack of available memory on server CloudLinux	0.0000%	100.0000%	0.0000%	Show

Figura 3.85 Reporte de los host monitoreados por Zabbix. [85]

Zabbix realiza las mismas funciones que JFFNMS, además añade la función de autodescubrimiento de dispositivos y de un sistema de alertas vía email, por lo tanto se escoge Zabbix para monitorear la red.

3.8 RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución está compuesta por la red de acceso y la red troncal, en las radio bases habrá un *switch* de distribución que conmutará los enlaces troncales.

El *switch* de distribución trabajará con redes de área local virtuales (VLAN) para brindar calidad de servicio.

Como la red tiene tráfico de datos, voz y video, se establecerá una VLAN para voz, una VLAN para video y 2 VLANs para datos, esto debido a que existe 2 perfiles de acceso a Internet: estudiantes y docentes & administrativos.

Un enlace troncal entre dos *switches* se lo realiza a través de la VLAN nativa, la VLAN nativa sirve como un identificador común en extremos opuestos de un enlace troncal.

Por motivos de seguridad es recomendable que un puerto que participa en un enlace troncal cumpla con los siguientes parámetros:

- ✓ La VLAN nativa no coincida con la VLAN de administración.
- ✓ Cambiar la VLAN nativa que por defecto es 1, a cualquier otra.

En la tabla 3.27 se especificó la prioridad para el tipo de tráfico, por lo tanto se procede a identificar la VLAN con su respectiva prioridad, ver tabla 3.28. En la figura 3.86 se presenta el esquema de VLANs para la red de acceso.

ID VLAN	NOMBRE VLAN	PRIORIDAD
15	Datos	1
20	Docentes & Administrativo	1
25	Video	4
30	VoIP	5
50	Administración red	-
70	Nativa	-

Tabla 3.28 Identificación de las VLANs

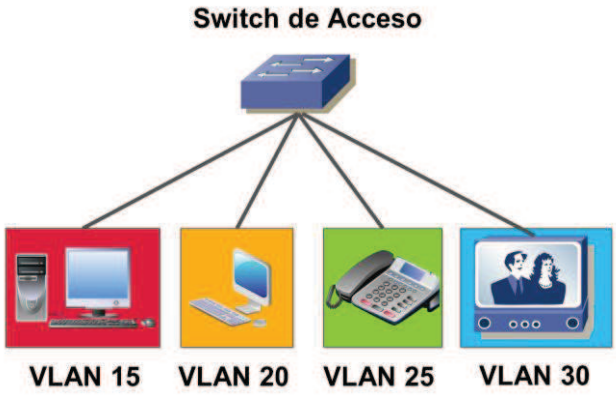


Figura 3.86 Esquema de VLANs para red de acceso

Una vez establecidos los parámetros de las VLANs se procede a realizar la red de distribución.

Para establecer la velocidad de conmutación de los *switches* de distribución, se comenzará el diseño desde las radio bases de los extremos hacia la radio base BS1, donde se encuentra el NOC.

3.8.1 Switch de distribución BS9

En la tabla 3.25 se tiene que la radio base BS9 solo asocia a una institución educativa y requiere una velocidad de transmisión de 2.02 Mbps, por lo tanto el *switch* debe tener una velocidad de conmutación mínima de 2.02 Mbps.

La figura 3.87 muestra la topología para el *switch* de distribución BS9, la cual detalla la velocidad de los diferentes enlaces.

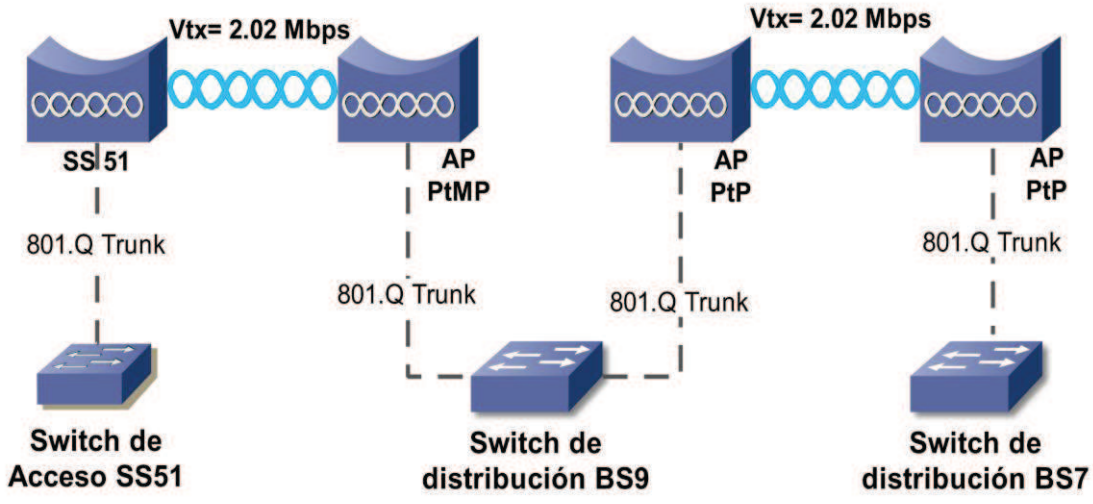


Figura 3.87 Topología para el *switch* de distribución BS9

3.8.2 Switch de distribución BS8

En la tabla 3.24 se tiene que la radio base BS8 asocia a 3 instituciones educativas y requiere una velocidad de transmisión total de 7.78 Mbps, por lo tanto el *switch* debe tener una velocidad de conmutación mínima de 7.78 Mbps.

La figura 3.88 muestra la topología para el *switch* de distribución BS8, se detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

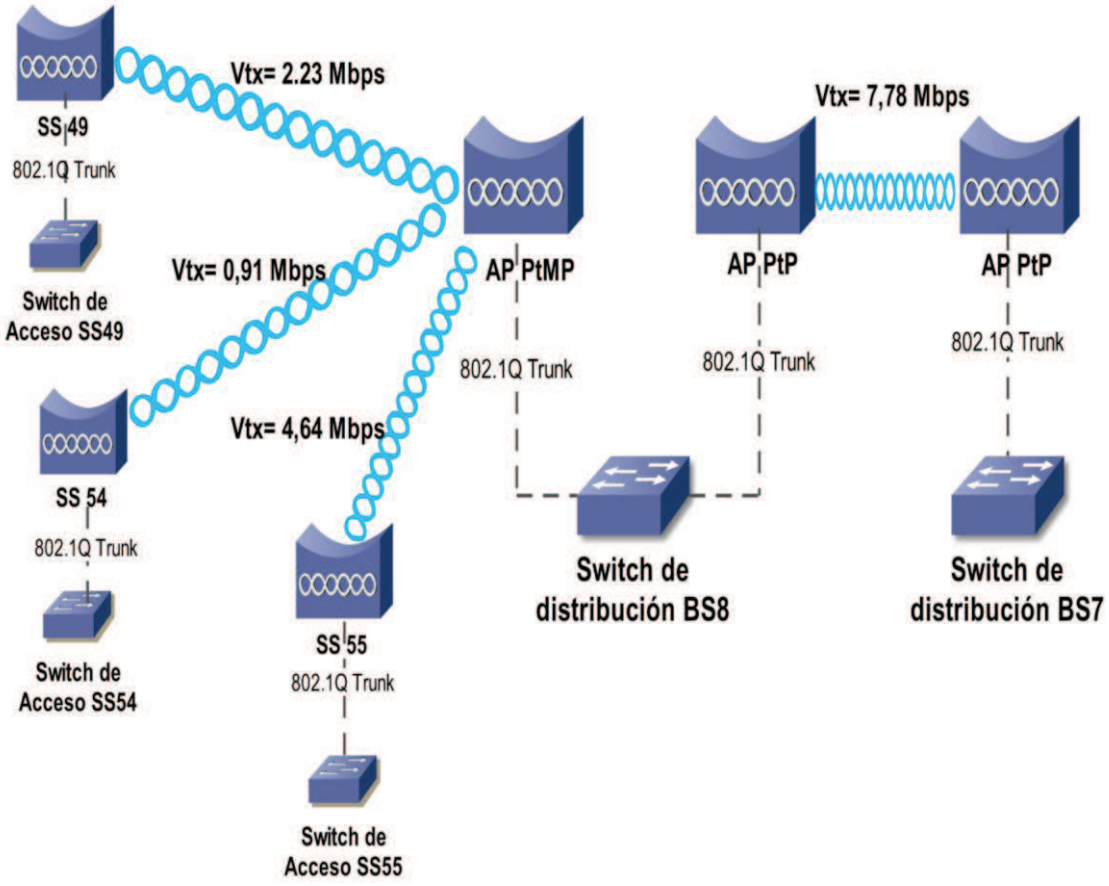


Figura 3.88 Topología para el *switch* de distribución BS8

3.8.3 Switch de distribución BS7

La radio base BS7 se conecta con la radio base BS8 y BS9, además asocia a 7 instituciones educativas, en la tabla 3.23 se tiene las diferentes velocidades de transmisión que requiere cada institución educativa asociada a la radio base BS7.

En la tabla 3.29 se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el *switch* BS7, por lo tanto la velocidad de conmutación del *switch* BS7 debe ser mínimo de 27,08 Mbps.

ENLACE	Vtx (Mbps)
PtMP BS7	17,28
PtP BS8	7,78
PtP BS9	2,02
TOTAL	27,08

Tabla 3.29 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS7

A continuación, en la figura 3.9 se detalla la topología para el *switch* de distribución BS7.

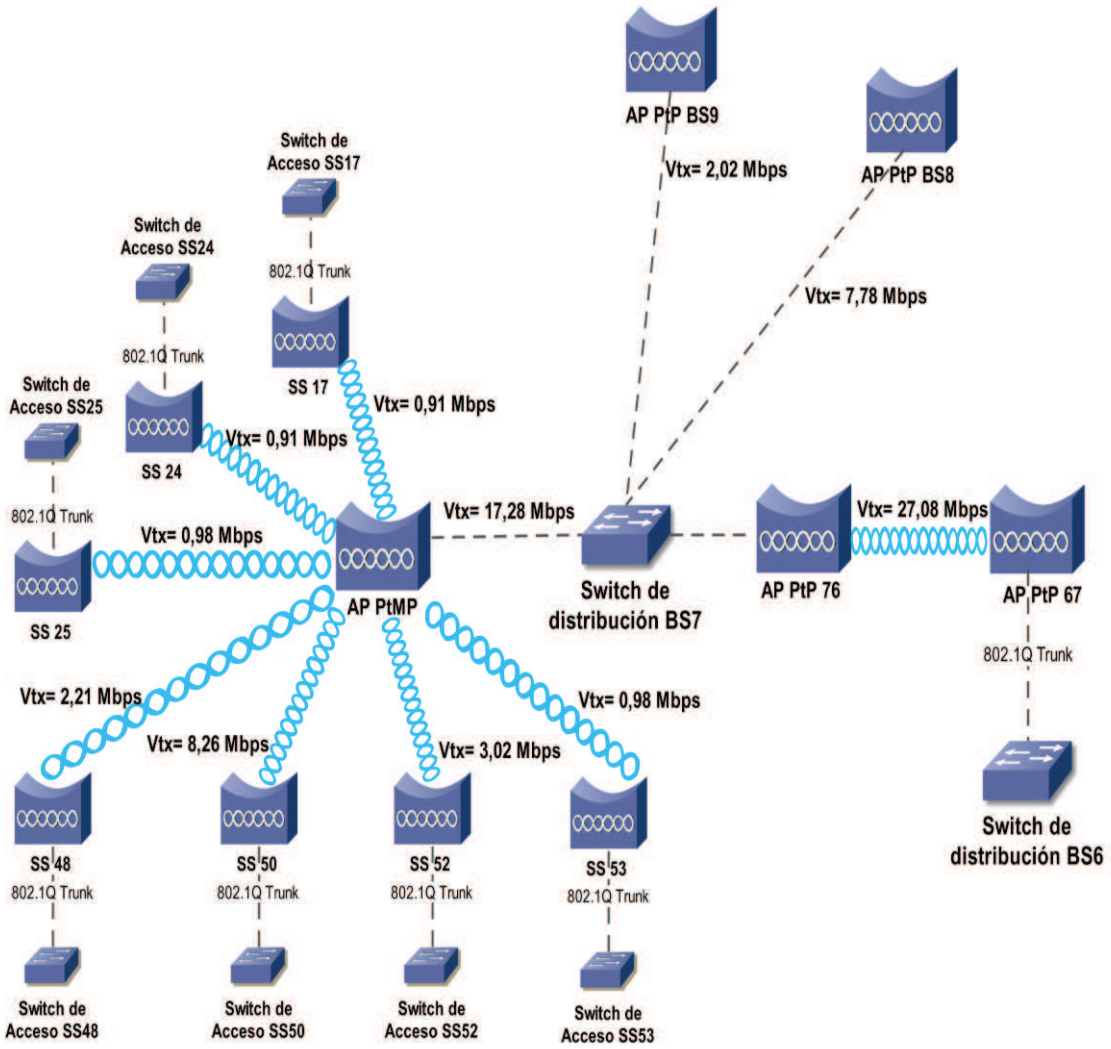


Figura 3.89 Topología para el *switch* de distribución BS7

3.8.4 Switch de distribución BS6

La radio base BS6 tiene un enlace punto a punto para comunicarse con la radio base BS7, en la tabla 3.29 se observa que el enlace troncal BS6- BS7 tiene una velocidad de transmisión de 27,08 Mbps. Además la radio base BS6 tiene un enlace punto a multipunto para asociar a 8 instituciones educativas de su alrededor, las velocidades de transmisión de las instituciones educativas están establecidas en la tabla 3.22.

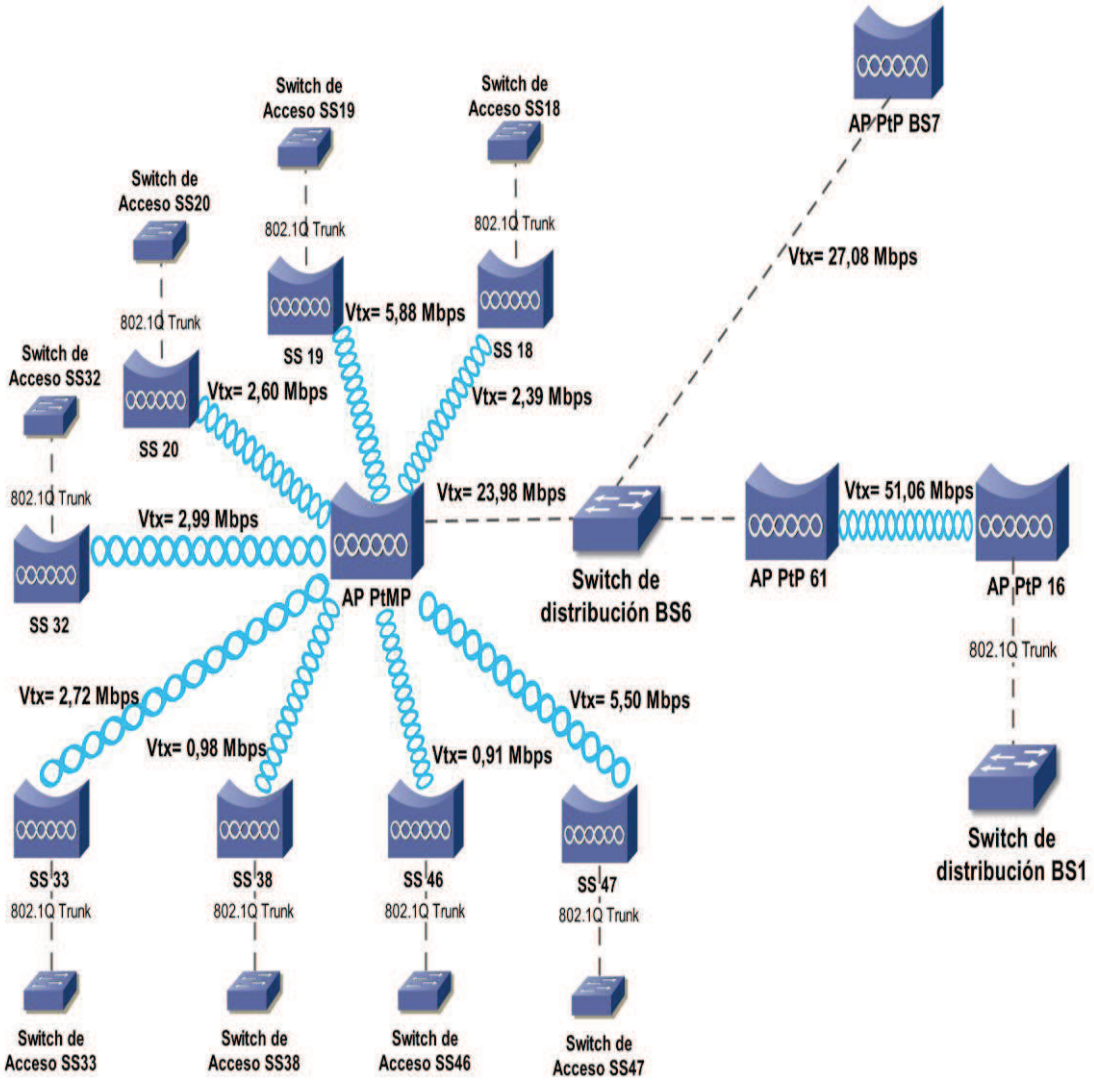


Figura 3.90 Topología para el *switch* de distribución BS6

En la tabla 3.30 se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el *switch* BS6, por lo tanto la velocidad de conmutación del *switch* BS6 debe ser mínimo de 51,06 Mbps, en la figura 3.90 se detalla la topología para el *switch* de distribución BS6.

ENLACE	Vtx (Mbps)
PtMP BS6	23,98
PtP BS7	27,08
TOTAL	**51,06**

Tabla 3.30 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS6

3.8.5 Switch de distribución BS5

La radio base BS5 asocia a 6 instituciones educativas, en la tabla 3.21 se observa que la velocidad de transmisión para el enlace punto a multipunto BS5 es de 26,45 Mbps, por lo tanto ésta deberá ser la mínima velocidad de conmutación que deber tener el *switch* de distribución BS5. La figura 3.91 muestra la topología para el *switch* de distribución BS5, la cual detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

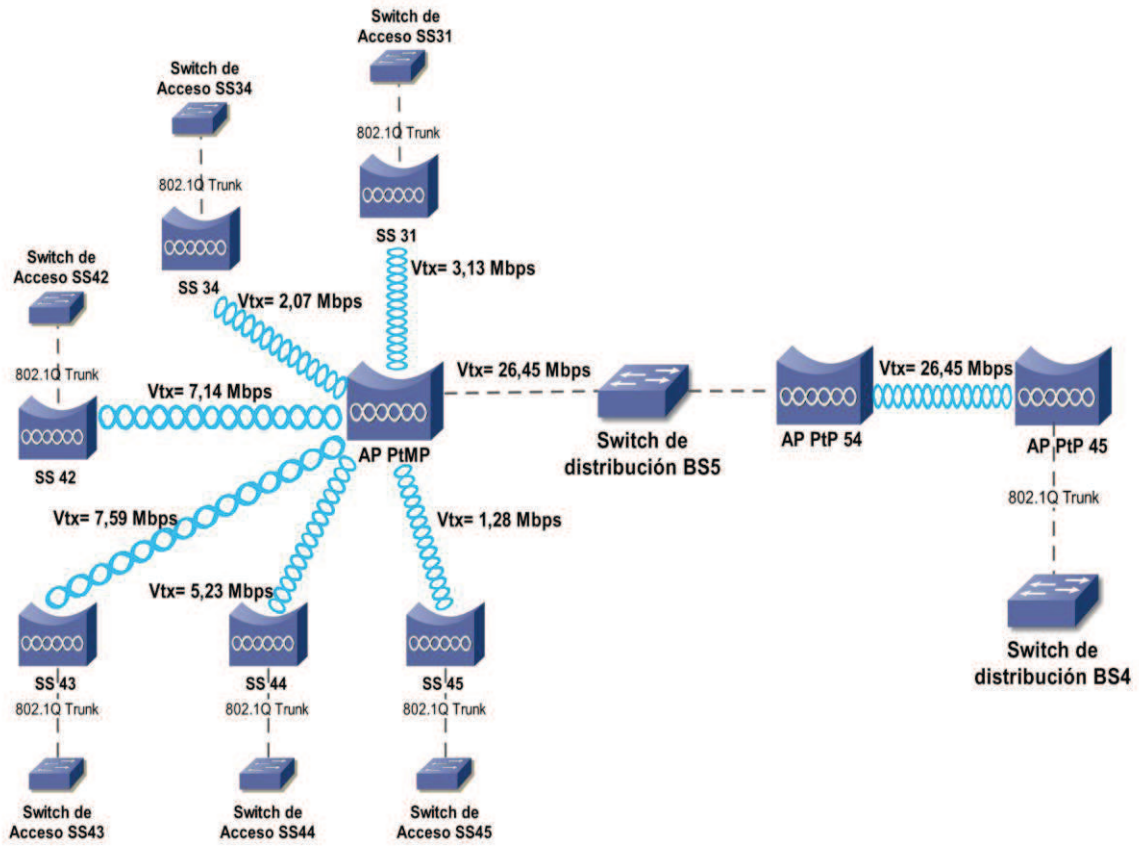


Figura 3.91 Topología para el *switch* de distribución BS5

3.8.6 Switch de distribución BS4

La radio base BS5 se comunica con la radio base 4 a través de un enlace troncal con una velocidad de transmisión de 26,45 Mbps, velocidad establecida anteriormente en la sección 3.8.5. Además la radio base 4 asocia a 6 instituciones educativas, las velocidades de transmisión de las instituciones educativas están establecidas en la tabla 3.20. En la tabla 3.31 se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el *switch* BS4, por lo tanto la velocidad de conmutación del *switch* BS4 debe ser mínimo de 44,56 Mbps.

ENLACE	Vtx (Mbps)
PtMP BS4	18,11
PtP BS5	26,45
TOTAL	**44,56**

Tabla 3.31 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS4

La figura 3.92 muestra la topología para el *switch* de distribución BS4, la cual detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

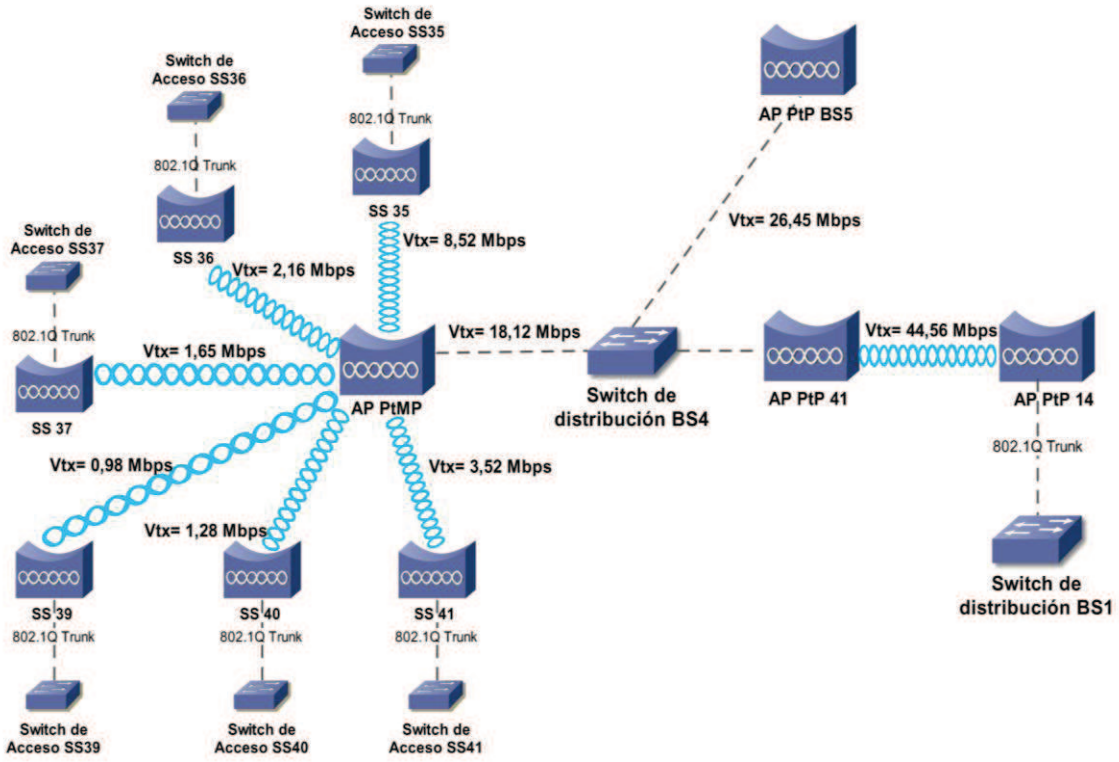


Figura 3.92 Topología para el *switch* de distribución BS4

3.8.7 Switch de distribución BS3

La radio base BS3 asocia a 3 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto, en la tabla 3.19 se tiene que la velocidad total para esta red de acceso es de 4,93 Mbps, por lo tanto ésta será la mínima velocidad de conmutación que debe tener el *switch* de distribución BS3.

