

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA



MAESTRÍA EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA MEJORAR
EL DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES EN EL SECTOR
RURAL CENTRO DE MORONA SANTIAGO

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:
MAGISTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES**

Jorge Esteban Hidalgo Bourgeat

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

Ing. Raúl Rosero Miranda MsC.

Ing. Diego Avila Pesantes MsC.

Ing. Franklin Cuadrado MsC.

CERTIFICAN

Que el presente trabajo de tesis escrita, cumple con todos los requisitos formales, legales y científico – técnicos para realizar su presentación.

Las ideas expuestas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor.

.....
Ing. Raúl Rosero MsC.

DIRECTOR TESIS

.....
Ing. Diego Ávila MsC.

MIEMBRO TRIBUNAL

.....
Ing. Franklin Cuadrado MsC.

MIEMBRO TRIBUNAL

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICAN

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
<u>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</u>	3
1.1 Problematización.....	4
1.1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.1.2 Formulación del Problema.....	5
1.1.3 Sistematización del Problema.....	6
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Planteamiento de la Hipótesis.....	9
1.4.1 Operacionalización Conceptual.....	9
1.4.2 Operacionalización Metodológica.....	10
<u>CAPITULO II REVISIÓN LITERARIA</u>	11
2.1 Antecedentes y estudios previos.....	11
2.1.1 Antecedentes.....	11
2.1.2 Interconectividad Rural.....	11
2.1.3 Redes inalámbricas en el Ecuador.....	12
2.1.4 Redes inalámbricas en Morona Santiago.....	14
2.2 Fundamentación Teórica.....	16
2.2.1 Análisis de las tecnologías inalámbricas.....	16
2.2.1.1 Tipos de Tecnologías Inalambricas.....	16
2.2.1.2 Wi-Fi.....	17
2.2.1.3 WiMAX.....	19

2.2.1.4	MBWA.....	23
2.2.1.5	WRAN.....	26
2.2.1.6	Satelital.....	29
2.2.2	Fisica de Radios.....	32
2.2.2.1	¿Que es una onda de radio?	32
2.2.2.2	Fuerzas electromagnéticas.....	33
2.2.2.3	Polarización.....	34
2.2.2.4	El espectro electromagnético.....	34
2.2.2.5	Ancho de banda.....	35
2.2.2.6	Frecuencia y canales.....	36
2.2.2.7	Comportamiento de las ondas de radio.....	37
2.2.2.8	Absorción.....	37
2.2.2.9	Reflexión.....	38
2.2.2.10	Difracción.....	38
2.2.2.11	Interferencia.....	39
2.2.2.12	Línea visual.....	40
2.2.2.13	Zonal de Fresnel.....	40
2.2.2.14	Potencia.....	42
2.2.2.15	Modulación.....	43
2.2.2.16	La física en el mundo real.....	43
2.2.3	Antenas y líneas de transmisión.....	44
2.2.3.1	Impedancia de entrada.....	44
2.2.3.2	Pérdida de retorno.....	44
2.2.3.3	Ancho de banda.....	44
2.2.3.4	Directividad y ganancia.....	45
2.2.3.5	Diagramas o Patrones de Radiación.....	45
2.2.3.6	Ancho del haz.....	46
2.2.3.7	Lobulos laterales.....	46
2.2.3.8	Nulos.....	46
2.2.3.9	Polarización.....	47
2.2.3.10	Relación de ganancia adelante/atrás.....	48
2.2.3.11	Tipos de antenas.....	48
2.2.4	Topología y diseño de redes.....	49
2.2.4.1	Punto a punto.....	49
2.2.4.2	Punto a multipunto.....	50
2.2.4.3	Multipunto a Multipunto.....	51
2.2.4.4	Usando la tecnología adecuada.....	51

2.2.5	Infraestructura física para redes inalámbricas	52
2.2.5.1	Radio bases inalámbricas.....	52
2.2.5.2	Antenas.....	52
2.2.5.3	PoE.....	52
2.2.5.4	Torres.....	53
2.2.5.5	Cableado.....	54
2.2.5.6	Conectores y adaptadores.....	55
2.2.5.7	Protección profesional contra rayos.....	56
2.2.5.8	Paneles solares.....	57
2.2.5.9	Orientación de los paneles.....	58
2.2.6	Ubicación del enlace.....	59
2.2.6.1	La Provincia de Morona Santiago.....	59
2.2.6.2	Parroquias rurales del centro de Morona Santiago..	60
2.2.6.3	Condiciones Demográficas.....	60
2.2.6.4	Densidad Poblacional.....	61
2.2.6.5	Clima.....	61
2.2.6.6	Orografía.....	61
2.2.6.7	Hidrografía.....	61
2.2.6.8	Recursos Naturales.....	61
2.2.6.9	Industrias.....	61
2.2.6.10	Comercio.....	61
2.3	Conceptualización.....	62
2.3.1	Tecnologías inalámbricas aplicables.....	62
2.3.2	Factibilidad de enlace.....	63
2.3.2.1	Cálculo del presupuesto del enlace.....	63
2.3.2.2	Capacidad del enlace.....	64
2.3.3	¿Qué antena debemos instalar?.....	66
2.3.4	Demografía y Penetración de internet.....	67
2.3.4.1	Población Urbana y Rural.....	67
2.3.4.2	Penetración de Internet.....	68
2.3.5	Disponibilidad de infraestructura.....	70
<u>CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>		71
3.1	Diseño de la investigación.....	71
3.2	Tipo de investigación.....	72
3.2.1	Aplicativa.....	72
3.2.2	Exploratoria.....	72

3.2.3	Descriptiva.....	72
3.2.4	De campo.....	72
3.3	Métodos, Técnicas e Instrumentos.....	73
3.3.1	Métodos.....	73
3.3.1.1	Científico.....	73
3.3.1.2	Deductivo.....	73
3.3.1.3	Comparativo.....	73
3.3.1.4	Análisis de tecnologías inalámbricas.....	73
3.3.1.5	Selección no aleatoria con muestreo intencional..	73
3.3.1.6	Método para comprobación de Hipótesis.....	73
3.3.2	Técnicas.....	74
3.3.2.1	Observación directa.....	74
3.3.2.2	Encuestas.....	74
3.3.2.3	Simulación.....	74
3.3.3	Instrumentos.....	75
3.3.3.1	Fichas técnicas.....	75
3.3.3.2	Herramientas del Software.....	75
3.3.3.3	Textos, revistas, documentos, internet y otros.....	77
3.4	Validación de Instrumentos.....	78
3.5	Procesamiento de la información.....	79
3.5.1	Cuadros comparativos.....	79
3.5.1.1	Tecnologías inalámbricas.....	79
3.5.1.2	Costos de equipos.....	80
3.5.2	Ponderación de la información.....	81
3.5.3	Estadísticas Iniciales.....	81
3.5.4	Población y muestreo.....	82
3.5.5	Definición del modelo matemático.....	83
3.6	Ambientes de Prueba.....	85
3.6.1	Ambiente WI-FI.....	85
3.6.2	Ambiente WI-MAX.....	87
3.6.3	Ambiente WRAN.....	91
3.7	Planificación para recolección de datos.....	92
<u>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</u>		93
4.1	Presentación de resultados.....	93
4.1.1	Análisis e interpretación de encuestas.....	93
4.1.2	Condiciones geográficas.....	96

4.1.3	Condiciones demográficas.....	97
4.1.4	Penetración de internet.....	98
4.1.5	Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas.....	101
4.1.6	Análisis de Costo-Beneficio.....	103
4.1.7	Disponibilidad de infraestructura.....	105
4.1.8	Estado actual de las redes inalámbricas.....	106
4.1.9	Tecnología a utilizar.....	108
4.1.10	Diseño de la nueva red de comunicaciones.....	109
	4.1.10.1 Estudio del sitio.....	109
	4.1.10.2 Presupuesto del enlace.....	112
	4.1.10.3 Cálculos para la simulación.....	116
4.1.11	Resultados en ambiente de simulación.....	122
4.1.12	Equipos.....	130
	4.1.12.1 Equipo Tranzeo TR5Pus.....	130
	4.1.12.2 Equipo Motorola Canopy 5700BHRF20DD.....	131
	4.1.12.3 Equipo Mikrotik.....	132
	4.1.12.4 Tabla Resumen.....	133
4.1.13	Estimación de Costos.....	134
4.2	Análisis e Interpretación de resultados.....	135
4.2.1	Análisis de la variable independiente.....	135
	4.2.1.1 Tecnología Inalámbrica.....	136
	4.2.1.2 Rendimiento.....	136
	4.2.1.3 Infraestructura.....	139
	4.2.1.4 Equipos.....	140
	4.2.1.5 Costos.....	140
	4.2.1.6 Beneficios.....	141
	4.2.1.7 Eficiencia.....	141
4.2.2	Análisis de la variable dependiente.....	143
4.2.3	Presentación de resultados.....	144
4.3	Prueba de la Hipótesis de Investigación.....	144
4.3.1	Planteamiento de la Hipótesis.....	145
4.3.2	Nivel de Significación.....	145
4.3.3	Zona de rechazo.....	145
4.3.4	Cálculo de la prueba estadística.....	146
4.3.5	Decisión.....	147
4.3.6	Interpretación.....	147
4.4	Presentación de la propuesta final.....	148

4.5 Futuras aplicaciones sobre la red.....	149
CONCLUSIONES.....	150
RECOMENDACIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	152
ENLACES WEB.....	153
ANEXOS.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.I. Parroquias a interconectar.....	8
Tabla I.II. Variable independiente y variable dependiente.....	9
Tabla I.III. Indicadores y técnicas para demostrar la hipótesis.....	10
Tabla II.I. Extensiones del estándar IEEE 802.11.....	18
Tabla II.II. Comparativa entre las mejoras del estandar IEEE 802.11.....	18
Tabla II.III. Extensiones del estándar IEEE 802.16.....	20
Tabla II.IV. Mejoras del estándar IEEE 802.16.....	21
Tabla II.V. Comparativa entre los estándares IEEE 802.11 y 802.16.....	22
Tabla II.VI. Características de estandar MBWA.....	24
Tabla II.VII. Comparativa entre IEEE 802.20 y otros estándares.....	25
Tabla II.VIII. Asignación de Canales para el 802.11b/g.....	36
Tabla II.IX. Asignación de Canales para el 802.1a.....	37
Tabla II.X. Tabla para calcular la zona de Fresnel.....	41
Tabla II.XI. Perdidas en db/m según el tipo de cable.....	56
Tabla II.XII. Ponderación de las características de los estandares.....	62
Tabla II.XIII. Tabla de Erlang B.....	66
Tabla II.XIV. Población del Ecuador por región.....	67
Tabla II.XV. Población en Morona Santiago.....	67
Tabla II.XVI. Población en los cantones de Morona y Sucúa.....	68
Tabla II.XVII. Disponibilidad de internet en el Ecuador.....	68
Tabla II.XVIII. Disponibilidad de internet en Morona Santiago.....	68
Tabla II.XIX. Disponibilidad de internet en el sector rural de Morona Santiago	69
Tabla II.XX. Disponibilidad de internet en el sector rural de Morona Santiago	69
Tabla III.I. Comparativa entre los estándares Wi-Fi, WiMAX y WRAN.....	79
Tabla III.II. Costo general de las Tecnología Inalambricas.....	80
Tabla III.III. Enlaces con WI-FI	85
Tabla III.IV. Características de la Red WIFI en COACAR.....	86
Tabla III.V. Tiempo de respuesta en los enlaces WI-FI.....	86
Tabla III.VI. Costo general de la tecnología WIFI.....	86
Tabla III.VII. Equipos para red WIMAX.....	87
Tabla III.VIII. Coordenadas geográficas del diseño de Red.....	88
Tabla III.IX. Características técnicas de equipos WiMAX.....	89
Tabla III.X. Equipamiento Estación Base.....	90
Tabla III.XI. Estaciones suscriptoras para uso interno y externo.....	90

Tabla III.XII. Equipamiento para backhaul.....	90
Tabla III.XIII. Costo total de la implementación de la red WIMAX.....	90
Tabla III.XIV. Planificación para la recolección de datos.....	92
Tabla IV.I. Comparativa de las Tecnologías Inalambricas.....	101
Tabla IV.II. Infraestructura de telecomunicaciones en el Morona Santiago..	105
Tabla IV.III. Infraestructura de telecomunicaciones en el Morona y Sucúa..	106
Tabla IV.IV. Coordenadas Geográficas de los puntos finales.....	109
Tabla IV.V. Coordenadas Geográficas de los repetidores.....	110
Tabla IV.VI. Distancias de los enlaces.....	111
Tabla IV.VII. FSL en la red propuesta.....	113
Tabla IV.VIII. Frecuencias que asigna la SENATEL.....	118
Tabla IV.IX. Cálculo de la Capacidad para el enlace a Macas.....	120
Tabla IV.X. Cálculo de la Capacidad para el enlace a Sucúa.....	121
Tabla IV.XI. Ficha técnica de los enlaces.....	129
Tabla IV.XII. Comparación técnica entre equipos WIFI.....	133
Tabla IV.XIII. Costos de los equipos Tranzeo, Motorola y Mikrotik.....	134
Tabla IV.XIV. Valores cualitativos para la Tecnología Inalambrica.....	137
Tabla IV.XV. Valores cualitativos para el Alcance.....	137
Tabla IV.XVI. Valores cualitativos para la Escalabilidad.....	138
Tabla IV.XVII. Valores cualitativos para la Velocidad.....	138
Tabla IV.XVIII. Valores cualitativos para la Calidad de Servicio.....	139
Tabla IV.XIX. Valores cualitativos para la Infraestructura.....	139
Tabla IV.XX. Valores cualitativos para los equipos.....	140
Tabla IV.XXI. Valores cualitativos para los costos.....	140
Tabla IV.XXII. Valores cualitativos para los beneficios.....	141
Tabla IV.XXIII. Valores cualitativos para la eficiencia de la red.....	142
Tabla IV.XXIV. Valoración cualitativa obtenida del diseño de red propuesto	143
Tabla IV.XXV. Cálculos para el uso de la t de student.....	145
Tabla A.I. Cables de Cobre a 25 C.....	161
Tabla A.II. Repetidores de la REP, Frontera Norte.....	166
Tabla A.III. Repetidores de la REP, Costa Central.....	167
Tabla A.IV. Repetidores de la REP, Sierra Central.....	167
Tabla A.V. Repetidores de la REP, Centro Oriente.....	168
Tabla A.VI. Repetidores de la REP, Frontera Sur.....	168
Tabla A.VII. Características técnicas de equipos WiMAX.....	169
Tabla A.VIII. Resultados Pregunta 1.....	171
Tabla A.IX. Resultados Pregunta 2.....	171

Tabla A.X. Resultados Pregunta 3.....	171
Tabla A.XI. Resultados Pregunta 4.....	172
Tabla A.XII. Resultados Pregunta 5.....	172
Tabla A.XIII. Resultados Pregunta 6.....	172
Tabla A.XIV. Tabla T-Student.....	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de interconectividad rural.....	12
Figura 2. Mercado de Internet según la SUPERTEL.....	13
Figura 3. Analfabetismo digital en Morona Santiago.....	15
Figura 4. Personas que utilizan las TIC's en Morona Santiago.....	15
Figura 5. Frecuencias Wi-Fi y WiMAX.....	19
Figura 6. Capacidad del enlace IEEE 802.22.....	26
Figura 7. Topología IEEE 802.22.....	27
Figura 8. Cobertura IEEE 802.22.....	28
Figura 9. WI-FI Rural.....	28
Figura 10. Alta Latencia en un enlace VSAT.....	29
Figura 11. Longitud de onda, amplitud, y frecuencia.....	32
Figura 12. El campo eléctrico y el campo magnético complementario de una onda electromagnética.....	34
Figura 13. El espectro electromagnético.....	35
Figura 14. Ondas de Ancho de Banda.....	35
Figura 15. Canales y frecuencias centrales para 802.11b.....	36
Figura 16. Reflexión de ondas de radio.....	38
Figura 17. El Principio de Huygens.....	38
Figura 18. Difracción en la cima de una montaña.....	39
Figura 19. Interferencia constructiva y destructiva.....	39
Figura 20. Línea de vista.....	40
Figura 21. La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace, aunque la línea visual no está obstruida.....	41
Figura 22. La onda senoidal eléctrica se mueve perpendicular a la onda magnética en la dirección de la propagación.....	47
Figura 23. Radio de cobertura.....	48
Figura 34. Topologías de Red.....	49
Figura 25. Enlace Punto a Punto.....	50
Figura 26. Enlace Punto a Multipunto.....	50
Figura 27. Enlace Multipunto a Multipunto.....	51
Figura 28. Antenas direccionales, omnidireccionales y sectoriales.....	52
Figura 29. PoE Power 20 W.....	52
Figura 30. Torre Autosoportada.....	53

Figura 31. Torre Venteada.....	54
Figura 32. Adaptador N hembra de barrilito.....	55
Figura 33. Torre con un cable de cobre grueso conectado a tierra.....	57
Figura 34. Paneles solares montados en la torre y costos.....	57
Figura 35. Cantones de la Provincia de Morona Santiago.....	59
Figura 36. Parroquias del cantón central Morona.....	60
Figura 37. Parroquias del cantón central Sucúa.....	60
Figura 38. Línea de vista.....	67
Figura 39. Distribución de zonas para levantamiento de repetidores.....	70
Figura 40. Viabilidad del enlace, zona de Fresnel y línea visual, utilizando Radio Mobile.....	75
Figura 41. Captura del tráfico de la red con Wireshark.....	77
Figura 42. Midiendo el ancho de banda con Winbox.....	77
Figura 43. Enlaces usando WIMAX.....	87
Figura 44. Topología de la Red WIMAX.....	88
Figura 45. Enlace WIMAX simulado con Radio Mobile.....	89
Figura 46. Resultados Pregunta 1.....	93
Figura 47. Resultados Pregunta 2.....	93
Figura 48. Resultados Pregunta 3.....	94
Figura 49. Resultados Pregunta 4.....	94
Figura 50. Resultados Pregunta 5.....	95
Figura 51. Resultados Pregunta 6.....	95
Figura 52. Parroquias del cantón central Morona.....	96
Figura 53. Parroquias del cantón central Sucúa.....	96
Figura 54. Población del Ecuador por región.....	97
Figura 55. Población en Morona Santiago.....	97
Figura 56. Población en las parroquias del centro de Morona Santiago.....	98
Figura 57. Disponibilidad de internet en el Ecuador.....	98
Figura 58. Disponibilidad de internet en Morona Santiago.....	99
Figura 59. Disponibilidad de internet en Morona Santiago.....	99
Figura 60. Disponibilidad de internet en Morona Santiago.....	100
Figura 61. Infraestructura de telecomunicaciones en el Ecuador.....	105
Figura 62. Red actual en el centro de Morona Santiago.....	107
Figura 63. Distancia entre 2 puntos A y B.....	110
Figura 64. Diseños de redes para interconectar el sector rural centro de Morona Santiago.....	122
Figura 65. Simulación del enlace Macas-Kilamo.....	123

Figura 66. Simulación del enlace Kilamo-Gral Proaño.....	123
Figura 67. Simulación del enlace Kilamo-San Isidro.....	123
Figura 68. Simulación del enlace Kilamo-Rio Blanco.....	124
Figura 69. Simulación del enlace Kilamo-Sevilla Don Bosco.....	124
Figura 70. Simulación del enlace Kilamo-Tigre.....	124
Figura 71. Simulación del enlace Tigre – 9 de Octubre.....	125
Figura 72. Simulación del enlace Tigre – Repetidor 1.....	125
Figura 73. Simulación del enlace Repetidor1-Repetidor2.....	125
Figura 74. Simulación del enlace Repetidor2-Zuñac.....	126
Figura 75. Simulación del enlace Kilamo-Tres Marías.....	126
Figura 76. Simulación del enlace Tres Marías-Sinaí.....	126
Figura 77. Simulación del enlace Tres María – Cuchaentza.....	153
Figura 78. Simulación del enlace Kilamo-San Luis del Upano.....	153
Figura 79. Simulación del enlace San Luis del Upano – Sta Marianita.....	153
Figura 80. Simulación del enlace San Luis del Upano – Sucúa.....	154
Figura 81. Simulación del enlace San Luis del Upano-Asunción.....	154
Figura 82. Simulación del enlace San Luis del Upano-Huambi.....	154
Figura 83. Equipo de radio difusión Tranzeo.....	130
Figura 84. Equipo de radio difusión Motorola Kanopy.....	131
Figura 85. Valores cualitativos para los beneficios.....	144
Figura 86. Propuesta final en Radio Mobile.....	148
Figura 87. Propuesta final en Google Earth.....	148
Figura 88. Equipos Mikrotik.....	159
Figura 89. Equipos Tranzeo con antena interior.....	159
Figura 90. Equipos Lobometrics.....	159
Figura 91. Equipos Trango.....	160
Figura 92. Equipos Deliberiant.....	160
Figura 93. Equipos Alvarion.....	160
Figura 94. Equipos AirSpan.....	160
Figura 95. Conector BNC macho y hembra.....	162
Figura 96. Conector TNC macho y hembra.....	162
Figura 97. Conector Tipo N macho y hembra.....	163
Figura 98. Conector SMA macho y hembra.....	163
Figura 99. Conector U.FL macho y hembra.....	164
Figura 100. Conector MMCX.....	164
Figura 101. Conector Mc-Card.....	164
Figura 102. Cerro Kilamo visto desde el lejos.....	173

Figura 103. Parroqui Gral. Proaño vista desde el kilamo.....	173
Figura 104. Rio Abanico desde el Mirador Tigre.....	174
Figura 105. Parroqui Alshi / 9 de octubre y Repe 1 desde Tigre.....	174
Figura 106. Vista desde Repetidor San Luis del Upano.....	175
Figura 107. Parroqui Rio Blanco.....	175
Figura 108. Infraestructura en el Kilamo.....	176
Figura 109. Cableado eléctrico via 9 de Octubre – Zuñac.....	176
Figura 110. Parroqui Sinaí.....	177
Figura 111. Vista a Macas desde el Kilamo.....	177

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AAS	Adaptive Antenna System (Sistema Adaptativo de Antena)
AES	Advanced Encryption Standard (Encriptación avanzada de datos)
AP	Point Access (Punto de acceso)
ARPU	Average Revenue per User (Ingreso promedio por usuario)
ARQ	Automatic Repeat Request (Solicitud Automática de repetición)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (Transmisión por desplazamiento de fase binaria)
BRS	Broadband Radio Service (Servicio de radio de banda ancha)
CPE	Customer Premise Equipment (Equipo de las instalaciones del cliente)
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones)
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones)
DFS	Dynamic Frequency Select (Selección de frecuencia dinámica)
DSL	Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital)
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro ensanchado por secuencia directa)
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones)
FBWA	Fixed Broadband Wireless Access (Acceso fijo inalámbrico de banda ancha)
FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
FDD	Frequency Division Duplexing (Duplexación de división de frecuencia)
FDM	Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia)
FEC	Forward Error Correction (Corrección de Error Anticipado)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (Espectro de dispersión con salto de frecuencia)
FLASH-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff OFDM (Acceso rápido de baja latencia con OFDM de transferencia íntegra)
FTTP	Fiber to the Premise (Fibra a las instalaciones)
GPS	Global Positioning Systems (Sistema de posicionamiento global)
HP	High Speed Portable Internet (Internet Portable de alta Velocidad)
HSO	Oscilador de alta estabilidad
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

ILEC	Incumbent Local Exchange Carrier (Operadora local de intercambio)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
ISP	Internet Service Provider (Proveedor de servicio de Internet)
LAN	Local Access Network (Red de Acceso Local)
LMDS	Local Multipoint Distribution System (Sistema Distribuido Local de Múltiples puntos)
LOS	Line of Sight (Línea de vista)
MAC	Media Access Control (Control de acceso al medio)
MAN	Metropolitan Access Network (Red de Acceso Metropolitano)
MIMO	Multiple Input Multiple Output (Salida Múltiple Entrante Múltiple)
MSO	Multiple Service Operator (Operadora de servicios múltiples)
NLOS	Non Line of Sight (Sin línea de vista)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Fabricante de equipo original)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal)
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso multiplexado por división de frecuencia ortogonal)
PAN	Personal Access Network (Red de acceso Personal)
P2P	Point to Point (Punto a punto)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association (Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria de Computadora Personal)
PHY	Physical Layer (Capa física)
PMP	Point to Multipoint (Punto a multipunto)
POP	Point of Presence (Punto de presencia)
PTP	Point to Point (Punto a punto)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de amplitud de cuadratura)
QoS	Quality of Service (Calidad de servicio)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Transmisión por desplazamiento de fase de cuadratura)
RF	Radio Frequency (Frecuencia de radio)
SOHO	Small Office, Home Office (Pequeña oficina, oficina en el hogar)
SS	Suscriber Station (Estación de abonado)
TDD	Time Division Duplexing (Dúplex por división de tiempo)
UWB	Ultra Wide Band (Banda ultra ancha)
VoIP	Voice over IP (Voz sobre Protocolo de Internet)
WAN	Wide Area Network (Red de áreas extensas)
WIFI	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica, se utiliza genéricamente cuando se habla a cualquier red 802.11, tanto 802.11b, 802.11a, banda dual, etc.)
WISP	Wireless ISPs (Proveedor de servicio inalámbrico de Internet)
WLAN	Wireless Local Area Network (Red inalámbrica local)
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network (Red inalámbrica de áreas metropolitanas)
WWAN	Wireless Wide Area Network (Redes inalámbricas de áreas extensas)

DEDICATORIA

El presente estudio está dedicado a mi Esposa e Hijo, que son la razón de ser de todos mis esfuerzos y el pilar fundamental de mi vida. A mis Padres y Abuelitos que han sido quienes han forjado de mí un hombre de bien.