La figura 3.93 muestra la topología para el *switch* de distribución BS3, la cual detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

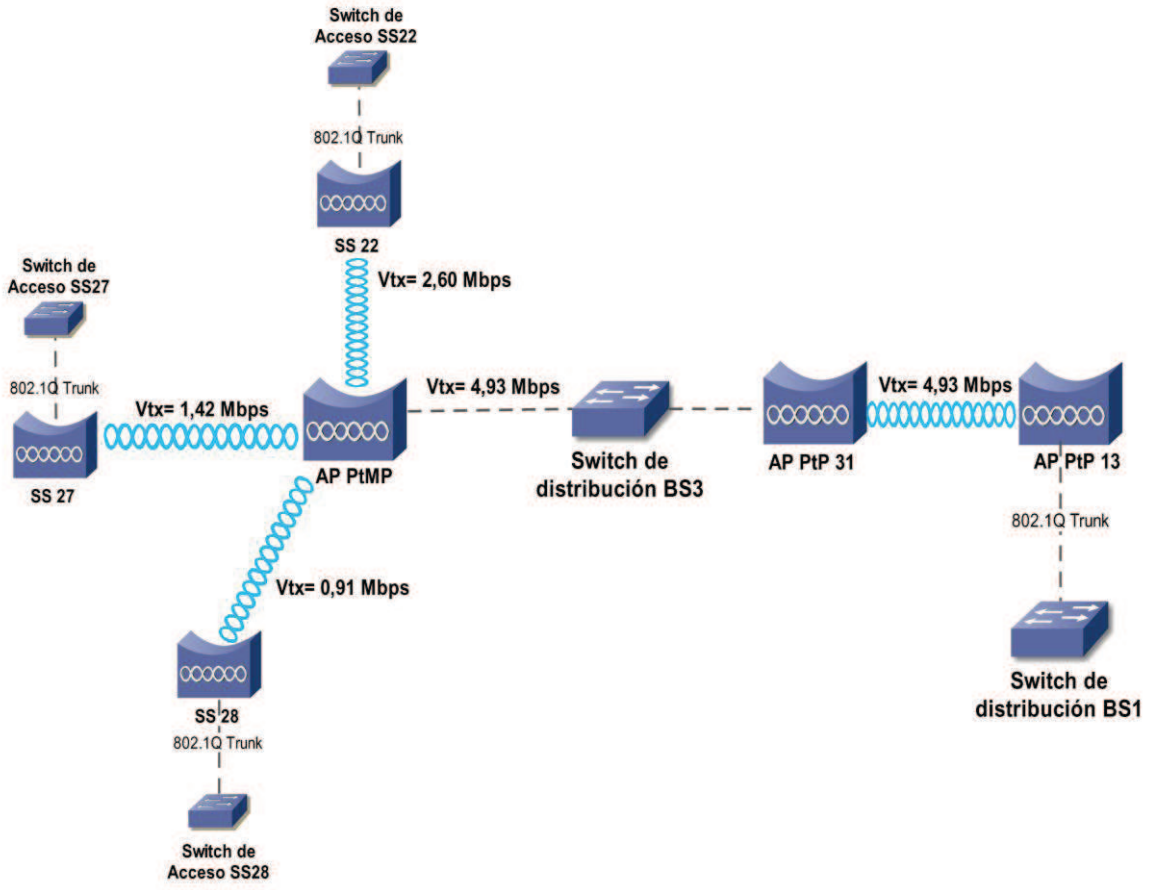


Figura 3.93 Topología para el *switch* de distribución BS3

3.8.8 Switch de distribución BS2

La radio base BS2 asocia a 4 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto, en la tabla 3.18 se tiene que la velocidad total para este enlace es de 8,44 Mbps, por lo tanto ésta será la mínima velocidad de conmutación que debe tener el *switch* de distribución BS2.

La figura 3.94 muestra la topología para el *switch* de distribución BS2, la cual detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

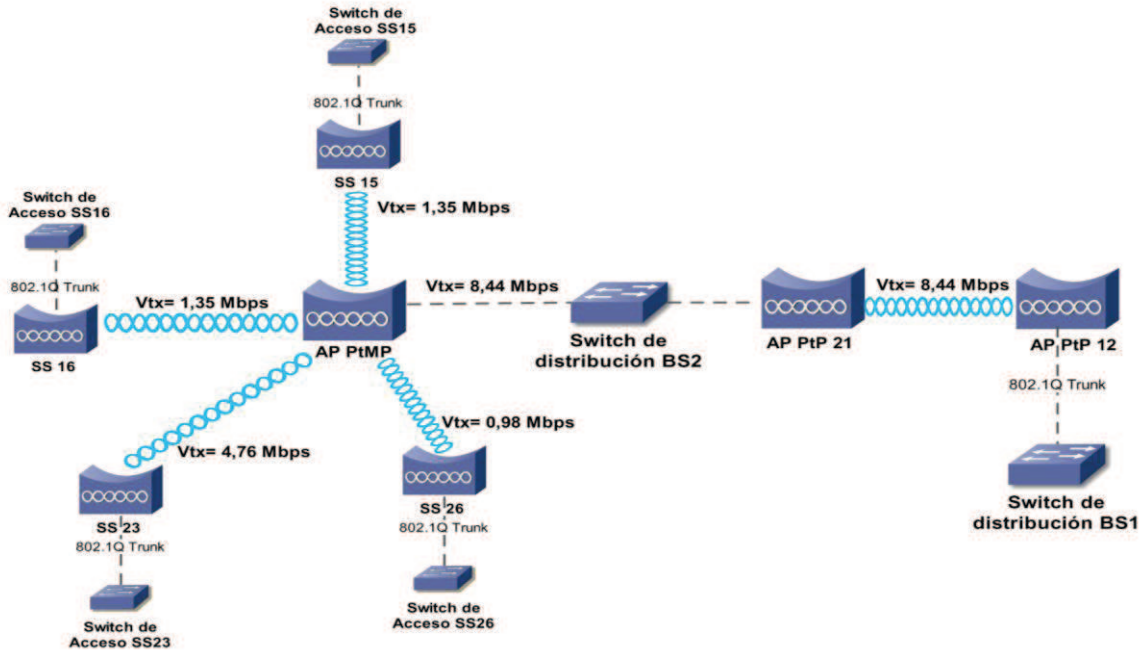


Figura 3.94 Topología para el *switch* de distribución BS2

3.8.9 Switch de distribución BS1

La radio base BS1 es el punto central de la red, establece 4 enlaces punto a punto para comunicarse con el resto de las radio bases. Además enlaza a 17 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto.

Las velocidades de transmisión de cada institución educativa se encuentran en la tabla 3.17, en la tabla 3.32 se detalla las velocidades de transmisión de los enlaces troncales para el *switch* BS1, por lo tanto la velocidad de conmutación del *switch* BS1 debe ser mínimo de 217.40 Mbps.

ENLACE TRONCAL	Vtx (Mbps)
PtMP BS1	108,39
PTP BS2	8,44
PTP BS3	4,93
PTP BS4	44,56
PTP BS6	51,06
TOTAL	**217,40**

Tabla 3.32 Velocidad de transmisión de los enlaces troncales para el switch BS1

La figura 3.95 muestra la topología para el *switch* de distribución BS1, la cual detalla la velocidad de transmisión de los diferentes enlaces.

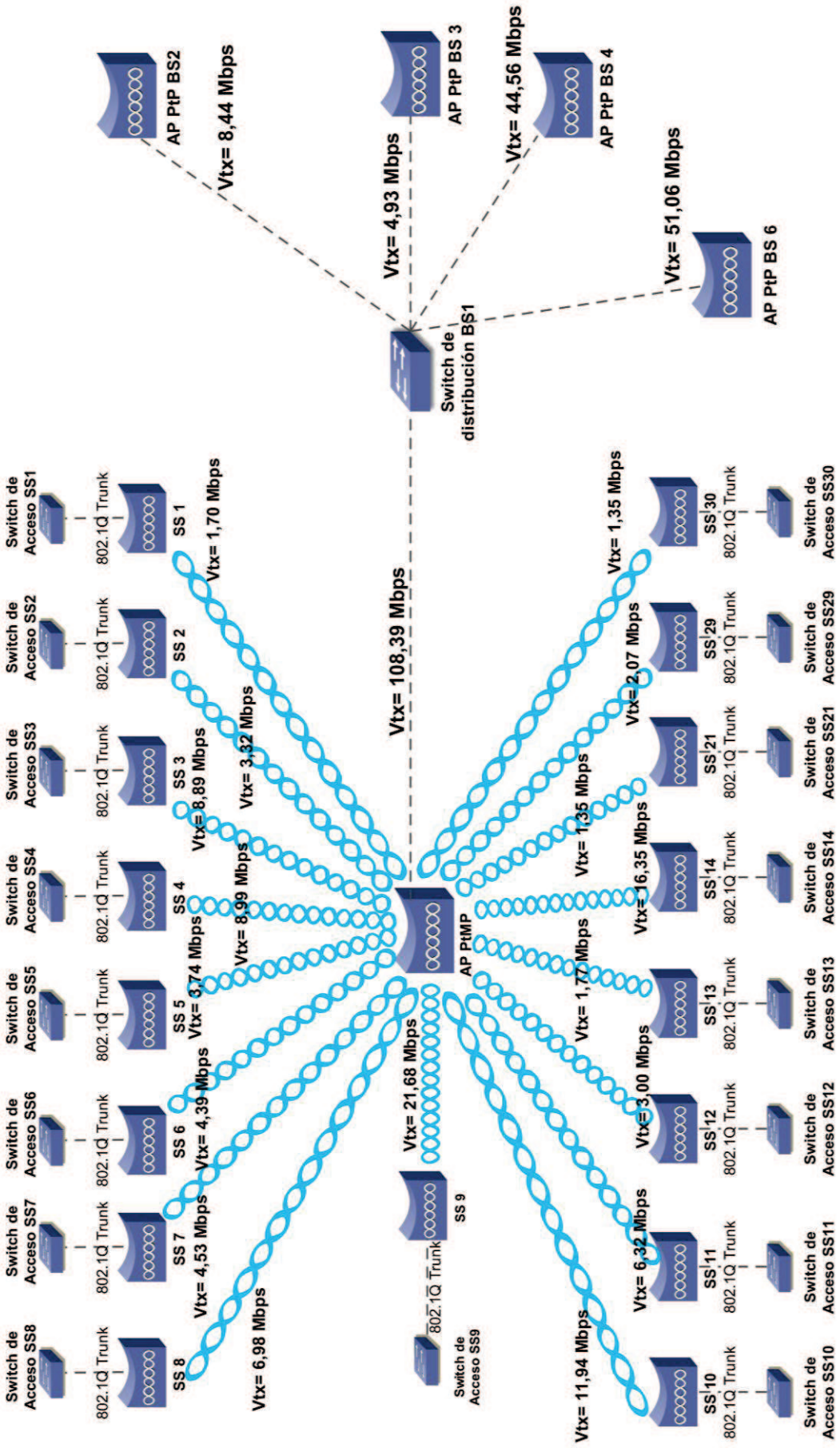


Figura 3.95 Topología para el switch de distribución BS1

3.9 CENTRO DE CONTROL DE LA RED (NOC) [86]

El Centro de Control de la Red (NOC), es el lugar desde el cual se efectúa el control de la red de computación o telecomunicaciones. El NOC es responsable de monitorizar la red en función de alarmas o condiciones que requieran atención especial para evitar el mal funcionamiento de la red.

El NOC estará ubicado en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, en este lugar se instalará la granja de servidores para brindar los servicios de VoIP, video llamadas y datos. Además es el punto de conexión de la red interna con el Internet.

La granja de servidores estará compuesta por los siguientes servidores:

- ✓ Servidor VoIP.
- ✓ Servidor de correo y transferencia de archivos.
- ✓ Servidor de autentificación RADIUS.
- ✓ Servidor de monitoreo.

3.9.1 Servidor VoIP [87], [88], [89]

La telefonía IP es la tecnología que permite la trasmisión de voz mediante una red de datos, este tipo de telefonía corre sobre servidores especializados llamados servidores VoIP.

Un servidor VoIP es un ordenador de mayores prestaciones de memoria, procesamiento y almacenamiento de disco duro, encargado de correr y ejecutar la plataforma encargada para la telefonía IP.

Para implementar un servidor VoIP se puede utilizar sistemas propietarios o de código abierto, las plataformas de código abierto tienen las ventajas de ser más económicas, tener un menor gasto en el mantenimiento y brindar mayor número de prestaciones sobre las plataformas de telefonía propietarias.

Una solución propietaria para una central telefónica es Avaya, esta central telefónica posee una parte física, que se configurará en base a los requerimientos actuales de la empresa: tipo de líneas o canales de voz y terminales de usuario o terminales telefónicos.

Como complemento a la parte física, la central telefónica IP Office de Avaya posee un sistema de licenciamiento que complementará a la parte física con funcionalidades de alto valor añadido y encaminadas a aumentar la productividad de los docentes y personal administrativo. Este sistema de licenciamiento está basado en perfiles de usuario, dependiendo del tipo de usuario (docente o personal administrativo), tendrá acceso a los diferentes recursos de la central telefónica, como por ejemplo llamadas a teléfonos celulares, buzón de voz, etc.

En contra parte Asterisk es el líder mundial en plataformas de telefonía de código abierto, se ha convertido en uno de los servidores de comunicaciones más ricos en funcionalidades, escalables y sofisticados de los disponibles en la actualidad, puede funcionar con Linux, BSD, OS X y Windows, trabaja con la mayoría de los teléfonos compatibles SIP y además brinda el servicio de videollamadas.

Las ventajas de Asterisk respecto a Avaya son sus funcionales y su precio, con Asterisk no se requiere de una licencia para cada función de la central telefónica, lo que influye en el costo directo de la central telefónica. Por todos estos beneficios que presta Asterisk, será la plataforma de telefonía VoIP que se implementará en el diseño de la red.

Para determinar el *hardware* del servidor VoIP, se toma como referencia el desempeño de consumo de CPU cuando se tiene un determinado número de llamadas concurrentes. Las pruebas fueron realizadas para un servidor Asterisk, con un núcleo Intel X3220 Quad, 2.4 GHz y 4GB de memoria RAM.

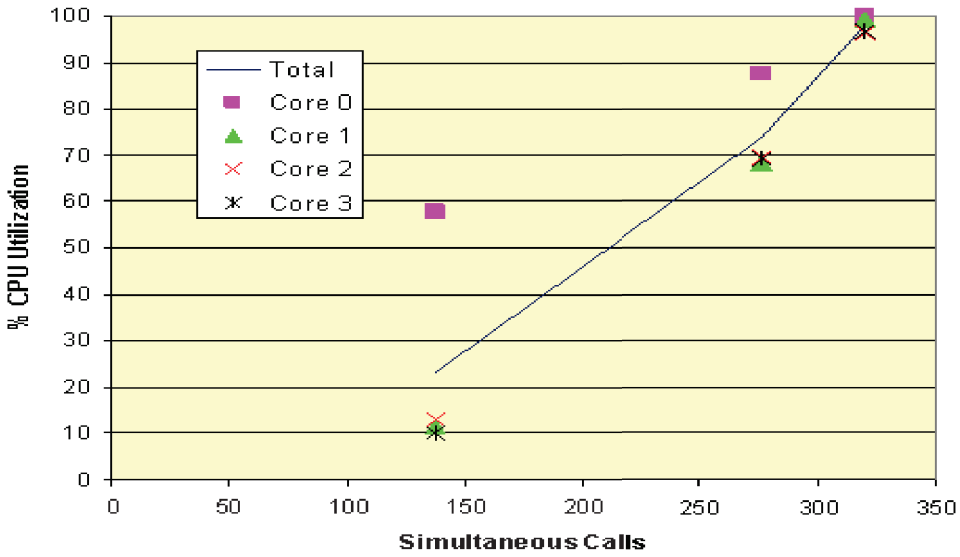


Figura 3.96 Uso de CPU vs llamadas concurrentes para un servidor Asterisk [143]

En la figura 3.96 se muestra la utilización del CPU en función de las llamadas simultáneas con transcodificación de G.711 a G.729.

De acuerdo con la figura 3.96 cada GHz de la capacidad de procesamiento del CPU puede manejar 30 llamadas simultáneas con transcodificación de G.711 a G.729, con los 4 GHz podría manejar 288 llamadas simultáneas con un 95% de utilización del CPU.

Los requerimientos que debe soportar el servidor son: 55 extensiones VoIP, 12 líneas telefónicas y 6 usuarios de videollamada, estos datos fueron establecidos previamente en las secciones 3.1.2 y 3.1.3 respectivamente.

Con lo dicho anteriormente Asterisk recomienda un servidor con las siguientes características para este tipo de requerimientos.

Descripción	Parámetros	
CPU	1.8 GHz	1.8 GHz *Dual Core*
Memoria RAM	2 GB	4 GB
Puertos Analógicos	Hasta 12	Hasta de 24
Disco Duro	250 GB	500 GB
Interfaz de red	10/100 Mpbs	10/100/1000 Mpbs
Puertos Digitales	Hasta 1 E1/T1/J1	Hasta 2 E1/T1/J1
Slots de Expansión PCI	1	2
Extensiones (SIP/IAX)	Hasta 100	Hasta 250
Llamadas concurrentes (max recomendado)	50	80
Número máximo de video conferencia	15	30

Tabla 3.33 Características del servidor VoIP [90]

En la tabla 3.33 se muestra dos opciones para el servidor VoIP, el de gama más baja cumple con los requerimientos de la central telefónica, pero limita la posibilidad de escalar el número de usuarios porque saturaría el CPU y el servidor colapsaría. Por esta razón se escoge el servidor de gama más alta por brindar la posibilidad de crecer en el número de extensiones.

3.9.2 Servidor de correo y transferencia de archivos [91]

Para brindar el servicio de correo electrónico y transferencia de archivos se debe escoger el sistema operativo en el cual estarán corriendo estos servicios. Los sistemas operativos más utilizados como servidores son Windows Server y Linux.

A continuación se presenta las ventajas de Linux sobre Windows Server.

- ☑ **Estabilidad:** Los sistemas Linux son conocidos por su capacidad para funcionar durante años sin fallas, muy útil para las pequeñas y medianas empresas.
- ☑ **Seguridad:** Linux también es innatamente más seguro que Windows, esto se debe en gran parte que Linux está basado en Unix, donde sólo el administrador o el usuario *root*, tiene privilegios de administrador.
- ☑ **Hardware:** Mientras que Windows requiere normalmente actualizaciones de hardware, Linux es flexible y se puede instalar en casi cualquier ordenador.
- ☑ **Costo:** El costo de en un sistema operativo en sistema operativo Linux es nulo debido que es software libre, inclusive una versión empresarial con el apoyo corporativo será más barato que Windows.
- ☑ **Libertad:** Con Linux, no existe ningún vendedor comercial tratando de bloquear ciertos productos o protocolos, con Linux es libre de elegir lo que mejor se adapte a su negocio.

Con todas estas ventajas que presenta el sistema operativo Linux sobre Windows, será el sistema operativo que se instalará para brindar los servicios de correo electrónico y transferencia de archivos.

Existen varias distribuciones de Linux, entre las cuales resalta la distribución Centos y Ubuntu. Centos es una distribución orientada a servidores mientras que Ubuntu es una distribución para usuarios, aunque tiene una versión para servidor, Centos tiene un mejor rendimiento. Por la distribución Centos será el sistema operativo para el brindar el servicio de correo electrónico y FTP.

3.9.2.1 Servidor de correo [92]

Un servidor de correo trabaja con los protocolos SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*)[28], IMAP (*Internet Message Access Protocol*)[29] y POP3 (*Post Office Protocol*)[30].

[28] SMTP, *Simple Mail Transfer Protocol*, es un protocolo de la capa de aplicación. Protocolo de red basado en texto utilizado para el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras u otros dispositivos.

[29] IMAP, *Internet Message Access Protocol*, es un protocolo de red de acceso a mensajes electrónicos almacenados en un servidor.

[30] POP3, *Post Office Protocol*, permite recoger el correo electrónico en un servidor remoto.

Para instalar en Centos el servicio de SMTP se realiza a través de Sendmail [31] y para los servicios de POP3 y IMAP se realiza con el servicio Dovecot[32]. Por lo tanto éstos serán los paquetes que se instalarán en el servidor para brindar el servicio de correo electrónico.

3.9.2.2 Servidor de transferencia de archivos [93], [94]

Un servidor FTP es un programa especial que se ejecuta en un servidor, su función es permitir el intercambio de datos entre servidores y ordenadores.

Para crear un servidor FTP en Centos, lo realiza a través del paquete de instalación vsftpd, que significa demonio FTP muy seguro. Vsftp es un servidor FTP para sistemas tipo Unix, incluyendo Linux Centos, está distribuido bajo la licencia GNU y es compatible con IPv6 y SSL.

Por lo tanto para brindar el servicio de transferencia de archivos en la red, se debe instalar el paquete vsftpd.

3.9.3 Servidor de autentificación RADIUS [95]

Para la implementación de un servidor de RADIUS se lo puede hacer mediante una solución comercial, como *Windows Server*. El servicio de RADIUS en *Windows Server* está disponible en las versiones: *Windows Server 2008 R2, Windows Server 2012, Windows Server 2012 R2 Preview.*

También se puede implementar un servidor mediante código abierto, como es el caso de FreeRADIUS, este software es uno de los servidores RADIUS más populares en el mundo.

FreeRADIUS puede soportar millones de usuarios y peticiones, está diseñado para funcionar con Unix, Linux y otros sistemas operativos tipo Unix. La configuración es muy personalizable, y como es un software de código abierto puede incluso hacer cambios en el código del software.

Para el diseño de la red se utilizará FreeRADIUS por tener mayor funcionalidad y personalización sobre Windows Server.

---

[31] Sendmail, es un popular agente de transporte de correo en Internet, cuya tarea consiste en encaminar los mensajes correos de forma que estos lleguen a su destino.

[32] Dovecot, es un servidor de IMAP y POP3 de código abierto.

3.9.4 Servidor de monitoreo

El servidor de monitoreo será el encargado de supervisar el estado de la red a través del software Zabbix establecido en la sección 3.7, el cual funciona bajo la plataforma Linux.

Al igual que el servidor de correo electrónico y transferencia de archivos que utilizarán el sistema operativo Centos, por sus excelentes prestaciones en cuestión de servidores será el sistema operativo utilizado para el servidor de monitoreo.

3.9.5 Topología del NOC

En la sección 3.6.2 se especificó que se utilizará una zona desmilitarizada DMZ, en esta zona estará ubicado el servidor de correo electrónico y de transferencia de archivos, para que sea accedido desde afuera de la red interna.

Los servidores de VoIP, RADIUS y monitoreo serán parte de la red interna, debido a que éstos prestan servicios a la red interna. Por lo tanto la topología del NOC es la siguiente, ver figura 3.97.

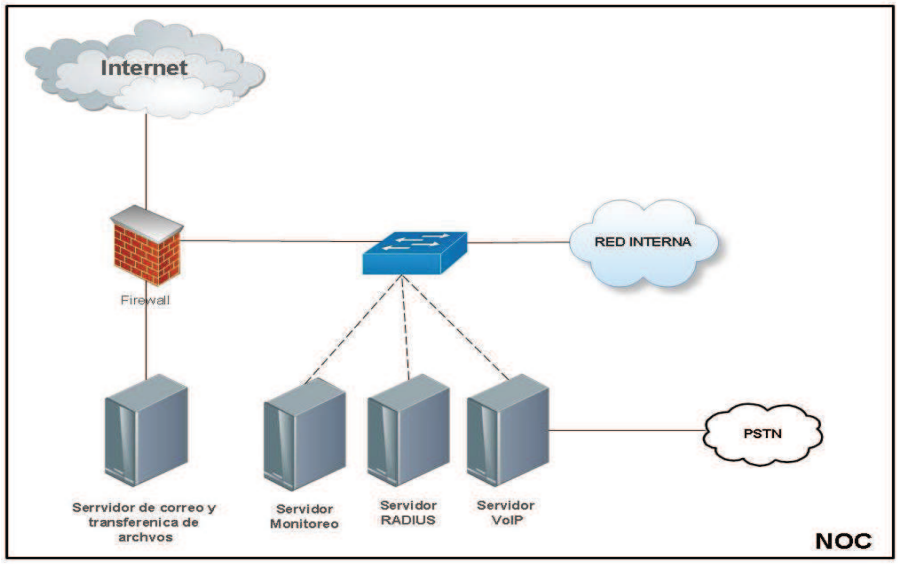


Figura 3.97 Topología del NOC

3.9.6 BACKBONE

El término Backbone se refiere a los servicios de comunicación de alta capacidad y proporcionar rutas para el intercambio de información entre las diferentes sub redes.

Para conmutar el tráfico tan rápido como sea posible, los equipos deben tener características de alta velocidad de conmutación, manejo de alto flujo de tráfico, bajas latencias y alto nivel de confiabilidad.

Para la tarea de proporcionar rutas se establece un protocolo de enrutamiento dinámico por saber adaptarse a cambios a la topología de la red, para establecer el protocolo de enrutamiento dinámico se presenta una comparativa entre los diferentes protocolos, ver tabla 3.34.

CARACTERÍSTICA	RIP	OSPF	IGRP	EIGRP
Tipo	Vector Distancia	Estado Enlace	Vector Distancia	Vector Distancia
Tiempo de convergencia	Lento	Rápido	Lento	Rápido
Soporta VLSM	No	Si	No	Si
Consumo de ancho de banda	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Consumo de recursos	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Libre/ Propietario	Libre	Libre	Propietario	Propietario
Distancia administrativa	120	110	110	90

Tabla 3.34 Comparación entre protocolos de enrutamiento [96]

Al analizar la tabla 3.34, el protocolo de enrutamiento OSPF tiene un tiempo de convergencia muy rápido, soporta VLSM, consume poco ancho de banda y es un protocolo libre, es decir no es exclusivo de un fabricante, como lo es el protocolo de enrutamiento EIGRP que pertenece a *Cisco Systems*. Por estas ventajas el protocolo OSPF será el encargado del enrutamiento en la red.

El Backbone es el encargado de comunicar al NOC con la red de distribución, y lo hará a través de un router de alta velocidad de conmutación, debido a que el tráfico generado por la red de distribución es de 217,40 Mpbs, ver tabla 3.32.

La ubicación del Backbone será en el NOC, porque es el punto central de la red, por lo tanto en el NOC estarán la granja de servidores, el Backbone y el *switch* de distribución de la radio base BS1. En la figura 3.98 se resume la topología completa de la red inalámbrica para brindar los servicios de datos, voz y video conferencia a 55 instituciones educativas del cantón Shushufindi.

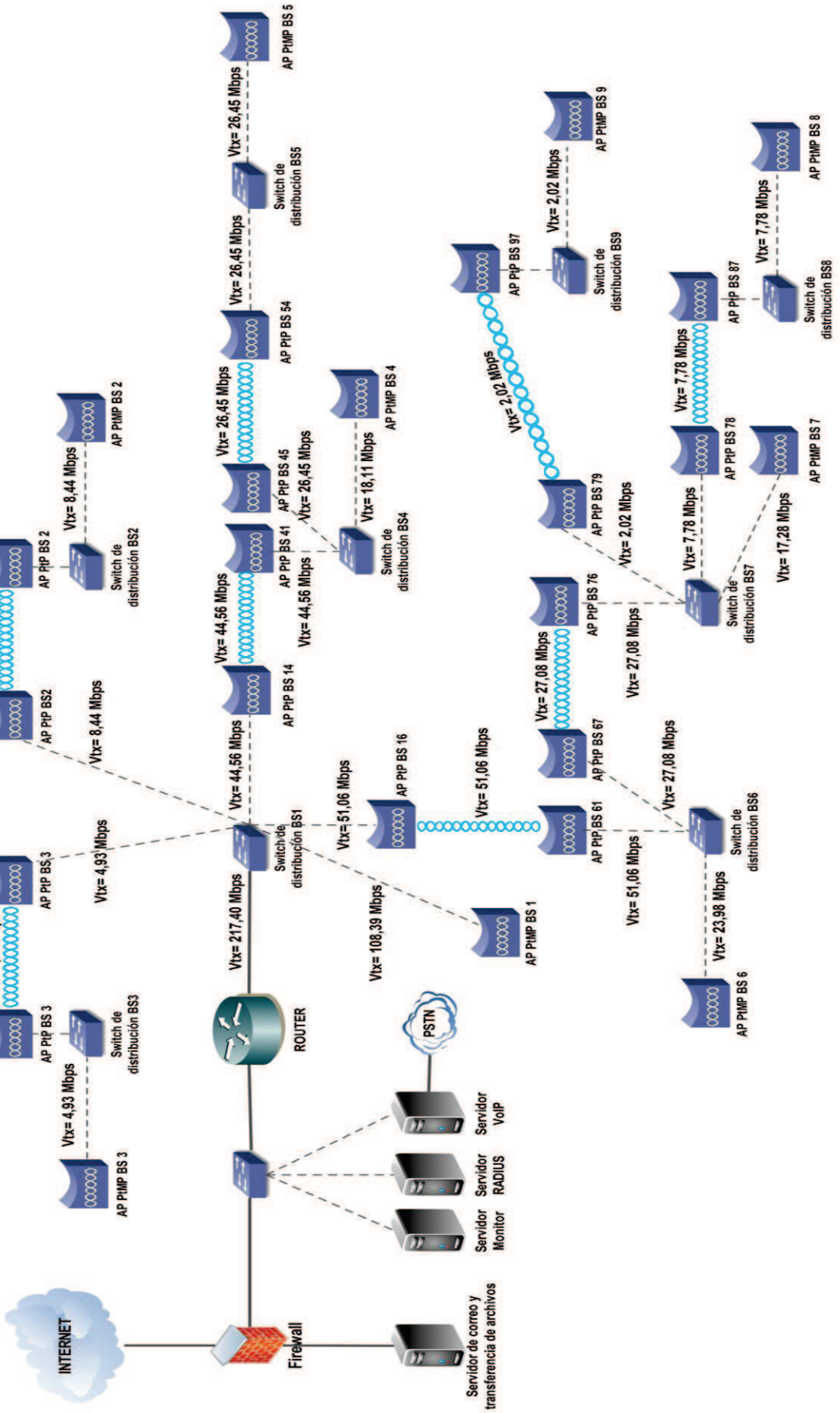


Figura 3.98 Topología de la red inalámbrica

CAPÍTULO IV

PRESUPUESTO REFERENCIAL

En este capítulo se presenta un presupuesto referencial para la red diseñada, considerando dos fabricantes diferentes, los equipos deben cumplir con los requerimientos técnicos que se establecieron en el capítulo anterior para ser considerados en el presupuesto.

Luego se detallaran las cantidades y precios de los diferentes equipos que conforman la red de telecomunicaciones, y así obtener un costo aproximado del proyecto.

Como parte final se presenta el valor del costo del servicio de Internet con proveedores locales.

4.1 EQUIPOS DE LA RED TRONCAL Y RED ACCESO

Los elementos que forman parte de la red troncal y acceso son:

- ✓ Torre.
- ✓ Radios.
- ✓ Antenas.
- ✓ *Switch* de acceso y de distribución.
- ✓ UPS para la radio base.

4.1.1 TORRE

En el Anexo F, se expone los diferentes tipos de torres que existen en el campo de las telecomunicaciones, para el presente proyecto se utilizarán torres venteadas, por tener el espacio físico para su instalación y por su costo beneficio con respecto a las torres auto soportadas. En la sección 3.5 estableció que las alturas de las radio bases debe ser de 40 metros, además la radio base debe contar con balizas, un sistemas de pararrayos y un sistema de puesta a tierra.

La siguiente proforma incluye todos los elementos mencionados anteriormente, los precios de esta proforma no incluyen el IVA. La proforma fue remitida por la empresa INCELCOM S.A que es una compañía dedica a proyectos de ingeniería

eléctrica, telecomunicaciones y obra civil, se encuentra ubicada en la ciudad de Quito y Guayaquil.

Item	DESCRIPCIÓN	CANT	U	P. UNIT	P.TOTAL
1	FABRICACIÓN E INSTALACION TORRE SOPORTADA GALVANIZADO al caliente 40m , velocidad del viento 140km/h, construida con tuberias de 1 1/2" para los montantes, y tubos de 1/2" para los verticales y horizontales, tensores con cable de acero triple galvanizado de 5/16", templadores de 5/8" galvanizados, pintura anticorrosiva (blanca y naranja). .	40	m	240.00	9,600.00
2	Bases de hormigón para suelo normal, armado (torre y arriostres).	4	u	120.00	480.00
3	Luces balizas tipo Led	1	gbl	820.00	820.00
4	Sistema de pararrayos tipo Franklin	1	gbl	925.00	925.00
5	Sistema de puesta a tierra de la torre.	1	gbl	836.00	836.00
				USD	12,661.00

NO INCLUYE IVA

FORMA DE PAGO: 60% ANTICIPO, SALDO CONTRA ENTREGA

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 DIAS.

TIEMPO DE EJECUCION: 3 SEMANAS

Tabla 4.1 Presupuesto de torre

4.1.2 RADIOS

En la tabla 3.11 se establecieron los requerimientos mínimos que deben cumplir los equipos para los enlaces de red acceso y troncal, los precios que se presentan para los equipos no incluyen el IVA.

En el capítulo 3 se estableció que se utilizarán VLNAs para brindar calidad de servicio, por lo tanto los equipos deben soportar el estándar IEEE 802.1p y IEEE 802.1q.

Otros aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos, son los siguientes:

- Cumplir con el estándar IEEE 802. 11 a/g/n.
- Interfaces Ethernet 100baseT.
- Soporte de SNMP.

De los requerimientos expuestos en el punto anterior, se puede realizar un cuadro comparativo del cumplimiento de los requerimientos mínimos entre las soluciones que proponen las más importantes marcas fabricantes, ver tabla 4.2.

RADIO PUNTO A PUNTO		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	PROXIM WIRELESS	**MOTOROLA**
Modelo	**Tsunami QB 8200** [98]	**PTP 250** [97]
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE
Frecuencia de operación: 5.8 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 22 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Antena: conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -75 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de transmisión mínima: 50 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio (802.1p)	CUMPLE	CUMPLE
Vlan (802.1Q)	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación AES	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
MTBF	250000 horas	150 años
Precio	$ 3999,00	$ 4995,00

Tabla 4.2 Comparación de los equipos punto a punto

Las dos opciones cumplen con los requisitos, pero el equipo Motorola tiene 150 años como tiempo promedio entre fallas (*MTBF, Mean Time Between Failures*), lo que justifica un costo un poco más elevado respecto al equipo de *Proxim Wireless*, por lo tanto se escoge la marca Motorola para los enlaces punto a punto.

Para los equipos punto a multipunto se tiene las siguientes marcas de equipos:

RADIO PUNTO A MULTIPUNTO		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	PROXIM WIRELESS	**MOTOROLA**
Modelo	**Tsunami MP 8100** [100]	**PMP 120** [99]
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE
Frecuencia de operación: 2.4 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 21 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -85 dBm	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 4.3 Comparación de los equipos punto a multipunto (continúa)

RADIO PUNTO A MULTIPUNTO		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	PROXIM WIRELESS	MOTOROLA
Modelo	**Tsunami MP 8100** [100]	**PMP 120** [99]
Antena: conector tipo N	CUMPLE	NO CUMPLE/ Antena integrada 8 dBi a 60°
Velocidad de transmisión mínima: 20 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio (802.1p)	CUMPLE	CUMPLE
Vlan (802.1Q)	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación AES	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
MTBF	80000 horas	40 años
Precio	$ 3299,00	$ 1595,00

Tabla 4.3 Comparación de los equipos punto a multipunto

Al analizar la tabla 4.3 el equipo PMP 120 de Motorola incluye una antena integrada de 8 dBi a 60°, por lo que no es posible conectar una antena externa de mayor ganancia, en cambio el equipo Tsunami MP 8100 permite conectar antenas para exteriores por medio de un conector tipo N, por esta razón el equipo de la marca Motorola no cumple con todos los requisitos de la red.

Las dos marcas utilizan protocolos comunes de Ethernet, por lo que garantizan la compatibilidad entre marcas. Se escoge el equipo Tsunami MP 8100, por cumplir con todos requisitos y brindar compatibilidad entre marcas.

Las unidades suscriptoras son dispositivos fijos, las cuales serán colocadas en cada centro educativo. La tabla 4.4 presenta la comparación entre parámetros técnicos para los fabricantes *Proxim Wireless* y Motorola.

RADIO UNIDADES SUSCRIPTORAS		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	PROXIM WIRELESS	MOTOROLA
Modelo	**Tsunami MP 8100 Subscriber** [100]	**PMP 120 SM** [99]
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 4.4 Comparación de los equipos suscriptores (continúa)

RADIO UNIDADES SUSCRIPTORAS		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	PROXIM WIRELESS	MOTOROLA
Modelo	**Tsunami MP 8100 Subscriber** [100]	**PMP 120 SM** [99]
Frecuencia de operación: 2.4 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 21 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Ganancia mínima de antena: 8 dBi	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -85 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de transmisión mínima: 6 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio (802.1p)	CUMPLE	CUMPLE
Vlan (802.1Q)	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación AES	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
MTBF	80000 horas	40 años
Precio	$ 429,00	$ 845,00

Tabla 4.4 Comparación de los equipos suscriptores

Se escoge el equipo Tsunami MP 8100 Subscriber porque cumple con todos los requerimientos técnicos del diseño y además presenta un mejor precio respecto al fabricante Motorola.

4.1.3 ANTENAS

Para los enlaces punto a punto se utilizarán antenas direccionales, mientras que para los enlaces punto a multipunto se instalarán antenas sectoriales de 120°. Los precios de las antenas para los enlaces PtP y PtMP, no incluyen el IVA.

4.1.3.1 Antenas de red troncal

Para los enlaces de la red troncal los fabricantes de las marcas Hyperlink y Ubiquiti ofrecen soluciones interesantes en lo que a enlaces de Backbone se refieren, ver tabla 4.5.

ANTENAS PUNTO A PUNTO		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	Ubiquiti	**HyperLink**
Modelo	RD-5G-30 [101]	HG5158DP-29D [102]
Frecuencia de operación: 5.8 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Ganancia mínima de antena: 28 dBi	CUMPLE	CUMPLE
Polarización Vertical u Horizontal	CUMPLE	CUMPLE
Polarización Dual	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 244,99	$ 259,99

Tabla 4.5 Comparación de las antenas punto a punto

Los precios de las dos marcas son prácticamente los mimos, pero el fabricante HyperLink tiene mayor presencia en el mercado, por esta razón las antenas para enlaces punto a punto serán de la marca HyperLink.

4.1.3.2 Antenas de red de acceso

Para la selección de las antenas de la red de acceso, los parámetros más importantes que se deben tomar en cuenta son: la frecuencia de operación, la ganancia de la antena y ancho del haz que soporte 120 grados. Igualmente se elaboró una tabla comparativa entre las características de las antenas de distintos fabricantes que cumplen con los requerimientos mínimos, tal como se muestra en la tabla 4.6.

ANTENAS SECTORIALES		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	Ubiquiti	**HyperLink**
Modelo	2G-15-120 [103]	HG2417P-120 [104]
Frecuencia de operación: 22.4 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Ganancia mínima de antena: 15 dBi	CUMPLE	CUMPLE
Soporta 120º	CUMPLE	CUMPLE
Impedancia de 50 Ω	CUMPLE	CUMPLE
Conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
VSWR	1.5:1	< 1.3:1
Precio	$220,00	$ 207,59

Tabla 4.6 Comparación de las antenas sectoriales

Los dos equipos cumplen con los requerimientos, se escoge la antena de la HyperLink por tener un menor VSWR.

4.1.4 SWITCH DE ACCESO Y DE DISTRIBUCIÓN

Adicional a los equipos de radio frecuencia, es necesario contar con equipos de capa 2 para el enrutamiento del tráfico, los precios de los equipos no incluyen el IVA.

El *switch* de acceso debe manejar calidad de servicio (QoS), VLAN, encriptación de datos y ser administrable, en la tabla 4.7 se compara estos requerimientos con marcas de equipos de red.

SWITCH DE ACCESO		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	HP	**DLINK**
Modelo	**HP 1905-24** [105]	**DES-1210-28** [106]
Equipo para rack	CUMPLE	CUMPLE
24 puertos 10/100Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Administración: SNMP	CUMPLE	CUMPLE
VLAN: IEEE 802.1Q	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de Servicio: IEEE 802.1p	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación: AES	CUMPLE	CUMPLE
Número de VLANs	64	256
Throughput	6,6 millones pps	9,5 millones pps
Backplane	8,8 Gbps	12,8 Gbps
Precio	$ 445,70	$ 212,80

Tabla 4.7 Comparación de *switch* de acceso

Los dos equipos cubren las necesidades del usuario, se escoge el equipo de la marca DLINK por tener mayor *Throughput* y *Backplane*.

El *switch* de distribución debe tener las siguientes características:

SWITCH DE DISTRIBUCIÓN		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	HP	CISCO
Modelo	**E 4210G-24G [107]**	**SGE2000P [108]**
Equipo para rack	CUMPLE	CUMPLE
Capa 3	CUMPLE	CUMPLE
Administración: SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Lista de control de acceso (ACL)	CUMPLE	CUMPLE
IEEE 802.1Q	CUMPLE	CUMPLE
IEEE 802.1p	CUMPLE	CUMPLE
IEEE 802.1x	CUMPLE	CUMPLE
Seguridad de puerto	CUMPLE	CUMPLE
Ruteo estático	CUMPLE	CUMPLE
Número de VLANs	4094	256
Throughput	65,5 millones pps	35,7 millones pps
Backplane	88 Gbps	48 Gbps
Precio	$ 1458,28	$ 1355,15

Tabla 4.8 Comparación de *switch* de distribución

Al analizar la tabla 4.8, se escoge el *switch* de la marca HP pues cumple con todos los requerimientos, además tiene un mayor *Throughput* y *Backplan* que el equipo de la marca Cisco.

4.1.5 UPS PARA LA RADIO BASE

La red diseñada debe seguir trabajando a pesar que falle el suministro eléctrico, por lo tanto se utilizará UPS (*Uninterruptible Power Supply*) en las radio bases.

Previamente se calcula en la tabla 4.9 la potencia requerida por la radio base.

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO PROMEDIO POTENCIA [Watt]	TOTAL POTENCIA [Watt]
Radio PTP	4	35	140

Tabla 4.9 Potencia requerida por la UPS de una radio base (continúa) [109]

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO PROMEDIO POTENCIA [Watt]	TOTAL POTENCIA [Watt]
Radio PTM	1	17	17
Switch	1	282	282
Total [Watt]			439
Total [VA]			627
Factor de crecimiento por año	5	5 %	25%
Potencia Requerida UPS [VA]			784

Tabla 4.9 Potencia requerida por la UPS de una radio base [109]

En la tabla 4.10 se presentan las características necesarias para la UPS que estará ubicado en la radio base.

UPS		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	American Power Conversion (APC) [110]	**Tripp Lite** [111]
Modelo	APC SMC1000-2U	SMART1000RM2U
Capacidad de salida voltios amperios (VA) ≥ 700	CUMPLE	CUMPLE
Alimentación a 110 V	CUMPLE	CUMPLE
Compatibilidad de frecuencia: 60 Hz	CUMPLE	CUMPLE
Alarma audible	CUMPLE	CUMPLE
Tiempo de transferencia inferior a 10 ms	CUMPLE	CUMPLE
Tiempo expandible por medio de baterías externas	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 500,79	$ 720,00

Tabla 4.10 Potencia requerida por la UPS

Los equipos Tripp Lite son referentes en cuanto a equipos UPS en el mercado local, por lo tanto serán los utilizados en el diseño de la red.

4.2 EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES

El cuarto de telecomunicaciones estará ubicado en el NOC, aquí estará el router de borde que se conecta hacia el Internet, firewall y los servidores para las diferentes aplicaciones.

4.2.1 ROUTER DE BORDE

Este router de borde debe ser capaz de soportar todo el tráfico que va hacia el Internet y debe proporcionar seguridad. En la tabla 4.11 se realiza una comparación entre las marcas que cumplen estos requisitos.

ROUTER DE BORDE		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	CISCO	HP
Modelo	**2821** [112]	**HP A-MSR50** [113]
Equipo para rack	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de conmutación mínimo 1Gbps	CUMPLE	CUMPLE
Manejo de direcciones IPV4	CUMPLE	CUMPLE
Servicios diferenciados (DiffServ)	CUMPLE	CUMPLE
NAT	CUMPLE	CUMPLE
2 puertos Fijos Ethernet 10/100/1000 base TX	CUMPLE	CUMPLE
Administración: SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Lista de control de acceso (ACL)	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio	CUMPLE	CUMPLE
DHCP	CUMPLE	CUMPLE
Seguridad de protección de datos con cifrado AES	CUMPLE	CUMPLE
Seguridad de puerto	CUMPLE	CUMPLE
Ruteo estático	CUMPLE	CUMPLE
Ruteo dinámico: OSPF	CUMPLE	CUMPLE
Número de VLANs	4094	4094
Precio	$ 3.895,00	$ 4929,37

Tabla 4.11 Comparación de Router de borde

Los dos fabricantes cumplen con los requerimientos, se escoge el router de la marca Cisco por ser predominante en el mercado y presentar un precio más conveniente.

4.2.2 FIREWALL

En la tabla 4.12 se presenta los costos referenciales de dos fabricantes diferentes para el Firewall.

FIREWALL		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	CISCO	**D-LINK**
Modelo	**5510** [114]	**DFL-1660** [115]
Equipo para rack	CUMPLE	CUMPLE
4000 sesiones simultaneas	CUMPLE	CUMPLE
3000 conexiones por segundos	CUMPLE	CUMPLE
Puertos Ethernet 10/100/1000 base TX	CUMPLE	CUMPLE
Soporte VLAN: 802.1q	CUMPLE	CUMPLE
Alta disponibilidad active/active y active/standby, failover	CUMPLE	CUMPLE
Administración: SNMP	CUMPLE	CUMPLE
DiffServ	CUMPLE	CUMPLE
Seguridad de protección de datos con cifrado AES	CUMPLE	CUMPLE
Anti-X(antivirus, antispyware, bloqueo de archivos, antispam, antipishinh y filtrado URL)	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 1957,00	$ 3361,95

Tabla 4.12 Comparación entre dos fabricantes de Firewall

Al analizar la tabla 4.12 se concluye que el Firewall de la marca Cisco cumple con todos los requerimientos, por lo tanto será el que se implementará en la red.

4.2.3 SERVIDORES

La granja de servidores está compuesta por un servidor VoIP, un servidor RADIUS, un servidor de monitoreo, un servidor de correo electrónico y trasferencia de archivos.

Los servidores RADIUS, VoIP, correo electrónico y transferencia de archivos, presentan características similares, pues ellos son los encargados de brindar los servicios de voz, datos y video hacia toda la red, por lo tanto son servidores más

robustos porque requerirán de mayor velocidad de procesamiento y memoria. En la tabla 3.31 se encuentran las especificaciones mínimas que debe cumplir el servidor VoIP, un servidor con éstas características se lo denominará, servidor de aplicaciones, ver tabla 4.13.

SERVIDOR DE APLICACIONES		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	HP	DELL
Modelo	**DL160 G6 [118]**	**POWER EDGE R310 [119]**
Procesador de 4 núcleos	CUMPLE	CUMPLE
8 Gb de memoria RAM	CUMPLE	CUMPLE
Disco duro sata ≥ 500 GB	CUMPLE	CUMPLE
Soporte discos SAS (hot plug)	CUMPLE	CUMPLE
Memoria cache L3 ≥ 8 MB	CUMPLE	CUMPLE
2 Puertos Gb Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Alimentación 110 V / 60 Hz	CUMPLE	CUMPLE
Modelo para rack	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 1925,58	$ 2290,00

Tabla 4.13 Comparación de servidores para aplicaciones

Los dos servidores son muy buenos y cumplen con los requerimientos para ser un servidor de aplicaciones, sin embargo se escoge la marca HP por su costo beneficio.