Un agradecimiento especial a todas las personas que me han brindado su apoyo y colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a Dios por la salud y la inspiración que me ha permitido desarrollar el trabajo que pongo a su consideración.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de seguir preparándome y adquiriendo conocimientos que son fundamentales en mi vida profesional.

Al Ing. Raúl Rosero, Ing. Diego Ávila, Ing. Franklin Cuadrado, miembros del tribunal quienes han sabido guiarme con sus mejores consejos y conocimientos en el desarrollo del proyecto.

A mis Padres, Abuelitos, Hermanos, Familiares y Amigos que estuvieron presente los momentos de la defensa y durante todos los momentos importantes de mi vida.

Finalmente a mi Esposa e Hijo que han sabido entender todas esas horas de sacrificio cuando no pude estar con ellos mientras me preparaba para este nuevo reto.

RESUMEN

Esta investigación presenta un análisis sobre las tecnologías inalámbricas, con el fin de mejorar el diseño de la red de comunicaciones existente en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, específicamente en los cantones de Morona y Sucúa.

Se comparó entre las tecnologías inalámbricas Wi-Fi, WiMAX y WRAN, para determinar la mejor alternativa tecnológica de acuerdo a su aplicabilidad en el sector rural centro de Morona Santiago, su rendimiento, la infraestructura necesaria, los equipos a utilizar y los beneficios que esta tecnología puede brindar a su población.

Se establece el estado actual de la red de comunicaciones en la zona, sus condiciones geográficas y demográficas, el índice de penetración de internet, los principales parámetros y requerimientos mínimos a ser considerados para mejorar el acceso a las TIC's en este sector.

La investigación están basada en un ambiente de simulación utilizando la herramienta Radio Mobile, la cual permite diseñar y simular todos los posibles escenarios de red con sus respectivos enlaces, y así determinar el diseño de red más eficiente para la zona acorde a la mejor relación costo beneficio.

Como resultado se propone un nuevo diseño de red de comunicaciones basado en la alternativa tecnológica inalámbrica seleccionada, la cual permitirá interconectar las 13 parroquias rurales de los cantones de Morona y Sucúa.

Finalmente la investigación aporta con la suficiente base del conocimiento para mejorar la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago, definiendo las características técnicas y requerimientos mínimos para la implementación de la red en cualquier momento, orientada a la reducción del analfabetismo digital y la brecha tecnológica existente en la región.

SUMMARY

This investigation presents an analysis of wireless technologies in order to improve the design of existing communications network in the rural center of the province of Morona Santiago, specifically in the Cantons of Morona and Sucúa.

A comparison between wireless technologies Wi-Fi, WiMAX and WRAN was made, to determine the best alternative technology according to their applicability in rural center of Morona Santiago, its performance, the infrastructure, the equipment used and the benefits this technology can provide to its population.

It establishes the current state of the network in the area, its geographic and demographic conditions, the Internet penetration rate, the main parameters and minimum requirement to be considered to improve access to TICs in the sector.

The investigation is based on a simulation environment using the Radio Mobile software, which allows designing and simulating all possible network scenarios with their respective links, and thereby determine the most efficient network design for the area according to the best relation cost benefit.

As a result it propose a new communication network design based on the alternative selected wireless technology, which will interconnect the 13 rural parishes in the cantons of Morona and Sucúa.

Finally the research provides with sufficient knowledge base to improve the communication network in the rural sector of Morona Santiago center, defining the technical characteristics and minimum requirements for the implementation of the network at any time, oriented to reducing the digital illiteracy the technology gap in the region.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas son una alternativa de comunicación ideal para alcanzar gran movilidad en las redes de comunicaciones. Las redes inalámbricas nacen por la necesidad de llegar a los lugares donde los cables no pueden llegar, hoy en día existen varias alternativas tecnológicas para la implementación de redes inalámbricas.

Las nuevas e innovadoras tecnologías de comunicaciones ofrecen gran posibilidad de desarrollar proyectos que satisfagan la demanda de servicios tecnológicos en las empresas; así como también la posibilidad de desarrollar diversas soluciones en escenarios de difícil acceso en donde las antiguas tecnologías no podían llegar, entre ellas las localidades identificadas como zonas rurales en el Ecuador.

Las alternativas de conectividad para zonas urbanas o rurales no son únicas, por ello la mejor solución varía en cada caso particular y por supuesto dependerá de varios factores como la ubicación del enlace, el tipo de servicio, las características del enlace e incluso el presupuesto de la organización que lo requiera.

En algunas zonas y sectores el acceso a las comunicaciones no es la mayor prioridad de las personas, lo que visibiliza el desconocimiento de las ventajas y oportunidades que el acceso a las tecnologías de la información les puede brindar para su desarrollo.

La Región Amazónica está consciente de esta necesidad, sin embargo existen sectores de ésta zona considerados como rurales, que desconocen totalmente el uso de cualquier tecnología de la información, lo que hace urgente la necesidad del análisis de las tecnologías inalámbricas para brindar o mejorar el acceso a las comunicaciones a la gente del sector.

1.5 PROBLEMATIZACIÓN

1.5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante muchos años la región Amazónica ha sido relegada en las telecomunicaciones y tecnologías de la información, lo que ha ocasionado un desfase tecnológico en relación con las demás regiones del Ecuador, provocando lo que hoy conocemos como brecha digital; la provincia de Morona Santiago ubicada en la Amazonía Ecuatoriana no ha sido exenta de este problema, por tal razón es indispensable analizar las tecnologías inalámbricas existentes y proponer un diseño de red de comunicaciones adecuado a la zona que permita mejorar el acceso a las TIC's en los sectores rurales del centro de la provincia de Morona Santiago.

La Interconectividad rural a diferencia del acceso en las ciudades, se enfrenta a mayores dificultades, determinadas principalmente por la falta de infraestructura básica, difícil acceso a los sitios de repetición e incluso la predisposición de su gente, lo que exige mayor creatividad al momento de proponer soluciones de conectividad.

Las soluciones inalámbricas ofrecen los mayores beneficios al momento de tomar una decisión en interconectividad rural, sin embargo la geografía de la zona, los factores climáticos, la dificultad de instalar infraestructura (radios, torres, antenas, paneles solares, etc.) en los sitios de repetición y las condiciones tecnológicas, nos obligarán a realizar un estudio más exhaustivo de la tecnología inalámbrica o combinación de ellas que permita mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el centro de la provincia de Morona Santiago.

Actualmente se han implementado enlaces inalámbricos en varios sectores rurales de la Sierra y Costa Ecuatoriana; sin embargo, poco o nada se ha hecho en la región Amazónica del país, una región en la que el espectro de frecuencias se encuentra prácticamente inutilizado, razón por la que podríamos aplicar nuevos estándares existente en el mercado, enfocados a brindar una conectividad rural más eficiente.

La provincia de Morona Santiago se encuentra ubicada en la región amazónica, la región con mayor población rural, dificultad de acceso a los sitios, y el más bajo índice de penetración de banda ancha del país, situaciones que hacen urgente la necesidad de proporcionar un diseño de red de comunicaciones para mejorar el acceso a la información en la zona; debido a la gran extensión territorial que abarca la provincia de Morona Santiago el problema lo llevaremos específicamente a las parroquias rurales del centro de la provincia.

Si bien es cierto la implementación de sistemas de comunicaciones puede cambiar la forma de pensar de las comunidades nativas de la zona como la Shuar y Ahusar, el reto realmente es convencer a las organizaciones locales y nacionales del impacto social, económico y tecnológico que puede tener la implementación del proyecto en la región, ya que permitirá el desarrollo de los pueblos, la implementación de nuevos proyectos y la reducción de la brecha digital existente en la actualidad en la región Amazónica y el Ecuador.

Al concluir el estudio se presentará un diseño completo que permita interpretar la zonas de interconexión; la implementación y sustentabilidad del mismo se la dejaremos a las organizaciones públicas o privadas que estén interesados en la vinculación con la comunidad, reducción de la brecha digital o cualquier otro proyecto que aporte al desarrollo de las comunidades.

1.5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De la situación planteada en la provincia de Morona Santiago y sus parroquias rurales, donde el acceso a las tecnologías de la información es limitado, se plantea la incógnita de **¿qué tecnología inalámbrica o combinación de ellas, permitirá encontrar el mejor diseño de red de comunicaciones para el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, con el propósito de mejorar el acceso a la información en la zona?**

1.5.3 SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA

Para dar respuesta a lo planteado anteriormente se ha propuesto una serie de actividades de investigación, de las cuales se espera arrojar un aporte científico como el diseño de la red de comunicaciones que será la base para la implementación de la red en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago y de similares proyectos de interconexión inalámbrica para la región Amazónica, sin embargo antes debemos responder varias incógnitas importantes las cuales serán el punto de partida para determinar la viabilidad del proyecto, como:

¿Cuáles son las tecnologías inalámbricas que pueden ser aplicadas en la región Amazónica del Ecuador?

¿Cuál es el diseño actual de las redes en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago?

¿Qué parroquias rurales del centro de Morona Santiago se pueden interconectar?

¿Será necesario utilizar solo una o la combinación de varias tecnologías inalámbricas para lograr el objetivo?

¿La red planteada será más eficiente que la anterior?

¿Existe suficiente infraestructura física y tecnológica ya instalada en el sector?

¿Cuál es el índice de penetración de internet en la zona del proyecto?

¿Cuál es el costo para la implementar de la red con características seleccionadas?

¿La implementación de la red diseñada mejorará la red de comunicaciones en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago?

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Analizar las tecnologías inalámbricas para mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis comparativo de las distintas tecnologías inalámbricas existentes en la actualidad y determinar las tecnologías inalámbricas que permitan interconectar las parroquias rurales del centro de Morona Santiago.
- Seleccionar la tecnología inalámbrica más apropiada para mejorar el diseño actual de la red de comunicaciones en el sector rural del centro de Morona Santiago basada en los nuevos estándares o en los ya existentes.
- Proponer un diseño de red eficiente que permita interconectar los sectores rurales del centro de la provincia de Morona Santiago, superando las dificultades existentes en la zona y aportando con la base del conocimiento para su futura implementación.
- Realizar la verificar de campo en las 13 parroquias rurales del centro de Morona Santiago y sus sitios de repetición, comprobar la conectividad utilizando escenarios de simulación que permitan comparar resultados y determinar objetivamente el mejoramiento de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago.

1.7 JUSTIFICACION

En busca de **proveer alternativas de comunicación en los sectores alejados del centro de la provincia de Morona Santiago se desea encontrar un diseño de red de comunicaciones eficiente que permita mejorar la interconectividad inalámbrica entre las parroquias rurales de los cantones centrales de la provincia**, de modo que a futuro se pueda implementar éste proyecto de investigación generando un beneficio para la comunidad, y abriendo las puertas a las TIC's en las zonas rurales de la Amazonía.

Presentar un diseño de red de comunicaciones que sirva como base de conocimiento para desarrollar nuevos sistemas de información y comunicaciones en las parroquias a interconectar, e incorporar las ideas planteadas en ésta investigación a proyectos públicos o privados que promueven el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador como el FODETEL a través del Ministerio de Telecomunicaciones.

La mayoría de las parroquias del centro de la provincia de Morona Santiago cuentan con acceso limitado a las tecnologías de la información y comunicaciones; las parroquias para las cuales se planteará el diseño de red de comunicaciones son:

Tabla I.I. Parroquias a interconectar

CANTON	MORONA	SUCUA
PARROQUIA	<ul style="list-style-type: none">• General Proaño• San Isidro• Alshi/9 de Octubre• Sinaí• Cuchaentza• Rio Blanco• Sevilla Don Bosco• Zuñac• Macas	<ul style="list-style-type: none">• Sucúa• Santa Marianita de Jesús• Asunción• Huambi.
Fuente: Gobierno Provincial de Morona Santiago		

1.8 PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS

El análisis de las tecnologías inalámbricas permitirá mejorar el diseño de la red de comunicaciones existente en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago.

1.8.1 OPERACIONALIZACIÓN CONCEPTUAL.

Tabla I.II. Variable independiente y variable dependiente

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN
Diseño de red inalámbrica eficiente	Independiente	Red inalámbrica eficientemente diseñada para el sector rural centro de Morona Santiago.
Mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago	.Dependiente	Proponer un diseño de red de comunicaciones que mejore el diseño existente actualmente en la zona.
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat		

1.8.2 OPERACIONALIZACIÓN METODOLÓGICA

Tabla I.III. Indicadores y técnicas para demostrar la hipótesis

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS
Analizar las tecnologías inalámbricas para mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago	<p>V. Independiente</p> <p>Red inalámbrica eficientemente diseñada para el sector rural centro de Morona Santiago.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología más apropiada según la realidad de la zona. • Compatibilidad y escalabilidad de tecnologías • Disponibilidad de infraestructura • Costo-beneficio • Penetración de las TIC's e internet • Diseño de red eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información. • Análisis • Cuadros comparativos • Observación • Razonamiento • Ponderación de resultados • Estadísticas del País y la región • Pruebas en ambientes de simulación.
	<p>V. Dependiente</p> <p>Mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago</p>	<p>Diseño de Red actual comparado con el diseño de red propuesto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del diseño de red actual. • Análisis del diseño de red propuesto • Moderación de resultados.
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

2.1.1 ANTECEDENTES

La necesidad de interconectar varias parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago toma fuerza; sin embargo, para ellos primero se debe resolver los desafíos que propone la interconectividad rural mencionados en el capítulo I, estudiar y analizar el estado actual de las redes inalámbricas en la región, las tecnologías inalámbricas existentes en la actualidad, así como proyectos similares implementados en otras provincias, la situación demográfica de Morona Santiago y finalmente proponer un diseño de red de comunicaciones apropiado para el sector.

El fin es proponer un diseño de red de comunicaciones, que pueda ser implementado y permita brindar acceso a las tecnologías de la información a las comunidades plurinacionales ubicadas en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago; por lo tanto se deja abierta la puerta para realizar un estudio sobre el impacto social y cultural que tendría este proyecto en la zona.

2.1.2 INTERCONECTIVIDAD RURAL

La Interconectividad rural a diferencia del acceso en las ciudades, se enfrenta a mayores dificultades, determinadas principalmente por la falta de infraestructura básica como energía eléctrica, difícil acceso a los sitios de repetición e incluso de la predisposición de las comunidades. Esto exige mayor creatividad al momento de proponer soluciones de comunicación.



Figura 1. Representación de interconectividad rural¹

La concentración de la población en las principales ciudades del país, ha provocado que los operadores públicos y privados de servicios de telecomunicaciones y transporte de datos concentren sus esfuerzos en desplegar su infraestructura en los principales centros urbanos del país, dejando de lado la provisión de estos servicios en las zonas rurales.

Este fenómeno se produce debido al alto costo del despliegue de infraestructura y a las bajas tasas de retorno de la inversión en estas zonas, debido a la falta de infraestructuras (vías, electricidad, etc.), a la poca densidad de la población y al bajo poder adquisitivo de la misma, en esas condiciones el tendido de infraestructura como fibra óptica, cable de cobre o construcción de sitios de repetición para redes de radio es demasiado costoso.

El surgimiento de las tecnologías inalámbricas, ofrecen una alternativa para el acceso a Internet en zonas no rentables para el mercado y sin infraestructura, especialmente las **zonas rurales**. Por esta razón es que nuestra primera dificultad a superar será determinar cuál es la tecnología más apropiada o la combinación de ellas para llegar a las parroquias rurales a interconectar.

2.1.3 REDES INALÁMBRICAS EN EL ECUADOR

En el Ecuador según el último censo de población y vivienda realizado por el INEC en el año 2010, el índice de disponibilidad de Internet es del 13.03% uno de los más bajos en la región, mientras que el analfabetismo digital para personas mayores de 10 años llega al 29.4%, cifras alarmantes que demuestran la brecha digital existente en el país.

¹ Paco Olaya Pabón, Cartilla de conectividad y tic Oftelsat, emprendedores para el cambio

En el sector rural la situación es aún más crítica ya que apenas el 5% de las viviendas rurales disponen de internet, pese a que han existido instituciones creadas para garantizar el acceso universal y promover el desarrollo de las telecomunicaciones y tecnologías de la información a través de planes y proyectos de conectividad.

La prestación de estos servicios se realiza en las principales ciudades de cada provincia. En las poblaciones rurales del país se evidencia la ausencia de servicios básicos y de telecomunicaciones, necesarios para dar soporte a otras actividades como son: educación, salud, agricultura, turismo, finanzas, seguridad, administración de justicia, etc.

La distribución del mercado de internet en el Ecuador según el CONATEL para el año 2012 está dada por:

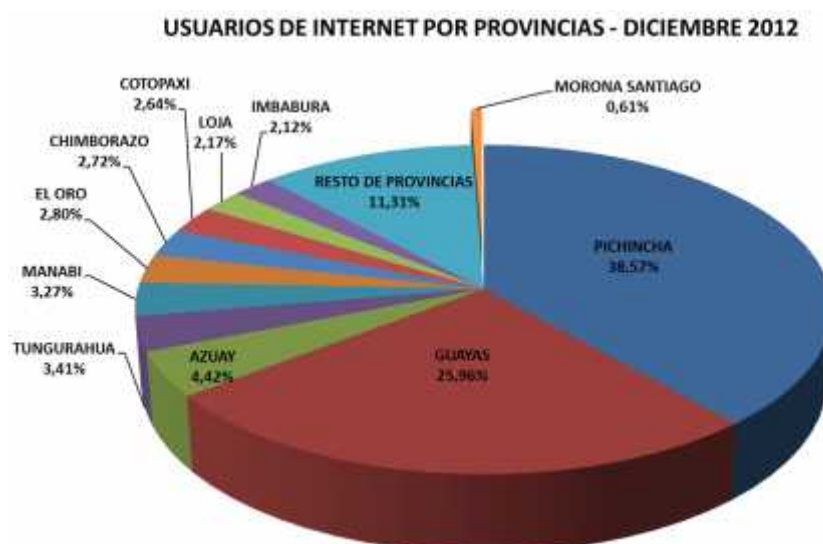


Figura 2. Mercado de Internet²

En la figura 2, podemos observar que Pichincha, Guayas y Azuay son las provincias que concentran el mayor número de cuentas de internet a nivel nacional, mientras que en la provincia de Morona Santiago apenas existe un 0.61% con relación al resto del país, esto considerando tanto el sector urbano como el sector rural.

Algunos ejemplos de redes inalámbricas implementadas en el Ecuador las podemos observar con mayor detalle en el ANEXO I.

² Fuente: Conatel/estadísticas de internet, elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat

A nivel regional y en el Ecuador contamos con instituciones como WILAC, IICD, CONATEL y APC que han estado trabajando durante los últimos años orientados a brindar servicios de telecomunicaciones rurales a los sectores más descuidados y alejados de la región sierra y costa, este proyecto está orientado a plantear soluciones similares en la región Amazónica del Ecuador y así unir esfuerzos para reducir la brecha digital existente en el País.

2.1.4 REDES INALAMBRICAS EN MORONA SANTIAGO

En la provincia de Morona Santiago, poco o nada se ha hecho por interconectar los cantones y parroquias de la provincia, una de las pocas instituciones que cuenta con comunicaciones entre algunos de ellos es la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P. (CNT), sin embargo ni siquiera dicha empresa con todo su potencial económico ha podido llegar a los lugares más alejados de la provincia.

“Los altos costos que significa construir y mantener redes físicas en las áreas rurales y dispersas, son barreras difíciles de sortear” dijo el Ing. Raúl Auquilla Delgado, Gerente de la CNT en Morona Santiago, lo que nos muestra la magnitud de la complejidad de implementar redes de comunicaciones en éstas zonas rurales.

A inicio del año 2011 CNT en conjunto con el Gobierno Nacional y el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, cumpliendo con el Plan Nacional de Conectividad unió la capital Macas al anillo de fibra óptica nacional, con el cual se mejoró notoriamente el nivel de penetración, sin embargo el anillo solo llega a la capital de la provincia y no a todos sus cantones mucho menos a las parroquias.

Otros ejemplos de proyectos de telecomunicaciones realizados en la provincia se pueden revisar con mayor detalle en el ANEXO II.

En la provincia de Morona Santiago, las cifras son aún más alarmantes ya según la Supertel, el número de cuentas de internet apenas representa el 0.58% en relación al global nacional, y según el INEC el índice de analfabetismo digital llega al 39.3%.

Se considera analfabetismo digital a las personas de 10 años o más que en los últimos 6 meses previos al censo no utilizaron teléfono celular, internet, ni computadora, como se puede observar en la figura 3.



Figura 3. Analfabetismo digital en Morona Santiago³

Mientras que las personas que utilizaron el internet en la provincia de Morona Santiago ya sea en cyber cafés, espacios públicos, trabajo o en el hogar, durante los últimos 6 meses previos al censo, apenas llega al 20,4% de los cuales la mayoría son pobladores de la zona urbana, se muestran así:



Figura 4. Personas que utilizan las TIC's en Morona Santiago³

Las tecnologías inalámbricas es una alternativa que puede ser utilizada para llegar a las zonas rurales, estas pueden aportar para encontrar un adecuado diseño de red que permita mejorar el acceso a las TIC's en el sector rural centro de Morona Santiago, por lo que será indispensable el análisis profundo de cada una de ellas.

³ Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador (INEC)

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 ANALISIS DE LAS TECNOLOGÍAS INALAMBRICAS

2.2.1.1 Tipos de Tecnologías Inalámbricas

- *WLAN (Wireless Local Area Network)*. - Es un sistema de comunicación de datos para extender o reemplazar una Red de Área Local cableada (LAN).

El gran éxito de las WLANs es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir no es necesario pedir autorización o algún permiso para utilizarlas. Aunque hay que tener en mente que la normativa acerca de la administración del espectro puede variar de acuerdo a las políticas asumidas por los gobiernos de turno.

- *WMAN (Redes inalámbricas de área metropolitana)*.- Las redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) también se conocen como bucle local inalámbrico (WLL, Wireless Local Loop). Las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16. con un alcance de 4 a 10 kilómetros, algo muy útil para compañías de telecomunicaciones.

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

- *WWAN (Wireless Wide Area Network)*.- Las redes inalámbricas tipo WAN consisten de torres y antenas que transmiten ondas de radio o usan tecnología de microondas para conectar redes de área local, utilizando enlaces punto-punto y punto-multipunto.

Estas redes tienen un sin número de aplicaciones y pueden servir para llegar con acceso a las redes de comunicaciones en lugares donde el cableado sería costoso o sectores rurales de difícil acceso.

2.2.1.2 Wi-Fi (802.11)

Una WLAN es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, en lugar del par trenzado, coaxial o fibra óptica utilizado en las LAN convencionales, y que proporciona conectividad inalámbrica de igual a igual (peer to peer).

Desde hace poco, existe una nueva tecnología que hace uso de las frecuencias libres de licencia: las redes de área local inalámbricas o redes wireless. Las LAN inalámbricas utilizan básicamente longitudes de onda correspondientes a las microondas (2,4 GHz y 5 GHz) y permiten tener anchos de banda apreciables (desde 1 MB/s en las primeras versiones hasta llegar a los 54 MB/s de los últimos estándares).

Ventajas

- Resiste todo tipo de interferencias, tanto las no intencionadas como las malintencionadas (más conocidas con el nombre de jamming), siendo más efectivo con las de banda estrecha.
- Tiene la habilidad de eliminar o aliviar el efecto de las interferencias multisenda.
- Se puede compartir la misma banda de frecuencia con otros usuarios.
- Confidencialidad de la información transmitida gracias a los códigos pseudoaleatorios (multiplexación por división de código).

Desventajas

- Ineficiencia del ancho de banda.
- La implementación de los circuitos es en algunos casos muy compleja.

Estándares

En la capa de enlace están todos los estándares del 802.11, en la tabla siguiente se muestra una breve descripción de cada uno ellos.

Tabla II.I. Extensiones del estándar IEEE 802.11

Estándar	Descripción	Estándar	Descripción
802.11a	5GHz OFDM PHY	802.11j	Extensión a la banda japonesa de 5GHz
802.11b	2.4GHz CCK PHY	802.11k	Medida de los recursos radio
802.11c	802.11 Bridging	802.11m	Mantenimiento
802.11d	Roaming internacional	802.11n	Capa física de elevado throughput
802.11e	Mejoras de QoS	802.11p	WAVE. Entornos automóbiles(*)
802.11f	Protocolo Inter AP	802.11r	Fast Roaming(*)
802.11g	2.4GHz OFDM PHY	802.11s	Mesh Networking(*)
802.11h	Extensiones de regulación a 5GHz	802.11u	Convergencia con redes externas(*)
802.11i	Mejoras en la seguridad	802.11v	Wireless Network Management(*)
Fuente: Tesis de doctorado en telemática, Alberto Los Santos Aransay, junio 2009			

Mejoras en capa PHY: 802.11b, a, g, n

En la Tabla II.II podemos ver una lista comparativa entre las diferentes mejoras, o subestándares, relacionadas con la capa física que utilizan:

Tabla II.II. Comparativa entre las mejoras del estándar IEEE 802.11

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Velocidad Máxima	1-2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Velocidad real	1 Mbps	27 Mbps	4 o 5 Mbps	20 o 25 Mbps	100 Mbps
Modulación	FH / DS / IR	OFDM	CCK / DSSS	OFDM / DSSS	OFDM
Espectro	2.4 Ghz	5 Ghz	2.4 – 2.483 Ghz	2.4 – 2.483 Ghz	2.4 / 5 Ghz
Fecha aprobación	1997	Jul-99	Jul-99	Jun-03	Ene-10
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat					

Nuevo estándar de WI-FI

Según un informe de In-Stat, el próximo estándar Wi-Fi, que se **denominará 802.11ac**, llegará al mercado a mediados del año 2013 con una velocidad de transferencia superior a 1Gb/s, además para el año 2015 existirán unos 1.000 millones de apartados tecnológicos y 800 millones de teléfonos móviles con acceso a internet.

2.2.1.3 WiMAX (802.16)

WiMAX es el acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, una marca de referencia para los productos que han pasado los tests de interoperabilidad del estándar IEEE 802.16.

Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados tal como en las **zonas rurales**.

Uno de los principales problemas del estándar es que recogía un gran número de posibles capas físicas lo que producía grandes problemas de interoperabilidad. Por ello, en 2004 se definió el estándar 802.16d.

Otro de los principales problemas de 802.16 era su falta de tolerancia a la movilidad, por lo que en 2005 se estandarizó la versión 802.16e (también conocido como Mobile WiMAX) que añadía soporte para la movilidad al estándar.

En la actualidad incluso se habla de WiMAX como una competencia comercial contra las redes 3G; frente a la polémica que enfrenta a esta tecnología con 3G, Mariana Iribarne, gerente de Asuntos Corporativos para Intel Argentina, asegura que “ambos estándares no compiten directamente entre sí. WiMAX es 4G y es lo que va a venir próximamente. Es lógico que en las áreas que las prestadoras telefónicas hicieron inversiones en 3G van a querer amortizar el costo antes de invertir en LTE o WiMAX”.

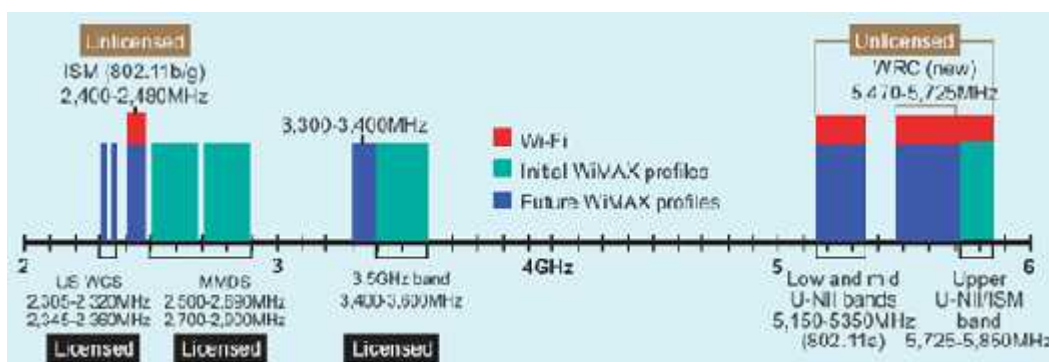


Figura 5. Frecuencias Wi-Fi y WiMAX⁴

⁴ Presentación Alejandro Martínez Abietar, Sistemas difusión radio y cable WiMAX

Ventajas

- **Gran ancho de banda:** Una sola estación base puede admitir más de 60 conexiones T1 o varias centenas de conexiones DSL.
- **Independencia del protocolo.** Puede transportar, entre otros, IP, Ethernet y ATM. Esto hace que sea compatible con otros estándares.
- Puede utilizarse para transmitir *otros servicios añadidos* como VoIP, datos o vídeos.
- Soporta **antenas inteligentes** (smart antennas), lo cual favorece la eficiencia espectral.
- **Seguridad:** Incluye medidas para autenticación de usuarios y encriptación de datos mediante los algoritmos 3DES y RSA.

Desventajas

- Limitación de potencia para prever interferencias con otros sistemas.
- Alto consumo de batería en los dispositivos.

Estándares

En la tabla II.III se muestra todas las extensiones del estándar IEEE 802.16

Tabla II.III. Extensiones del estándar IEEE 802.16

Estándar	Descripción	Estándar	Descripción
802.16	Banda 10- 66 GHz	802.16f	Mesh WiMAX y roaming
802.16a	Inclusión de la banda 2- 11 GHz	802.16g	Mobile Management Information Base
802.16b	Extensión QoS	802.16h	Mejora de la coexistencia de operaciones licenciadas
802.16c	Inclusión de los perfiles en banda 10- 66 GHz	802.16i	Herramientas de control y administración de la información
802.16d	NLOS y reducción de alternativas en la capa física	802.16j	Acceso basado en Relays capa física
802.16e	WiMAX mobile	802.16k	Bridging
Fuente: Tesis de doctorado en telemática, Alberto Los Santos Aransay, junio 2009			

Mejoras en el estándar

En la Tabla II.IV podemos ver las diferentes mejoras del estándar IEEE 802.16.

Tabla II.IV. Mejoras del estándar IEEE 802.16

	802.16	802.16a	802.16d	802.16e
Puesta en conocimiento	2001.12	2003.1 (802.16a)	2004.7	2005
Cobertura	Sobre 8Km	Sobre 50Km	Sobre 40Km	Sobre 1-5Km
Ambiente	LOS	LOS	NLOS	NLOS
Frecuencia	10-66 GHz	2-11 GHz	2-66 GHz	2-6 GHz
Aplicación	FBWA	FBWA	FBWA	FBWA + movilidad
Ancho de Banda	Actualizable	Actualizable	Actualizable	Actualizable
	1.5-20MHz	1.5-20MHz	1.5-20MHz	1.5-5MHz (sub-portadora)
Modulación	QPSK, 16QAM	OFDM, QPSK	OFDM, QPSK	OFDM, QPSK
	64QAM	16QAM, 64QAM	16QAM, 64QAM	16QAM, 64QAM
Uso del espectro	<4.8BPS/Hz	3.75BPS/Hz	3.75BPS/Hz	3BPS/Hz
Tasa de bits	<134Mbps	<75Mbps	<75Mbps	15Mbps
	20MHz Canal	20MHz Canal	20MHz Canal	5MHz Canal
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat				

Nota: Estas antenas emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo electrónicamente para enfocar siempre al receptor.

Nuevos estándares de WiMAX

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ha aprobado el IEEE 802.16m, el estándar que da paso a la próxima generación de WiMAX, con capacidad para ofrecer velocidades de bajada de más de 300 Mbps. El estándar está diseñado para proporcionar velocidades de alrededor de 100 Mbps a los usuarios finales. Para ello, utiliza diversas técnicas como MIMO (multiple-in, multiple out), que permite enviar varias cadenas de datos.

Asimismo, a principios del año pasado, los mayores fabricantes de terminales a escala mundial apoyaron la versión final de LTE-Advanced, con capacidad para incrementar la velocidad hasta 1 Gbps.

Comparación entre WiMAX y Wi-Fi

Se presenta una tabla que resume las características básicas de los estándares base de WiMAX y WiFi

Tabla II.V. Comparativa entre los estándares IEEE 802.11 y 802.16

	WiMAX (802.11a)	WiFi (802.11b)	WiFi (802.11a/g)
Aplicación principal	Acceso wireless banda ancha	LAN wireless	LAN wireless
Banda de frecuencia	Licenciada/No licenciada 2GHz a 11GHz	2.4 GHz ISM	2.4 GHz ISM (g) 5 GHz U-NII (a)
Ancho de banda del canal	Ajustable 1.25 MHz a 20 MHz	25 MHz	20 MHz
Half/full duplex	Full	Half	Half
Tecnología radio	OFDM (256 canales)	DSSS	OFDM (64 canales)
Eficiencia en el ancho de banda	≤ 5 bps/Hz	≤ 0.44 bps/Hz	≤ 2.7 bps/Hz
Modulación	BPSK, QPSK, 16, 64, 254 QAM	QPSK	BPSK, QPSK, 16, 64, QAM
FEC	Código Reed Solomon Convolutacional	Ninguno	Código Convolutacional
Encriptación	Obligatorio 3DES opcional AES	Opcional RC4 (AES en 802.11i)	Opcional RC4 (AES en 802.11i)
Protocolo de acceso	Request/Grant	CSMA/CA	CSMA/CA
Best effort	Sí	Sí	Sí
Prioridad de datos	Si	802.11e WME	802.11e WME
Retardo	Sí	802.11e WSM	802.11e WSM
Mobilidad	Mobile Wimax (802.11e)	En desarrollo (802.11p)	En desarrollo (802.11p)
Mesh	Sí	Propietario	Propietario
Fuente: Tesis de doctorado en telemática, Alberto Los Santos Aransay, junio 2009			

WiMAX en el Ecuador

En Ecuador en el año 2008 CNT invierte 400 mil dólares para desplegar WiMAX en Quito, últimamente CNT E.P. instaló tecnología WiMAX en redes de telefonía fija en Carchi, sin embargo aún no se habla del debate global entre las tecnología 3G y WiMax en la que se encuentra el mercado de otros países.

De la experiencia de la empresa OFTELSAT y su presidente Ing. Paco Olaya Pabón dice, **“esta tecnología no tiene tanta aplicación en la zona rural, ni en la zona urbana en aplicaciones fijas. Los enlaces fijos 802.11 a/g funcionan con igual efectividad y a costos mucho más bajos”**.

En base a éste breve análisis, WiMAX podría ser una alternativa para brindar acceso a las TIC's en **zonas rural**, sin embargo se deberá analizar a fondo la relación existente entre el costo beneficio, las distancias de los enlaces, el proposito de la red, los sitios a instalar, el espectro de frecuencias, la tecnología existente y la disponibilidad en el país, además de una profunda comparativa técnica entre Wi-MAX y Wi-Fi.

MBWA (802.20)

IEEE 802.20 (*MBWA = Mobile Broadband Wireless Acces*) es un estándar para redes wireless de banda ancha basadas en servicios IP móviles y pretende ser una especificación de los sistemas móviles de 4ª generación.

El grupo 802.20 comenzó a trabajar como una variación de 802.16, que sienta las bases de WiMax y cuyo objetivo inicial era estandarizar la construcción de una tecnología inalámbrica de acceso de banda ancha fijo destinado a competir con DSL y otras tecnologías cableadas.

Posteriormente se introdujo varios cambios al interior del grupo de trabajo y su organización, hicieron posible la continuación de las actividades de manera normal y transparente superando los problemas; el 12 de junio de 2008 se aprobó el estándar.

Diferencia entre MBWA y WiMAX

El estándar 802.20 busca impulsar las tasas de transmisión de datos en tiempo real en redes inalámbricas de área metropolitana a velocidades que compiten con las conexiones ADSL y cable (1 Mbps o más) en base a rangos de celdas de hasta 15 kilómetros o más, y prevé entregar estas tasas a los usuarios móviles, incluso cuando están viajando a velocidades de hasta 250 kilómetros por hora (155 millas por hora). Esto haría a 802.20 una opción para el despliegue en trenes de alta velocidad.

Características técnicas de MBWA

En la tabla II.VI se resume de manera general las principales características y especificaciones de MBWA.

Tabla II.VI. Características de estandar MBWA

Características	Valor para un ancho de banda de 1.5 MHz	Valor para un ancho de banda de 5 MHz
Movilidad	Movilidad de tipo vehicular para velocidades hasta 250 Km/h	
Eficiencia Espectral	Mayor a 1 b/s/Hz/celda	
Velocidad de transmisión pico por usuario para el enlace de bajada	Mayor a 1 Mbps	Mayor a 4 Mbps
Velocidad de transmisión pico por usuario para el enlace de subida	Mayor a 300 Kbps	Mayor a 1.2 Mbps
Velocidad de transmisión pico agregada por celda para el enlace de bajada	Mayor a 4 Mbps	Mayor a 16 Mbps
Velocidad de transmisión pico agregada por celda para el enlace de subida	Mayor a 800 Kbps	Mayor a 3.2 Mbps
RTT de la trama MAC en la interfaz de aire	Menor a 10 ms	
Tamaño de las celdas	Apropiado para proveer ubicuidad en redes MAN y reutilización de infraestructura eficiente	
Máxima frecuencia para manejar el espectro	Menor a 3.5 GHz	
Arreglo de frecuencias para manejar el espectro	Soporta FDD y TDD	
Espectro utilizado	Espectro de bandas de frecuencias licenciadas utilizadas para el servicio móvil	
Seguridad	AES (Estándar de encriptación avanzada)	
Fuente: Tomado de la tesis de Francisco Xavier Flores Moreno, ESPE 2011		

Comparación entre Wi-Fi, WIMAX y MBWA

En la siguiente tabla se realiza una comparativa entre los estándares analizados hasta el momento y MBWA.

Tabla II.VII. Comparativa entre IEEE 802.20 y otros estándares

	WiMAX 802.16	Wi-Fi 802.11	Mobile-Fi 802.20	UMTS y cdma2000
Velocidad	124 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 km	50 km	20 km	10 km
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Desventajas	Interferencias?	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro
Fuente: Wimax el sustitutivo de Wi-Fi por José Manuel Huidobro, www.monografias.com				

MBWA en el Ecuador

Francisco Flores Moreno de la ESPE dice *“a pesar del incremento en la demanda de servicios de banda ancha móvil en el Ecuador aún es reducido el porcentaje de personas que pueden acceder a ellos y en ese sentido la implementación de MBWA sería beneficiosa para masificar el acceso de la población a este tipo de servicios”*.

“Gracias a sus características técnicas, a su flexibilidad de funcionamiento y despliegue, a la amplia variedad de servicios y aplicaciones que ofrecen, y a su capacidad de interoperabilidad los sistemas 802.20 serían aplicables en el país y su implementación sería beneficiosa”.

“Las limitaciones para su implementación vendrían dadas más bien por el aspecto económico y de mercado que podrían representar un obstáculo para su despliegue comercial”.

Por tal razón, al tratarse de una tecnología que utiliza el espectro de frecuencias licenciadas y que el análisis se lo pretende realizar en **zonas rurales** es poco probable que ésta sea la mejor opción para la solución de éste proyecto.

2.2.1.4 WRAN o Súper Wi-Fi (802.22)

IEEE 802.22 es un estándar para la *Wireless Regional Area Network* (WRAN) que utiliza espacios blancos en el espectro de frecuencia de los canales de TV. El desarrollo del estándar IEEE 802.22 WRAN está enfocado al empleo de técnicas de Radio cognitiva (CR) para permitir el uso compartido del espectro geográfico no utilizado asignado al servicio de difusión de televisión.

La idea es utilizar ese espectro de frecuencia, en base de no-interferencia, para ofrecer acceso de banda ancha a zonas en las que difícilmente se podría proporcionar este servicio como **zonas de baja densidad de población, ambientes rurales**, etc. Por tanto, tiene un gran potencial y una amplia aplicación en todo el mundo.

Está diseñado para operar en la banda de televisión al mismo tiempo que se asegura que no haya ninguna interferencia perjudicial para las operaciones correspondientes a la TV digital, TV analógica de radiodifusión, y dispositivos de baja potencia con licencia, como micrófonos inalámbricos. El estándar se publicó en julio de 2011.

Capacidad del enlace

- El sistema WRAN da cabida a los diferentes anchos de banda de canales de televisión internacional, de 6, 7 y 8 MHz
- La eficiencia espectral en el rango de 0,5 bit / (seg/Hz) hasta 5 bits / (seg/Hz).
- Un promedio de 3 bits (seg/Hz) esto correspondería a un total de la capa PHY con velocidad de datos de 18Mbps en el canal de televisión 6MHz
- Con 12 usuarios simultáneos la velocidad de datos mínima por CPE en total es 1,5 Mbps en downlink y 384 Kbps en uplink

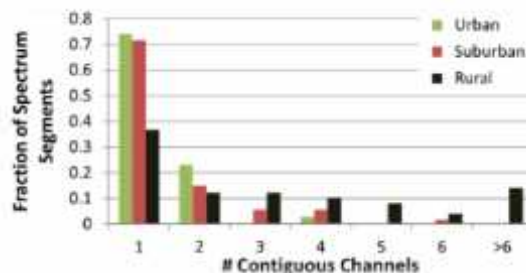


Figura 6. Capacidad del enlace IEEE 802.22⁵

⁵ Presentación de Petr Jelínek, El estándar IEEE-802.22 (WRAN), Universidad de Valencia

Topología

- Tipos de redes del sistema: punto a multipunto
- Base Station (BS): gestiona su propia celda
- Customer Premise Equipment (CPE): Terminal del abonado
- BS indica al CPE para realizar diversas medidas de distribución de canales de televisión.

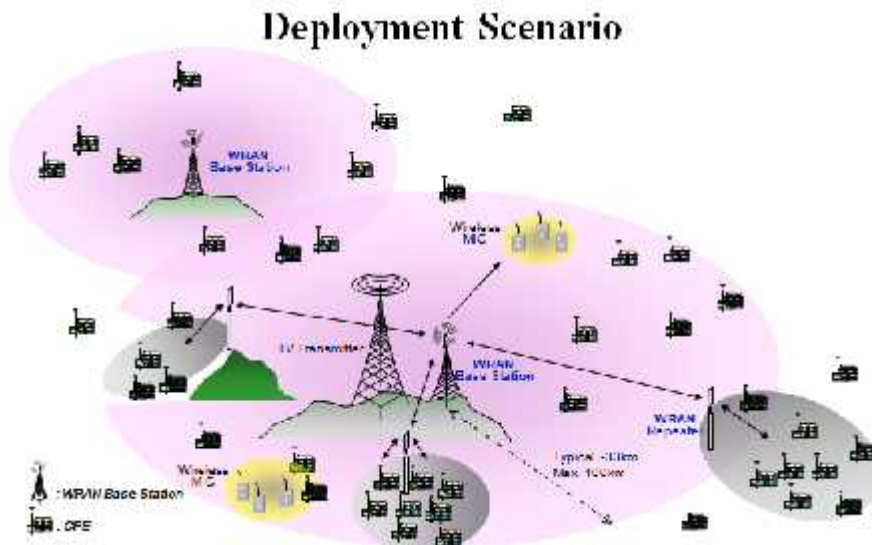


Figura 7. Topología IEEE 802.22⁶

Antenas para WRAN

802.22 requiere dos antenas independientes para cada radio CPE:

- **Una directiva:** el funcionamiento general utilizado por una CPE para comunicarse con una estación base
- **Una omni-direccional:** es principalmente para la detección y la realización de las medidas

Cobertura de los servicios

- WRAN cuenta con una amplia cobertura mucho más grande que otros estándares IEEE 802
- Puede ir hasta 100 km (rango 33 km cuando CPE transmite 4 W EIRP (Effective-Isotropic-Radiated-Power))
- Las bandas de frecuencia de TV de 54 a 862 MHz

⁶ http://www.slideshare.net/praseetha_kr/channel-management-in-ieee-80222-wran-systems

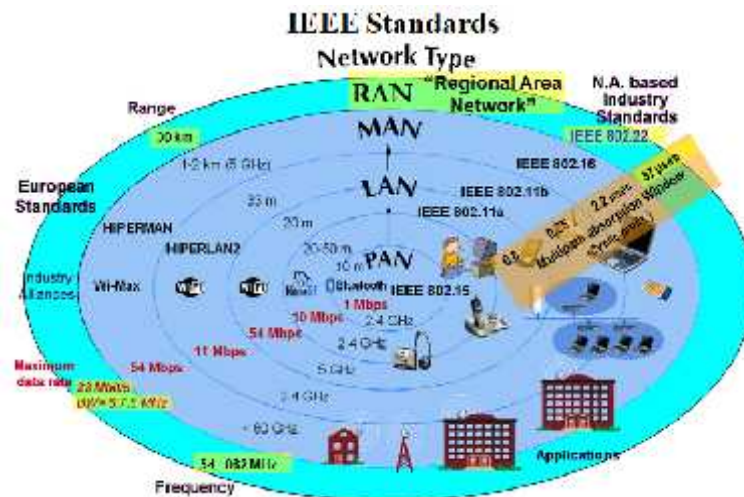


Figura 8. Cobertura IEEE 802.22⁵

Nuevo wi-fi 802.22 para zonas rurales

El wifi de largo alcance IEEE 802.22 extenderá Internet donde hoy no es posible. Zonas rurales y países en vías de desarrollo se verán beneficiados con el nuevo sistema IEEE 802.22. Así es que allí donde llegue la TV llegará Internet alta velocidad.