El servidor para monitorear la red es menos robusto que un servidor de aplicaciones, porque genera menor cantidad de tráfico. Por lo tanto las características de los servidores son las siguientes.

SERVIDOR DE MONITOR		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	HP	DELL
Modelo	**ML110G7 [116]**	**POWER EDGE T110 II [117]**
Procesador de 2 núcleos	CUMPLE	CUMPLE
4 Gb de memoria RAM	CUMPLE	CUMPLE
Disco duro sata ≥ 500 GB	CUMPLE	CUMPLE
Memoria cache ≥ 4 MB	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 4.14 Comparación de equipos de servidor para monitoreo (continúa)

SERVIDOR DE MONITOR		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	HP	DELL
Modelo	**ML110G7 [116]**	**POWER EDGE T110 II [117]**
Tarjeta de red Ethernet 10/100/1000	CUMPLE	CUMPLE
Alimentación 110 V / 60 Hz	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 913,12	$ 1099,00

Tabla 4.14 Comparación de equipos de servidor para monitoreo

Al analizar la tabla 4.14, se observa que las dos opciones para el servidor de monitoreo cumple con los requerimientos, sin embargo el servidor HP es más beneficio por su costo, por lo tanto el servidor de monitoreo será HP.

4.2.4 UPS PARA EL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES

Para que la red funcione independiente de ocurrir interrupciones en el sistema eléctrico, se utilizará UPS (*Uninterruptible Power Supply*). Previamente se calculará la potencia requerida por la UPS (ver tabla 4.15). La potencia requerida es tomada de las especificaciones técnicas de equipo utilizado en la red.

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO PROMEDIO POTENCIA [Watt]	TOTAL POTENCIA
Radio PTP	4	35	140
Radio PTM	1	17	17
Router	1	240	240
Switch	1	282	282
Servidores	4	350	1400
Firewall	1	190	190
Total [Watt]			2269
Total [VA]			3241
Factor de crecimiento por año	5	5 %	25%
Potencia Requerida UPS [VA]			4051,25

Tabla 4.15 Potencia requerida por la UPS [109]

En la tabla 4.16 se presentan las características necesarias para el UPS que estará ubicado en el cuarto de telecomunicaciones.

UPS		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	American Power Conversion (APC) [120]	Tripp Lite [121]
Modelo	SURTD5000XLT	SU5000RT3U
Capacidad de salida voltios amperios (VA) > 4000	CUMPLE	CUMPLE
Alimentación a 110 V	CUMPLE	CUMPLE
Compatibilidad de frecuencia: 60 Hz	CUMPLE	CUMPLE
Alarma audible	CUMPLE	CUMPLE
Tiempo de transferencia inferior a 10 ms	CUMPLE	CUMPLE
Tiempo expandible por medio de baterías externas	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 3920,99	$ 5223,60

Tabla 4.16 Potencia requerida por el UPS

La marca Tripp Lite es predominante en el mercado de equipos UPS, por lo tanto será el que se utilizará en el cuarto de telecomunicaciones.

4.3 EQUIPOS DE USUARIO

En los centros educativos serán instalados teléfonos VoIP y equipos de video conferencia, los cuales se presentan a continuación con sus respectivas características.

4.3.1 TELÉFONOS IP

Los teléfonos IP deben tener el códec G.729 con el cual se calculó la velocidad de transmisión requerida en la red y deben cumplir con el estándar IEEE 803.2 af como principales características, ver tabla 4.17.

TELÉFONO IP		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	GRANDSTREAM	CISCO
Modelo	**GXP285** [122]	**Spa 502G** [123]
Soporta G.729a	CUMPLE	CUMPLE
Compatible con SIP	CUMPLE	CUMPLE
IEEE 803.2 af	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 4.17 Comparación de equipos de telefonía IP (continúa)

TELÉFONO IP		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	GRANDSTREAM	**CISCO**
Soporta VLAN	CUMPLE	CUMPLE
Soporta DHCP	CUMPLE	CUMPLE
Compatibilidad con Asterisk	CUMPLE	CUMPLE
Precio	$ 123,98	$ 174,99

Tabla 4.17 Comparación de equipos de telefonía IP

Se escoge los teléfonos Grandstream por ser más accesibles al consumidor.

4.3.2 VIDEOLLAMADA

En el cálculo de la velocidad de transmisión para videollamada, se consideró una resolución de 1280 x 720 y el códec H.264, por lo tanto los equipos de videollamada deben soportar estos parámetros. Al utilizar una resolución 1280 x 720, se tiene un video de alta definición, por lo tanto los equipos también deben tener una interfaz HMDI, en la tabla 4.18 se resume las características que deben cumplir los equipos para ser seleccionados en el presupuesto.

EQUIPOS DE VIDEOLLAMADA		
CARACTERÍSTICAS	**MARCA**	
	LIFE SIZE	**POLYCOM**
Modelo	**Passport Connect** [124]	**QDX 6000** [125]
Soporta G.729	CUMPLE	CUMPLE
Soporta H. 264	CUMPLE	CUMPLE
Resolución 1280x720	CUMPLE	CUMPLE
SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz de red Ethernet 10/100 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Entrada de micrófono	CUMPLE	CUMPLE
Salida de sonido	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz HMDI	CUMPLE	NO CUMPLE
Compatible con SIP	CUMPLE	NO CUMPLE
Precio	$ 2734,95	$ 3999,00

Tabla 4.18 Comparación de equipos de Video Conferencia

El equipo Passport Connect cumple con todos los requerimientos y tiene un precio más conveniente para el usuario, por ésta razón se escoge la marca LIFE SIZE para la realización de videollamadas.

4.4 PRESUPUESTO DE LA RED DISEÑADA

El presupuesto de la red se lo hará considerando las diferentes partes que constituyen el proyecto y estas son:

- ✓ Presupuesto de la red troncal y red de acceso.
- ✓ Presupuesto de equipos del cuarto de telecomunicaciones.
- ✓ Presupuesto de los equipos del usuario.
- ✓ Presupuesto de la red diseñada.
- ✓ Presupuesto de conectividad.

El valor del IVA no está incluido en estos presupuestos, pero será calculado en el presupuesto total de la red.

4.4.1 PRESUPUESTO DE LA RED TRONCAL Y RED DE ACCESO

En la tabla 4.19 se presenta el presupuesto de la red troncal y red de acceso, en el cual consta los equipos con sus respectivos precios.

PRESUPUESTO DE LA RED TRONCAL Y ACCESO			
N°	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
8	Torre venteada de 40 m, sistema de pararrayos, sistema de puesta tierra, instalación	$ 12.661,00	$ 101.288,00
1	Torre venteada de 20 m, sistema de pararrayos, sistema de puesta tierra, instalación	$ 7.861,00	$ 7.861,00
8	Radio Motorola PTP 250	$ 4.995,00	$ 39.960,00
27	Radio Tsunami MP 8100	$ 3.299,00	$ 89.073,00
8	Antena HyperLink HG-5158 DP-29D	$ 259,99	$ 2.079,92
27	Antena sectoriales HyperLink HG-2417P-120	$ 207,59	$ 5.604,93
55	Unidades suscriptoras Tsunami MP 8100 Subscriber	$ 429,00	$ 23.595,00
55	Switch DLINK DES-1210-28	$ 212,80	$ 11.704,00

Tabla 4.19 Presupuesto de la red troncal y acceso (continúa)

PRESUPUESTO DE LA RED TRONCAL Y ACCESO			
N°	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
9	Switch HP E 4210G-24G	$ 1.458,28	$ 13.124,52
8	UPS SMART 1000RM2U	$ 720,00	$ 5.760,00
TOTAL			**$ 300.050,37**

Tabla 4.20 Presupuesto de la red troncal y acceso

4.4.2 PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES

En la tabla 4.20 se detalla el presupuesto de los equipos que se ubicarán en el cuarto de telecomunicaciones.

PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES			
N°	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
1	Router Cisco 2821	$ 3.895,00	$ 3.895,00
1	Firewall Cisco 5510	$ 1.957,00	$ 1.957,00
1	Switch Cisco SGE2000P	$ 1.355,15	$ 1.355,15
1	Servidor HP ML110G7	$ 913,12	$ 913,12
3	Servidor HP DL160 G6	$ 1.925,58	$ 5.776,74
1	UPS SU5000RT3U	$ 5.223,60	$ 5.223,60
TOTAL			**$ 19.120,61**

Tabla 4.21 Presupuesto de equipos del cuarto de telecomunicaciones

4.4.3 PRESUPUESTO DE LOS EQUIPOS DEL USUARIO

Se considera un usuario a cualquier docente que desee realizar una llamada o videollamada desde una institución educativa.

En la tabla 4.21 se presenta el presupuesto de los equipos necesarios para el usuario.

PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL USUARIO			
N°	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
55	Teléfono IP GRANDSTREAM GXP285	$ 123,98	$ 6.818,90
6	Life Size Passport Connect	$ 2.734,95	$ 16.409,70
TOTAL			**$ 23.228,60**

Tabla 4.22 Presupuesto de equipos del usuario

4.4.4 PRESUPUESTO DE LA RED DISEÑADA

Para el diseño de una red de telecomunicaciones, es indispensable considerar el trabajo de un especialista en Diseño de Redes, ya que como es un proyecto para servicio público, y por la magnitud del mismo, se estima que el monto a contratar por los servicios en el diseño de la red es de $5.000,00 sin incluir impuestos. Éste precio se debe que se requiere de 6 meses de trabajo y que el salario de un ingeniero junior en el mercado es aproximadamente 817 [126] dólares.

4.4.5 PRESUPUESTO DE CONECTIVIDAD

En el capítulo 3 se determinó que la velocidad de transmisión para acceso a Internet es aproximadamente de 187 Mbps, y también se determinó que se requiere 12 líneas telefónicas para conectar el servidor VoIP hacia la PSTN.

En el cantón Shushufindi existe un único proveedor de Internet y telefonía fija, este proveedor es la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT). La tarifa para una línea telefónica comercial, se detalla en la tabla 4.22.

Categoría	Precio de Inscripción	Precio Mensual del Plan
Comercial	$60,00	$12,0/Mes

Tabla 4.23 Tarifa de línea telefónica [127]

Las características técnicas del servicio de Internet que brinda CNT son [120]:

- ✓ Capacidad de 160 STM-1 de salida internacional.

- ✓ Dos salidas internacionales de gran capacidad: Cable Panamericano (complemento Américas II); Cable Emergia.
- ✓ Red de transporte IP MPLS TE y red de acceso ADSL 2+, Gpon.
- ✓ Internet sin límite de descarga.
- ✓ Disponibilidad 99.3%.
- ✓ Compartición 2:1.
- ✓ Anti spam y antivirus para cuentas de correo electrónico.
- ✓ Instalación 5 días laborables; MTTR 12 horas.

La tabla 4.23 indica el plan de acceso a Internet acorde a los requerimientos de la red.

PLAN	TARIFA	INSCRIPCIÓN
CORPORATIVO 5000X768	$200,00	$80,00

Tabla 4.24 Plan de Internet [127]

Este proyecto está diseñado para 5 años por lo que presupuesto para el acceso a Internet y telefonía fija debe estar garantizado, por lo tanto la tabla 4.24 se indica el presupuesto de conectividad requerido.

PRESUPUESTO DE CONECTIVIDAD					
DESCRIPCIÓN	**N° ENLACES**	**N° MESES**	**PRECIO**	**INSCRIPCIÓN**	**TOTAL**
TELEFONÍA	**12**	60	$12,00	$60,00	$8.700,00
INTERNET	**38**	60	$ 200,00	$ 80,00	$ 456.080,00
TOTAL					**$464.780,00**

Tabla 4.25 Presupuesto de conectividad

4.4.6 PRESUPUESTO TOTAL DE LA RED

A continuación se procede a sumar todos los presupuestos necesarios para el diseño de la red. Los presupuestos previos no incluye el IVA, pero será calculado en el presupuesto total de la red.

PRESUPUESTO TOTAL DE LA RED	
Descripción	**Precio**
PRESUPUESTO DE LA RED TRONCAL Y ACCESO	$ 300.050,37
PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES	$ 19.120,61
PRESUPUESTO DE LOS EQUIPOS DEL USUARIO	$ 23.228,60
PRESUPUESTO DEL DISEÑO DE LA RED	$ 5.000,00
PRESUPUESTO DE CONECTIVIDAD	$ 464.780,00
SUBTOTAL	$ 812.179,58
IVA 12 %	$ 97.461,55
TOTAL	$ 909.641,13

Tabla 4.26 Presupuesto total de la Red

Al analizar el presupuesto total de la red que se observa en la tabla 4.24, se estima que la inversión por estudiante sería de 78 dólares para dar acceso a Internet a cerca de 11000 estudiantes y 600 docentes del cantón Shushufindi durante 5 años.

El presente proyecto tiene un alto beneficio social para la educación escolar de la región Amazónica, con a una inversión mínima se logra la integración de todo un cantón a las TICs.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ El dotar de acceso a Internet a los estudiantes de las diferentes instituciones educativas favorecidas en el presente proyecto, pretende ayudar a reducir el analfabetismo digital e incursionar con mayor facilidad a un mundo globalizado de la información.
- ✓ La implementación de este proyecto de una Red Inalámbrica de Telecomunicaciones es de carácter social, cumple con la responsabilidad de atender las áreas rurales del cantón Shushufindi, y en general las más vulnerables de la población.
- ✓ La recopilación de información en las instituciones educativas ayuda a evaluar el estado actual de la infraestructura civil, personal docente, estudiantes, conectividad (telefonía, Internet), computadoras, etc.
- ✓ A pesar de que las redes WLAN fueron creadas para entornos que no superan las decenas de metros, hoy en día son ampliamente utilizadas para ambientes en exteriores, esto se debe a los equipos robustos que existen en el mercado.
- ✓ La tecnología WiMAX se emplea en entornos donde estén saturado las bandas de frecuencias no licenciadas, como por ejemplo en las grandes ciudades, Wi-Fi es ampliamente utilizado en ambientes donde no están saturadas las frecuencias no licencias, como por ejemplo zonas rurales.
- ✓ Las comunicaciones inalámbricas presentan la gran ventaja de poder acceder a sitios en los cuales las redes cableadas no lo hacen. En el capítulo 3 se definió que Wi-Fi es la tecnología más conveniente porque cumple con todos los requerimientos de la red, y además presenta precios más accesibles, que varían desde los 3 mil hasta los 12 mil dólares, mientras que los precios de WiMAX varían desde los 9 mil hasta los 19 mil dólares.
- ✓ Un estudiante necesita una velocidad de transmisión de 256 kbps para navegar en el Internet, con esta velocidad de transmisión el estudiante podrá realizar consultas, revisar su correo electrónico y bajar información del

Internet. La diferencia del perfil de un estudiante y de un usuario de casa, es que un usuario de casa accede a contenido de *streaming* de video y a redes sociales, por lo que requiere una velocidad de transmisión mayor a 1 Mbps.

- ✓ Para calcular la velocidad de transmisión que se requiere para navegación web, no se debe hacer con el número de páginas porque el usuario no podrá abrir varias páginas simultáneamente.
- ✓ El comportamiento para realizar llamadas telefónicas en de los centros educativos es similar a los usuarios de una pequeña empresa.
- ✓ Para conectar los centros educativos hacia la PSTN se lo realizará con una probabilidad de bloqueo del 1% y se requerirá 12 líneas telefónicas.
- ✓ El tamaño de un fotograma depende de la resolución y del códec, además la velocidad de transmisión de video es proporcional al número de fotogramas por segundos (fps).
- ✓ El factor de compartición permite optimizar el ancho de banda, por la razón que existe varias jornadas de trabajo y no todos los usuarios acceden al Internet al mismo tiempo.
- ✓ La proyección de la población estudiantil dentro de 5 años, permite que la red sea escalable.
- ✓ Para el diseño de un radio enlace se debe tomar como referencia las características de los equipos comerciales porque varían según su aplicación, además se debe conocer las normas técnicas que exigen los órganos de control para no provocar interferencias con otras redes inalámbricas.
- ✓ La zona de cobertura de un radio depende en mayor parte de la potencia de transmisión y de la ganancia de la antena, estos dos factores se los debe analizar desde el aspecto de las características del equipo a implementar y de las normas de regularización.
- ✓ La asociación de una escuela hacia una radio base depende de que exista línea de vista y que esté dentro de un radio de cobertura de máximo de 10 Km, éste es el alcance que recomiendan los fabricantes de los equipos.
- ✓ La mayor parte de los radio enlaces presentan una topografía sin elevaciones de terrenos, lo que ayuda a reducir el tamaño de las radio bases.

- ✓ Con una altura de 40 metros en las radios bases, se logra obtener línea de vista entre las radios bases y además se consigue que la altura de la mayoría de las antenas receptoras sea de 3 metros.
- ✓ La máxima velocidad de transmisión de un enlace punto a punto en la red troncal será de aproximadamente 50 Mbps, velocidad que es soportada por la tecnología Wi-Fi, y permitirá escalar la red sin necesidad de implementar nuevos enlaces punto a punto.
- ✓ El enlace inalámbrico más extenso de la red diseñada, es de aproximadamente 20 kilómetros con un margen de desvanecimiento 15 dB, por lo tanto se concluye que ningún enlace tendrá un margen de desvanecimiento menor a 15 dB, por ende todos los enlaces del diseño de la red son estables.
- ✓ El modelo teórico de desempeño de un radio enlace permite estimar si es posible o no la implementación de una red inalámbrica.
- ✓ El software Radio Mobile es una herramienta que facilita el diseño de redes inalámbricas a través de una interfaz muy amigable para el usuario. Para la utilización de un software de simulación de un radio enlace se debe conocer los parámetros de entrada y saber analizar los resultados.
- ✓ La calidad de servicio es un factor muy crucial para un adecuado rendimiento de las aplicaciones de voz y video, por esta razón todos los equipos cuentan con QoS.
- ✓ Para brindar calidad de servicio en capa 2, se implementó el estándar IEEE 802.1Q y 802.1p, estos protocolos forman parte de las características que deben cumplir los equipos de la red diseñada.
- ✓ El estándar IEEE 802.1p define 8 niveles de prioridad, los cuales se configuran según la aplicación. Se debe dar mayor prioridad a VoIP, porque durante una videollamada se puede perder algunos fotogramas pero la conversación debe permanecer fluida.
- ✓ Las redes inalámbricas son más vulnerables que las redes cableadas porque la información viaja por el aire, por tal razón se aplicó criterios de encriptación y mecanismos para autentificación de usuarios. El estándar WPA2 permite encriptar la información con el algoritmo AES, y autentificar a los usuarios por medio de un servidor RADIUS.

- ✓ El firewall protege una red interna de los intrusos provenientes del Internet por medio de políticas de seguridad, filtrado web y bloqueo de puertos. Una zona desmilitarizada (DMZ) asegura que los servidores de acceso público no puedan comunicarse con otros segmentos de la red interna, protegiendo el acceso no autorizado de intrusos prevenientes del Internet.
- ✓ La gestión de red posibilita al administrador seguir un protocolo frente a alguna eventualidad en la red, además facilita la transición de un administrador de red. El software Zabbix permite monitorear la red, realiza autodescubrimientos de dispositivos y envía aletas vía email.
- ✓ Asterisk es un potente software de código abierto que brinda el servicio de una central telefónica y está disponible para varios sistemas operativos. Las ventajas de Asterisk respecto a una central propietaria, son sus funcionales y su precio, con Asterisk no se requiere de una licencia para cada función de la central telefónica, lo que influye en el costo directo de la central telefónica.
- ✓ La velocidad de conmutación no es igual para los *switches* de distribución, la capacidad varía según van asociándose las radios bases, la mayor velocidad de conmutación se tiene en la radio base 1 y será aproximadamente de 210 Mbps.
- ✓ El protocolo de enrutamiento OSPF tiene un tiempo de convergencia muy rápido, soporta VLSM, consume poco ancho de banda y no es un protocolo propietario, es muy ideal para medianas y grandes redes.
- ✓ Para la elección de los equipos se debe tomar en cuenta el criterio de costo beneficio, que no siempre quiere decir que el menor precio es el más recomendable, porque un bajo costo inicial puede implicar un gran costo en el futuro debido a que los equipos se dañan o no son estables.
- ✓ Los precios de los equipos Wi-Fi para exteriores dependen del fabricante, debido a que unos utilizan protocolos propietarios para hacer más robustos sus equipos, mientras que otros fabricantes utilizan protocolos estándares y como consecuencia las prestaciones de sus equipos son limitadas.
- ✓ Se debe tener en consideración que una adecuada configuración, instalación y mantenimiento de los equipos, garantizarán el correcto funcionamiento de la red durante su tiempo de vida útil.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que la distancia máxima entre una estación base y una estación fija no sea mayor de 10 Km, para garantizar su cobertura y calidad de servicio.
- ✓ Se debe considerar como norma de seguridad primordial cambiar las claves de acceso a una red transcurrido un periodo de tiempo.
- ✓ Se recomienda que en la instalación de los equipos se siga las recomendaciones de los fabricantes para garantizar un correcto funcionamiento.
- ✓ Las alturas calculadas para las antenas receptoras en las instituciones educativas, son las mínimas que deben tener para que exista línea de vista, se recomienda realizar pruebas de conectividad antes de establecer la altura definitiva de las antenas en las instituciones educativas.
- ✓ Para la instalación de las antenas en cada una de las instituciones educativas se debe tener en cuenta que éstas no deben ser ubicadas cerca de superficies conductoras (techos de zinc), porque dicha superficie reflejará la señal y por ende se tendrá pérdidas adicionales en el balance de potencia del radio enlace.
- ✓ Luego de terminadas las instalaciones de todos los puntos de la red diseñada, se deberán realizar las respectivas pruebas de campo para garantizar el servicio a los usuarios y el buen trabajo de implementación.
- ✓ Se recomienda en toda implementación considerar mantenimientos preventivos del sistema en general como mínimo una vez al año, para de esta forma optimizar el tiempo de vida útil de los equipos del sistema, y así evitar inconvenientes por mal funcionamiento.
- ✓ Una vez que las instituciones educativas logren tener acceso a la tecnología y a la información que trae el Internet, se debe considerar la creación de una biblioteca virtual, evitando así la dependencia del Internet.
- ✓ La red de telecomunicaciones debe ser complementada con un laboratorio de cómputo en cada centro educativo, con la finalidad de sacar el máximo provecho a la red diseñada.
- ✓ Se deben impartir cursos de TICs a los docentes, de esta forma ellos estarán en la capacidad de impartir los conocimientos que los estudiantes requieren.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Zheng, P & Zhao, F. (2004). *Wireless Networking Complete.* Amsterdam: Morgan Kaufmanm.

[2] Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras*. Cuarta edición. Mexico: Pearson Education.

[3] Gast, M. (2002). *Wireless Network: The Definitive guide.* O'Reilly.

[4] Historia de Wi-Fi

http://douglascomputer.es.tl/Historia_Wifi.htm

[5] Radiación infrarroja en el espectro de ondas

http://www.academiatesto.com.ar/cms/radiacion-infrarroja-en-el-espectro-de-ondas-2

[6] Redes inalámbricas

http://www.canal-ayuda.org/a-informatica/inalambrica.htm

[7] Jeffrey,G. &Arunabha, G.& Muhamed, R. (2007).*Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking*. Upper Saddle River: Prentice

[8] Mohammad, S. (2008). *Wimax Standards and Security*. New York: CRC Press

[9] Tse, D. & Viswanah, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambrige: Cambrige University Press

[10] WiMAX Forum

http://www.mobilitytechzone.com/conference/east-11/sponsors.aspx

[11] NLOS Optimization Outfits WiMax for Wide Coverage

http://www.rtcmagazine.com/articles/view/100308

[12] LOS versus NLOS

http://www.conniq.com/WiMAX/nlos-los.htm

[13] Vijay, K. (2007). *Wireless Comunications and Networking.* Amsterdam : Morgan Kaufmann Publishers

[14] ITM model propagation settings

http://radiomobile.pe1mew.nl/?Calculations:ITM_model_propagation_settings

[15] Parámetros específicos para el modelo de Longley-Rice

http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6989/17/Anexo%2016.pdf

[16] ITM model propagation settings
http://radiomobile.pe1mew.nl/?Calculations:ITM_model_propagation_settings&q=refractivity

[17] Network propeties Parameters

http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program:File_menu:Network_prop.._Parameters&q=refractivity

[18] Cevallos, M. *Curso de Sistemas Radiantes.* Escuela Politécnica Nacional.

[19] Línea visual

http://montevideolibre.org/manuales:libros:wndw:capitulo_2:linea_visual

[20] RECOMENDACIÓN UIT-R P.526

http://www.xirio-online.com/help/es/rec526.html

[21] WiMax

http://fasufi.wordpress.com/wimax/

[22] Link budget.

http://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget

[23] Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Cuarta Edición. México : Prentice Hall

[24] RECOMENDACIÓN UIT-R PN.525-2
http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/P/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S.pdf

[25] ÁNGULOS DE ELEVACIÓN Y DE DEPRESIÓN

http://www.aulafacil.com/matematicas-trigonometria-plana/curso/Lecc-2.htm

[26] Cálculo de Distancias en base a coordenadas geográficas

http://www.juanjosemartinez.com.mx/GIS/files/Calculo_dist_azimuth_planas_new.pdf

[27] Ministerio de Telecomunicaciones

http://www.telecomunicaciones.gob.ec/el-ministerio/

[28] CONATEL: Sistemas de modulación digital de banda ancha MDBA
http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=1639:sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha-mdba&catid=40:servicios&Itemid=166

[29] Organización

http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=itemlist&layout=category&task=category&id=10&Itemid=109

[30] Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha - Página #2

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=111%3Anorma-para-la-implementacion-y-operacion-de-sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha&catid=49%3Aregulacion-de-servicios&Itemid=104&limitstart=1

[31] Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha - Página #7

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=111%3Anorma-para-la-implementacion-y-operacion-de-sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha&catid=49%3Aregulacion-de-servicios&Itemid=104&limitstart=6

[32] Shushufindi: Información general

http://www.shushufindi.gob.ec/pagina.php?varmenu=99

[33] Sucumbíos: Territorio y recursos

http://www.sucumbios.gob.ec/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=83&Itemid=216

[34] Resultados de censo de población

http://www.inec.gob.ec/cpv/

[35] Sucumbíos

http://mapadesnutricion.org/img/sucumbios1.jpg

[36] Información general

http://www.shushufindi.gob.ec/pagina.php?varmenu=99

[37] Resultados Censo de Población

http://www.inec.gob.ec/cpv/

[38] Población por sexo, según provincia, parroquia y cantón de empadronamiento.

http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=128&lang=es

[39] Población por grupos de edad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento

http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=128&lang=es

[40] Información obtenida por el autor en base a visitas técnicas a los centros educativos

[41] Fotografías de los centros educativos tomadas por el autor

[42] Reporte Anual de Estadísticas Sobre Tecnología de Información y Comunicación (2011)

http://www.elcomercio.com/negocios/Reporte-estadisticas-comunicaciones-INEC-PDF_ECMFIL20120220_0001.pdf

[43] Global Site Speed Overview: How Fast Are Websites Around The World?

http://analytics.blogspot.com/2012/04/global-site-speed-overview-how-fast-are.html

[44] Web metrics: Size and number of resources

https://developers.google.com/speed/articles/web-metrics?hl=es-ES

[45] ¿Aprende a calcular cuántos MB puedes gastar al mes?

http://www.carlosnuel.com/aprende-a-calcular-cuantos-mb-puedes-gastar-al-mes.html

[46] ¿Cuántos MB son suficientes para un smartphone? Ahorra más ajustando la tarifa de datos a tus necesidades

http://www.xatakamovil.com/conectividad/cuantos-mb-son-suficientes-para-un-smartphone-ahorra-mas-ajustando-la-tarifa-de-datos-a-tus-necesidades

[47] How big is the average ePub book?

http://blog.threepress.org/2009/11/16/how-big-is-the-average-epub-book/

[48] Configuración avanzada de la codificación

https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es

[49] Recommended bit rates for live streaming

http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream_live/popup.html

[50] Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption

http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml

[51] Hugo R. Aulestia R. *Telefonía*. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Septiembre 2010.

[52] Erlang B Traffic Table
http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/erlang-table.pdf

[53] Fundamental of Digital Video

http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Video/pktvideoaag.html#wp1052617

[54] Monitoring MPEG in and IP network

http://broadcastengineering.com/video-t-amp-m/monitoring-mpeg-ip-network

[55] Ip Camera CCTV Calculator

http://www.jvsg.com/bandwidth-storage-space-calculation/

[56] Bandwidth and Storage Calculator
http://www.stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator

[57] ECUADOR EN CIFRAS

http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/educacion.html#

[58] Políticas y prácticas de informática educativa en América Latina y El Caribe

http://coleccion1a1.educ.ar/wp-content/uploads/2012/02/cepal_politicas-practicas-de-Tic.pdf

[59] Estimación de Población

http://www.cca.org.mx/cca/cursos/matematicas/cerrada/cpcomp/introcaso4.htm

[60] Resolución – CONATEL- 2006

http://www.saraguros.com/archivos/Norma_Tecnica_Acceso_Internet_Audicencia.pdf

[61] IEEE 802.16 WMAN / WiMAX

http://www.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation

[62] Wimax vs wifi comparison images

http://picsbox.biz/key/wimax%20vs%20wifi%20comparison

[63] WiFi Seguridad

http://www.felipereyesvivanco.com/redes/wifi-seguridad/

[64] Alvarion New 3.65 GHz Micro Base Station

http://shop.wirelessguys.com/Alvarion-New-3-65-GHz-Micro-Base-Station

[65] Enlace Ethernet de Microondas PTP250

http://www.sicom.com.uy/productos/redesinalambricas/puntoapunto/ptp250

[66] Tsunami™ MP-8100

http://www.proxim.com/products/point-to-multipoint/tsunami-mp-8100-series/mp-8100

[67] CALCULO DE PERDIDAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

http://www.qsl.net/cx1ddr/cable.htm

[68] Perdidas en los conectores

http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?231-Tipos-de-Cables-y-sus-Perdidas-en-Wireless

[69] How QoS Works

http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc728211%28v=ws.10%29.aspx#w2k3tr_qos_how_bdgn

[70] Calidad de servicio en redes WLAN
http://librosnetworking.blogspot.com/2009/04/calidad-de-servicio-en-redes-wlan.html
[71] IEEE P802.1p
http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_P802.1p#cite_ref-2
[72] Protección de las redes inalámbricas
http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/proteccion_wireless.html
[73] Cortafuegos (informática)
http://es.wikipedia.org/wiki/Cortafuegos_%28inform%C3%A1tica%29
[74] Firewall
http://es.kioskea.net/contents/590-firewall
[75] Zona desmilitarizada (informática)
http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_desmilitarizada_%28inform%C3%A1tica%29
[76] DMZ (Zona desmilitarizada)
http://es.kioskea.net/contents/589-dmz-zona-desmilitarizada
[77] Qué es y para qué sirve un firewall.
http://blog.deservidores.com/que-es-y-para-que-sirve-un-firewall/
[78] FIREWALLS – Diseño y Panorámica Actual
http://www.dragonjar.org/firewalls-diseo-panormica-actual.xhtml
[79] Tecnología inalámbrica
http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/proteccion_wireless.html
[80] ¿Cuáles son los diferentes métodos de seguridad de redes inalámbricas?
http://windows.microsoft.com/es-419/windows-vista/what-are-the-different-wireless-network-security-methods
[81] WEP o WPA para proteger tu red Wi-Fi
http://windowsespanol.about.com/od/RedesYDispositivos/a/Wep-O-Wpa-Para-Proteger-Tu-Red-Wi-Fi.htm
[82] Advanced Encryption Standard
http://es.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard
[83] Gestión de red
http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_red

[84] JFFNMS
http://www.jffnms.org/
[85] What is Zabbix
http://www.zabbix.com/es/product.php
[86] Centro de Control de la Red
http://es.wikipedia.org/wiki/Centro_de_Control_de_la_Red
[87] Funciones de un servidor VoIP
http://es.over-blog.com/Funciones_de_un_servidor_VoIP-1228321779-art260051.html
[88] Servidores de Telefonía VoIP (iPABX)
http://www.ctex.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=47&Itemid=74
[89] Central telefónica IP Office 500, distribuidor Avaya
http://www.telecomunicacionesalicante.com/telefonia/centrales_telefonicas_avaya.html
[90] Servidores de comunicaciones unificadas Elastix
http://elastix.org/images/documentation/elx-a-flyer_esp.pdf
[91] Five Reasons Linux Beats Windows for Servers
http://www.pcworld.com/article/204423/why_linux_beats_windows_for_servers.html
[92] Entendiendo Smtp, IMAP y POP en Linux
http://jpertuz.wordpress.com/servidor-imap-y-pop/
[93] Instalación FTP Centos 6.2
http://jogagiro.wordpress.com/2012/09/15/instalacion-ftp-centos-6-2/
[94] Vsftpd
http://en.wikipedia.org/wiki/Vsftpd
[95] The 9 Best Low-Cost RADIUS Servers
http://www.serverwatch.com/server-reviews/the-9-best-low-cost-radius-servers.html
[96] Protocolos de enrutamiento
http://www.slideshare.net/giank1984/protocolos-de-enrutamiento-5050972
[97] PTP 250 Spec Sheet

http://www.cambiumnetworks.com/products/index.php?id=ptp200

[98] Tsunami® QB-8200 Series

http://www.proxim.com/products/point-to-point-backhaul/tsunami-qb-8200-series

[99] Canopy 100

http://www.cambiumnetworks.com/products/index.php?id=pmp100

[100] Tsunami™ MP-8100

http://www.proxim.com/products/point-to-multipoint/tsunami-mp-8100-series/mp-8100

[101] Rocket Dish

http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf

[102] HyperLink Wireless 5.1 GHz to 5.8 GHz 28.5 dBi Broadband

http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG5158DP-29D.PDF

[103] 2.4GHz AirMax 2x2 MIMO Basestation Sector Antennas

http://dl.ubnt.com/AirMax2GSectors.pdf

[104] HyperLink 2.4 GHz 17 dBi 120 Degree Sector Panel

http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2417P-120.PDF

[105] HP V1905 Switch Series
http://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA1-7792ENW&doctype=data%20sheet&doclang=EN_US&searchquery=&cc=es&lc=es

[106] DES - 1210 Series

http://www.dlink.com/us/en/support/product/-/media/Business_Products/DES/DES%201210%2028/Datasheet/DES%201210%2028_Datasheet_EN_US.pdf

[107] HP E4210G Switch Series

http://h20195.www2.hp.com/V2/GetPDF.aspx/4AA3-0740ENW.pdf

[108] Switch Gigabit de 24 puertos Cisco SGE2000P

http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps9967/ps9983/data_sheet_c78-502070_es.pdf

[109] Determinando la potencia de una UPS para necesidades específicas

http://www.unicrom.com/Tut_UPS_potencia_adecuada.asp

[110] Smart-UPS APC Smart-UPS C 1000VA 2U LCD 120V
http://www.apc.com/resource/include/techspec_index.cfm?base_sku=SMC1000-2U&tab=models

[111] Tripp Lite Modelo No.: SMART1000RM2U
http://www.tripplite.com/shared/product-pages/es/SMART1000RM2U.pdf

[112] Cisco 2800 Series
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5854/product_data_sheet0900aecd8049bed4.pdf

[113] HP MSR50 Series
http://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA3-0767ENW&doctype=data%20sheet&doclang=EN_US&searchquery=&cc=uk&lc=en

[114] Cisco ASA 5500
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/vpndevc/ps6032/ps6094/ps6120/product_data_sheet0900aecd802930c5.pdf

[115] DFL-260E/860E/1660/2560/2560G
http://www.dlink.com/us/en/support/product/-/media/Business_Products/DFL/DFL%201660/Datasheet/DFL_1660_Datasheet_EN_US.pdf

[116] HP ProLiant ML110 Generation 7 (G7)

http://h18000.www1.hp.com/products/quickspecs/14012_div/14012_div.pdf

[117] Servidor en torre compacto PowerEdge T110 II de Dell
http://www.dell.com/ec/empresas/p/poweredge-t110-2/pd

[118] HP ProLiant DL160 G6 Server
http://h18004.www1.hp.com/products/quickspecs/DS_00143/DS_00143.pdf

[119] Dell PowerEdge R310
http://www.dell.com/downloads/global/products/pedge/pedge_r310_specsheet_es.pdf

[120] APC Smart-UPS RT 5000VA

http://www.apc.com/resource/include/techspec_index.cfm?base_sku=SURTD5000XLT&displaylist=ALL&page_type=products&printer_friendly=yes&language=en

[121] Tripp Lite Modelo No.: SU5000RT3U
http://www.tripplite.com/shared/product-pages/es/SU5000RT3U.pdf
[122] Grandstream GXP280/285
http://www.grandstream.com/products/gxp_series/gxp280/marketing/gxp28x_brochure_spanish.pdf
[123] Cisco SPA502G
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/voicesw/ps6788/phones/ps10499/data_sheet_c78-548561.pdf
[124] LifeSize Passport Connect
http://www.projectorsonthego.com/LifeSize_PassportConnect_Datasheet_EN.pdf
[125] Polycom QDX 6000
http://www.polycom.com/content/dam/polycom/www/documents/data-sheets/qdx-6000-ds-enus.pdf
[126] Diferencie los cuatro tipos de salario

http://www.elcomercio.ec/negocios/Diferencie-tipos-salario-Ecuador-salarios-laboral-trabajo_0_854914584.html

[127] Internet Pymes
http://www.cnt.gob.ec/cntwebregistro/04_cntglobal/productos_detalle.php?txtCodiSegm=2&txtCodiLine=4&txtCodiProd=71&txtCodiTipoMovi=0
[128] Tabla resumen de códecs

http://www.voipforo.com/codec/codecs.php

[129] CODECs

http://www.inphonex.es/soporte/voip-codecs.php

[130] Comparing Media Codecs for Video Content

http://www.media-matters.net/docs/resources/Digital%20Files/General/Comparing%20Media%20Codecs%20for%20Video%20Content.pdf

[131] Radio Mobile

http://www.cplus.org/rmw/english1.html

[132] Tutorial de Radio Mobile

http://www.eslared.net/walcs/walc2011/material/track1/Manual%2520de%2520Radio%2520Mobile.pdf

[133] CCNA Exploration 4: Acceso a la WAN

[134] FCAPS

http://es.wikipedia.org/wiki/FCAPS

[135] Definición del término SNMP

http://es.kioskea.net/contents/internet/snmp.php3

[136] Centro de operaciones de red

http://ws.edu.isoc.org/data/2004/12233513244826d2f8d0eb/NOC.pdf

[137] Centro de control de red

http://es.wikipedia.org/wiki/Centro_de_Control_de_la_Red

[138] Tipos de Torres para Telecomunicaciones

http://energytel.info/portal_telecom/articulos-tecnicos/38-ariculos-tecnicos-de-interes/97-tipos-de-torres-para-telecomunicaciones

[139] Telecomunicaciones

http://www.invertaresa.com/made/espanol/descargas/catalogos/08_telecomunicaciones.pdf

[140] Tower Base Station Infrastructure

http://www.tessco.com/yts/systems_supported/base_station_infrastructure.html

[141] Ethernet (IEEE 802.3) y el modelo OSI

http://www.programarpicenc.com/libro/cap14-a-ethernet-ieee-802.3-modelo-osi.html

[142] Certified product showcase

http://registry.wimaxforum.org/certification/certified-product-showcase

[143] Performance Test of Asterisk V1.4 as a Back to Back User Agent
http://www.transnexus.com/index.php/whitepapers?id=259

ANEXO A

FORMATOS DE COMPRESIÓN DE AUDIO Y VIDEO

FORMATOS DE COMPRESIÓN DE AUDIO Y VIDEO [128], [129], [130]

Antes que la señal de voz o video sea transmitida pasa por un proceso de codificación – decodificación (*códec*), el códec provoca pérdidas de información para comprimir lo más posible los datos de destino. Existe códec para voz y video los cuales describimos a continuación.

CÓDEC DE VOZ

La utilización de códec de voz es importante para la optimización de ancho de banda, en la siguiente tabla están los códecs más comunes con sus principales características.

CÓDEC	MÉTODO DE COMPRESIÓN	TASA DE BIT	FACTOR DE COMPRESIÓN
G.711	PCM (*Pulse Code Modulation*) [33]	64 kbps	1
G.723.1A	ACELP (*Algebraic CELP*) [34]	5.3 kbps	≈12
G.729a	CS-ACELP (*Conjugate Structure-Algebraic CELP*)[35]	8 kbps	8

Tipo de códec para voz

G.711 es un códec estandarizado por ITU-T (Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones), es un estándar de muy buena calidad de voz, poco retardo, pero consume mucho ancho de banda.

G.723 es un estándar de la ITU-T, es una extensión de G.711 con buena calidad de voz, consume poco ancho de banda y es utilizado particularmente para transmitir voz sobre IP en conexiones WAN de bajo ancho de banda.

G.729 es una recomendación de la ITU-T, este códec opera a 8 kbps y comprime el audio en pedazos de 10 milisegundos; se utiliza mayormente en aplicaciones

[33] La modulación por impulsos codificados (PCM) es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una señal digital.

[34] Predicción lineal de código algebraico excitado (ACELP), es un algoritmo de codificación de voz en el que un conjunto de limitado de pulso se distribuye como excitación a un filtro de predicción lineal.

[35] Predicción lineal de código algebraico (CS-ACELP) excitado en estructura conjugada, es un tipo de códec de voz que comprime la señal de voz basada en los parámetros del modelo de voz humana.

de Voz sobre IP por sus requerimientos de bajo ancho de banda. En la siguiente tabla se presenta las características para el códec G.729

CODEC	TASA DE BITS	PAYLOAD	PAQUETES POR SEGUNDO	FACTOR DE COMPRESIÓN
G.729a	8 Kbps	20 bytes	50 (ppp)	8

Características del codec G.729

FORMATOS DE COMPRESIÓN DE VIDEO

Los principales formatos de compresión son M-JPEG, MPEG-4 y H.264.

- ✓ **Motion JPEG**

Es una secuencia de video digital compuesta por una serie de imágenes JPEG (*Joint Photographic Experts Group)* individuales. Una de las ventajas de *Motion JPEG* es que cada imagen de una secuencia de video puede conservar la misma calidad, sin embargo el principal inconveniente de *Motion JPEG* es que no utiliza ninguna técnica de compresión de video para reducir datos.

- ✓ **MPEG-4**

MPEG-4 es un método para la compresión digital de audio y vídeo, ofrece una buena resolución. Es compatible con aplicaciones de ancho de banda reducido y aplicaciones que requieren imágenes de alta calidad, sin limitaciones de frecuencia de imagen y con un bajo ancho de banda.

Los usos de MPEG-4 incluyen la compresión de datos para la web (*streaming*), voz, videollamada y difusión de aplicaciones de televisión.

- ✓ **H.264**

Este codificador puede reducir el tamaño de un archivo de video digital en más de un 80% si se compara con el formato Motion JPEG, y hasta un 50% más en comparación con el estándar MPEG-4.

El H.264 ha sido definido conjuntamente por organizaciones de normalización del sector de las telecomunicaciones (ITU-T's *Video Coding Experts Group*) y de las tecnologías de la información (ISO/IEC *Moving Picture Experts Group*), y se espera que tenga una mayor adopción que los estándares anteriores.

En el sector de video vigilancia, H.264 encentra su mayor utilidad en aplicaciones donde se necesiten velocidades y resoluciones altas, como en la vigilancia de autopistas, aeropuertos y casinos.

Resolución de imagen

Dependiendo de la aplicación si se requiere un alto nivel de detalle de los objetos o personas a captar, o la captura abarca una gran distancia será necesario analizar y escoger la resolución de la cámaras. La resolución varía de una imagen digital (formada por píxeles) y una analógica (formada por líneas).

Resoluciones NTSC y PAL

Estos estándares se emplean en vídeo analógico. El estándar NTSC es usado predominantemente en Norteamérica y Japón. Tiene una resolución de 480 líneas, utiliza una frecuencia de actualización de 60 campos por segundo (30 imágenes completas por segundo).

El estándar PAL es utilizado en Europa, Asia y África. Tiene una resolución de 576 líneas, utiliza una frecuencia de actualización de 50 campos por segundo (25 imágenes completas por segundo).

Cuando el video analógico se digitaliza, la cantidad máxima de píxels que pueden crearse se basará en el número de líneas de TV disponibles para ser digitalizadas. A continuación presentamos un resumen de las diferentes resoluciones.

FORMATO DE VISUALIZACIÓN	RESOLUCIONES	
	NTSC (PIXELES)	PAL (PIXELES)
D1 Completa	720X480	720X576
D1 Media (4CIF)	704X480	704X576
2 CIF	704X240	704X288
CIF	352X240	352X288
QCIF	176X120	176X144

Resolución de imágenes NTSC y PAL

Resolución VGA

VGA (*Video Graphics Array* - Tabla de Gráficos de Vídeo) es un sistema de pantalla de gráficos para PC desarrollado originalmente por IBM. Provee resoluciones derivadas de los ámbitos informáticos y normalizados mundialmente.

Su resolución es de 640x480 píxeles y es muy adecuada para cámaras de red debido a que produce píxeles cuadrados que coinciden con los de la pantalla de un ordenador.

Resoluciones megapíxel

Los sensores usados generan imágenes con un millón de megapíxeles o más, lo que mejora la calidad de las imágenes y facilita la obtención de mayores detalles en las tomas además de visualizar una mayor área. Tiene la desventaja que es menos sensible a la luz y exige mayor ancho de banda de la red y mayor espacio para almacenar grabaciones.

Se distingue de las resoluciones analógicas ya que luego de haber digitalizado una señal de video se consiguen imágenes de 720 x 480 píxeles (NTSC) o 720x576 píxeles (PAL), que corresponden a un máximo de 414.720 píxeles o 0.4 megapíxeles que en comparación con una imagen con formato megapíxel de 1280x1024 se consigue una resolución de 1.3 megapíxeles que representa el triple de la resolución.

ANEXO B

TUTORIAL DEL SOFTWARE RADIO MOBILE

RADIO MOBILE [131], [132]

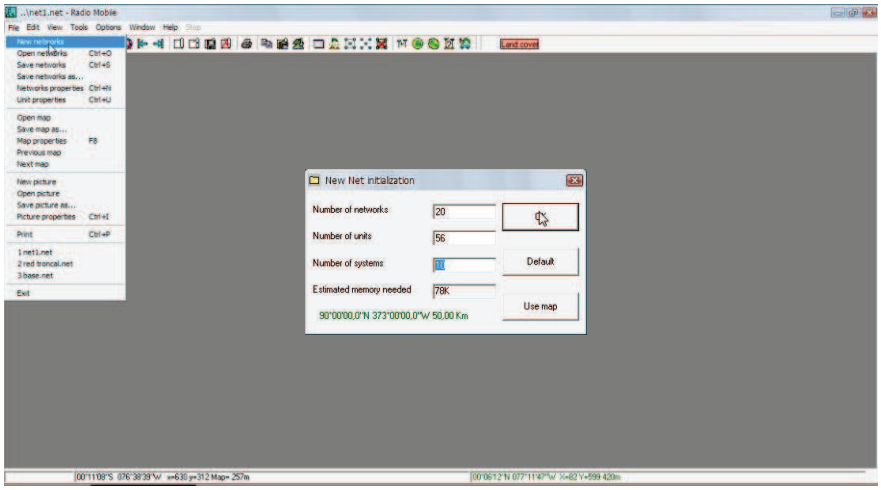
"Radio Mobile" es un programa creado en 1998 y mantenido desde entonces por el ingeniero y radio aficionado canadiense Roger Coudé, para predecir el desempeño de sistemas de radio en exteriores, entre los parámetros importantes se tienen:

- ✓ Datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor
- ✓ Está basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa
- ✓ Permite determinar el área de cobertura de un sistema de radio comunicaciones que trabaje en una frecuencia entre los 20 y los 20.000 MHz
- ✓ Altura, polarización, ganancia y azimut de las antenas
- ✓ Frecuencia de trabajo mínima y máxima del equipo
- ✓ Topología de red (depende del tipo de enlace)
- ✓ Pérdidas en el espacio libre
- ✓ Campo eléctrico presente en la antena receptora
- ✓ PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)
- ✓ Despeje de la Zona de Fresnel
- ✓ Sensibilidad del equipo receptor
- ✓ Pérdidas en las líneas de transmisión
- ✓ Clima de la zona en donde se diseña el radioenlace
- ✓ Refractividad del terreno, conductividad del terreno

Tutorial del Software Radio Mobile

Como parte preliminar se describe los parámetros de cada una de las ventanas presentes en el software, para de esta manera comprender los resultados obtenidos en la simulación del radioenlace, así:

- ✓ Se ingresa al programa y se crea un nuevo proyecto de trabajo haciendo click en File – New Networks.