El nuevo estándar de alta velocidad transmite la señal en bandas de frecuencia VHF y UHF y permite crear puntos de acceso con radios de alcance de 100 kilómetros y velocidades de hasta 22 Mbps. Es una nueva fase para el desarrollo de Internet. Para zonas de población que ahora reciben Internet vía satélite, como única posibilidad, el nuevo sistema IEEE es una revolución.

Esta tecnología utiliza los espacios vacíos en los espectros de televisión y según el IEEE no interfiere en la señal de imagen emitida. En este sentido, la organización destaca que "esta tecnología es especialmente útil para su uso en espacios con menor densidad de población, como las **zonas rurales**, y en los países en desarrollo".



Figura 9. WI-FI Rural⁷

⁷ <http://www.jaymiescotto.com/category/rural-areas/>

2.2.1.5 Satelital

Un satélite de comunicaciones es, en esencia, un repetidor colocado en órbita: su comportamiento es similar al de un espejo que reflejase los datos que se le envían desde una estación terrestre hacia unos terminales instalados en el territorio al que el satélite da cobertura.

Las ventajas indiscutibles del satélite son la inalterabilidad ante fronteras o barreras físicas y un alcance de prácticamente el 100% de la población del área cubierta por su haz, que puede dar sombra a continentes enteros.

Internet por satélite o conexión a Internet vía satélite es un método de conexión a Internet utilizando como medio de enlace un satélite. Es un sistema recomendable de acceso en aquellos lugares donde no llega el cable o la telefonía, como zonas rurales o alejadas. En una ciudad constituye un sistema alternativo a los usuales, para evitar cuellos de botella debido a la saturación de las líneas convencionales y un ancho de banda limitado.

La alta latencia en las redes por satélite se debe a la gran distancia del satélite y a la velocidad constante de la luz. Esta distancia añade aproximadamente 520 ms al tiempo de ida y retorno de un paquete (RTT—round trip time—por su sigla en inglés), comparado con un RTT entre Europa y Estados Unidos de alrededor de 140 ms a través de fibra óptica.

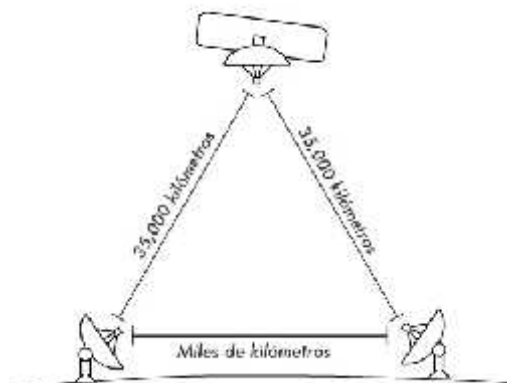


Figura 10. Alta Latencia en un enlace VSAT⁸

⁸ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

En nuestro país existen algunas empresas que ofrecen el servicio de interconexión satelital, y para este proyecto de interconectividad rural puede ser una alternativa viable ya el servicio puede llegar a todas las parroquias en cuestión, sin embargo siempre habrá que hacer el análisis costo-beneficio.

Ventajas de una red VSAT

Flexibilidad:

- Fácil gestión de la red.
- Servicio independiente de la distancia.
- Cobertura global e inmediata.
- Fácil y rápida implantación en lugares de difícil acceso.
- Debido a la gran variedad de configuraciones que puede adoptar una red VSAT estas se pueden adaptar a las necesidades propias de cada compañía.
- Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca información (si es que responden).
- Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura con lo que los receptores pueden cambiar de ubicación sin más cambio que la reorientación de su antena. Del mismo modo, la introducción de un nuevo terminal no afecta al funcionamiento de los demás.

Gran fiabilidad:

- Se suele diseñar para tener una disponibilidad de la red del 99.5% del tiempo y con una BER de 10^{-7} .

Económicas:

- Estabilidad de los costes de operación de la red durante un largo periodo de tiempo. Una empresa puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de la red. Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento del que la empresa no puede ser propietario es del segmento espacial pero sus precios son muy estables.

- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso.
- Aumento de la productividad de la organización. Al haber un centro de monitorización y control de la red el tiempo medio entre fallos de la red aumenta considerablemente y la duración de los fallos suele ser corta. Por lo tanto la organización puede responder rápidamente a las peticiones de sus clientes gracias a un medio de comunicación fiable, lo que repercute en un aumento de la satisfacción de los mismos y un aumento de las ventas.
- Se puede implantar una red corporativa insensible a fluctuaciones de las tarifas

Desventajas de una red VSAT

Problemas económicos:

- Las inversiones iniciales son elevadas y en algunos países no son claramente competitivas frente a redes basados en recursos terrestres. Este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del HUB.

Problemas radioeléctricos:

- El retardo de propagación típico de 0.5s (doble salto) puede ser problemático para ciertas aplicaciones como telefonía y videoconferencia, pero también existen aplicaciones insensibles a él como la actualización de software, e-mail, transferencia de ficheros
- El punto más crítico de la red está en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del satélite. Si este cae, toda la red cae con él. De todas maneras el problema no es muy grave pues si el problema está en un transponder un simple cambio de frecuencia o/y polarización lo soluciona. En caso de ser todo el satélite bastaría con reorientar las antenas a otro satélite.
- Como todo sistema basado en satélites es sensible a interferencias provenientes tanto de tierra como del espacio.

Problemas de privacidad:

- El uso de un satélite geoestacionario como repetidor hace posible que cualquier usuario no autorizado pueda recibir una portadora y demodular la información. Para prevenir el uso no autorizado de la información se puede encriptar.

2.2.2 FISICA DE RADIOS

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Desde la perspectiva del usuario, las conexiones inalámbricas no son particularmente diferentes de cualquier otra conexión.

Para construir enlaces inalámbricos de alta velocidad, es importante comprender cómo se comportan las ondas de radio en el mundo real.

2.2.2.1 ¿Qué es una onda de radio?

Una onda de radio son las vibraciones u oscilaciones de varias formas. Una onda tiene cierta velocidad, frecuencia y longitud de onda. Las mismas están conectadas por una simple relación:

$$\text{Velocidad} = \text{Frecuencia} * \text{Longitud de Onda}$$

Ecuación 1

La longitud de onda (algunas veces denotada como lambda, λ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente. La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo.

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos, y puede ser asimilada a la “altura” de una onda de agua. La relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud se muestra en la Figura 11.

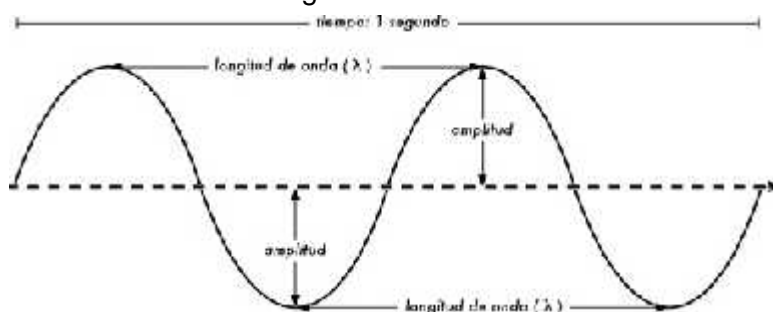


Figura 11. Longitud de onda, amplitud, y frecuencia.⁹

En este caso la frecuencia es 2 ciclos por segundo, o 2 Hz.

⁹ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

2.2.2.2 Fuerzas electromagnéticas

Las fuerzas electromagnéticas son fuerzas entre cargas y corrientes eléctricas. La fuerza eléctrica es la fuerza entre cargas eléctricas. La fuerza magnética es la fuerza entre corrientes eléctricas.

Veamos qué sucede en un trozo de alambre recto en el cual empujamos los electrones de un extremo a otro periódicamente. En cierto momento, el extremo superior del alambre está cargado negativamente y todos los electrones están acumulados allí. Esto genera un campo eléctrico que va de positivo a negativo a lo largo del alambre. Al momento siguiente, los electrones se han acumulado al otro lado y el campo eléctrico apunta en el otro sentido. Si esto sucede una y otra vez, los vectores de campo eléctrico, por así decirlo, (flechas de positivo a negativo) abandonan el alambre y son radiados en el espacio que lo rodea.

Lo que hemos descrito se conoce como dipolo (debido a los dos polos, positivo y negativo), o más comúnmente antena dipolo. Esta es la forma más simple de la antena omnidireccional. El movimiento del campo electromagnético es denominado comúnmente onda electromagnética. Volvamos a la relación:

$$\text{Velocidad} = \text{Frecuencia} * \text{Longitud de Onda}$$

En el caso de las ondas electromagnéticas, la velocidad c es la velocidad de la luz.

$$c = 300.000 \text{ km/s} = 300.000.000 \text{ m/s} = 3*10^8 \text{ m/s}$$

$$c = f *$$

Ecuación 2

Las ondas electromagnéticas difieren de las mecánicas en que no necesitan de un medio para propagarse. Las mismas se propagan incluso en el vacío del espacio.

La frecuencia y la longitud de onda determinan la mayor parte del comportamiento de una onda electromagnética, y son responsables de muchas de las diferencias entre los estándares que podamos escoger, por lo tanto comprender estos conceptos nos ayudará mucho en el análisis de la mejor tecnología inalámbrica para éste proyecto.

2.2.2.3 Polarización

Otra cualidad importante de las ondas electromagnéticas es la polarización. La polarización describe la dirección del vector del campo eléctrico.

En una antena bipolar alineada verticalmente (el trozo de alambre recto), los electrones sólo se mueven de arriba a abajo, no hacia los lados (porque no hay lugar hacia donde moverse) y, por consiguiente, los campos eléctricos sólo apuntan hacia arriba o hacia abajo verticalmente. El campo que abandona el alambre y viaja como una onda tiene una polarización estrictamente lineal (y en este caso, vertical). Si acostamos la antena en el suelo (horizontal) tendremos una polarización lineal horizontal.

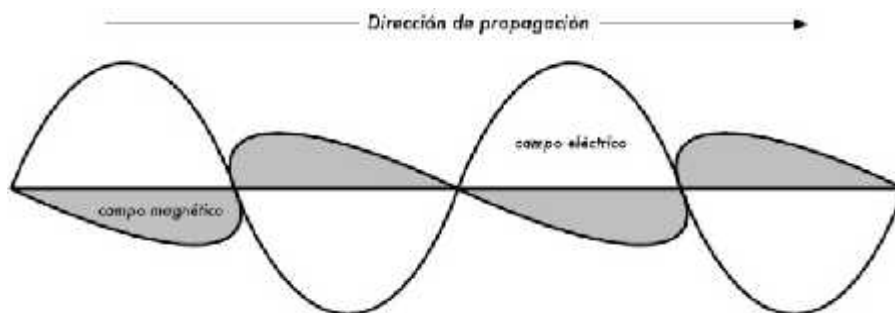


Figura 12. El campo eléctrico y el campo magnético complementario de una onda electromagnética.¹⁰

2.2.2.4 El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas abarcan un amplio rango de frecuencias y correspondientemente, de longitudes de onda denominado espectro electromagnético. La parte del espectro más familiar a los seres humanos es probablemente la luz, la porción visible del espectro electromagnético.

Las bandas que se están manteniendo abiertas para el uso general, en la mayoría de países sin requerir licencia se llama banda ISM (ISM Band), que significa Industrial, Científica y Médica, por sus siglas.

¹⁰ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

La mayoría de las otras regiones del espectro electromagnético están altamente controladas por la legislación mediante licencias, siendo los valores de las licencias un factor económico muy significativo.

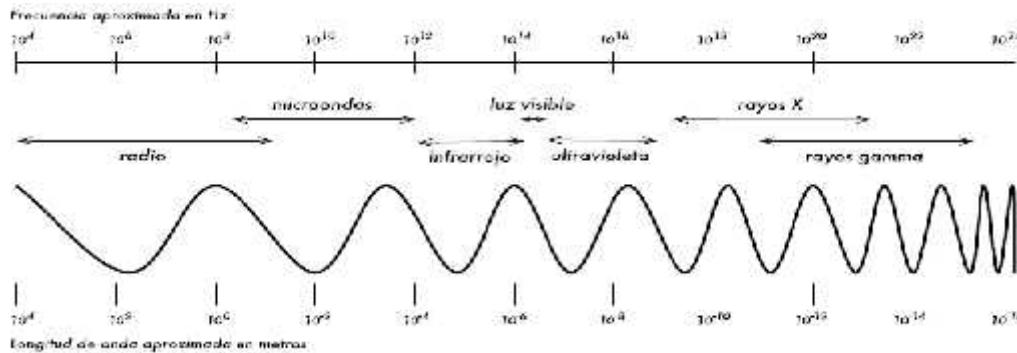


Figura 13. El espectro electromagnético.¹¹

Las frecuencias más interesantes para nosotros son 2400 – 2484 MHz, que son utilizadas por los estándares de radio 802.11b y 802.11g (correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 12,5 cm) y el estándar 802.11a, que opera a 5150 – 5850 MHz (correspondiente a longitudes de onda de alrededor de 5 a 6 cm).

2.2.2.5 Ancho de Banda

Un término que vamos a encontrar a menudo en la física de radio es *ancho de banda*. El ancho de banda es simplemente una medida de rango de frecuencia. Si un rango de 2400 MHz a 2480 MHz es usado por un dispositivo, entonces el ancho de banda sería 0,08 GHz (o más comúnmente 80MHz).

El término ancho de banda es a menudo utilizado por algo que deberíamos denominar tasa de transmisión de datos, como en “mi conexión a Internet tiene 1 Mbps de ancho de banda”, que significa que ésta puede transmitir datos a 1 megabit por segundo.

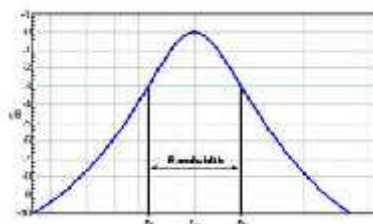


Figura 14. Ondas de Ancho de Banda¹²

¹¹ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo
¹² <http://viphone.blogspot.com/2011/05/leccion-7-curso-de-voip.html>

2.2.2.6 Frecuencias y canales

Miremos un poco más de cerca cómo se utiliza la banda 2,4 GHz en el estándar 802.11b. El espectro está dividido en partes iguales distribuidas sobre la banda en canales individuales. Note que los canales son de un ancho de 22 MHz, pero están separados sólo por 5 MHz. Esto significa que los canales adyacentes se superponen, y pueden interferir unos con otros. Esto es representado visualmente en la Figura 15.

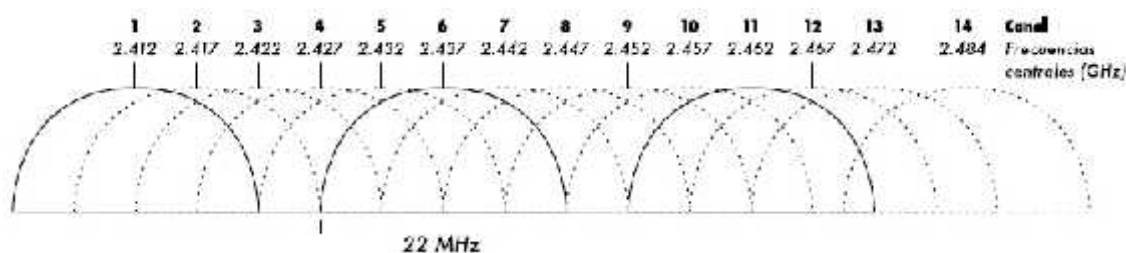


Figura 15. Canales y frecuencias centrales para 802.11b.¹³

Note que los canales 1, 6, y 11 no se superponen.

Las tablas II.VIII y II.IX listan los canales y frecuencias centrales de los principales estándares inalámbricos del 802.11.

802.11b/g: Cuenta con un máximo de 3 canales no solapados, con un rendimiento total de 33 Mbps. Operan en la banda ISM.

Tabla II.VIII. Asignación de Canales para el 802.11b/g

802.11 b/g	
Canal No.	Frecuencia
1	2.412 Ghz
2	2.417 Ghz
3	2.422 Ghz
4	2.427 Ghz
5	2.432 Ghz
6	2.437 Ghz
7	2.442 Ghz
8	2.447 Ghz
9	2.452 Ghz
10	2.457 Ghz
11	2.462 Ghz
12	2.467 Ghz
13	2.472 Ghz
14	2.484 Ghz
Fuente: Tomado del Apéndice B del libro de FLICKENGER Rob	

¹³ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

Un receptor de la red puede utilizar cualquiera de estos canales y puede saltar automáticamente de canal en canal si encuentra interferencias.

Tabla II.IX. Asignación de Canales para el 802.11a

802.11 a	
Canal No	Frecuencia
34	5.170 Ghz
36	5.180 Ghz
38	5.190 Ghz
40	5.200 Ghz
42	5.210 Ghz
44	5.220 Ghz
46	5.230 Ghz
48	5.240 Ghz
52	5.260 Ghz
56	5.280 Ghz
60	5.300 Ghz
64	5.320 Ghz
149	5.745 Ghz
153	5.765 Ghz
157	5.785 Ghz
161	5.805 Ghz
Fuente: Tomado del Apéndice B del libro de FLICKENGER Rob	

2.2.2.7 **Comportamiento de las ondas de radio**

Aquí hay algunas reglas simples que pueden ser de mucha ayuda cuando realizamos los primeros planes para una red inalámbrica:

- Cuanto más larga la longitud de onda, más lejos llega
- Cuanto más larga la longitud de onda, mejor viaja a través y alrededor de obstáculos
- Cuanto más corta la longitud de onda, puede transportar más datos

2.2.2.8 **Absorción**

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenúan, la cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y, por supuesto, del material. Para microondas, los dos materiales más absorbentes son:

Metal.- Los electrones pueden moverse libremente en los metales, y son capaces de oscilar y por lo tanto absorber la energía de una onda que los atraviesa.

Agua.- Las microondas provocan que las moléculas de agua se agiten, capturando algo de la energía de las ondas.

2.2.2.9 Reflexión

Al igual que la luz visible, las ondas de radio son reflejadas cuando entran en contacto con materiales que son apropiados para eso: para las ondas de radio, las principales fuentes de reflexión son el metal y las superficies de agua.

A 2,4 GHz, una rejilla metálica con separación de un cm (1 cm) entre sus elementos va a actuar igual que una placa de metal.

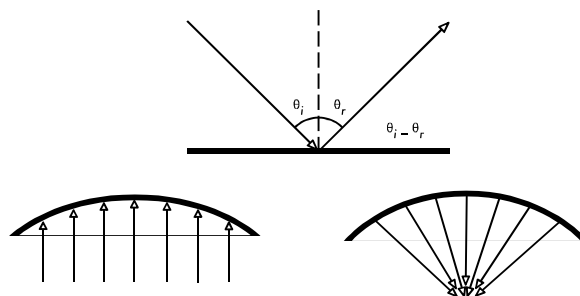


Figura 16. Reflexión de ondas de radio¹⁴

El ángulo de incidencia es siempre igual al ángulo de reflexión.

2.2.2.10 Difracción

Difracción es el comportamiento de las ondas cuando, al incidir en un objeto, dan la impresión de doblarse. Es el efecto de “ondas doblando las esquinas”.

El Principio de Huygens provee un modelo para comprender este comportamiento. Imagine que en un momento determinado, cada punto del frente de onda puede ser considerado como el punto de inicio de otra onda esférica (wavelet). Esta idea fue desarrollada más adelante por Fresnel, y si describe o no adecuadamente el fenómeno, todavía es tema de debate.

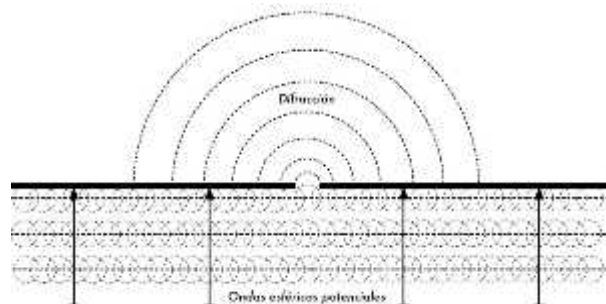


Figura 17. El Principio de Huygens.¹⁴

¹⁴ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando chocan contra paredes, picos de montañas y otros obstáculos. La obstrucción provoca que la onda cambie su dirección y doble en las esquinas.

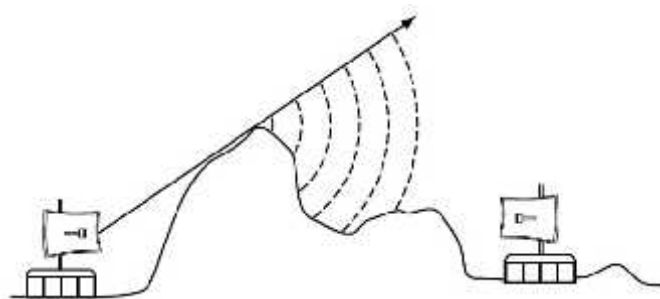


Figura 18. Difracción en la cima de una montaña.¹⁵

Tenga en cuenta que en la difracción se genera una pérdida de potencia.

2.2.2.11 Interferencia

Cuando trabajamos con ondas, uno más uno no es necesariamente igual a dos. Incluso puede resultar cero.

Para que los trenes de ondas se sumen o se cancelen perfectamente, tienen que tener exactamente la misma longitud de onda y una relación de fase fija; esto significa posiciones fijas desde el pico de una onda hasta las otras.

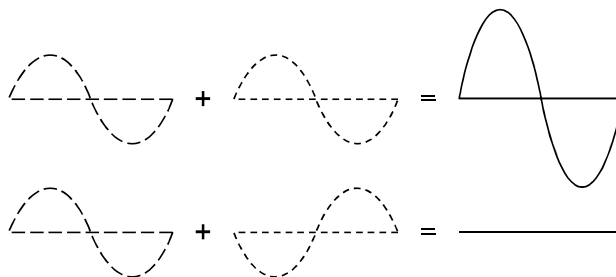


Figura 19. Interferencia constructiva y destructiva.¹⁵

En la tecnología inalámbrica, la palabra Interferencia es usada comúnmente en un sentido amplio, para disturbios desde otras fuentes RF (radio frecuencia). La interferencia es una de las fuentes de dificultades principales en el despliegue de enlaces inalámbricos, especialmente en ambientes urbanos, o en espacios cerrados donde muchas redes pueden competir por el uso del espectro.

¹⁵ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

2.2.2.12 Línea visual

El término línea visual, a menudo abreviada como LOS (Line of Sight), es fácil de comprender cuando hablamos acerca de la luz visible: si podemos ver un punto B desde un punto A donde estamos, tenemos línea visual. Dibuje simplemente una línea desde A a B, y si no hay nada en el camino, tenemos línea visual.