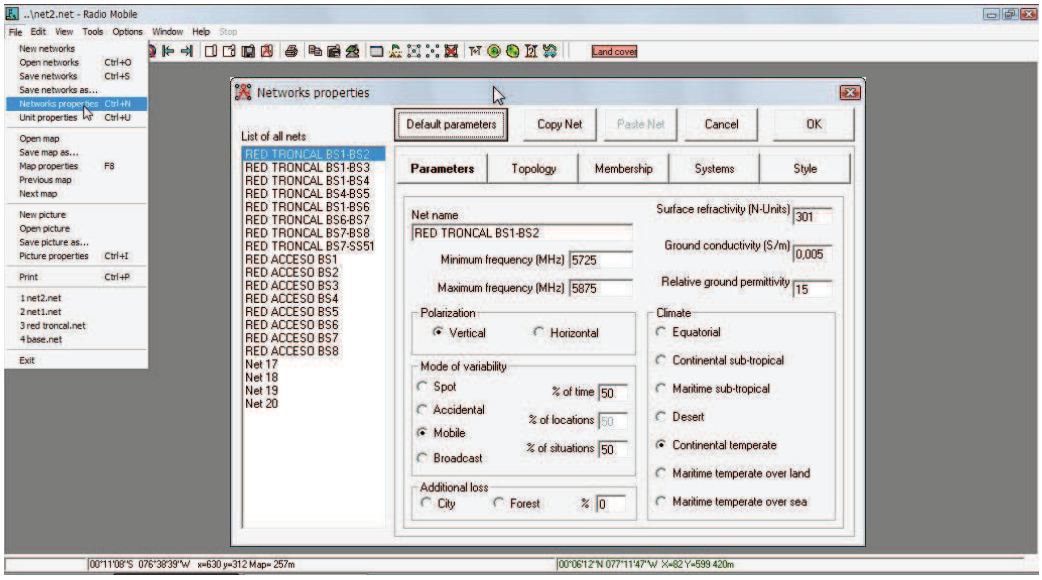


Creación de una nueva red

Se ingresa los datos para configurar por primera vez nuestra red:

- ✓ Number of networks = 20, para varios enlaces troncales.
- ✓ Number of units = 56, son 55 centros educativos más 1 del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi.
- ✓ Number of systems = 10, solo utilizaremos 3 tipos de sistemas.
- ✓ Estimated memory needed = 78K, espacio de memoria RAM, para ejecutar el programa.

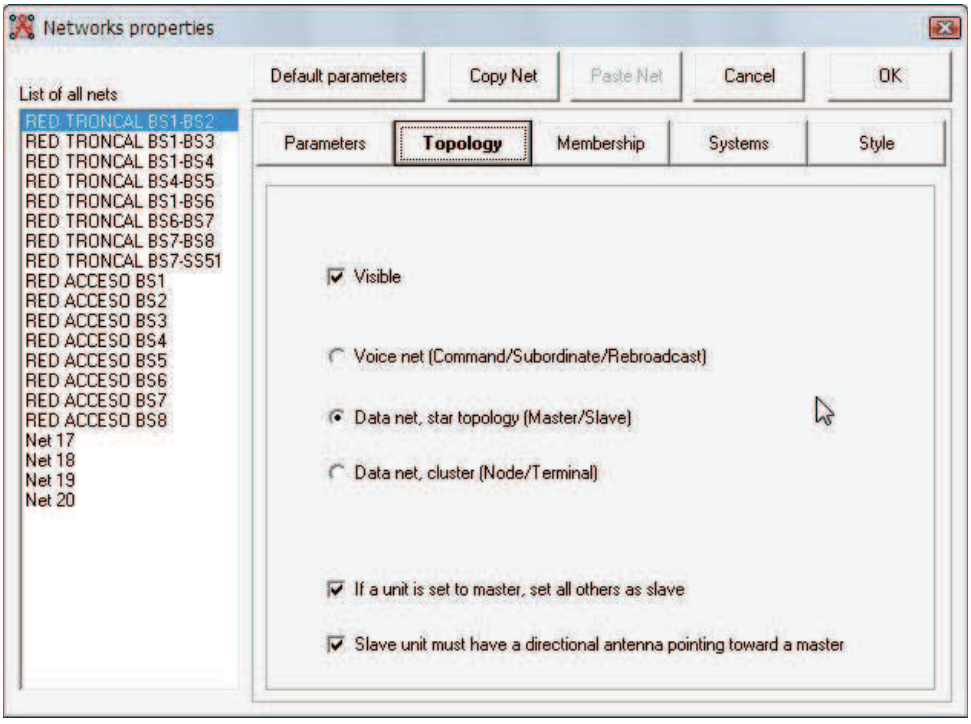
A continuación se define las características de la red que se va a utilizar, para ello se ingresa a File – Networks properties. Ahí se completa los valores de la red.



Propiedades de red (Parámetros)

- ✓ Net name: Se asigna el nombre red “RED TRONCAL BS1-BS2”.
- ✓ Minimum frecuency [MHz]: De acuerdo al plan de frecuencias se ingresa la frecuencia mínima 5725 MHz.
- ✓ Maximun frecuency [MHz]: De acuerdo al plan de frecuencias se ingresa la frecuencia máxima 5875 MHz.
- ✓ Polarization: La antena que se utilizará en el diseño, operará en polarización vertical.
- ✓ Mode of variability: Se selecciona el entorno móvil (Mobile), ya que es el más usado en los operativos de campo y por otro lado se trata de la peor condición. Con un porcentaje de tiempo de 50% y con una probabilidad de 50%, significa que los valores de atenuación obtenidos no serán superados con una probabilidad de 50%, durante el 50% de tiempo.
- ✓ Climate: Considerando el modelo de longley-rice y basándose en la tablas 1.7 y 1.8 se selecciona el clima continental temperado con refractividad de 301 [N-units] y el tipo de suelo que escogemos es “tierra promedio” con conductividad de 0,005 [S/m] y permitividad relativa de 15.

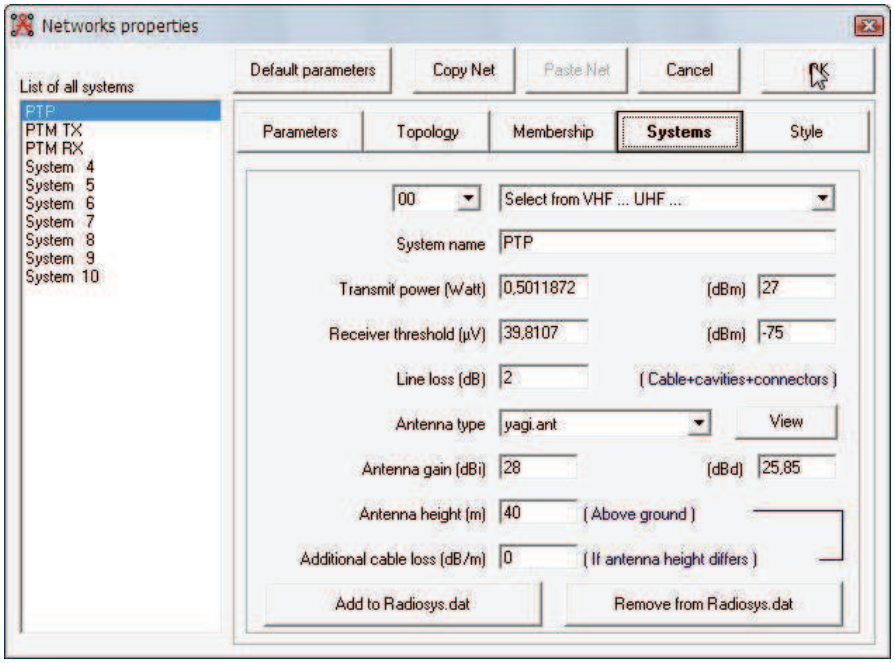
Luego se configura la topología de la red, haciendo click en la pestaña Topology y configuramos los parámetros mostrados.



Topología de red

- ✓ Visible: si está marcado, hace que la red sea visible en el mapa de trabajo.
- ✓ Existen tres tipos de topología: Red de voz; Red de datos (topología estrella) y Red de datos (cluster). Escogeremos la red de datos de topología en estrella que es la que se acopla a nuestro diseño.

Luego se configura los parámetros de los sistemas haciendo click en el botón de Systems se puede apreciar un área especial donde definir los parámetros de los equipos que utilizaremos.

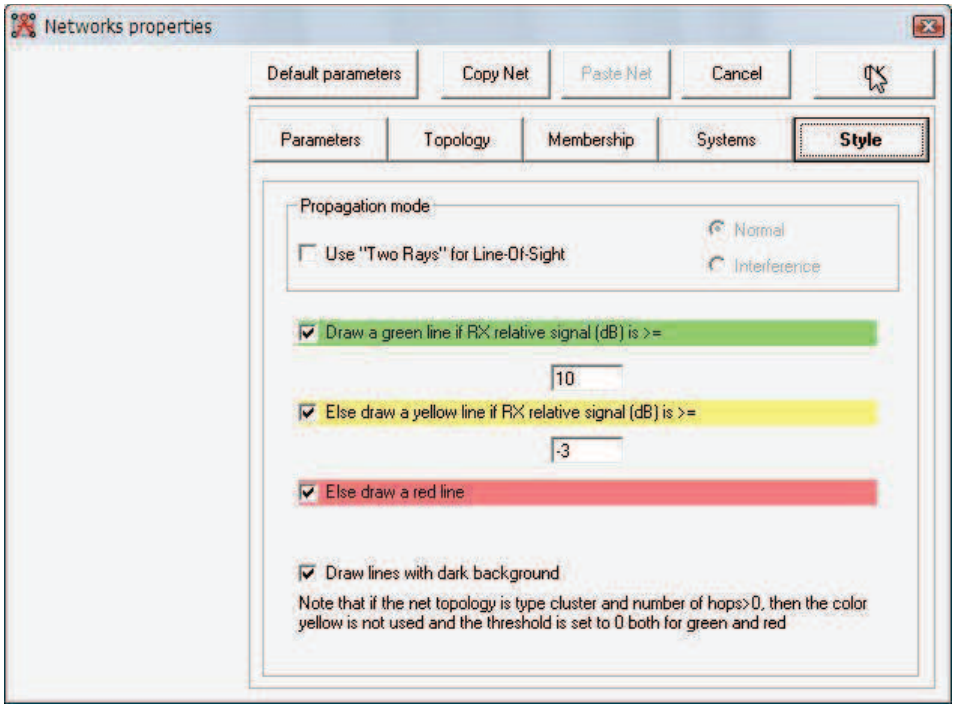


Propiedades de red (Sistemas)

- ✓ System name: Aquí se especifica un nombre para el equipo, en este caso PTP.
- ✓ Transmit power: Se define la potencia de transmisión en Watt o decibles 27 dBm.
- ✓ Receiver threshold: Se define una sensibilidad del receptor de -75 dBm.
- ✓ Line loss: Corresponde a las pérdidas generadas en cables y conectores, se asume un valor de 2 dB.
- ✓ Antenna type: Se especifica el tipo de antena utilizado en el diseño, se escoge una antena directiva.
- ✓ Antenna gain: Corresponde a la ganancia de una antena referida a una antena isotrópica (dBi) o la del dipolo de media longitud de onda (dBd). Para el caso de la antena escogida, la ganancia es 28 dBi.

- ✓ Antenna height: Corresponde a la altura de referencia sobre el terreno de emplazamiento. Para el diseño la altura será de 40 m.
- ✓ Additional cable loss: Corresponde a la atenuación por unidad de longitud de la línea de transmisión debida al cable que conecta la antena con el radio.

Se configura la pestaña Style, así:



Propiedades de red (Style)

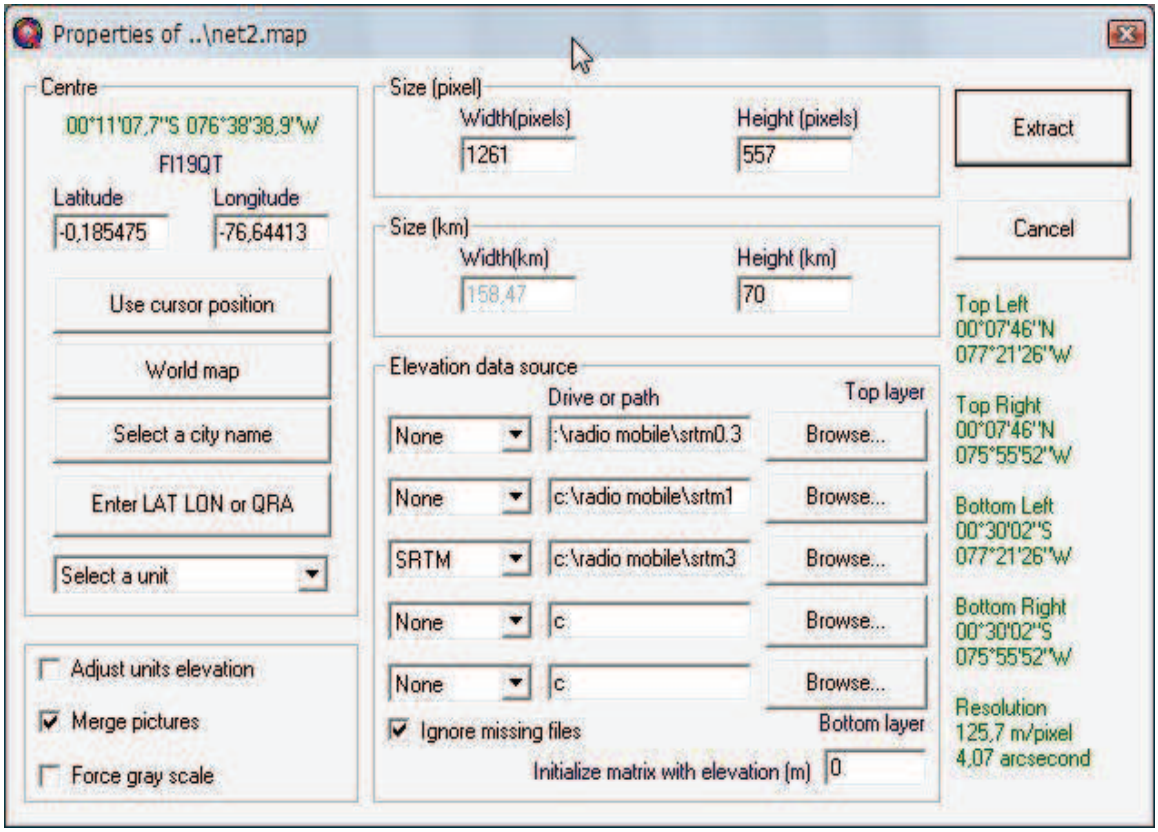
- ✓ Se selecciona “Normal” en la opción “Propagation mode”, ya que en este diseño no se contempla el cálculo de interferencias que ocasionaran otras redes.
- ✓ Use “two ray” for line-Of-sight: permite habilitar o deshabilitar la aplicación del método de dos rayos (directo y reflejado en la superficie terrestre). Simplifica los cálculos y el tiempo de procesamiento en caso de radioenlaces de visión directa.
- ✓ Draw a green line if Rx signal (dB) is > = 10; Se dibuja una línea verde en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “10dB”.
- ✓ Else draw a yellow line if Rx signal (dB) is <= -3; Se dibuja una línea amarilla en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “-3dB”.

- ✓ Else draw a red line: Si no se cumplen los dos casos anteriores, dibujar una línea roja, es decir si la señal recibida no supera -3dB y 10dB.
- ✓ Draw lines with dark background: dibujar líneas en fondo obscuro.

Ahora se procede a cargar los mapas necesarios para visualizar correctamente los puntos donde estarán ubicados las estaciones bases y los centros educativos.

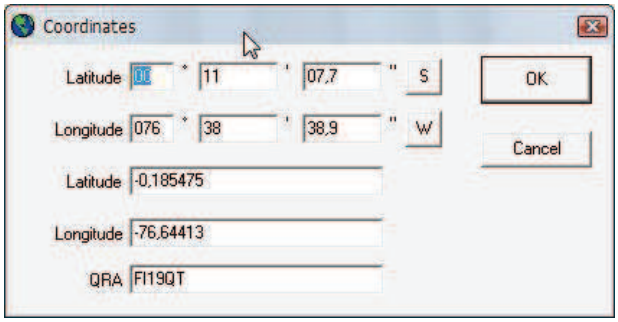
Lo primero que se requiere es obtener el mapa de relieve topográfico de la zona, esto se logra haciendo click en el botón de Map properties.

Donde se obteniene la ventana de configuración del mapa a utilizar:



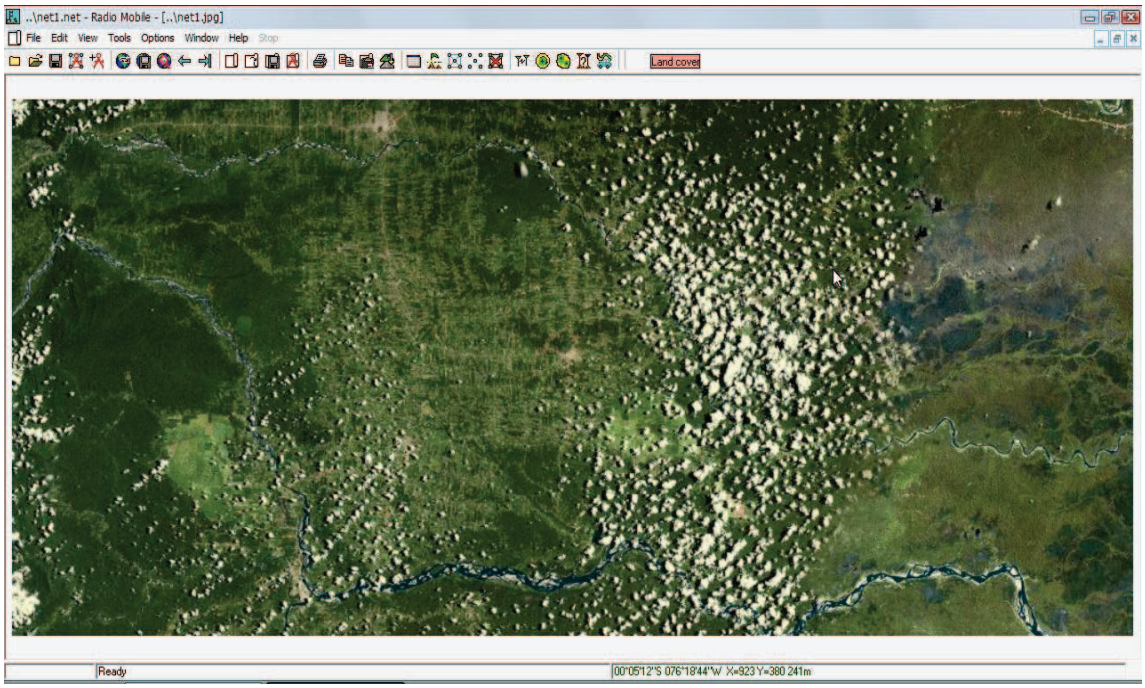
Pantalla de extracción de datos de elevación

- ✓ Centre (Latitude/Longitude): Corresponde a las coordenadas del punto que queremos sea el centro del mapa de trabajo, de acuerdo a los mapas digitales utilizados. Se hace clic sobre Enter LAT LON or QRA y se ingresa los datos de una de las ubicaciones de la red, de esta manera se obtiene el mapa centrado en ese punto (no debe olvidarse seleccionar correctamente el hemisferio).



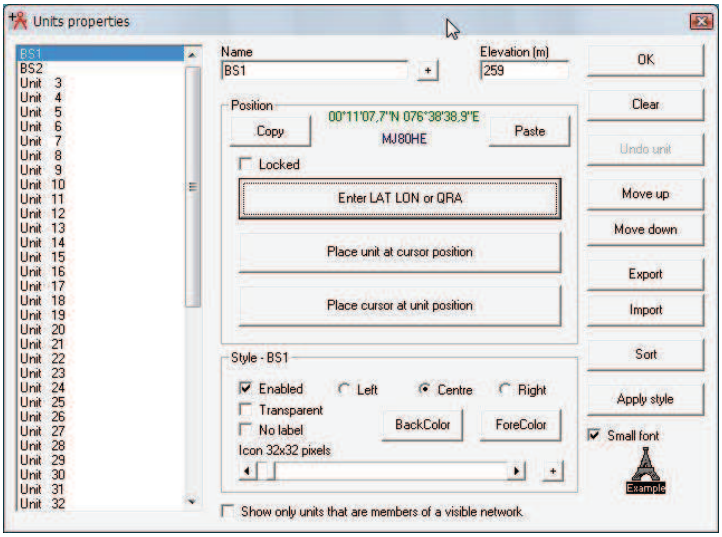
Coordenadas WGS (World Geodetic System)

- ✓ Size (Km) Width/Height: Corresponde al tamaño de la porción del mapa de trabajo que se representará en pantalla, tomando como punto central el definido anteriormente
- ✓ Size (pixel) Width/Height: Corresponde al tamaño del mapa en pantalla, mientras más alto sea este valor, se maneja mejor precisión.
- ✓ Elevation data source: Indica la ubicación de los ficheros que almacenan los datos de elevación del modelo digital del terreno. Los ficheros utilizados son del tipo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Para Latinoamérica, las imágenes tienen una resolución de 3 segundos de arco correspondiendo a unos 90 metros.
- ✓ Una vez completados los datos de captura, se pulsa el botón “Extract” para generar una imagen.



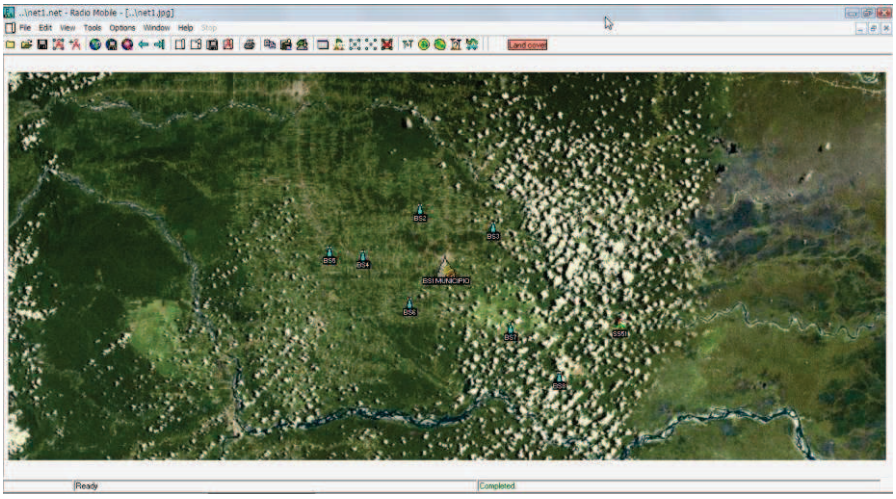
Relieve del cantón Shushufindi

A continuación se define el posicionamiento de las estaciones, para ello seleccionamos File – Unit properties, se define un nombre y la ubicación para cada estación.



Posicionamiento de estaciones

- ✓ En el marco izquierdo, se selecciona “Unit” y en el marco derecho se da un nombre a la(s) estación(es)
- ✓ Se pulsa el botón “Enter LAT LON or QRA” para introducir las coordenadas de las ubicaciones de las estaciones en la ventana “WGS coordinates”.
- ✓ Los otros parámetros no mencionados, se usan para añadir y suprimir estaciones a la red.
- ✓ Al hacer click sobre Ok luego de ingresar los datos de las radios bases y obtendremos las ubicaciones en el mapa.

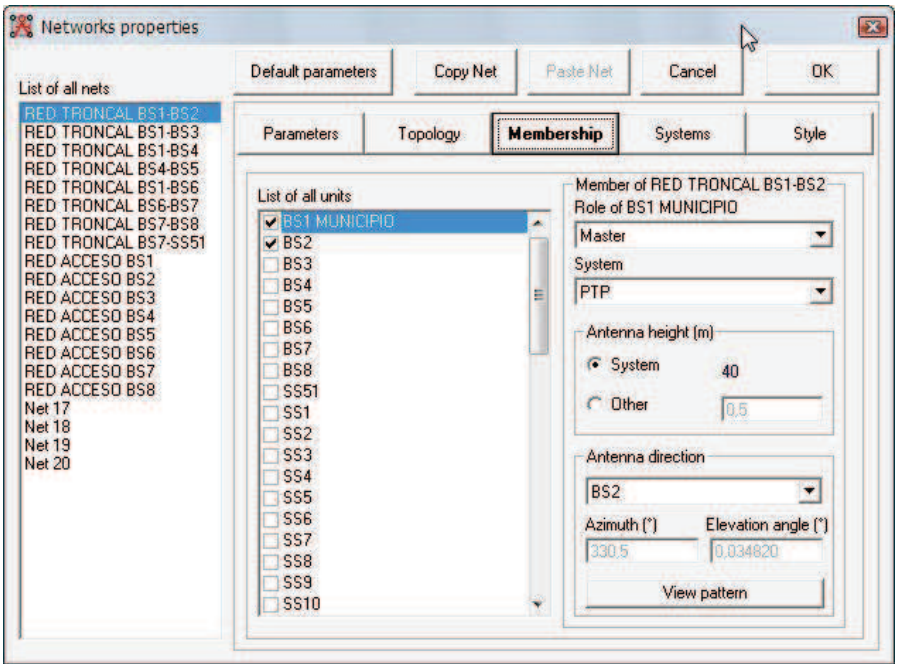


Ubicación de las radios bases

Antes de obtener los resultados es conveniente indicarle al programa cuales son los Sistemas que caracterizan a cada una de las Unidades, para ello ingresamos nuevamente en File – Networks properties y bajo la opción de Membership seleccionamos el sistema asociado con cada unidad, en este caso BS1 Y BS2.

En antena dirección para BS1 escogemos BS2, y para BS2 lo contrario, con esto alineamos las antenas.

Hacer clic en OK para salir.



Propiedades de red (Membership)

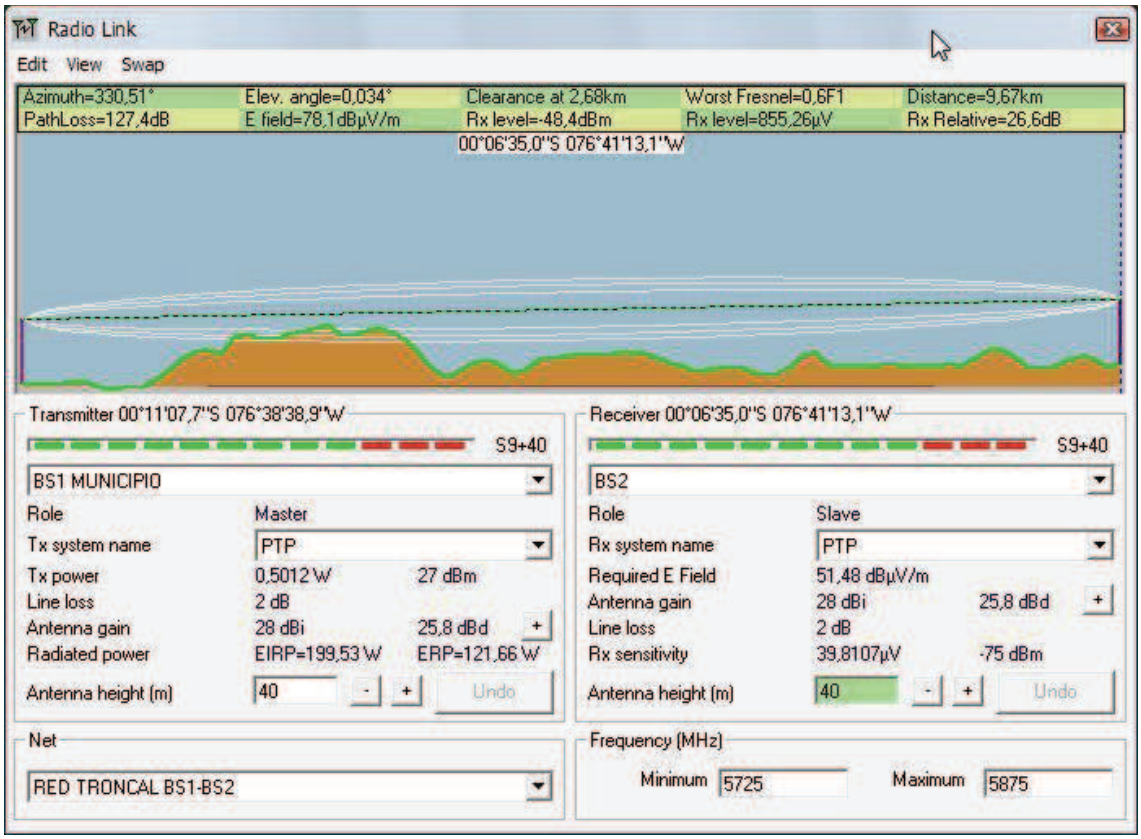
Para visualizar los resultados, se hace click en el botón de Tools > Radio link.

De esta manera se ingresa al espacio donde se puede verificar la altura que tendrá cada antena. Se selecciona 40 m en la altura de BS1 y 40 m en la altura de BS2 y se verifica que efectivamente el enlace es posible.

En la siguiente figura se muestran las características de modelado más importantes del programa Radio Mobile en sistemas punto a punto.

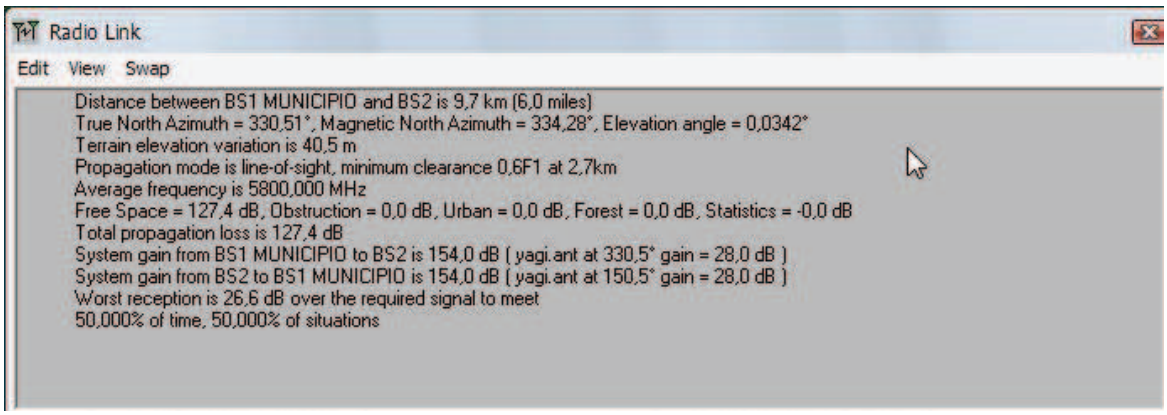
Entre otra información, Radio Mobile provee la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP, por su sigla en inglés) del transmisor y una medida de la señal recibida en el receptor (Rx Relative). Para alinear las antenas los parámetros más importantes son el azimuth y el ángulo de elevación. Se

utiliza el azimuth magnético para trabajar con brújula y el geográfico para trabajar con mapas.



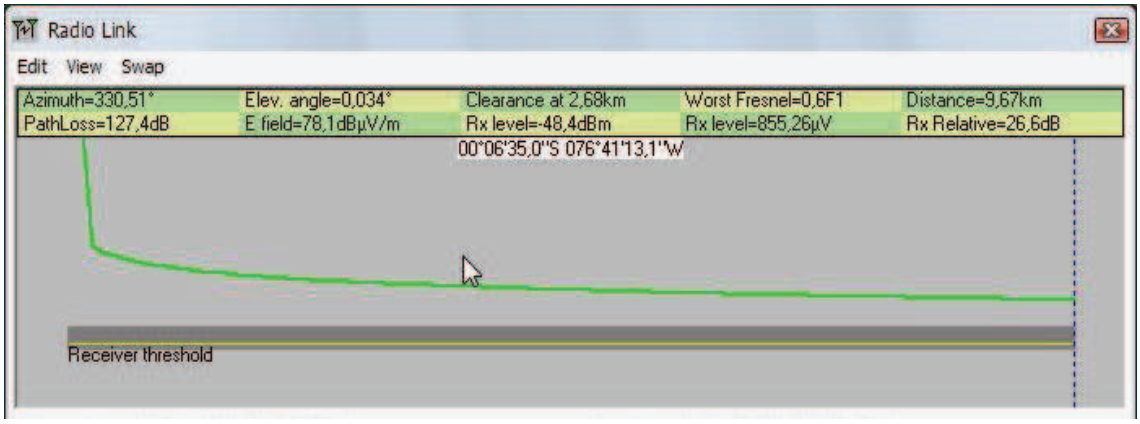
Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS2

- ✓ Bajo la opción de View – Details de la figura anterior, se tiene un resumen de las características del enlace, distancia, pérdidas en espacio libre, pérdidas causadas por obstrucción y algunos datos útiles para la orientación de las antenas, azimut magnético y geográfico para lograr un ajuste correcto con brújula y la orientación vertical, así:



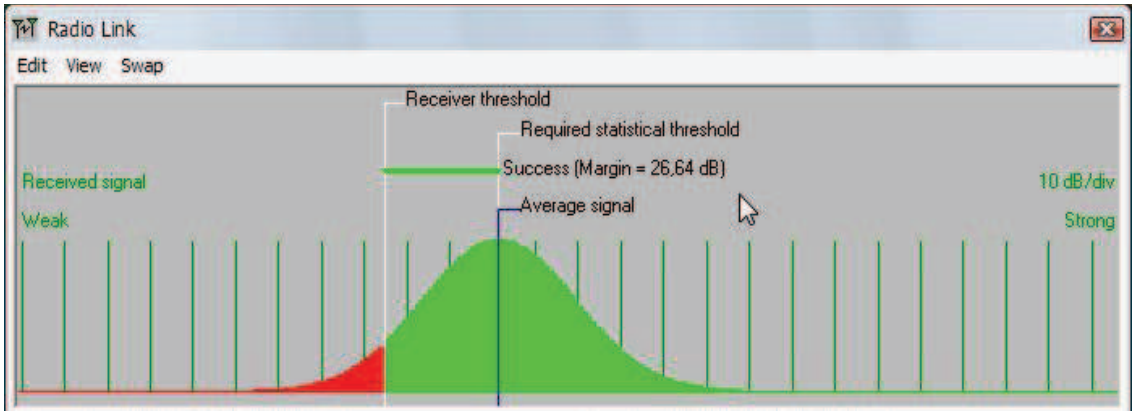
Resumen de las características del radioenlace BS1 – BS2

- ✓ Bajo la opción View - Range se obtiene información sobre el alcance del enlace y sobre las áreas que pueden ser cubiertas o no. Se indica las pérdidas totales (pathloss=127,4 dB) y el margen de umbral (Rx Relative=26,6dB).



Ganancia del radioenlace BS1 – BS2

- ✓ Bajo la opción View – Distribution, se observa la distribución estadística del margen de umbral Mu, así:



Distribución estadística del margen de umbral

ANEXO C

COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO TEÓRICO Y EL SOFTWARE RADIO MOBILE

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS1 - BS2	**Teórico**	9,64	0,09	330,34	7,55	0,8	127,4	0,0	-53,4	21,60	63,10	478,06	73,1	99,9989	1,078701E-05	6
	Radio Mobile	9,67	0,05	330,51	7,54	0,8	127,4	0,0	-53,4	21,64	63,10	480,94	73,1			
	Error	0,00	-0,44	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS1 - BS3	**Teórico**	9,89	0,05	58,77	6,76	0,6	127,6	0,0	-53,6	21,40	63,10	467,18	72,9	99,9988	1,219716E-05	6
	Radio Mobile	9,89	0,00	58,60	6,76	0,6	127,6	0,0	-53,6	21,44	63,10	470,08	72,9			
	Error	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS1 - BS4	**Teórico**	15,17	0,09	270,16	19,05	1,7	131,3	0,0	-57,3	17,70	63,10	305,13	69,2	99,9897	1,031874E-04	54
	Radio Mobile	15,03	0,03	270,17	19,07	1,7	131,3	0,0	-57,2	17,77	63,10	307,88	69,2			
	Error	-0,01	-0,67	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS1 - BS6	**Teórico**	10,79	0,05	217,86	7,75	0,7	128,4	0,0	-54,4	20,60	63,10	426,07	72,1	99,9981	1,904295E-05	10
	Radio Mobile	10,81	0,00	217,68	7,74	0,7	128,3	0,0	-54,3	20,68	63,10	430,40	72,2			
	Error	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS4 - BS5	**Teórico**	6,04	0,01	277,61	25,16	2,9	123,3	0,0	-49,3	25,70	63,10	766,45	77,2	99,9999	1,032240E-06	1
	Radio Mobile	6,03	0,01	277,66	25,17	2,9	123,3	0,0	-49,3	25,74	63,10	770,61	77,2			
	Error	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS6 - BS7	**Teórico**	18,78	-0,05	103,80	15,98	1,1	133,2	0,0	-59,2	15,80	63,10	245,18	67,3	99,9697	3,032192E-04	159
	Radio Mobile	18,75	-0,13	103,90	15,99	1,0	133,1	0,0	-59,1	15,94	63,10	249,49	67,4			
	Error	0,00	1,60	0,00	0,00	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,00	0,02	0,0			
BS7 - BS8	**Teórico**	12,41	-0,08	134,91	21,10	1,8	129,6	0,0	-55,6	19,40	63,10	371,09	70,9	99,9962	3,819313E-05	20
	Radio Mobile	12,43	-0,13	135,11	21,76	1,8	129,6	0,0	-55,5	19,48	63,10	374,82	71,0			
	Error	0,00	0,63	0,00	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS7 - BS9	**Teórico**	19,77	-0,09	88,00	11,16	0,7	133,6	0,0	-59,6	15,40	63,10	234,15	66,9	99,9612	3,878733E-04	204
	Radio Mobile	19,74	-0,18	87,99	11,16	0,7	133,6	0,0	-59,5	15,51	63,10	237,51	67,0			
	Error	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,00	0,01	0,0			
BS1 - SS1	**Teórico**	2,27	0,62	315,94	10,40	1,6	107,2	0,0	-52,2	34,80	2,51	548,89	71,7	100,0000	6,741359E-09	0
	Radio Mobile	2,27	0,69	316,14	10,45	1,6	107,3	0,0	-52,3	34,71	2,51	554,06	71,7			
	Error	0,00	0,11	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0			
BS1 - SS2	**Teórico**	0,94	1,07	174,03	17,73	3,8	99,5	0,0	-44,5	42,50	2,51	1331,94	79,3	100,0000	8,129305E-11	0
	Radio Mobile	0,94	1,81	174,07	17,89	3,8	99,7	0,0	-44,7	42,34	2,51	1309,87	79,3			
	Error	0,00	0,69	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,02	0,0			
BS1 - SS3	**Teórico**	0,99	1,09	293,95	16,12	3,5	100,0	0,0	-45,0	42,00	2,51	1257,43	78,9	100,0000	1,065554E-10	0
	Radio Mobile	0,99	1,89	294,09	16,12	3,5	100,1	0,0	-45,1	41,89	2,51	1242,80	78,9			
	Error	0,00	0,73	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS4	**Teórico**	0,36	1,38	256,50	20,06	6,4	91,2	0,0	-36,2	50,80	2,51	3463,26	87,7	100,0000	6,754254E-13	0
	Radio Mobile	0,36	5,13	256,44	20,07	6,4	91,2	0,0	-36,2	50,79	2,51	3461,88	87,8			
	Error	0,00	2,72	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0			
BS1 - SS5	**Teórico**	0,85	1,16	227,57	8,70	2,6	98,6	0,0	-43,6	43,40	2,51	1477,36	80,2	100,0000	4,885698E-11	0
	Radio Mobile	0,85	2,27	227,38	8,95	2,6	98,8	0,0	-43,8	43,20	2,51	1545,64	80,2			
	Error	0,00	0,96	0,00	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,05	0,0			
BS1 - SS6	**Teórico**	1,53	0,77	303,72	23,55	3,8	103,7	0,0	-48,7	38,30	2,51	821,27	75,1	100,0000	9,220281E-10	0
	Radio Mobile	1,53	0,96	303,89	23,50	3,8	103,9	0,0	-48,9	38,14	2,51	807,26	75,1			
	Error	0,00	0,25	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,02	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS1 - SS7	**Teórico**	0,75	1,10	26,48	22,42	5,1	97,6	0,0	-42,6	44,40	2,51	1657,62	81,3	100,0000	2,665960E-11	0
	Radio Mobile	0,75	1,98	26,34	22,22	5,1	97,6	0,0	-42,6	44,35	2,51	1650,32	81,3			
	Error	0,00	0,80	-0,01	-0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0			
BS1 - SS8	**Teórico**	1,26	0,94	66,78	19,08	3,5	102,1	0,0	-47,1	39,90	2,51	987,38	76,8	100,0000	3,562719E-10	0
	Radio Mobile	1,26	1,35	66,65	19,16	3,5	107,3	0,0	-47,2	39,82	2,51	979,54	76,8			
	Error	0,00	0,44	0,00	0,00	0,0	0,1	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS9	**Teórico**	0,40	1,33	189,89	19,95	6,6	92,1	0,0	-37,1	49,90	2,51	3122,37	86,8	100,0000	1,139856E-12	0
	Radio Mobile	0,41	4,08	189,89	19,95	6,5	92,3	0,0	-37,3	49,67	2,51	3045,75	86,6			
	Error	0,02	2,07	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,02	0,0			
BS1 - SS10	**Teórico**	0,22	1,42	162,22	21,09	9,1	86,9	0,0	-31,9	55,10	2,51	5681,79	92,0	100,0000	5,727142E-14	0
	Radio Mobile	0,22	6,75	162,45	21,43	9,1	87,0	0,0	-32,0	54,96	2,51	5600,31	91,9			
	Error	0,00	3,75	0,00	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS11	**Teórico**	0,95	1,00	69,11	22,37	4,3	99,6	0,0	-44,6	42,40	2,51	1316,69	79,2	100,0000	8,586985E-11	0
	Radio Mobile	0,95	1,56	68,97	22,32	4,3	99,7	0,0	-44,7	42,30	2,51	1302,59	79,3			
	Error	0,00	0,56	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS12	**Teórico**	1,41	0,88	89,39	10,14	2,2	103,0	0,0	-48,0	39,00	2,51	890,19	75,8	100,0000	6,142246E-10	0
	Radio Mobile	1,40	1,21	89,39	9,98	2,2	103,1	0,0	-48,1	38,89	2,51	880,19	75,9			
	Error	-0,01	0,38	0,00	-0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS1 - SS13	**Teórico**	1,02	1,00	59,39	18,18	4,5	100,2	0,0	-45,2	41,80	2,51	1228,81	78,6	100,0000	1,220311E-10	0
	Radio Mobile	1,02	1,57	59,23	18,17	4,5	100,3	0,0	-45,3	41,71	2,51	1217,70	78,7			
	Error	0,00	0,57	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS14	**Teórico**	0,66	1,12	250,27	23,21	6,0	96,4	0,0	-41,4	45,60	2,51	1903,20	82,4	100,0000	1,378166E-11	0
	Radio Mobile	0,66	2,08	250,15	23,11	6,0	96,5	0,0	-41,5	45,49	2,51	1881,00	82,5			
	Error	0,00	0,86	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS21	**Teórico**	6,89	0,28	287,07	6,38	0,6	116,8	0,0	-61,8	25,20	2,51	181,75	62,0	99,9998	1,719205E-06	1
	Radio Mobile	6,88	0,25	287,19	6,35	0,6	116,9	0,0	-61,9	25,10	2,51	179,92	62,1			
	Error	0,00	-0,11	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS1 - SS29	**Teórico**	5,26	0,00	90,46	6,92	0,6	114,5	0,0	-59,5	27,50	2,51	236,86	64,4	100,0000	4,504298E-07	0
	Radio Mobile	5,25	-0,02	90,47	6,92	0,6	114,5	0,0	-59,5	27,45	2,51	235,83	64,4			
	Error	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0			
BS1 - SS30	**Teórico**	4,41	0,37	63,34	6,31	0,7	112,9	0,0	-57,9	29,10	2,51	284,76	65,9	100,0000	1,836478E-07	0
	Radio Mobile	4,41	0,37	63,18	6,33	0,7	113,0	0,0	-58,0	28,96	2,51	280,62	65,9			
	Error	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS2 - SS15	**Teórico**	8,82	0,20	203,31	13,12	0,9	119,0	0,0	-64,0	23,00	2,51	141,09	59,9	99,9994	5,985158E-06	3
	Radio Mobile	8,85	0,16	203,16	13,19	0,9	119,1	0,0	-64,1	22,92	2,51	140,00	59,9			
	Error	0,00	-0,20	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS2 - SS23	**Teórico**	5,57	0,45	239,11	7,77	0,6	115,0	0,4	-60,4	26,60	2,51	213,54	63,9	99,9999	6,580145E-07	0
	Radio Mobile	5,57	0,45	238,94	7,74	0,6	115,1	0,4	-60,4	26,58	2,51	213,36	63,5			
	Error	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS2 - SS26	**Teórico**	6,05	0,27	326,80	11,66	1,0	115,7	0,0	-60,7	26,30	2,51	206,29	63,2	99,9999	9,035163E-07	0
	Radio Mobile	6,07	0,25	326,90	11,73	1,0	115,8	0,0	-60,8	26,19	2,51	203,92	63,2			
	Error	0,00	-0,07	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS3 - SS22	**Teórico**	4,27	0,53	320,91	11,81	1,2	112,7	0,0	-57,7	29,30	2,51	291,40	66,2	100,0000	1,592038E-07	0
	Radio Mobile	4,28	0,57	321,10	11,93	1,2	112,8	0,0	-57,8	29,22	2,51	288,91	66,2			
	Error	0,00	0,08	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS3 - SS28	**Teórico**	5,35	0,34	181,03	7,15	0,7	114,6	0,0	-59,6	27,40	2,51	234,15	64,2	100,0000	4,849883E-07	0
	Radio Mobile	5,38	0,33	181,02	7,29	0,7	114,8	0,0	-59,8	27,24	2,51	230,08	64,2			
	Error	0,01	-0,03	0,00	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,02	0,0			
BS4 - SS36	**Teórico**	7,26	0,19	209,84	11,18	0,8	117,3	0,0	-62,3	24,70	2,51	171,59	61,6	99,9998	2,256731E-06	1
	Radio Mobile	7,28	0,16	209,67	11,21	0,8	117,4	0,0	-62,4	24,62	2,51	170,14	61,6			
	Error	0,00	-0,16	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS4 - SS37	**Teórico**	0,56	1,30	317,55	12,85	3,9	95,0	0,0	-40,0	47,00	2,51	2236,07	83,8	100,0000	6,098653E-12	0
	Radio Mobile	0,56	3,62	317,78	12,98	3,9	95,1	0,0	-40,1	46,90	2,51	2213,22	83,9			
	Error	0,00	1,78	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS4 - SS39	**Teórico**	4,36	0,24	356,72	18,37	1,6	112,8	0,0	-57,8	29,20	2,51	288,06	66,0	100,0000	1,734320E-07	0
	Radio Mobile	4,39	0,23	356,75	18,44	1,6	113,0	0,0	-58,0	34,71	2,51	282,15	66,0			
	Error	0,01	-0,04	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,19	0,00	-0,02	0,0			
BS4 - SS40	**Teórico**	5,82	0,16	223,98	7,53	0,7	115,4	0,0	-60,4	26,60	2,51	213,54	63,5	99,9999	7,506523E-07	0
	Radio Mobile	5,83	0,13	223,78	7,54	0,7	115,5	0,0	-60,5	26,54	2,51	212,45	63,5			
	Error	0,00	-0,19	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS4 - SS41	**Teórico**	1,37	0,59	97,66	25,33	4,0	102,8	0,0	-47,8	39,20	2,51	910,93	76,1	100,0000	5,380611E-10	0
	Radio Mobile	1,36	0,67	97,72	25,34	4,0	102,8	0,0	-47,8	39,16	2,51	907,44	76,1			
	Error	-0,01	0,14	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0			
BS5 - SS31	**Teórico**	5,39	0,30	154,84	6,11	0,6	114,7	0,0	-59,7	27,30	2,51	231,46	64,2	99,9999	5,075001E-07	0
	Radio Mobile	5,41	0,28	154,98	6,21	0,6	114,8	0,0	-59,8	27,19	2,51	228,84	64,2			
	Error	0,00	-0,07	0,00	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS5 - 34	**Teórico**	5,22	0,20	217,66	5,17	0,7	114,4	0,0	-59,4	27,60	2,51	239,60	64,4	100,0000	4,302109E-07	0
	Radio Mobile	5,23	0,17	217,47	5,18	0,7	107,3	0,0	-59,4	27,12	2,51	227,04	64,1			
	Error	0,00	-0,15	0,00	0,00	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,02	0,00	-0,05	0,0			
BS5 - 42	**Teórico**	4,79	0,23	155,03	18,01	1,5	113,7	0,0	-58,7	28,30	2,51	259,71	65,2	100,0000	2,829283E-07	0
	Radio Mobile	4,81	0,21	155,17	18,03	1,5	113,8	0,0	-58,8	28,20	2,51	257,16	65,2			
	Error	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS5 - SS43	**Teórico**	0,28	1,37	305,23	23,78	8,7	89,0	0,0	-34,0	53,00	2,51	4461,54	89,9	100,0000	1,914891E-13	0
	Radio Mobile	0,28	4,95	305,46	24,07	8,7	89,1	0,0	-34,1	52,90	2,51	4417,38	89,9			
	Error	0,00	2,61	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS5 - SS45	**Teórico**	6,09	0,10	172,96	4,82	0,6	115,7	0,0	-60,7	26,30	2,51	206,29	63,1	99,9999	9,215560E-07	0
	Radio Mobile	6,12	0,07	173,01	4,86	0,6	115,2	0,0	-60,9	26,12	2,51	202,31	63,1			
	Error	0,00	-0,30	0,00	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,02	0,0			
BS6 - SS19	**Teórico**	6,98	0,32	246,80	9,26	0,6	116,9	0,0	-61,9	25,10	2,51	179,67	61,9	99,9998	1,829094E-06	1
	Radio Mobile	6,98	0,30	246,67	9,28	0,6	117,0	0,0	-62,0	24,98	2,51	177,46	61,9			
	Error	0,00	-0,06	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS6 - SS20	**Teórico**	3,44	0,58	218,76	6,98	0,7	110,8	1,4	-54,4	32,60	2,51	426,07	68,1	100,0000	3,893545E-08	0
	Radio Mobile	3,45	0,63	218,58	7,07	0,7	110,9	1,3	-55,0	32,05	2,51	400,27	69,0			
	Error	0,00	0,09	0,00	0,01	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,02	0,00	-0,06	0,0			
BS6 - SS32	**Teórico**	4,75	0,13	101,13	8,88	0,7	113,6	0,0	-58,6	28,40	2,51	262,72	65,3	100,0000	2,696191E-07	0
	Radio Mobile	4,74	0,11	101,21	8,87	0,7	113,7	0,0	-58,7	28,33	2,51	260,98	65,3			
	Error	0,00	-0,15	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS6 - SS33	**Teórico**	4,56	0,29	96,65	8,15	0,7	113,2	1,4	-56,8	30,20	2,51	323,21	65,6	100,0000	1,576030E-07	0
	Radio Mobile	4,56	0,28	96,71	8,14	0,7	113,3	1,7	-57,2	29,79	2,51	308,71	66,8			
	Error	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,0	0,0	0,2	0,0	-0,01	0,00	-0,04	0,0			
BS6 - SS38	**Teórico**	5,18	0,07	147,04	8,26	0,7	114,3	0,0	-59,3	27,70	2,51	242,37	64,5	100,0000	4,108272E-07	0
	Radio Mobile	5,19	0,05	147,22	8,27	0,7	114,5	0,0	-59,5	27,55	2,51	238,41	64,5			
	Error	0,00	-0,29	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,02	0,0			
BS6 - SS46	**Teórico**	3,57	0,53	121,40	6,98	0,7	111,1	0,0	-56,1	30,90	2,51	350,34	67,7	100,0000	6,436867E-08	0
	Radio Mobile	3,58	0,56	301,58	7,01	0,7	111,2	0,0	-56,2	31,27	2,51	345,98	67,7			
	Error	0,00	0,06	1,48	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,00	-0,01	0,0			
BS6 - SS47	**Teórico**	6,01	0,21	278,65	8,92	0,7	115,6	0,0	-60,6	26,40	2,51	208,68	63,2	99,9999	8,655523E-07	0
	Radio Mobile	6,00	0,18	278,71	8,89	0,7	115,7	0,0	-60,7	26,69	2,51	206,41	63,3			
	Error	0,00	-0,14	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,00	-0,01	0,0			
BS7 - SS17	**Teórico**	6,78	0,19	84,84	7,29	0,6	116,7	0,0	-61,7	25,30	2,51	183,86	62,2	99,9998	1,600881E-06	1
	Radio Mobile	6,77	0,17	84,81	6,56	0,6	116,8	0,0	-61,8	25,25	2,51	182,92	62,2			
	Error	0,00	-0,11	0,00	-0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			