Figura 20. Línea de vista.¹⁶

Las cosas se ponen un poco más complicadas cuando estamos tratando con microondas. La luz tiene una longitud de onda de aproximadamente 0,5 micrómetros, las microondas usadas en las redes inalámbricas tienen una longitud de onda de unos pocos centímetros. Por consiguiente, los haces de microondas son más anchos, necesitan más espacio.

La línea visual que necesitamos para tener una conexión inalámbrica óptima desde A hasta B es más que simplemente una línea delgada y su forma es más bien la de un cigarro, una elipse. Su ancho puede ser descrito por medio del concepto de zonas de Fresnel.

2.2.2.13 Zona de Fresnel

La teoría exacta de las zonas de Fresnel es algo complicada. Sin embargo, el concepto es fácilmente entendible. La teoría de zona de Fresnel simplemente examina a la línea desde A hasta B y luego el espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto 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.

¹⁶ <http://bellsouthpwp.net/h/t/htsp/Linea%20de%20Vista.htm>

Tenga en cuenta que existen muchas zonas de Fresnel, pero a nosotros nos interesa principalmente la zona 1. Si esta fuera bloqueada por un obstáculo, como un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino lejano será atenuada.

Entonces, cuando planeamos enlaces inalámbricos, debemos asegurarnos de que esta zona va a estar libre de obstáculos. En la práctica, en redes inalámbricas nos conformamos con que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre.

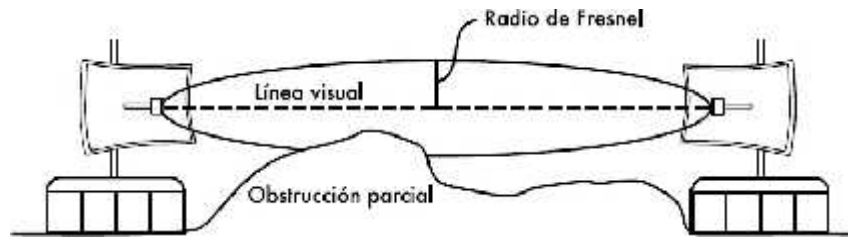


Figura 21. La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace, aunque la línea visual no está obstruida.¹⁷

Aquí hay una fórmula para calcular la primera zona de Fresnel:

$$r = 17.3 \sqrt{\frac{D_1 \times D_2}{F_{MHz} \times D}}$$

Ecuación 3

...donde r es el radio de la primera zona en metros, d1 y d2 son las distancias desde el obstáculo a los extremos del enlace en metros, d es la distancia total del enlace en metros, y f es la frecuencia en MHz. Note que esta fórmula calcula el radio de la zona. Para calcular la altura sobre el terreno, debe sustraer este resultado de una línea trazada directamente entre la cima de las dos torres.

Tabla II.X. Tabla para calcular la zona de Fresnel

Distancia entre las antenas (mts.)	Zonal de Fresnel (en kilómetros)	Distancia entre las antenas (mts.)	Zonal de Fresnel (en kilómetros)
1	3.9	11	17.9
2	5.6	12	19.4
3	7.1	13	21.0
4	8.4	14	22.7
5	9.7	15	24.4
6	11.0	16	26.2
7	12.3	17	28.0
8	13.6	18	29.9
9	15.0	19	31.9
10	16.4	20	34.0

Fuente: Tomado de la tesis de María Luisa Carrillo, ESPOCH

¹⁷ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

2.2.2.14 Potencia

Cualquier onda electromagnética contiene energía, o potencia y lo podemos sentir cuando disfrutamos (o sufrimos) del calor del sol. La potencia P es de una importancia clave para lograr que los enlaces inalámbricos funcionen: se necesita cierto mínimo de potencia para que el receptor le dé sentido a la señal.

El campo eléctrico se mide en V/m (diferencia de potencial por metro), la potencia contenida en él es proporcional al campo eléctrico al cuadrado.

$$P \sim E^2$$

Ecuación 4

Cálculo en dB

La técnica sin duda más importante para calcular la potencia es por decibeles (dB). No hay física nueva en esto, es solamente un método conveniente que hace que los cálculos sean muy simples. El decibel es una unidad sin dimensión, define la relación entre dos medidas de potencia.

$$dB = 10 * \text{Log} (P1 / P0)$$

Ecuación 5

...donde P1 y P0 pueden ser dos valores cualquiera que queramos comparar.

Normalmente, en nuestro caso, se tratará de potencia.

Algunos valores utilizados comúnmente que es importante recordar:

+3 dB = doble potencia

-3 dB = potencia media

+10 dB = orden de magnitud (10 veces la potencia)

-10 dB = un décimo de potencia

Además de los dBs adimensionales, hay cierto número de definiciones relacionadas que están basadas en una referencia P0 fija. Las más relevantes para nosotros son:

dBm relativo a P0 = 1 mW

dB*i* relativo a una antena isotrópica ideal

En la realidad el modelo isotrópico solo es útil para describir la ganancia de potencia relativa de una antena real.

Otra forma común (aunque menos conveniente) de expresar la potencia es en milivatios (milliwatts). Aquí hay algunas equivalencias de niveles de potencia expresadas en milliwatts y dBm:

1 mW	= 0 dBm
2 mW	= 3 dBm
100 mW	= 20 dBm
1 W	= 30 dBm

2.2.2.15 Modulación

Las señales producidas por diferentes fuentes, deben ser adecuadas para su transmisión por un determinado canal, este proceso de conversión se denomina modulación, en el cual la señal original se llama banda base (BB), y se modula con respecto a otra señal llamada portadora.

Existen varias técnicas de modulación digital en las cuales la señal portadora es alterada para transmitir la información, estas técnicas alteran la amplitud (ASK), la frecuencia (FSK) y fase (PSK) de la señal portador.

Otras técnicas combinan dos modulaciones como la QAM que combina la modulación de amplitud y fase sobre la señal portadora. Para sistemas microondas, las modulaciones más usadas son la PSK y la QAM, la modulación QAM se caracteriza por utilizar un menor ancho de banda sin embargo la PSK es más robusta y pueden obtener saltos más largos con menos potencia.

2.2.2.16 La física en el mundo real

Finalmente lo único que debe entender es que *para construir redes de comunicación confiables, se debe ser capaz de calcular cuánta potencia se necesita para cruzar una distancia dada, y predecir cómo van a viajar las ondas a lo largo del camino.*

2.2.3 ANTENAS Y LINEAS DE TRANSMISIÓN

Antes de hablar de antenas específicas, hay algunos términos que deben ser definidos y explicados muy brevemente:

2.2.3.1 Impedancia de entrada

Para una transferencia de energía eficiente, la impedancia del radio, la antena, y el cable de transmisión que las conecta debe ser la misma. Las antenas y sus líneas de transmisión generalmente están diseñadas para una impedancia de 50 Ω. Si la antena tiene una impedancia diferente a 50 Ω, hay una desadaptación y se necesita un circuito de acoplamiento de impedancia. Cuando alguno de estos componentes no tiene la misma impedancia, la eficiencia de transmisión se ve afectada.

2.2.3.2 Pérdida de retorno

La pérdida de retorno es otra forma de expresar la desadaptación. Es una medida logarítmica expresada en dB, que compara la potencia reflejada por la antena con la potencia con la cual la alimentamos desde la línea de transmisión. La relación entre SWR (Standing Wave Ratio - Razón de Onda Estacionaria) y la pérdida de retorno es la siguiente:

$$\text{Pérdida de Retorno (en dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{SWR}}{\text{SWR}-1}$$

Ecuación 6

Aunque siempre existe cierta cantidad de energía que va a ser reflejada hacia el sistema, una pérdida de retorno elevada implica un funcionamiento inaceptable de la antena.

2.2.3.3 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena se refiere al rango de frecuencias en el cual puede operar de forma correcta. Este ancho de banda es el número de hercios (Hz) para los cuales la antena va a tener una Razón de Onda Estacionaria (SWR) menor que 2:1.

El ancho de banda también puede ser descrito en términos de porcentaje de la frecuencia central de la banda:

$$\text{Ancho de Banda} = 100 \times \frac{FH - FL}{FC}$$

Ecuación 7

...donde FH es la frecuencia más alta en la banda, FL es la frecuencia más baja, y FC es la frecuencia central.

2.2.3.4 Directividad y Ganancia

La directividad es la habilidad de una antena de transmitir enfocando la energía en una dirección particular, o de recibirla de una dirección particular. Puesto que las antenas no crean energía, la potencia total irradiada es la misma que una antena isotrópica. Toda energía adicional radiada en las direcciones favorecidas es compensada por menos energía radiada en las otras direcciones.

Generalmente estamos interesados en la ganancia máxima, que es aquella en la dirección hacia la cual la antena está radiando la mayor potencia. Una ganancia de antena de 3dB comparada con una isotrópica debería ser escrita como 3dBi y la ganancia de una antena comparada con un dipolo debería ser escrita como 3dBd.

2.2.3.5 Diagramas o Patrones de Radiación

Los patrones o diagramas de radiación describen la intensidad relativa del campo radiado en varias direcciones desde la antena a una distancia constante. El patrón de radiación es también de recepción, porque describe las propiedades de recepción de la antena.

Para las medidas necesarias para confeccionar los diagramas es importante elegir una distancia suficientemente grande para estar en el campo lejano, más allá del campo cercano. La distancia mínima depende de las dimensiones de la antena con relación a la longitud de onda. La fórmula aceptada para esta distancia es:

$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda}$$

Ecuación 8

...donde r_{\min} es la distancia mínima desde la antena, d es la dimensión más grande de la antena, y λ es la longitud de onda.

2.2.3.6 Ancho del haz

El ancho del haz de una antena usualmente se entiende como ancho del haz a mitad de potencia. Se encuentra el pico de intensidad de radiación, luego se localizan los puntos de ambos lados del pico que representan la mitad de la potencia de intensidad del pico.

La distancia angular entre los puntos de mitad potencia se define como el ancho del haz. La mitad de la potencia expresada en decibeles es de -3dB, por lo tanto algunas veces el ancho del haz a mitad de potencia es referido como el ancho del haz a 3dB. Generalmente se consideran tanto el ancho de haz vertical como horizontal.

2.2.3.7 Lóbulos laterales

Ninguna antena es capaz de radiar toda la energía en una dirección preferida. Inevitablemente una parte de ella es radiada en otras direcciones. Esos picos más pequeños son denominados lóbulos laterales, especificados comúnmente en dB por debajo del lóbulo principal.

2.2.3.8 Nulos

En los diagramas de radiación de una antena, una zona nula es aquella en la cual la potencia efectivamente radiada está en un mínimo. Un nulo a menudo tiene un ángulo de directividad estrecho en comparación al haz principal. Los nulos son útiles para varios propósitos tales como la supresión de señales interferentes en una dirección dada.

2.2.3.9 Polarización

La polarización se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética. La polarización inicial de una onda de radio es determinada por la antena.

La radiación polarizada verticalmente se ve ligeramente menos afectada por las reflexiones en el camino de transmisión. Con la polarización horizontal, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida. En la polarización circular el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación, haciendo una vuelta completa para cada ciclo de RF.

La elección de la polarización es una de las elecciones de diseño disponibles para el diseñador del sistema de RF.

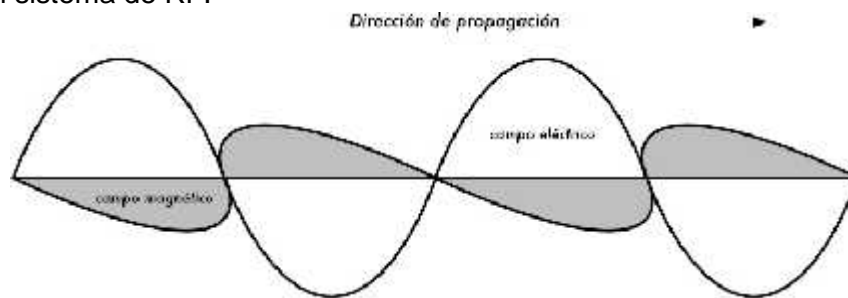


Figura 22. La onda senoidal eléctrica se mueve perpendicular a la onda magnética en la dirección de la propagación.¹⁸

Desadaptación de polarización

Para transferir la máxima potencia entre una antena transmisora y una receptora, ambas antenas deben tener la misma orientación espacial, el mismo sentido de polarización y el mismo coeficiente axial.

Cuando las antenas transmisora y receptora están polarizadas linealmente, una desalineación física entre ellas va a resultar en una pérdida por desadaptación de polarización, que puede ser determinada utilizando la siguiente fórmula:

$$Pérdida (dB) = 20 \log_{10} (\cos \theta)$$

Ecuación 9

¹⁸ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

... donde es la diferencia en el ángulo de alineación entre las dos antenas.

Resumiendo, cuanto más grande la desadaptación de polarización entre una antena transmisora y una receptora, más grande la pérdida aparente.

2.2.3.10 Relación de ganancia adelante/atrás

Es el cociente de la directividad máxima de una antena con relación a su directividad en la dirección opuesta. Por ejemplo, cuando se traza el patrón de radiación en una escala relativa en dB, la Relación de ganancia adelante/atrás es la diferencia en dB entre el nivel de radiación máxima en la dirección delantera y el nivel de radiación a 180 grados.

2.2.3.11 Tipos de antenas

Existen tres tipos de antenas que se pueden utilizar en las redes inalámbricas:

Directivas.- Orientan la señal en una dirección muy determinada con un haz estrecho pero de largo alcance.

Omnidireccionales.- Orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio pero de corto alcance.

Sectoriales.- Son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional.



Figura 23. Radio de cobertura¹⁹

¹⁹ www.elotrolado.net

2.2.4 TOPOLOGÍA Y DISEÑO DE REDES INALAMBRICAS

La topología física de red es muy importante para el adecuado funcionamiento de las redes de comunicaciones, existen varias configuraciones físicas, tales como.

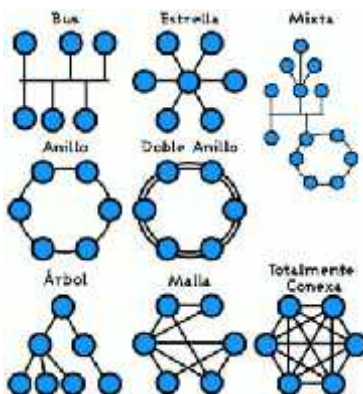


Figura 24. Topologías de Red.²⁰

El diseño de la red física dependerá de la naturaleza del problema que se esté tratando de resolver. Sea que deba llegar hasta una oficina en un edificio o extenderse a lo largo de muchos kilómetros, las redes inalámbricas se organizan naturalmente en estas tres configuraciones lógicas:

- Punto a Punto
- Punto a Multipunto
- Nubes Multipunto a Multipunto (ad hoc o mesh)

Si bien las diferentes partes de su red pueden aprovechar las tres configuraciones, los enlaces individuales van a estar dentro de una de esas topologías.

2.2.4.1 Punto a punto

Los enlaces punto a punto generalmente se usan para conectarse a Internet donde dicho acceso no está disponible de otra forma. Uno de los lados del enlace punto a punto estará conectado a Internet, mientras que el otro utiliza el enlace para acceder a ella.

Con antenas adecuadas y si existe Línea Visual, podemos realizar enlaces punto a punto seguros a más de cien Kilómetros.

²⁰ <http://lamanadainformatica.wordpress.com/topologias-de-redes/>

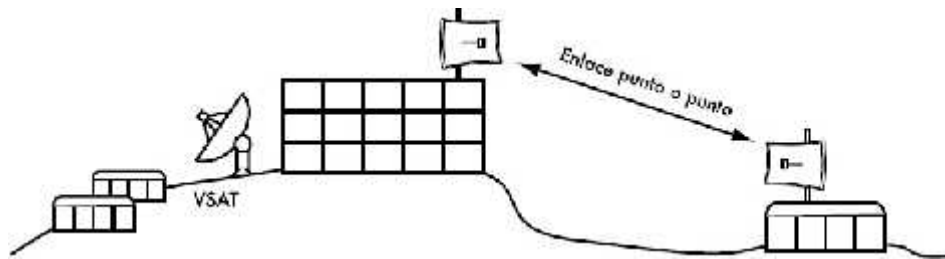


Figura 25. Enlace Punto a Punto.²¹

Una vez hecha una conexión punto a punto, se pueden añadir otras para extender aún más la red, pero a medida que la red crece se hace más difícil la coordinación, operación y administración de la red.

Los enlaces punto a punto no necesariamente tienen que estar relacionados con el acceso a Internet. Las redes inalámbricas pueden proveer suficiente ancho de banda como para transmitir grandes cantidades de datos (incluyendo audio y video) entre dos puntos, aún en ausencia de conexión a Internet.

2.2.4.2 Punto a multipunto

Este tipo de red es la más popular en donde varios clientes (nodos) están conectados a un punto de acceso central. Los enlaces punto Multipunto permiten establecer áreas de cobertura de gran capacidad para enlazar diferentes puntos remotos hacia una central para implementar redes de datos, voz y video.

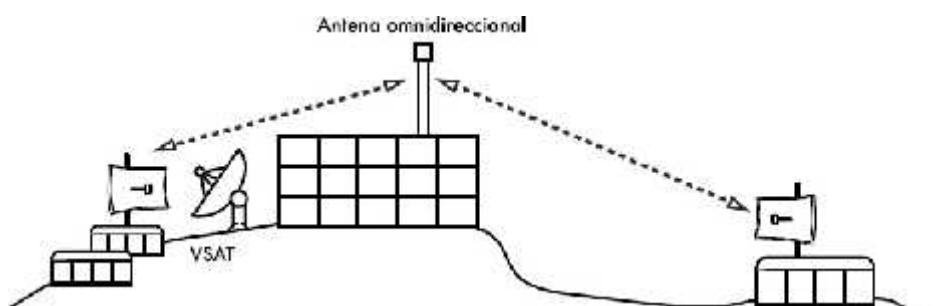


Figura 26. Enlace Punto a Multipunto²¹

Existen algunas limitaciones con el uso de enlaces punto a multipunto en distancias muy grandes que van a ser tratadas más adelante. Estos enlaces son útiles y posibles en muchas circunstancias.

²¹ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

2.2.4.3 *Multipunto a multipunto*

El último tipo de topología es el multipunto a multipunto, también denominado red ad hoc o en malla (mesh). En este tipo de red no existe una autoridad central, cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí.

El beneficio de este diseño de red es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí. Las buenas implementaciones de redes mesh son auto-reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen.

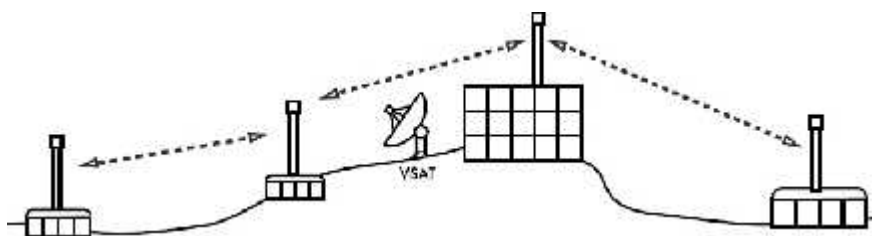


Figura 27. Enlace Multipunto a Multipunto.²²

Dos grandes desventajas de esta topología son el aumento de la complejidad y la disminución del rendimiento. La seguridad de esta red también es un tema importante, ya que todos los participantes pueden potencialmente transportar el tráfico de los demás.

2.2.4.4 *Usando la tecnología adecuada*

Todos estos diseños de redes pueden ser usados para complementarse unos con otros en una gran red. Es una práctica común, por ejemplo, **usar un enlace inalámbrico de larga distancia para proveer acceso a Internet a una ubicación remota, y luego armar un punto de acceso en ese lugar para proveer acceso local**. Uno de los clientes de este punto puede también actuar como nodo mesh, permitiendo que la red se difunda orgánicamente entre usuarios de computadoras portátiles quienes compartirán el enlace original de acceso a Internet punto a punto.

²² Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

2.2.5 INFRAESTRUCTURA FISICA PARA REDES INALAMBRICAS

2.2.5.1 Radio bases inalámbricas

Los radios de microondas emiten señales usando como medio de transmisión la atmósfera terrestre, entre transmisores y receptores, para una mejor emisión y recepción, estos se encuentran generalmente en la cima de torres a distancias de entre 25 y 50 metros.

Entre las marcas de equipos para radiocomunicaciones más utilizadas en el país y américa latina encontramos a: Mikrotik, Tranzeo, Lobometrics, ubiquiti, trango, deliberant, alvarion (Telmex), airspan (TvCable), etc. Las que podemos ver en el ANEXO III

2.2.5.2 Antenas

Toda radio base para su funcionamiento requiere de una antena que direcciona las señales radioeléctricas, varios equipos cuentan con antenas incorporadas mientras que otros necesitan de una antena externa para su funcionamiento.



Figura 28. Antenas direccionales, omnidireccionales y sectoriales²³

2.2.5.3 PoE

El Power Over Ethernet (PoE) es el encargado de alimentar con corriente continua a las radio bases para su funcionamiento, usa los hilos del cable Ethernet que no son utilizados para la alimentación del equipos.



Figura 29. PoE Power 20 W²³

²³ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

2.2.5.4 Torres

Todo equipo de microondas requiere de un sitio elevado o torres que le permitan tener un mayor alcance. El tipo y dimensión de una torre para telecomunicaciones va ligado fundamentalmente a:

- El sistema de comunicación a instalar
- El terreno disponible
- Tipo y cantidad de antenas a instalar
- Restricciones en la desplazabilidad de dichas antenas en función del sistema instalado.

Torres Autoportadas

Este tipo de torre se instala fundamentalmente cuando las limitaciones de terreno son importantes y/o cuando la cantidad y dimensiones de las antenas así lo obligan. Estas Torres pueden ser de base triangular o base cuadrada.

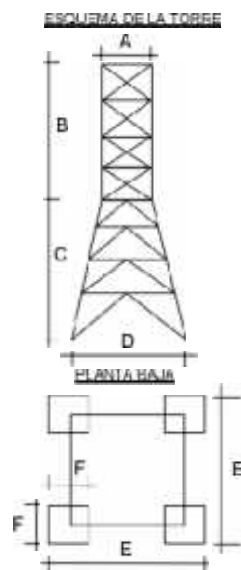


Figura 30. Torre Autoportada²⁴

Torres Venteadas

Son más económicas que las Autoportadas de la misma altura y se instalan cuando no hay limitaciones en el terreno; en general necesita un área que permita inscribir una circunferencia de radio aproximadamente igual a la mitad de la altura de la Torre.

²⁴ <http://neptuno-com.com/n/ptorresa.htm>

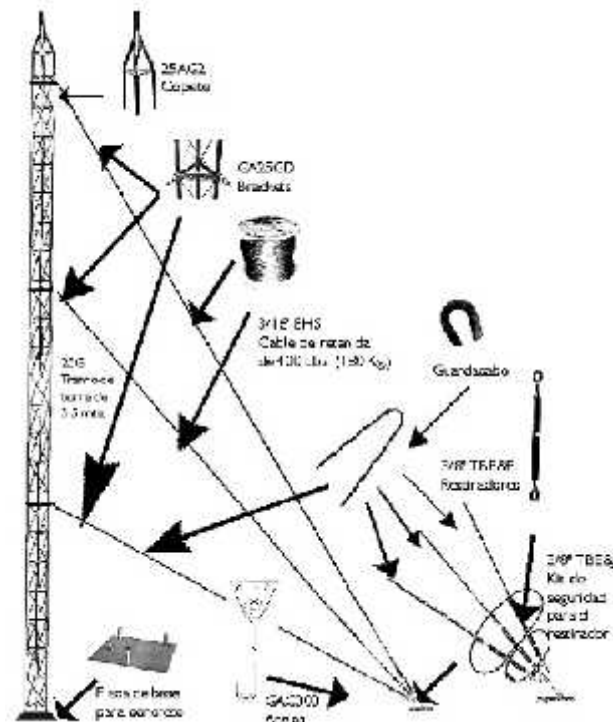


Figura 31. Torre Venteadas²⁵

Características generales

Todos los elementos de las torres son fabricados de acero estructural grado A-36 y sometidos luego a un galvanizado en caliente a fin de garantizar su resistencia a la corrosión.

El concreto armado de las fundiciones es diseñado con una resistencia a los 28 días de 210 Kg/cm² y acero de 4.200 Kg/cm² de esfuerzo cedente.

Las torres son montadas por tramos de 3 metros, pintadas con un fondo epóxico para superficies galvanizadas y luego pintadas con poliuretano en colores blanco y naranja, de acuerdo a la normas de aeronáutica civil.

2.2.5.5 Cableado

Este es un aspecto importante de su instalación ya que un cableado adecuado le va a asegurar una transferencia eficiente de energía. Algunos buenos hábitos que debería recordar en esta sección son:

²⁵ <http://www.preciolandia.com/co/torres-galvanizadas-y-radiocomunicacione-6n55ef-a.html#&panel1-2>

- Use un tornillo para asegurar el cable al borne de la batería. Las conexiones flojas ocasionan pérdidas de energía.
- Unte vaselina o jalea mineral a los bornes de la batería. La corrosión en las conexiones ocasionan aumento en la resistencia, por tanto, gasto de energía.
- Para corrientes bajas (< 10 A) considere usar conectores tipo Faston o Anderson. Para corrientes mayores, use terminales más robustos.

El tamaño de los cables usualmente se especifica en términos del American Wire Gauge (AWG). Para sus cálculos, se necesita convertir de AWG a mm² para calcular la resistencia del cable. Por ejemplo, un cable AWG # 6 tiene un diámetro de 4,11 mm y puede manejar hasta 55 A. La tabla completa se puede observar en el ANEXO IV.

2.2.5.6 Conectores y adaptadores

Por medio de los conectores el cable puede ser conectado a otro cable o a un componente de la cadena de RF. Hay una gran cantidad de adaptadores y conectores diseñados para concordar con diferentes tamaños y tipos de líneas coaxiales. Éstos pueden ser vistos en el ANEXO V.

Los conectores tipo N son los que se utilizan comúnmente en aplicaciones de microondas. Se fabrican para la mayoría de tipos de cable.

Los adaptadores coaxiales (o simplemente adaptadores), son conectores cortos usados para unir dos cables, o dos componentes que no se pueden conectar directamente. Por ejemplo un adaptador muy útil es el que permite unir dos conectores machos Tipo N, que tiene dos conectores hembra en ambos extremos.



Figura 32. Adaptador N hembra de barrilito²⁶

²⁶ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

PigTails

Un Pigtail o latiguillo es un cable que posee en cada extremo un conector que permite conectar un dispositivo wireless (punto de acceso, tarjeta PCMCIA, tarjeta PCI, etc.) a una antena wireless.

Las pérdidas por atenuación de la señal en un cable dependen de varios factores, como por ejemplo. Si el núcleo del cable es flexible/de hilos, de la distancia del cable, si tiene o no recubrimiento, del material conductor, aislante, etc.

Dependiendo del conector que tenga la antena que vamos a utilizar y del dispositivo al que pensemos conectarla tendremos que optar entre los diversos tipos de Pigtail.

Tabla II.XI. Perdidas en db/m según el tipo de cable

TIPO DE CABLE	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	PÉRDIDAS (dB/m)	IMPEDANCIA
RG8	10,29	0,39	50
RG59	6,15	0,51	75
RG142/RG400	4,95	0,59	50
RG58C	4,95	0,9	50
RG174	2,8	1,39	50
RG188	1,26	1,26	50
RG316	1,28	1,28	50
Fuente: Tesis de Klever Suqui Carchipulla, UPS			

Para la elección del conector más apropiado podemos seguir los consejos descritos en el ANEXO V.

2.2.5.7 Protección profesional contra rayos

La única amenaza natural del equipamiento inalámbrico son los rayos eléctricos. Hay dos formas diferentes mediante las cuales un rayo puede dañar el equipo: con un impacto directo o por inducción.

Los impactos directos son cuando el rayo realmente alcanza la torre o la antena y el impacto inducido se producen cuando el rayo cae cerca de la torre.

Se debe enterrar una jabalina, y conectarla también a la torre en el mismo punto.



Figura 33. Torre con un cable de cobre grueso conectado a tierra²⁷

Se coloca un alambre de tierra trenzado desde la base de la torre hasta la cima. La cima de la torre debe tener una jabalina pararrayos, terminada en punta. Cuanto más fina y aguda sea la punta, más efectivo será el pararrayos. La solución anterior detalla la instalación de un sistema básico de tierra.

2.2.5.8 Paneles solares

La energía solar, es la producida por el sol, y que es convertida a energía útil, por la mano del hombre. En la actualidad la energía solar, es una de las energía renovables más explotadas por el hombre, junto a la energía eólica.

En las telecomunicaciones, los paneles solares son esenciales para mejorar la calidad de vida de las personas que viven en zonas rurales, con las aplicaciones de la energía solar, proporcionan una solución rentable a éste problema, con el desarrollo de estaciones repetidoras con frecuencia en áreas remotas.

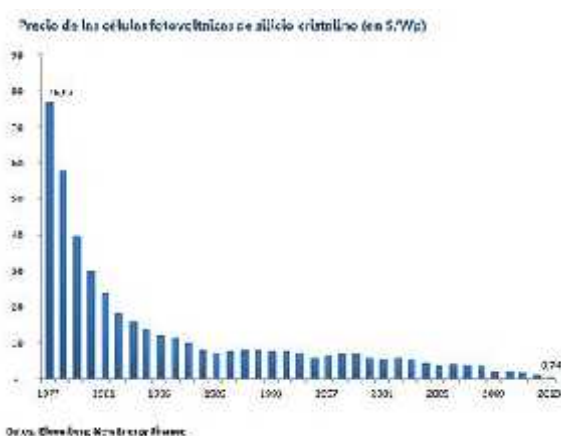


Figura 34. Paneles solares montados en la torre y costos²⁸

²⁷ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

²⁸ Fuente: Bloomberg New Energy Finance y Wikipedia

2.2.5.9 Orientación de los paneles

La mayor parte de la energía que proviene del sol llega en línea recta. El módulo solar captará más energía si está “de cara” al sol, perpendicular a la línea recta entre la posición de la instalación y el sol. Obviamente, la posición del sol está cambiando constantemente con relación a la tierra, así que necesitamos encontrar la posición óptima para nuestros paneles.

La orientación de los mismos está determinada por dos ángulos, el azimut, a y la inclinación o elevación, β . El azimut es el ángulo que mide la desviación con respecto al sur en el hemisferio norte, y con respecto al norte, en el hemisferio sur. La inclinación es el ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal.

Azimut

El módulo debe orientarse hacia el ecuador terrestre (hacia el sur, en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur) de manera que durante el día el panel atrape la mayor cantidad de radiación ($a = 0$).

Examine los elementos que rodean el banco de paneles (árboles, edificios, paredes, otros paneles, etc.) para asegurarse de que no hagan sombra a sus paneles en ningún momento del día o del año. Es aceptable girar los paneles $\pm 20^\circ$ hacia el este o hacia el oeste si se necesita ($a = \pm 20^\circ$).

Inclinación

Una vez que se fija el azimut, el parámetro clave para nuestro cálculo es la inclinación del panel, que expresaremos como el ángulo beta (β). La altura máxima que el sol alcanza cada día va a variar, con un máximo, el día de solsticio de verano y un mínimo, el día del solsticio de invierno. Idealmente, los paneles deberían rastrear esta variación, sin embargo, esto no siempre es posible por razones de costo.

2.2.6 UBICACIÓN DEL ENLACE

2.2.6.1 La Provincia de Morona Santiago

La provincia de Morona Santiago está ubicada en la zona Centro-Sur de la Región Amazónica del Ecuador, tiene una superficie aproximada de 25.690 Km² y una población de 147.940 habitantes, los límites Provinciales son: Al Norte las Provincias de Pastaza y Tungurahua, al Sur la Provincia de Zamora Chinchipe y la línea del Protocolo de Río de Janeiro de 1942, Al Este la Línea del Protocolo de Río de Janeiro de 1942 y al Oeste, las Provincias del Azuay, Chimborazo y Cañar.

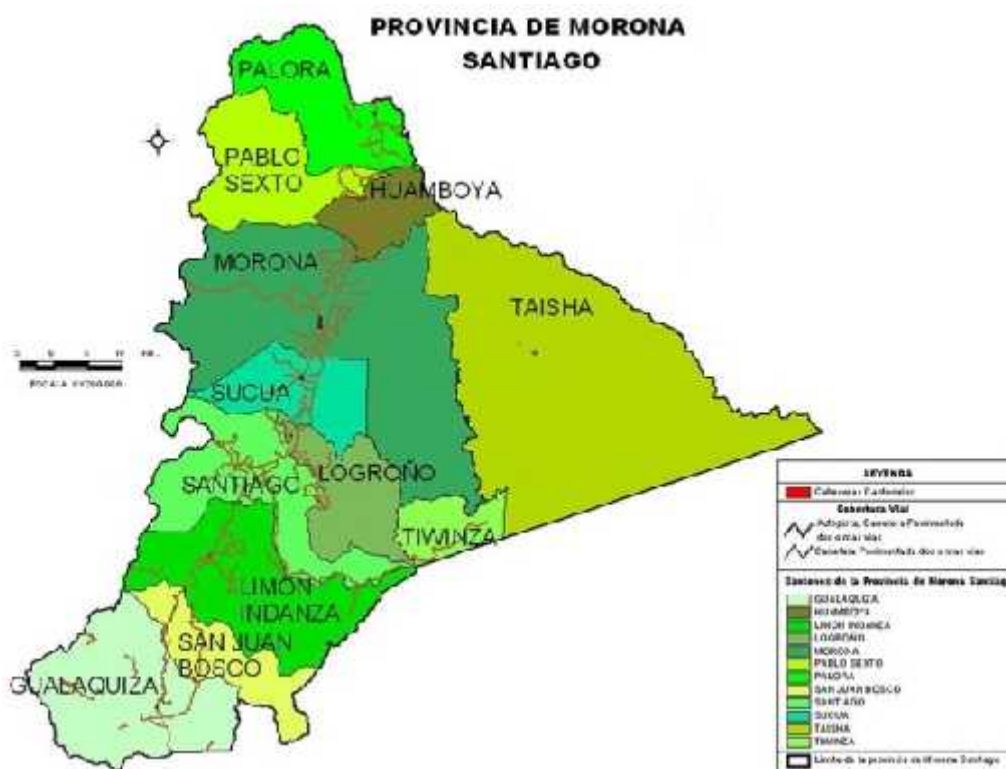


Figura 35. Cantones de la Provincia de Morona Santiago²⁹

La provincia cuenta con los cantones: Gualaquiza, Gral. Leonidas Plaza (Limón Indanza), Palora, Santiago, Huamboya, San Juan Bosco, Pablo Sexto, Tiwintza, Logroño, Taisha y sus cantones centrales Sucúa y Morona, en este último se encuentra ubicada la cabecera cantonal Macas la cual es además la capital de la provincia. En la provincia de Morona Santiago habitan las nacionalidades Shuar y Achuar, cuya lengua es el Shuar Chicham.

²⁹ Gobierno Provincial de Morona Santiago

2.2.6.2 Parroquias Rurales del Centro de Morona Santiago

En los cantones centrales de Sucúa y Morona se cuenta con 13 parroquias ubicadas como se muestra en los gráficos siguientes:



Figura 36. Parroquias del cantón central Morona³⁰



Figura 37. Parroquias del cantón central Sucúa³⁰

2.2.6.3 Condiciones Demográficas:

La población de Morona Santiago, en el 80%, es producto de la colonización de las provincias de Chimborazo, Cañar y Azuay. En las zonas urbanas de la provincia el fenómeno migratorio ha generado un crecimiento vertiginoso de la población, que representa una tasa del 1,69% anual, que la convierte, después de Napo, en la de mayor población de la Amazonia. En la zona Trans-Cutucú se encuentra el mayor asentamiento shuar, cuyo idioma nativo es el atshuara.

³⁰ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

2.2.6.4 Densidad poblacional:

El índice de densidad poblacional en la provincia es de 5.75 habitantes por kilómetro cuadrado (147.940 habitantes / 25.690 Km²), uno de los más bajos a nivel nacional.

2.2.6.5 Clima:

Las mesetas y valles de exuberante vegetación determinan pisos climáticos diferentes con temperaturas de entre 18° y 23° C, es decir, de clima tropical y subtropical.

2.2.6.6 Orografía:

La Cordillera Central de Los Andes es la más alta y está situada al Oeste de la provincia; de ella se desprenden grandes ramales o pequeñas cordilleras como las de Condorazo, Huamboya, Cruzado y Patococha; en este sistema montañoso las elevaciones de mayor altura son El Altar (5.319 m), El Ubillín, el volcán Sangay, uno de los más activos del mundo (5.230 m) y el nevado Ayapungo (4.699m).

2.2.6.7 Hidrografía:

Los sistemas hidrográficos más importantes corresponden a los ríos Morona, Santiago, Palora, Chiguaza, Macuma, Yau-pi, Upano. Todos estos ríos desembocan en el Amazonas.

2.2.6.8 Recursos Naturales:

Agricultura, ganadería, minerales y madera.

2.2.6.9 Industrias:

La provincia de Morona Santiago no ha desarrollado ningún otro tipo de industria aparte de la manufacturera y la del té. Esta realidad obedece a la falta de recursos.

2.2.6.10 Comercio:

Ganado, maíz, fréjol seco, yuca, papa china, hortalizas, frutas, café, cacao, tabaco y bebidas.

2.3 CONCEPTUALIZACIÓN

2.3.1 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS APLICABLES

De la revisión literaria de las tecnologías inalámbricas se desprende la necesidad de determinar cuál de todas las tecnologías inalámbricas mencionadas pueden ser aplicadas inicialmente a los sectores rurales y posteriormente al sector rural centro de Morona Santiago.

Por lo que se plantea el primer análisis comparativo que permita determinar cuál de las tecnologías inalámbricas se analizará más profundamente, evitando así el desperdicio de recursos. Para ellos se ha utilizado la siguiente ponderación:

Malo o No existe : **Valor de 0**

Bueno : **Valor de 1**

Muy Bueno : **Valor de 2**

En la tabla II.XII se muestra las principales características de cada uno de los estándares de una manera cualitativa, con la finalidad de determinar que tecnologías inalámbricas podrían ser utilizadas.

Tabla II.XII. Ponderación de las características de los estándares³¹

	INTERFERENCIA	ANCHO DE BANDA	VELOCIDAD	FACILIDAD	SEGURIDAD	MOVILIDAD	CONSUMO	ALCANCE	COSTO	CONECT RURAL	TOTAL
WI-FI	2	1	1	2	1	0	2	1	2	2	14
WIMAX	1	2	2	2	2	1	1	2	0	2	15
MBWA	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	5
WRAN	2	2	0	1	1	1	1	2	1	2	13
SATELITAL	1	1	0	0	0	0	0	2	0	2	6

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Se puede observar que en primera instancia los principales estándares aplicables a nuestro caso de estudio son WI-FI, WIMAX y WRAN ya que obtienen el mayor puntaje, por lo que de aquí en adelante se enfocará los esfuerzos en determinar cuál de ellas es la mejor tecnología inalámbrica aplicable al sector de interés y que nos permita presentar un diseño de red de comunicaciones que mejore la red actual en la zona.

³¹ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

2.3.2 FACTIBILIDAD DE ENLACE

Un sistema básico de comunicación comprende dos radios, cada uno con su antena asociada, separados por la trayectoria que se va a cubrir. Para tener una comunicación entre ambos, los radios requieren que la señal proveniente de la antena tenga una potencia por encima de cierto mínimo. El proceso de determinar si el enlace es viable se denomina cálculo del presupuesto de potencia.

2.3.2.1 Cálculo del presupuesto del enlace

Para calcular el presupuesto del enlace será necesario determinar los siguientes factores importantes:

Potencia de Transmisión.- Se expresa en milivatios, o en dBm. La Potencia de Transmisión tiene un rango de 30 mW a 600 mW, o más.

Ganancia de las Antenas.- Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física.

Nivel de Señal Recibida o sensibilidad del receptor.- El RSL (por su sigla en inglés) mínimo es expresado siempre como dBm negativos (-dBm) y es el nivel más bajo de señal que la red inalámbrica puede distinguir. El mínimo va a ser generalmente en el rango de -75 a -95 dBm.

Pérdidas en los Cables.- Es la energía de la señal que se pierde en los cables, conectores y otros dispositivos entre los radios y las antenas. La pérdida de señal para cables coaxiales cortos incluyendo los conectores es bastante baja, del rango de 2-3 dB, en los árboles suman de 10 a 20 dB de pérdida por cada uno que esté en el camino directo, mientras que las paredes contribuyen de 10 a 15 dB dependiendo del tipo de construcción.

Multitrayectoria, desvanecimiento o dispersión.- Cuando se combinan pérdida en el espacio libre, atenuación y dispersión, la pérdida en el camino es:

$$L (dB) = 40 + 10*n*log (r) + L (permitida)$$

Ecuación 10

En el exterior con árboles se puede utilizar un exponente n de 3, mientras que en el caso de un medio ambiente interno puede usarse uno de 4.

De hecho para realizar una estimación muy aproximada de la viabilidad del enlace, se puede considerar solamente la pérdida en el espacio libre y el factor medio ambiente.

Cálculo del enlace factible.- Se debe conocer las características del equipamiento que estamos utilizando y evaluar la pérdida en el trayecto. Sumar todas las ganancias y restar las pérdidas.

Si el nivel de señal resultante es mayor que el nivel mínimo de señal recibido, entonces ¡el enlace es viable! La señal recibida es lo suficientemente potente como para que los radios la utilicen.

Se debe considerar un margen de señal por encima de la sensibilidad del radio que debe ser recibida para asegurar un enlace estable y de buena calidad durante malas situaciones climáticas y otras anomalías atmosféricas. Un margen de 10-15 dB está bien. Para brindar algo de espacio para la atenuación y la multitrayectoria en la señal de radio recibida, se debe tener un margen de 20 dB.

2.3.2.2 Capacidad del enlace

A fin de tener una estimación clara de la capacidad que deben soportar tanto el enlace principal como los enlaces secundarios, es necesario realizar un cálculo que permita determinar la cantidad de tráfico que debe transportar cada enlace.

De manera simplificada, se asume que el ancho de banda total se divide en una serie de canales discretos de ancho de banda B_n bps, y que cada uno de estos canales es asignado a un usuario. Sobre estos canales, el usuario podrá cursar tráfico de voz sobre IP, navegación web, correo electrónico, o cualquier otro servicio que desee.

En primer lugar, será necesario calcular el número de canales necesarios para soportar el tráfico generado. Para ello, asumiendo que en la hora cargada un número N_u de usuarios ocupará cada uno un canal de B_n bps durante un tiempo T_n , el tráfico en Erlangs ofrecido a la red se puede calcular como.

$$A = N_u \cdot T_n / 3600 \quad (1)$$

Ecuación 11

Con este tráfico, asumiendo que queremos una probabilidad de bloqueo P_b de que un usuario no encuentre un canal cuando va a utilizarlo, el número de canales necesarios se calcula utilizando la fórmula de Erlang-B inversa,

$$B^{-1}(P_b, A) = N \quad (2)$$

Ecuación 12

Para facilitar los cálculos de esta función es posible utilizar tablas que representan el tráfico soportado por un enlace para una determinada probabilidad de bloqueo y un número de canales dados, tal y como se observa en la Tabla II.XV. Para realizar los cálculos de ancho de banda total (capacidad del enlace, C_{enlace}), basta con multiplicar el número de canales obtenido en (2) por el ancho de banda asignado a cada canal, B_n , es decir

$$C_{enlace} = N \cdot B_n \quad (3)$$

Ecuación 13

En los enlaces secundarios y en los primarios todos los tráficos así calculados se agregarán. Para simplificar de nuevo el cálculo, sobredimensionamos dichos enlaces asumiendo que los tráficos se suman, es decir, la capacidad requerida en un enlace será la suma de las capacidades de los enlaces subordinados a él.

Nótese que el planteamiento del problema utilizado en esta sección es una simplificación de los cálculos exactos, pero que en cualquier caso representan un sobredimensionamiento de los enlaces, por lo que estaríamos planificando los mismos para el peor caso.

Tabla II.XIII. Tabla de Erlang B³²

NB	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	2.933	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	4.851	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
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44

2.3.3 ¿QUÉ ANTENAS DEBEMOS INSTALAR?

Las antenas direccionales se suelen utilizar para unir dos puntos a largas distancias mientras que las antenas omnidireccionales se suelen utilizar para dar señal extensa en los alrededores. Las antenas sectoriales se suelen utilizar cuando se necesita un balance de las dos cosas, es decir, llegar a largas distancias y a la vez, a un área extensa.

Si necesita dar cobertura de red inalámbrica en toda un área próxima (una planta de un edificio o un parque por ejemplo) lo más probable es que utilice una antena omnidireccional. Si tiene que dar cobertura de red inalámbrica en un punto muy concreto (por ejemplo un PC que está bastante lejos) utilizará una antena direccional, finalmente, si necesita dar cobertura amplia y a la vez a larga distancia, utilizará antenas sectoriales.

El clima y el terreno son los factores a considerar antes de instalar un sistema de microondas. Como por ejemplo, en lugares donde llueva mucho; deberá usarse radios con frecuencias bajas (es decir menores a 10 GHz). Las consideraciones en terreno incluyen la ausencia de montañas o grandes cuerpos de agua las cuales pueden ocasionar reflexiones de multi-trayectorias.

³² Tomado del proyecto de fin de Master de Danilo Corral De Witt

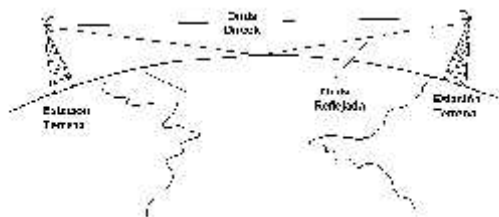


Figura 38. Línea de vista³³

Es claro entonces que, para el desarrollo de nuestro proyecto que tiene como propósito interconectar redes inalámbricas en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, debemos considerar como **la mejor alternativa una antena direccional con polarización vertical**.

2.3.4 DEMOGRAFÍA Y PENETRACIÓN DE INTERNET

2.3.4.1 Población Urbana y Rural

En el Ecuador según el último censo realizado por el INEC en el año 2010, somos 14'483.499 habitantes, distribuidos por región de la siguiente manera:

Tabla II.XIV. Población del Ecuador por región

	URBANO	RURAL	HABITANTES	% URBANO	% RURAL
COSTA	5.439.188	2.165.647	7.604.835	71,52%	28,48%
SIERRA	3.343.710	2.737.632	6.081.342	54,98%	45,02%
AMAZONÍA	287.150	485.048	772.198	37,19%	62,81%
INSULAR	20.738	4.386	25.124	82,54%	17,46%
TOTAL	9.090.786	5.392.713	14.483.499	62,77%	37,23%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

La población en la provincia de Morona Santiago se encuentra distribuida de la siguiente manera:

Tabla. II.XV. Población en Morona Santiago

MORONA	POBLACION	PORCENTAJE
Área Urbana	49.659	33,57%
Área Rural	98.281	66,43%
TOTAL	147.940	100,00%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo B.