Enlace	Modelo	Dist. [Km]	Angulo Elev. [°]	Azimut [°]	Altura Desp. [m]	Margen Desp.	*Lf* [dB]	LD(v) [dB]	P_{RX} [dBm]	Margen Desvane. [dB]	EIRP [W]	V_{RX} [μV]	E [dBμV/m]	Confiab.	Indisp. Año	Indisp. Min.
BS7 - SS24	**Teórico**	7,56	0,31	162,24	5,37	0,7	117,6	0,0	-62,6	24,40	2,51	165,76	61,2	99,9997	2,730456E-06	1
	Radio Mobile	7,60	0,28	162,36	5,52	0,7	117,8	0,0	-62,8	24,25	2,51	163,08	61,2			
	Error	0,01	-0,10	0,00	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,02	0,0			
BS7 - SS25	**Teórico**	7,58	0,31	162,02	4,46	0,6	117,6	0,0	-62,6	24,40	2,51	165,76	61,2	99,9997	2,752184E-06	1
	Radio Mobile	7,61	0,28	162,14	4,61	0,6	117,8	0,0	-62,8	24,23	2,51	162,69	61,2			
	Error	0,00	-0,10	0,00	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,02	0,0			
BS7 - SS48	**Teórico**	0,14	1,50	273,37	24,40	13,0	83,0	0,0	-28,0	59,00	2,51	8901,95	95,9	100,0000	6,012485E-15	0
	Radio Mobile	0,14	14,33	273,28	23,15	13,1	83,1	0,0	-28,1	58,85	2,51	8726,77	95,8			
	Error	0,00	8,55	0,00	-0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,02	0,0			
BS7 - SS50	**Teórico**	6,04	0,34	290,17	15,74	1,2	115,7	0,0	-60,7	26,30	2,51	206,29	63,2	99,9999	8,990435E-07	0
	Radio Mobile	6,03	0,32	290,30	15,75	1,2	115,8	0,0	-60,8	26,24	2,51	205,14	63,2			
	Error	0,00	-0,06	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS7 - SS53	**Teórico**	5,03	0,23	70,84	5,90	0,7	114,1	0,0	-59,1	27,90	2,51	248,02	64,8	100,0000	3,592310E-07	0
	Radio Mobile	5,02	0,22	70,73	5,89	0,7	114,2	0,0	-59,2	27,83	2,51	246,40	64,8			
	Error	0,00	-0,04	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	-0,01	0,0			
BS8 - SS54	**Teórico**	5,79	0,13	216,37	3,42	0,8	115,3	1,8	-62,1	24,90	2,51	175,58	63,5	99,9999	1,093215E-06	1
	Radio Mobile	5,81	0,11	36,19	3,49	0,7	115,4	1,2	-61,6	25,36	2,51	185,40	62,3			
	Error	0,00	-0,15	-0,83	0,02	-0,1	0,0	-0,3	0,0	0,02	0,00	0,06	0,0			
BS8 - SS55	**Teórico**	5,09	0,17	203,55	7,46	0,6	114,2	0,9	-60,1	26,90	2,51	221,05	64,7	100,0000	4,686226E-07	0
	Radio Mobile	5,11	0,17	23,41	7,79	0,7	114,3	1,1	-60,4	26,58	2,51	213,34	63,5			
	Error	0,00	0,00	-0,88	0,04	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,01	0,00	-0,03	0,0			

ANEXO D

SEGURIDAD EN LA RED

SEGURIDAD EN LA RED [133]

La seguridad se ha convertido en un aspecto primordial de la implementación y la administración de red.

Para analizar la seguridad de la red se define los siguientes términos:

Vulnerabilidad: Es el grado de debilidad inherente a cada red y cada dispositivo, esto incluye routers, switches, equipos de escritorio, servidores e incluso a dispositivos de seguridad.

Hay tres vulnerabilidades o debilidades principales:

- ✓ Debilidades tecnológicas
- ✓ Debilidades en la configuración
- ✓ Debilidades en la política de seguridad

Amenazas: Son las personas interesadas y calificadas para aprovechar cada una de las debilidades en materia de seguridad.

Las amenazas utilizan una diversidad de herramientas, secuencias de comandos y programas, para lanzar ataques contra redes y dispositivos de red. Por lo general, los dispositivos de red atacados son los extremos, como los servidores y los equipos de escritorio.

Las amenazas pueden ser del tipo:

- ✓ **Amenazas no estructuradas:** Las amenazas no estructuradas consisten principalmente en personas sin experiencia que usan herramientas de piratería informática de fácil acceso, como secuencias de comandos de shell y crackers de contraseñas.
- ✓ **Amenazas estructuradas:** Las amenazas estructuradas provienen de personas o grupos que tienen una mayor motivación y son más competentes técnicamente. Estas personas conocen las vulnerabilidades del sistema y utilizan técnicas de piratería informática sofisticadas para introducirse en las empresas confiadas.
- ✓ **Amenazas externas:** Las amenazas externas pueden provenir de personas u organizaciones que trabajan fuera de una empresa y que no tienen acceso

autorizado a los sistemas informáticos ni a la red. Ingresan a una red principalmente desde Internet o desde servidores de acceso telefónico.

- ✓ **Amenazas internas:** Las amenazas internas son las provocadas por una persona que tiene acceso autorizado a la red, ya sea mediante una cuenta o acceso físico.

Ingeniería social: No requiere de habilidad informática alguna, si no de engañar a un miembro de una organización para que le proporcione de información valiosa, como la ubicación de los archivos o contraseñas. Estas personas suelen utilizar documentos falsos para que una persona proporcione información confidencial o mediante la apelación al ego de un empleado.

Tipos de ataques a redes

Existen cuatro tipos de ataques:

- ✓ **Reconocimiento:** Se conoce como recopilación de información y, en la mayoría de los casos, precede a otro tipo de ataque. El reconocimiento es similar a un ladrón que está reconociendo un barrio en busca de casas vulnerables para entrar a robar, como una residencia desocupada, puertas fáciles de abrir o ventanas abiertas.
- ✓ **Acceso:** El acceso a los sistemas es la capacidad de un intruso de obtener acceso a un dispositivo respecto del cual no tiene cuenta ni contraseña. Por lo general, el ingreso o acceso a los sistemas implica ejecutar un acto de piratería informática, una secuencia de comandos o una herramienta que explota una vulnerabilidad conocida del sistema o de la aplicación que se está atacando.
- ✓ **Denegación de servicio:** La denegación de servicio (DoS) se lleva a cabo cuando un agresor desactiva o daña redes, sistemas o servicios, con el propósito de denegar servicios a los usuarios a quienes están dirigidos. Los ataques de DoS incluyen colapsar el sistema o desacelerarlo hasta el punto en que queda inutilizable.
- ✓ **Virus, gusanos y caballos de Troya:** El software malicioso puede ser insertado en un host para perjudicar o dañar un sistema, puede replicarse a sí mismo, o denegar el acceso a las redes, los sistemas o los servicios.

ANEXO E

CENTRO DE OPERACIONES DE RED (NOC)

CENTRO DE OPERACIONES DE RED (NOC) [134], [135], [136], [137]

DEFINICIÓN: "Un Centro de Operaciones de Red es una organización cuyo objetivo es supervisar y mantener las operaciones diarias de una red"[36]

Los objetivos de un NOC son:

- ✓ Mantener la correcta operación de la red y de sus enlaces
- ✓ Implementar herramientas que otorguen un adecuado funcionamiento de la red.
- ✓ Monitorear todos los enlaces de backbone y dispositivos de red.
- ✓ Monitorear, identificar y resolver irregularidades encontradas.
- ✓ Solucionar fallas de la red en el mínimo tiempo posible.
- ✓ Establecer normas y procedimientos para la gestión de la red.
- ✓ Implantar nuevas tecnologías dentro de la infraestructura de red.
- ✓ Verificar la continua operación de servidores y servicios.
- ✓ Operar las 24 horas del día, 7 días a la semana.
- ✓ Disponer de un personal adecuadamente preparado para su operación.
- ✓ Proveer soporte de calidad a los usuarios de la red.

PROTOCOLO SNMP

El Comité Asesor de Internet (IAB), ha adoptado varias normas para la administración de la red. En su mayoría, estas se han diseñado para ajustarse a los requisitos de TCP/IP, aunque cuando es posible cumplen con la arquitectura OSI. Para cubrir dichas necesidades se han creado varios protocolos con funcionalidades parecidas, pero sin duda el más utilizado hoy en día gracias a su simplicidad, es SNMP y por eso se va a realizar un breve estudio sobre este.

SNMP es un protocolo de nivel de aplicación que permite realizar la gestión remota de dispositivos. Su predecesor, SGMP (Simple Gateway Management Protocol) fue diseñado para administrar sólo routers, pero SNMP puede gestionar prácticamente cualquier dispositivo, utilizando para ello comandos para obtener y modificar la información, este protocolo fue definido por la IETF.

---

[36]Fuente: RFC 1302 Building a Network Information Services Infrastructure

Versiones del protocolo SNMP

La primera versión de SNMP es la más antigua y básica. Su principal limitación es que la seguridad se basa en comunidades, que son simplemente contraseñas sin ningún tipo de encriptación. Esto se trató de resolver proporcionando una seguridad más fuerte en la versión 2p de este protocolo, SNMPv2p, pero este esquema bastante más complicado de implementar, no fue adoptado por muchos fabricantes. Esta versión además, añadía funciones para aumentar la eficiencia cuando se trabajaba con grandes cantidades de datos. Rescatando esta ventaja y volviendo a la autenticación basada en comunidades, se introdujo la versión 2c.

Actualmente, la versión 3 (SNMPv3) es reconocida como el estándar de la IETF desde el 2004. Su principal característica es la seguridad, por lo cual este protocolo está diseñado para proveer autenticación, privacidad, autorización y control de acceso.

ARQUITECTURA SNMP.

El protocolo está implementado por dos entidades:

- ✓ **Agentes:** Son componentes lógicos o físicos que manejan la información que puede ser gestionada de los elementos de red e interactúan con los sistemas gestores. Esta información puede reflejar el estado de los elementos, su configuración y, en general, las características de funcionamiento del dispositivo de red en concreto.

  El propósito principal es responder a las operaciones invocadas por los gestores, en relación con la información que manejan

- ✓ **Gestores:** Son estaciones administradoras que interactúan con los operadores humanos y permiten a estos realizar las operaciones de gestión sobre los elementos de red, a través de los agentes. Los gestores pueden realizar un seguimiento del elemento de red y un control de su comportamiento mediante la consulta y modificación de la información de gestión, que viene definida de fábrica en el dispositivo.

  Las comunicaciones entre gestor y agente son de naturaleza cliente-servidor, donde el servidor es el agente y el cliente el gestor

Cabe resaltar que los elementos a gestionar pueden encontrarse en la misma LAN, en la WAN o en otras LAN a las que el gestor tenga acceso. Incluso dentro de la máquina que contiene al gestor, puede instalarse un agente para monitorizar sus características.

Por último, resaltar que la topología puede ser centralizada o distribuida según las necesidades de la red a gestionar.

Tipos de mensajes

Entre el gestor y los agentes se intercambian varios tipos de mensajes agrupados en tres conjuntos principales:

- ✓ **Los mensajes de petición de información:** Se utilizan en el pooling o sondeo realizado entre gestor y agente de manera periódica. Estas solicitudes se realizan mediante las primitivas de petición que se explican a continuación:
  - GET REQUEST: Solicita el valor de una variable del agente.
  - GET NEXT REQUEST: Solicita el valor de la siguiente variable.
  - GET BULK REQUEST: Presente en SNMPv2, solicita un amplio conjunto de valores en una sola petición.
- ✓ **Los mensajes de modificación de información**
  - SET REQUEST: Escribe un dato en una variable del agente.
  - SET NEXT REQUEST: Escribe un valor en la siguiente variable.

El agente contesta a todos estos mensajes, tanto de petición como de modificación con la primitiva "GET RESPONSE"

- ✓ **Notificación de eventos:** En este grupo se distinguen en primer lugar los traps que son mensajes no confirmados que puede mandar el agente en el caso de que ocurra una situación crítica, como podría ser, la desconexión de una interfaz en un router.

Y por otro lado, existe un servicio de notificación confirmado entre gestores, que utiliza la primitiva "INFORM".

PILA DE PROTOCOLO

Los datagramas correspondientes a este protocolo viajan sobre UDP, utilizando normalmente el puerto 161 para mensajes y el 162 para *traps*. El utilizar UDP

implica que no se establece una sesión entre el gestor y los agentes, lo cual hace que las transmisiones sean más rápidas y que la red no se sobrecargue, pero también implica que el que envía los mensajes debe, por algún medio, asegurar que este ha sido recibido. En el caso del sondeo el gestor puede esperar un tiempo por la respuesta y, en caso de que no se reciba, se puede reenviar el paquete. El problema se da en el caso de los *traps*, ya que el agente no espera ninguna respuesta del gestor y por ello, el trap puede perderse sin que ninguno de los equipos lo perciba.

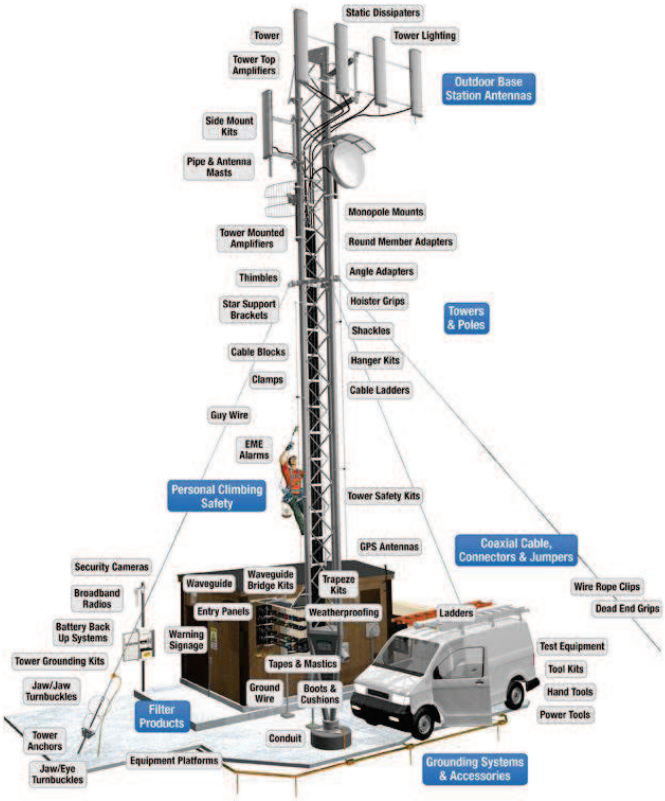
ANEXO F

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA [138], [139]

En esta parte haremos un breve resumen de la infraestructura civil que conlleva el proyecto, una estación base o radio base es una instalación utilizada para administrar la interfaz de radio y está compuesta por:

- ✓ Torre
- ✓ Antenas
- ✓ Baliza
- ✓ Cuarto de telecomunicaciones
- ✓ Sistema de energía eléctrica
- ✓ Sistema de protección eléctrica



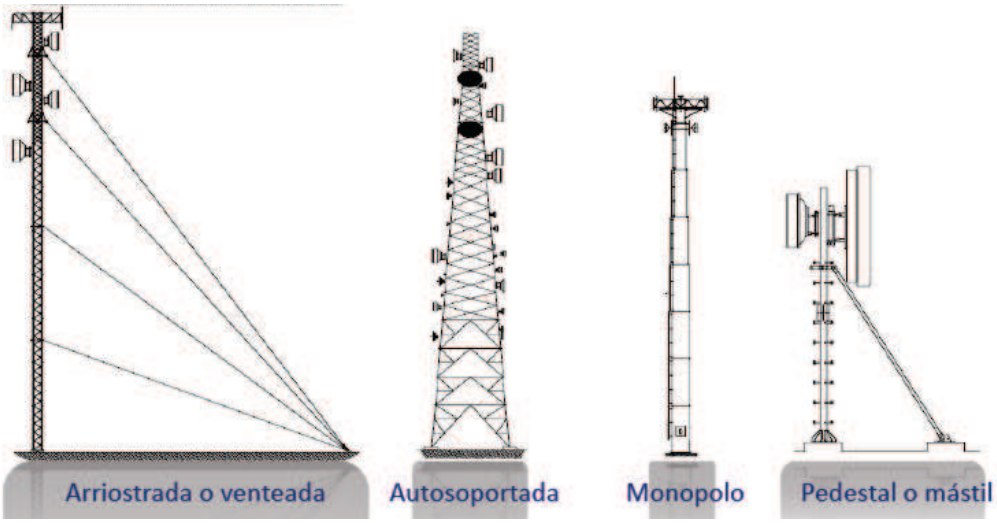
Elementos de una radio base [140]

TORRE

Es el sistema de soporte para las antenas, arreglos de antenas, pararrayos y demás relacionados dentro de una estación base. Existen 4 tipos de torres como se observa en la siguiente figura.

La torre autosoportada tiene como ventaja que se requiere poco espacio físico por su base relativamente pequeña, esta puede ser triangular o cuadrada.

La torre venteada es más económica respecto a la torre autosoportada pero requiere una área que permita inscribir una circunferencia de radio aproximadamente igual a la mitad de la altura de la Torre.



Tipos de torres [140]

La torre monopolo se utiliza en lugares en donde se quiera conservar al estítica, la torre de pedestal se utilizan en edificios.

Para nuestro proyecto utilizaremos las torres ventadas debido que existe el espacio necesario para su instalación

ANTENAS

En los enlaces punto a punto se utilizan antenas direccionales, están tienen mayor ganancia pero tiene un radio de apertura pequeño. Para los enlaces punto a multipunto se utilizan antenas sectoriales, estas entre menor sea su apertura de radio mayor es su ganancia. Las antenas sectoriales permiten tener mayor cobertura sobre una antena de tipo omnidireccional.

CUARTO DE TELECOMUNICACIONES

El cuarto de telecomunicaciones o también conocido shelters (gabinetes) es donde se instalarán los equipos de comunicaciones pertenecientes a cada radio base, los mismos que deberán contar con los siguientes requisitos:

- ✓ Dimensiones de 1.70 m de ancho, 2 m de largo y 2.20 m alto.

- ✓ Temperaturas entre -10 °C a 20 °C.
- ✓ Pintura anticorrosiva.
- ✓ Rack de piso de 48 pulgadas de alto y 24 pulgadas de ancho.
- ✓ Escalerilla para cableado interior.

SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La función de este subsistema es proveer de energía a distintos equipos de Telecomunicaciones, adicionalmente proveen un resguardo de energía en caso de fallo de energía. El sistema de energía está comprendido por un rectificador, un banco de baterías y fusibles.

SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA

Para proteger a cada una de las radio bases en días de tormentas, y que ningún componente de la misma sea dañado es necesario contar con un buen sistema de pararrayos y de puesta a Tierra.

La instalación de un sistema de puesta a tierra permite la protección de las personas y los bienes contra los efectos de las caídas de rayos, descargas estáticas, señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes de fugas a tierra.

Los rayos son enemigos comunes de las instalaciones inalámbricas, y deberían prevenirse tanto como sea posible. Para ello las torres de comunicación deberán estar equipadas con pararrayos puestos a tierra correctamente en la base de la torre.