En los cantones centricos (Morona y Sucua) de Morona Santiago, en donde se desea llevar a cabo la investigación, la población urbana y rural se encuentra distribuida así:

³³ <http://www.eveliux.com/mx/microondas-terrestre.php>

Tabla II.XVI. Población en los cantones de Morona y Sucúa

CANTON	PARROQUIA	URBANO	RURAL
MORONA	MACAS	18.984	192
	ALSHI/9 DE OCTUBRE	0	425
	GRAL. PROAÑO	0	2.590
	SAN ISIDRO	0	785
	SEVILLA DON BOSCO	0	13.413
	SINAI	0	766
	ZUÑAC	0	223
	CUCHAENTZA	0	1.785
	RIO BLANCO	0	1.992
SUCUA	SUCUA	7.805	4.814
	ASUNCION	0	1.903
	HUAMBI	0	2.891
	STA. MARIANITA	0	905
TOTAL		26.789	32.684
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo B.	

2.3.4.2 Penetración de Internet

En el Ecuador el índice de penetración de internet según el INEC para el año 2011 es del 16.86%, así:

Tabla II.XVII. Disponibilidad de internet en el Ecuador

ACCESO A INTERNET	SI TIENE	NO TIENE	% DE PENETRACION
AÑO 2008	242.816	3.203.467	7,05%
AÑO 2009	268.557	3.240.404	7,65%
AÑO 2010	496.477	3.314.071	13,03%
AÑO 2011	653.233	3.221.050	16,86%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo B.	

En la provincia de Morona Santiago el panorama no se aleja de la situación nacional, siendo aún más crítica ya que apenas el 10.82% de los hogares tiene acceso a internet como se muestra:

Tabla II.XVIII. Disponibilidad de internet en Morona Santiago

ACCESO A INTERNET	SI TIENE	NO TIENE	% DE PENETRACION
AÑO 2008	1.251	28.658	4,18%
AÑO 2009	776	31.518	2,40%
AÑO 2010	546	31.439	1,71%
AÑO 2011	3.305	27.230	10,82%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat	

La situación en Morona Santiago se agrava si analizamos solo los datos del sector rural, ya que el acceso al internet en estas zonas no superan el 4%, siendo así:

Tabla II.XIX. Disponibilidad de internet en el sector rural de Morona Santiago

ACCESO A INTERNET	SI TIENE	NO TIENE	% DE PENETRACION
AÑO 2008	291	19.034	1,51%
AÑO 2009	154	21.215	0,72%
AÑO 2010	105	22.477	0,46%
AÑO 2011	625	18.516	3,27%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo B.	

Si bien en estos últimos años en la provincia de Morona Santiago habido un crecimiento en el índice de disponibilidad de internet, se puede observar que el crecimiento ha sido prácticamente solo en la zona urbana y muy poco en la zona rural.

En los cantones centrales (Morona y Sucua) de la provincia de Morona Santiago el comportamiento es muy similar, con el último censo realizado por el INEC podemos saber exactamente cuantas familias de cada parroquia de nuestro interés cuentan con acceso a internet en sus hogares, el resultado es el siguiente:

Tabla II.XX. Disponibilidad de internet en el sector rural de Morona Santiago

CANTON	PARROQUIA	SI TIENE	NO TIENE	TOTAL	% PENETRACION
MORONA	MACAS	595	4529	5124	11,61%
	ALSHI / 9 DE OCTUBRE	5	104	109	4,59%
	GRAL. PROAÑO	22	621	643	3,42%
	SAN ISIDRO	3	202	205	1,46%
	SEVILLA DON BOSCO	34	2595	2629	1,29%
	SINAI	0	189	189	0,00%
	ZUÑAC	0	54	54	0,00%
	CUCHAENTZA	3	358	361	0,83%
	RIO BLANCO	7	474	481	1,46%
SUCUA	SUCUA	203	2809	3012	6,74%
	ASUNCION	2	382	384	0,52%
	HUAMBI	11	660	671	1,64%
	STA. MARIANITA	3	220	223	1,35%
TOTAL		888	13.197	14.085	6,30%
Fuente: INEC		Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat.			

Finalmente sabemos entonces que en el sector centro de la provincia de Morona Santiago el **índice de penetración de internet es de apenas el 6.3%**, lo que nos muestra la importancia de desarrollar éste proyecto en la zona.

2.3.5 DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA

La información sobre la infraestructura de telecomunicaciones existente en el Ecuador se ha obtenido de las diferentes entidades de control, de proveedores y de los demás actores que participan en el mercado de las telecomunicaciones, ésto ha permitido geolocalizar la infraestructura en el SIG y conocer datos técnicos como altura de torres, disponibilidad de energía eléctrica, obra civil y otros de interés para el diseño.

Para organizar la información de los repetidores de la REP (Red de Entidades Públicas), se ha dividido al territorio ecuatoriano en cinco zonas tal como se muestra:

- **Frontera Norte.-** Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos
- **Costa Central.-** Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Guayas y Santa Elena.
- **Sierra Central.-** Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar y Azuay.
- **Centro Oriente.-** Napo, Orellana, Pastaza y Morona Santiago.
- **Frontera Sur.-** El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.

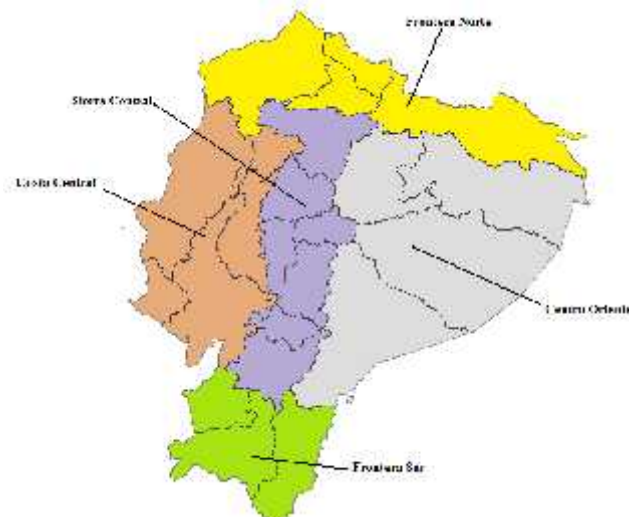


Figura 39. Distribución de zonas para levantamiento de repetidores³⁴

Como resultado de este levantamiento de información se ha elaborado un listado de los Repetidores de la REP. El detalle de la información recopilada, ha sido recogido en el ANEXO VI.

³⁴ Tomado del proyecto de fin de Master de Danilo Corral De Witt

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación a realizarse es una investigación **Experimental**, ya que se ha manipulado la variable experimental no comprobada en condiciones rigurosamente controladas con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce un acontecimiento o comportamiento, es decir:

Se ha manipulado la variable independiente “diseño de red inalámbrica eficiente” con el fin de describir y medir como “mejorar el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago” (variable dependiente); realizando una comparación entre el estado actual de las redes de comunicaciones en la zona versus la nueva propuesta de interconexión para el sector, observando los resultados obtenidos en un ambiente de simulación.

Los datos más importantes se obtendrán del software de comunicaciones denominado “Radio Mobile”, el cual nos permitirá calcular el presupuesto del enlace, infraestructura, topología, y la ubicación de los enlaces; sin embargo se deberá hacer una verificación de los sitios mismo para comprobar la factibilidad de acceso a los sitios de repetición y puntos finales, de la energía eléctrica, infraestructura, seguridad, etc., y así determinar que el diseño de la red de comunicaciones propuesto podrá ser implementado sin ningún inconveniente, permitiendo finalmente interconectar las parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago mejorando el acceso a las nuevas tecnologías de la información.

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al análisis se considera que el estudio a realizarse es una investigación de los siguientes tipos:

- **APLICATIVA:** Esta investigación es aplicativa ya que está dirigida al desarrollo tecnológico, aporte de la base del conocimiento de redes, al establecimiento de un nuevo sistema de comunicaciones y a la mejora de los servicios tecnológicos en Morona Santiago.
- **EXPLORATORIA:** Es exploratoria porque se analiza las comunicaciones en una zona poco estudiada como las parroquias de los cantones de Morona y Sucúa en la provincia de Morona Santiago, con poca literatura al respecto y con la posibilidad de la implementación de la red en cualquier momento.
- **DESCRIPTIVA:** Nos permite analizar la red de comunicaciones en dos instantes distintos como son el antes y el después, y utilizando medios estadísticos permite representar la situación en el sector rural centro de Morona Santiago.
- **DE CAMPO:** Se ha observado los elementos más importantes para el diseño de la nueva red de comunicaciones tanto en los sitios de repetición como en los puntos finales, la investigación de campo nos permitió captar los fenómenos a primera vista.

Evidentemente ésta investigación es *aplicativa* ya que los resultados obtenidos de la investigación permitirá mejorar el diseño de la red de comunicaciones existente en la zona, *exploratoria* porque existe poca literatura sobre redes en el sector rural centro de Morona Santiago, *descriptiva* ya que se presentarán los resultados de forma estadística y *de campo* porque observaremos los resultados tanto en un ambiente de simulación como en el sitio mismo.

3.4 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.4.1 MÉTODOS

Para el presente proyecto se utilizará los distintos métodos de investigación:

- **CIENTÍFICO:** Se utilizará este método ya que las ideas, conceptos, y teorías expuestas en ésta tesis son verificables, además servirán para recopilar la información necesaria y encontrar la tecnología inalámbrica más apropiada para el diseño de las redes.
- **DEDUCTIVO:** Debido a que, el diseño de la nueva red inalámbrica de comunicaciones se basa en una investigación en ambiente de simulación, se determinará el mejor diseño de red en base a las prestaciones, la eficiencia de la red y un adecuado análisis costo beneficio.
- **COMPARATIVO:** Ya que se debe comparar entre las tecnologías inalámbricas existentes para determinar el mejor diseño aplicable a la zona, y que además se comparará entre el diseño de la red actual versus la propuesta esta investigación es netamente comparativa.
- **ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS:** Que nos sirvan como base para crear una metodología específica para implementación de nuevos modelos de redes inalámbricas en los sectores rurales de la Amazonía.
- **SELECCIÓN NO ALEATORIA CON MUESTREO INTENCIONAL:** Nos permitirá escoger, según los objetivos, ámbito de acción, herramientas utilizadas, parámetros de medición los elementos que formarán las muestras a analizar, considerando aquellas unidades “típicas” de la población que será aplicado al estudio.
- **MÉTODOS PARA LA COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS:** Para comparar entre el estado actual y el futuro, se usará el método estadístico “t de student.”

3.4.2 TÉCNICAS

Además se utilizará ciertas técnicas, entre ellas están:

- Observación directa
 - Análisis
 - Comparación
 - Razonamiento
- Encuestas
 - Recopilación de información.
 - Estadísticas
- Simulación

3.4.2.1 *Observación directa*

- Con esta técnica se observaron los distintos fenómenos para el diseño de la nueva red de comunicaciones, se tomó la información y se la registró en tablas para su posterior análisis.
- De la observación se obtuvo información importante para esta investigación.

3.4.2.2 *Encuestas*

- La **encuesta** realizada es un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a los pobladores de las distintas parroquias inmersas en la investigación, con el fin de conocer la opinión sobre las redes actuales.
- Para obtener los servicios que se desean implementar se realizó encuestas a las personas que viven en las zonas rurales en donde se desea llegar con las TIC's

3.4.2.3 *Simulación*

- A través del software Radio Mobile se podrá recrear un ambiente real para realizar las distintas pruebas de campo en los escenarios de internexión, minimizando el margen de error cometido en los cálculos manuales.
- Nos permitirá simular los escenarios de cada uno de los enlaces inalámbricos.

3.4.3 INSTRUMENTOS

- Fichas técnicas
- Herramienta de software
- Textos, revistas, documentos, Internet y otros

3.4.3.1 Fichas Técnicas

Las fichas técnicas se utilizan para mostrar los resultados de cada uno de los enlaces en la nueva red, de acuerdo al análisis de la investigación, utilizando ambientes de prueba de donde se obtuvo la información.

3.4.3.2 Herramientas de Software

El software permite obtener la información digitalizada de los principales parámetros para el sistema de comunicaciones además permite realizar un adecuado análisis de los indicadores del sistema. Para el levantamiento de esta información se utilizaron:

Software Radio Mobile

Es una herramienta para el diseño y simulación de sistemas inalámbricos. Predice las prestaciones de radio enlaces utilizando información acerca del equipamiento y un mapa digital del área. Es un software de dominio público que funciona con Windows, pero puede utilizarse en Linux con el emulador Wine.

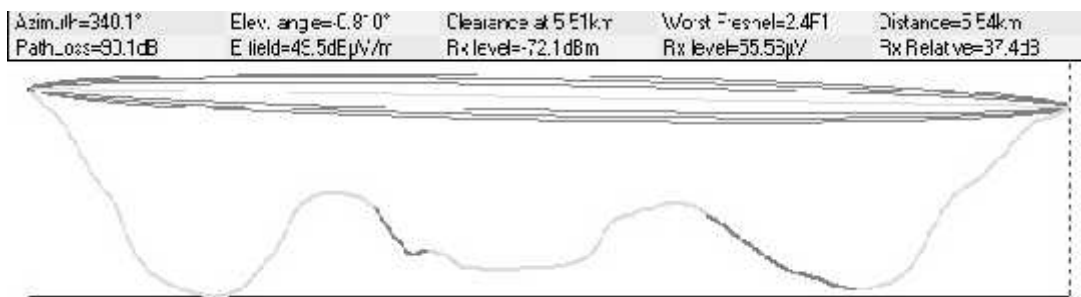


Figura 40. Viabilidad del enlace, zona de Fresnel y línea visual, utilizando Radio Mobile.³⁵

³⁵ Tomado del libro de FLICKENGER Rob, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

Radio Mobile usa el *modelo digital de elevación del terreno* para el cálculo de la cobertura, e indica la intensidad de la señal recibida en varios puntos a lo largo del trayecto. Construye automáticamente un perfil entre dos puntos en el mapa digital mostrando el área de cobertura y la primera zona de Fresnel.

Durante la simulación comprueba la línea visual y calcula la Pérdida en el Espacio Libre, incluyendo pérdidas debido a los obstáculos. Es posible crear redes de diferentes topologías, incluyendo master/slave (maestro/esclavo) punto a punto y punto a multipunto.

El software calcula el área de cobertura desde la estación de base en un sistema punto a multipunto. Trabaja para sistemas que tienen frecuencias desde 100 kHz a 200 GHz. Los **Mapas de elevación digital (Digital Elevation Maps—DEM**, por su sigla en inglés) están disponibles gratuitamente desde variadas fuentes y para la mayor parte del mundo.

Los DEM no muestran las líneas costeras u otras fronteras identificables, pero pueden combinarse fácilmente con otro tipo de datos (como fotos aéreas, cartas topográficas y las imágenes satelitales de Google Earth y otras) en varias capas para obtener una representación más útil y rápidamente reconocible.

Wireshark

Antes conocido como Ethereal, es un analizador de protocolos utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones para desarrollo de software y protocolos.

Este sniffer permite obtener información del desempeño del ambiente de pruebas con las tecnologías inalámbricas seleccionadas.



Figura 41. Captura del trafico de la red con wireshark³⁶

Winbox

La herramienta Winbox nos permite acceder a la configuración, monitoreo y estadísticas de cualquier tipo de radio base, lo cual nos permitirá obtener información en los ambientes de pruebas.

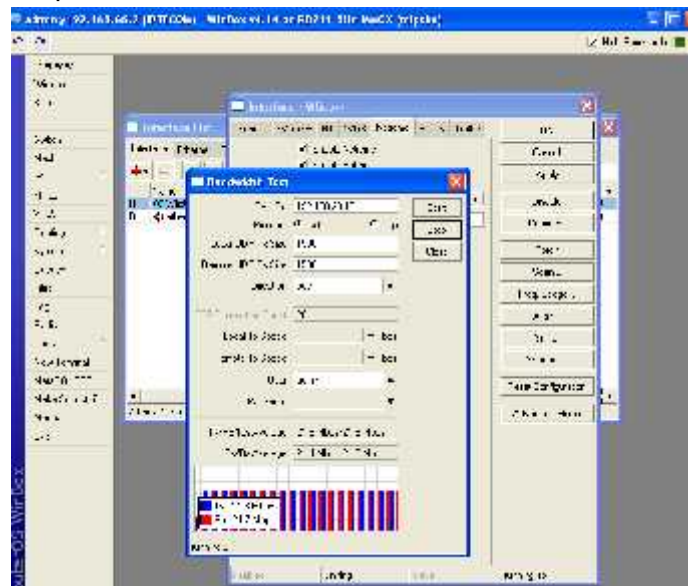


Figura 42. Midiendo el ancho de banda con Winbox³⁷

3.4.3.3 Textos, revistas, documentos e internet

Las herramientas principales de las cuales se ha recopilado la mayor cantidad de información son los libros, revistas y documentos especializados en temas de interconectividad, pero sobre todo a través de la mayor red de información que es el internet, el cual nos ha permitido compartir experiencias sobre temas similares, para aplicarlos en nuestra investigación.

³⁶ <http://aerilon.wordpress.com/2012/01/21/capturando-el-trafico-de-una-red-para-newbies-y-curiosos/>

³⁷ Tomado de la tesis de Martín Zavala Angamarca, ESPOCH

3.5 VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Los instrumentos de medición de datos reúnen dos requisitos esenciales: confiabilidad y validez. La confiabilidad se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto produce iguales resultados. La validez, se refiere al grado en que un instrumento mide la variable que pretende medir.

En la práctica es casi imposible que una medición sea perfecta, generalmente se tiene un grado de error. Desde luego, se ha tratado de minimizar los errores con el uso de los instrumentos antes expuestos.

Para determinar la validez del contenido de los instrumentos, se procedió de la siguiente manera:

- Se consultó con personal técnico familiarizado con el diseño de redes inalámbricas como el Ing. Hamilton Montenegro de CNT Morona Santiago, para ver si se han considerado todos los aspectos que se deben medir.
- Se seleccionaron los ítems de medición bajo un cuidadoso análisis, basados en los criterios anteriores y en los requerimientos iniciales.
- Se revisó documentación para verificar si las selección de los instrumentos, tecnologías, variables e indicadores con las que se trabajo son apropiados y se verificó el grado de confiabilidad en proyectos realizados anteriormente.
- Se trabajó con herramientas y software de monitoreo de marcas reconocidas como el de Roger Coudé "Radio Mobile", wireshark de la empresa wireshark.org y winbox para garantizar el grado de credibilidad de los resultados.
- Se consultó en foros como forodelweb.com, bandaancha.eu/foros/redes/wifi, forodecomputacion.com, zona13wireless.net, elgrupoinformatico.com, y otros donde se obtubo sugerencias para la validación del software y que datos se deben recopilar por cada software.

3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.6.1 CUADROS COMPARATIVOS

3.6.1.1 Tecnologías inalámbricas

Para realizar el estudio comparativo de las tecnologías inalámbricas, se tomó en consideración los principales parámetros de cada estándar, los cuales se los ha ubicado en la Tabla III.I que permitirá evaluar las características, cualidades y/o falencias de cada uno de ellas y de ésta forma obteniendo la mejor opción tecnológica para nuestro estudio.

Tabla III.I. Comparativa entre los estándares Wi-Fi, WiMAX y WRAN

	WiFi (802.11b/g)	WiFi (802.11a)	WiMAX (802.16d)	WRAN (802.22)
Aplicación principal	LAN wireless	LAN/MAN wireless	MAN wireless	RAN wireless
Banda de frecuencia	2.4 GHz ISM	5 GHz U-NII	2.3 a 3.5 GHz	UHF y VHF
Ancho de Banda	83.5 MHz	300 MHz	Licenciada/No licenciada 2 GHz a 66 GHz	Banda TV de 54 a 686 MHz (En Ecuador)
Ancho de banda por canal	22 MHz	20 MHz	Ajustable 1.5 MHz a 20 MHz	6, 7 y 8 MHz
Ambiente	LOS	LOS	NLOS	NLOS
Tecnología radio	DSSS	OFDM (64 canales)	OFDM (256 canales)	OFDMA (Unión de canales)
Eficiencia en el ancho de banda	≤ 0.44 bps/Hz	≤ 2.7 bps/Hz	3.75 bps/Hz	De 0.5 bps/Hz a 5 bps/Hz
Modulación	QPSK	BPSK, QPSK, 16, 64 QAM	BPSK, QPSK, 16, 64, 254 QAM	QPSK, 16 y 64 QAM
FEC (Corrección de errores hacia adelante)	Ninguno	Código Convolutacional	Código Reed Solomon Convolutacional	Código Convolutacional, Opcional LDPC, CTC, SBTC
Encriptación	Opcional RC4 (AES en 802.11i)	Opcional RC4 (AES en 802.11i)	Obligatorio 3DES opcional AES	WEP
Protocolo de acceso	CSMA/CA	CSMA/CA	Request/Grant	IETF DiffServ
Mejor esfuerzo	Sí	Sí	Sí	Si
Prioridad de datos	802.11e WME	802.11e WME	Si	Si
Retardo	802.11e WSM	802.11e WSM	Sí	186 us

Calidad de Servicio	No soporta Solo en 802.11e	No soporta Solo en 802.11e	Cuatro tipos de QoS soporte para voz y video interactivo	Debe soportar la admisión flujo por flujo para soportar QoS
Mobilidad	En desarrollo (802.11p)	En desarrollo (802.11p)	Mobile Wimax (802.11e)	No
Mesh	Propietario	Propietario	Sí	No
Velocidad Máxima	1 a 11 Mbps (b) 1 a 54 Mbps (g)	6 a 54 Mbps	70 Mbps	18 a 22 Mbps
Velocidad Real	4 o 5 Mbps (b) 23 Mbps (g)	20-27 Mbps	37.7 Mbps	1.5 Mbps
Usuarios simultáneos	32 (b) 50 (g)	64	más de 60 conexiones T1	12
Cobertura	50 km	50 km	40-70 km	100 km
Canales	14 canales y 3 no solapados	52 canales y 12 no traslapados	>2048 portadoras Canal de 20 MHz	Mínimo 3 canales de TV de 6 MHz c/u
Fecha de Aprobación	Jul-99 (b) Jun-03 (g)	jul-99	jun-04	jul-11
Ventajas	Velocidad y Precio	Velocidad, Precio y menos interferencia	Velocidad y Alcance	Alcance y Funciona mejor en zonas rurales
Desventajas	Bajo alcance Interferencia	Interoperatividad y mayor absorción	Costos e Interferencias	Velocidad, Disponibilidad de equipos y costos
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat.				

3.6.1.2 Costo de equipos

El costo de los equipos inalámbricos en el mercado depende de las características técnicas de cada equipo, además de la marca y tecnología. En el siguiente cuadro comparativo se puede observar el promedio de costo de las marcas de equipos mencionados en el ANEXO III con características similares, como las del ANEXO VII.

Tabla III.II. Costo general de las Tecnología Inalambricas

	WiFi (802.11b/g)	WiFi (802.11a)	WiMAX (802.16d)	WRAN (802.22)
RADIO BASE	800	1.300	22.000	12.000
ANTENAS	80	120	500	400
CPE	200	800	3.500	2.500
KIT DE INSTALACION	150	200	1.000	800
TOTAL	2.230	2.420	27.000	15.700
Elaborado por: Jorge Hidalgo Bourgeat.				

3.6.2 PONDERACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La escala cualitativa que será utilizada para la valoración de los datos obtenidos en el proceso de análisis de la información será:

Valor de 1: Si el indicador a ser evaluado tiene una respuesta positiva.

Valor de 0: Si el indicador a ser evaluado tiene respuesta negativa o no presenta un valor.

Otra escala de ponderación que se utilizará en esta tesis tomará valores de referencia, de la siguiente escala de valoración cualitativa.

No existe	(NE) :	Valor de 0
Malo	(M) :	Valor de 1
Bueno	(B) :	Valor de 2
Muy bueno	(MB):	Valor de 3
Excelente	(E) :	Valor de 4

De ésta forma, para toda muestras que no presente valor o tenga respuesta negativa el valor cualitativo será de 0, el siguiente tomará el valor de 1 y así sucesivamente hasta llegar al valor n de mejores características o prestaciones.

3.6.3 ESTADÍSTICAS INICIALES

La obtención de los datos que nos permita realizar el analisis para mejorar la red de comunicaciones en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, inicialmente se la realizó en el sitio a traves de georeferenciación y encuestas a las personas de la localidad y funcionarios de las intituciones en la parroquias.

El numero total de encuestados fue 65, los resultados obtenidos una vez consolidadas y tabuladas las encuestas se muestran en el ANEXO VIII, para su posterior interpretación mediante un análisis descriptivo y gráfico.

Finalmente los resultados obtenidos coinciden con los datos recopilados por el INEC.

3.6.4 POBLACION Y MUESTREO

Podemos explicar estas dos palabras en una sencilla frase: usamos la información que nos facilita un grupo reducido de personas (muestra) para estimar lo que piensa, hace u opina un grupo mucho más amplio (población).

Para esta investigación la población ésta compuesta por toda la red de comunicaciones de las parroquias rurales de la provincia de Morona Santiago.

La muestra está constituida por la red de comunicaciones de las 13 parroquias rurales del centro de Morona Santiago nencionadas en la tabla I.I.

- a) **Para encontrar un diseño de red de comunicaciones más eficiente aplicable al sector rural centro de la provincia de Morona Santiago:** la muestra está dividida en dos niveles: el estado actual y el propuesto de la red de comunicaciones, analizando en cada uno de ellos la tecnologías inalámbrica, el rendimiento de la red, la disponibilidad de infraestructura, los equipos, los costos y los beneficios que ofrece.
- b) **Para encontrar el diseño de red que mejore las comunicaciones entre las parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago:** La prueba de hipótesis se realizó, mediante la comparación de la eficiencia actual de la red de comunicaciones versus los datos obtenidos en cada uno de los enlaces a través las herramientas de simulación de la red propuesta.

Como podemos observar la muestra esta compuesta por las 13 parroquias analizadas en 2 niveles diferente, por lo que será necesario resolver la incognita utilizando un modelo matematico aplicable a muestras pequeñas y que permita estimar la relacion entre las dos variables directamente relacionadas.

Para ello es necesario cuantificar los datos obtenidos a traves de un analisis cualitativo y ponderando cada una de las variables según los requerimientos.

3.6.5 DEFINICION DEL MODELO MATEMATICO

El modelo matemático a utilizar para la demostración de la Hipótesis es la prueba t-Student (T de student) para datos relacionados, se utilizar para contrastar hipótesis sobre medias en poblaciones con una distribución normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Este modelo nos permitirá evaluar las diferencias significativas entre las medias de las dos muestras dentro de la misma variable dependiente.

Esta prueba estadística exige dependencia entre las muestras, en las que hay dos momentos uno antes y otro después. Con ello se da a entender que en el primer período, las observaciones servirán de control o testigo, para conocer los cambios que se susciten después de aplicar una variable experimental.

Se puede demostrar 2 tipos de hipótesis:

- **Hipótesis nula (Ho):** Los cambios observados antes y después se deben al azar, y no hay diferencia entre ambos periodos. Ho: $X_1 \geq X_2$.
- **Hipótesis alternativa (Ha):** Existe diferencia significativa entre el antes y el después. Ha: $X_1 < X_2$

Consideraciones para su uso:

- El nivel de medición, en su uso debe ser de intervalo o posterior.
- El diseño debe ser relacionado.
- Se deben cumplir las premisas paramétricas.

En cuanto a la homogeneidad de varianzas, es un requisito que también debe satisfacerse y una manera práctica es demostrarlo mediante la aplicación de la prueba ji cuadrada de Bartlett. Este procedimiento se define por medio de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\sigma_d}{\sqrt{N}}}$$

Ecuación 14

Donde:

t = Valor estadístico del procedimiento.

\bar{d} = Valor promedio o media aritmética de las diferencias entre los momentos antes y después.

d = Desviación estándar de las diferencias entre los momentos antes y después.

N = tamaño de la muestra.

La media aritmética de las diferencias se obtiene de la manera siguiente:

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{N}$$

Ecuación 15

La desviación estándar de las diferencias se logra como sigue:

$$\sigma d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{N - 1}}$$

Ecuación 16

Pasos para su cálculo:

1. Ordenar los datos en función de los momentos antes y después, y obtener las diferencias entre ambos.
2. Calcular la media aritmética de las diferencias (\bar{d}).
3. Calcular la desviación estándar de las diferencias (d).
4. Calcular el valor de t por medio de la ecuación.
5. Calcular los grados de libertad (gl) => $gl = N - 1$.
6. Comparar el valor de t calculado con respecto a grados de libertad en la tabla respectiva, a fin de obtener la probabilidad.
7. Decidir si se acepta o rechaza la hipótesis.

Finalmente, si el valor calculado es más grande que el nivel de confianza, significa que las diferencias entre las muestras no son significativas, por lo tanto nuestro modelo no representa una variación en los datos iniciales y se rechaza la hipótesis alternativa. Si el valor es menor se acepta la hipótesis alternativa.

3.7 AMBIENTES DE PRUEBA

En el ambiente de pruebas se evalúa la tecnología que mejor se adapta a la zona considerando las distancias del enlace, la necesidad de cobertura, los costos, cantidad de saltos hasta el destino final, etc.

Para poder evaluar las distintas tecnologías consideradas en la muestra se analizará enlaces ya implementados en distintos lugares con las diferentes tecnologías.

3.7.1 AMBIENTE WI-FI

Para el análisis de la tecnología inalámbrica WI-FI aplicada en ambientes de prueba de campo, se utilizará como modelo de obtención de datos a la Cooperativa de Ahorro y Crédito Acción Rural en la provincia de Chimborazo quienes cuentan con una amplia red de comunicaciones utilizando WIFI en zonas rurales.

Los enlaces con los que cuenta la cooperativa se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla III.III. Enlaces con WI-FI

SITIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	G	M	S	ORIENT.	En Radianes	DISTANCIA (Km)	ALTURA (m)
MATRIZ	Latitud	1	40	23.4	S	-0.029202267	0	2770
	Longitud	78	38	46.4	O	-1.372635522		
LA MIRA	Latitud	1	30	31.1	S	-0.026330716	19.607 A Matriz	3565
	Longitud	78	34	59.9	O	-1.371537419		
LLIMPE	Latitud	1	23	51.3	S	-0.024392237	12.417 A La Mira	3730
	Longitud	78	34	22.8	O	-1.371357359		
NITON	Latitud	1	17	53.2	S	-0.02265641	11.243 A Llimpe	2933
	Longitud	78	33	19.4	O	-1.371049939		
PATATE	Latitud	1	18	55.2	S	-0.022956897	5.539 A Nitón	2184
	Longitud	78	30	31.2	O	-1.370234919		
STA. ROSA	Latitud	1	57	16.1	S	-0.034112121	50.773 A La Mira	3580
	Longitud	78	40	46.5	O	-1.373217735		
PUCHUCAL	Latitud	2	10	8.63	S	-0.037857307	33.915 A Sta. Rosa	3639
	Longitud	78	53	45.6	O	-1.376995015		
ALAUZI	Latitud	2	12	10.5	S	-0.038447955	6.721 A Puchucal	2358
	Longitud	78	50	45.5	O	-1.376121623		

Fuente: Tesis de Martín Zavala Angamarca, ESPOCH

De los enlaces implementados en la Cooperativa Acción Rural, podemos observar que existen enlaces en el Ecuador que utilizando tecnología WI-FI pueden alcanzar distancias mayores a 50 Km como es el enlace Santa Rosa – La Mira el cual además se encuentra implementado en el sector rural de la región sierra.

Las características generales implementadas son:

Tabla III.IV. Características de la Red WIFI en COACAR

CARACTERISTICA	INDICADOR
Tecnología	Microondas
Topología	Árbol
Ancho banda	Hasta 54 Mbps
Frecuencia	Banda 5 GHz
Cobertura	> 50 Km
Fuente: Tesis de Martín Zavala Angamarca, ESPOCH	

Los tiempos de respuesta para algunos enlaces son:

Tabla III.V. Tiempo de respuesta en los enlaces WI-FI

ORIGEN	DESTINO	Horas Pico	Sin Datos
La mira	Riobamba	6 ms	6 ms
Llimpe	La mira	10 ms	10 ms
Nitón	Llimpe	11 ms	11 ms
Nitón	Patate	1 ms	1 ms
La mira	Sta. Rosa	5 ms	5 ms
Puchucal	Sta. Rosa	5 ms	1 ms
Puchucal	Alausí	1 ms	1 ms
Fuente: Tesis de Martín Zavala Angamarca, ESPOCH			

Para la alternativa tecnológica WI-FI en la cooperativa Acción Rural se ha considerado los siguientes costos de las radio bases y antenas:

Tabla III.VI. Costo general de la tecnología WIFI

Equipos	Cantidad	C. Unitario	Subtotal
Tranzeo	6	500	3000
Lobometrics	5	1500	7500
Mikrotik	1	800	800
Extras	1	3500	3500
TOTAL			14800
Fuente: Tesis de Martín Zavala Angamarca, ESPOCH			

3.7.2 AMBIENTE WIMAX

Para el análisis de la tecnología inalámbrica WIMAX aplicada en ambientes de prueba de campo, se utilizará como modelo de obtención de datos a la Empresa FASTNET de la ciudad de Riobamba, quien cuenta con enlaces WIMAX en la provincia de Chimborazo.

La empresa FASTNET tiene como misión “brindar servicios tecnológicos de alta calidad para que nuestros clientes se sientan respaldados logrando el desarrollo personal y de sus negocios por medio de nuestros productos y servicios. Para Fastnet el éxito de nuestros clientes es nuestro éxito”.

Se analizará los enlaces que utilizan el cerro Puchalim donde está ubicada la estación base WIMAX como se muestra:

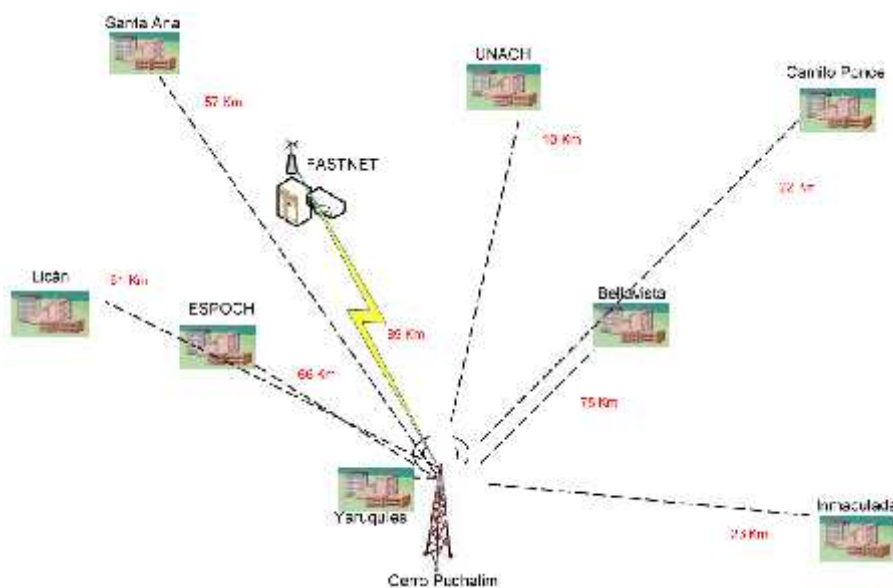


Figura 43. Enlaces usando WIMAX³⁸

Los principales equipos que se utilizan para los enlaces son:

Tabla III.VII. Equipos para red WIMAX³⁸

EQUIPO	CANTIDAD
Puntos de acceso	1
Antenas suscriptoras (enlaces punto multipunto)	Depende de usuarios que requieran el
Antenas backhaul (enlaces	1

Estos puntos se encuentran ubicados geográficamente en las posiciones:

³⁸ Tomada de la tesis de Yolanda Estrada y Cristian Camacho, ESPOCH

Tabla III.VIII. Coordenadas geográficas del diseño de Red³⁹

LUGAR	LATITUD (DMS)	LONGITUD (DMS)	ALTURA (metros)
ESPOCH	1° 39' 20.1" S	78° 40' 39.3" O	2835
YARUQUIES	1° 41' 22.7" S	78° 40' 33.2" O	2817
PUCHALIM	1° 41' 46.5" S	78° 40' 0.3" O	3007
FASTNET	1° 39' 45" S	78° 39' 34.6" O	2817
SANTA ANA	1° 37' 16.8" S	78° 41' 8.5" O	2930
LICAN	1° 39' 4.9" S	78° 42' 23.6" O	2947
UNACH	1° 40' 48.4" S	78° 38' 30.2" O	2767
INMACULADA	1° 42' 11.8" S	78° 37' 15.4" O	2717
BELLAVISTA	1° 40' 43" S	78° 38' 19.2" O	2769
CAMILO PONCE	1° 39' 46.6" S	78° 38' 3.7" O	2786

La topología de la red en la empresa usando WIMAX se ve así :

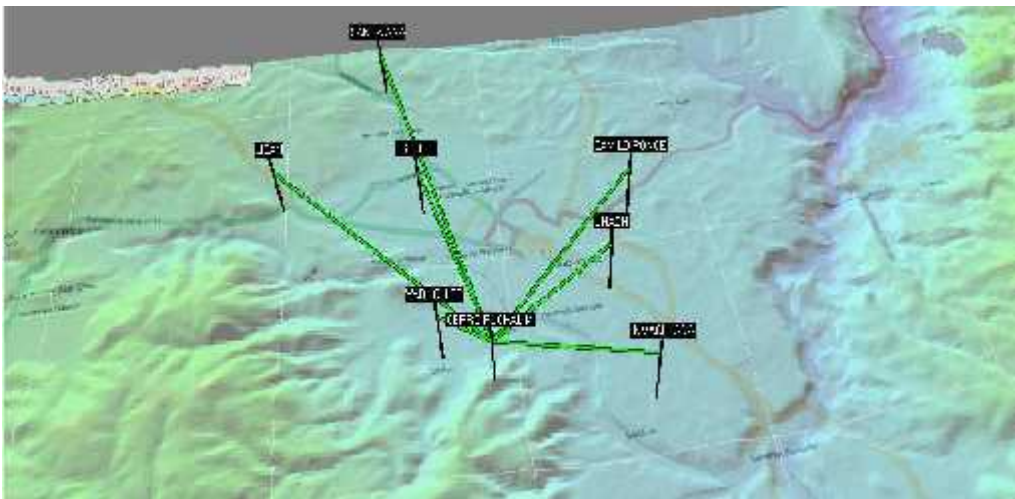


Figura 44. Topología de la Red WIMAX³⁹

Tomaremos para las pruebas las características del enlace principal entre FASNET y PUCHALIM el cual bajo la siguiente configuración arroja los resultado que se muestran:

Transmisor

Frecuencia	máxima = 5150Mhz	mínima = 5350Mhz
Potencia transmisor	21dBm	
Ganancia antena	21dBi	
Altura de la antena	24.2m	

Receptor

Ganancia de antena	2dBi
Sensibilidad receptor	-107dBm
Altura de la antena	30m

³⁹ Tomada de la tesis de Yolanda Estrada y Cristian Camacho, ESPOCH

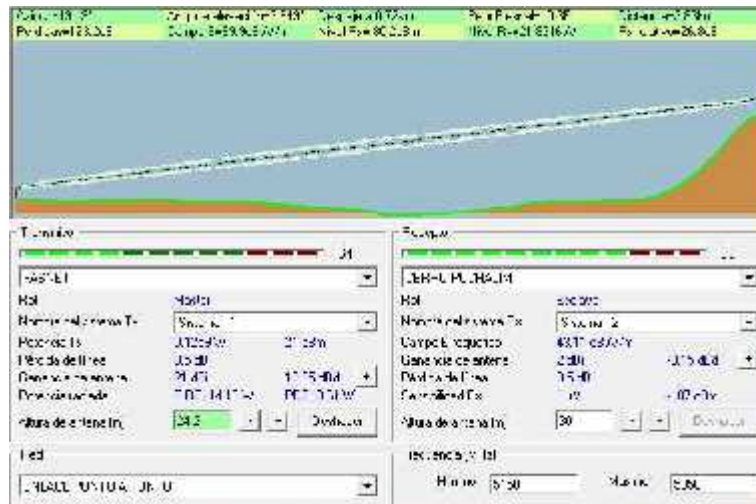


Figura 45. Enlace WIMAX simulado con Radio Mobile⁴⁰

Equipos Wimax

En la tabla III.XV podemos observar una comparativa técnica de las características más relevantes entre las principales marcas de equipos WIMAX disponibles en el Ecuador pero sobre todo reconocidos por el WIMAX forum.

Tabla III.IX. Características técnicas de equipos Wimax

Características Estación Base	Alvarion BreezeMAX	Airspan MacroMAX	Canopy wi4 WiMAX	Siemens WayMAX
Frecuencia de operación	3,5 GHz	3,5 GHz	3,5 GHz	3,5 GHz
LOS y NLOS	Si	Si	Si	Si
Capa Física PHY	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Método de Acceso	FDD y TDD	FDD y TDD	TDD	FDD y TDD
Tamaño de Canal	1.75, 3.5 MHz	1.75, 3.5 MHz	5, 7 MHz	1.75 MHz
Encriptación interfaz Aire	DES y AES	DES y AES	AES	DES
Alcance	30 Km LOS 5 Km NLOS	25 Km LOS 2,5 Km NLOS	20 Km LOS 2,5 Km NLOS	30 Km LOS 3 Km NLOS
Potencia de Tx	28 dBm	28 dBm	28 dBm	28 dBm
Sensibilidad	-82/85 dBm -100/103 dBm	-103 dBm	-86 dBm	-103 dBm
Interfaces	Ethernet RJ45	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Características de Red	802.1Q, DiffServ DHCP, NAT, VPN	802.1Q, VLAN DiffServ	802.1Q DiffServ	DHCP

Fuente: Tomado de la tesis de Andrea Belén Pullas Tufiño, ESPE, 2010

⁴⁰ Tomada de la tesis de Yolanda Estrada y Cristian Camacho, ESPOCH

Costos de la red

Tabla III.X. Equipamiento Estación Base⁴¹

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO(\$)	PRECIO TOTAL(\$)
1	MOTOROLA WI4 WAP 400	Incluye el sistema completo la estación base y los módulos de radiofrecuencia	22.000	22.000
TOTAL				22.000

Tabla III.XI. Estaciones suscriptoras para uso interno y externo⁴⁷

PLAN	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO(\$)	PRECIO TOTAL(\$)
Corporativo	1	Motorola CPEi 600 Serie	Unidad suscriptor de alta performance con 4 puertos Ethernet y 2 para VoIP con antena incluida	100
Residencial	1	Motorola CPEi 725	Unidad suscriptor para interiores con 1 puerto Ethernet y un puerto para VoIP	44
	1	Motorola wi4 WiMAX CPEo 450 Serie	Unidad suscriptor para exteriores con un puerto Ethernet y dos puertos para VoIP	65

Tabla III.XII. Equipamiento para backhaul⁴⁶

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO(\$)	PRECIO TOTAL(\$)
1	BreezeNET B100	Equipo para enlaces punto a punto velocidad y calidad de servicio para soportar voz, video y datos	3321.62	3321.62
TOTAL				3321.62

El total para instalación de equipos WIMAX y mano de obra requerida para el despliegue de la red en la ciudad de Riobamba se lo puede observar en la tabla XIX.

Tabla III.XIII. Costo total de la implementación de la red WIMAX⁴⁷

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (\$)
1	Estación Base	22 000,00
1	Backhaul	3 321,62
	Personal	1 800,00
	Gastos de Instalación	11 000,00
TOTAL		38 121,62

⁴¹ Tomada de la tesis de Yolanda Estrada y Cristian Camacho, ESPOCH

3.7.3 AMBIENTE WRAN

Al momento en el Ecuador no se han implementado enlaces con tecnología WRAN, sin embargo el Ing. Danilo Corral de Witt. MSc., Docente de la ESPE y Consultor de Fundación Centro Innovador de Tecnología para el Desarrollo (CITEDE), como parte de su tesis doctoral pretenden realizar pruebas con el estándar en las cuatro regiones del país, sin embargo los equipos aun no se encuentran listos.

El Centro Innovador de Tecnología para el Desarrollo CITEDE, es una Fundación sin fines de lucro, creada mediante Acuerdo Ministerial N° 603-10 de fecha 29 de noviembre de 2010, enfocada a unir esfuerzos para disminuir la brecha digital, mediante el diseño e implementación de proyectos, capacitación, asesoría, consultoría y soluciones tecnológicas aplicables a nuestra realidad.

Referente a los equipos, éstos se encuentran en proceso de adquisición e importación al país, de acuerdo al CITEDE se los está adquiriendo en Italia a una empresa norteamericana, a un precio especial debido al pedido expreso del ICTP (International Centre for Theoretical Physics).

Por lo tanto aún no existen redes de comunicaciones que utilicen el estándar 802.22 WRAN en el Ecuador, lo que dificulta la evaluación de la tecnología en un ambiente de pruebas.

3.8 PLANIFICACIÓN PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

De lo visto en éste capítulo se puede concluir que es muy importante planificar el proceso para la recolección de datos que permitan la demostración de la hipótesis, el cual se lo realiza de la siguiente forma:

Tabla III.XIV. Planificación para la recolección de datos

QUE NECESITO CONOCER	DATOS NECESARIOS	FUENTES DE DATOS	RESPONSABLE
Alternativas Tecnológicas Wi-Fi WIMAX WRAN	Definiciones. Aplicaciones. Tipos de Tecnologías. Equipos que utilizan. Modelo de funcionamiento. Estándares utilizados.	Revisión literaria. Implementaciones en otros sitios. Internet.	Investigador.
Parroquias a interconectar	Ubicación y encuestas	Encuestados en cada una de las parroquias	Investigador
Posibles rutas de interconexión	Coordenadas geográficas, Rutas de acceso e infraestructura existente.	Mapa de carreteras. Google Earth. GPS. Visitas al sitio.	Investigador.
Características de los enlaces	Cuadro comparativo de tecnologías Cuadro comparativo de costos Análisis de costo-beneficio	Cálculo del presupuesto del enlace Estudio económico.	Investigador.
Funcionamiento de tecnologías.	Alcance geográfico. Tiempos de respuesta. Alternativa Tecnológica.	Ambiente de pruebas.	Investigador.
Mejoramiento de la red de comunicaciones den Morona Santiago	Estado actual de las redes en Morona Santiago Propuesta de mejoramiento	Simulación con Radio Mobile	Investigador, CNT
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Del análisis realizado se presentan los resultados más relevantes de la investigación:

4.1.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENCUESTAS

Pregunta 1: ¿Cree usted que actualmente el Internet es una herramienta necesaria para el desarrollo de su trabajo diario?.

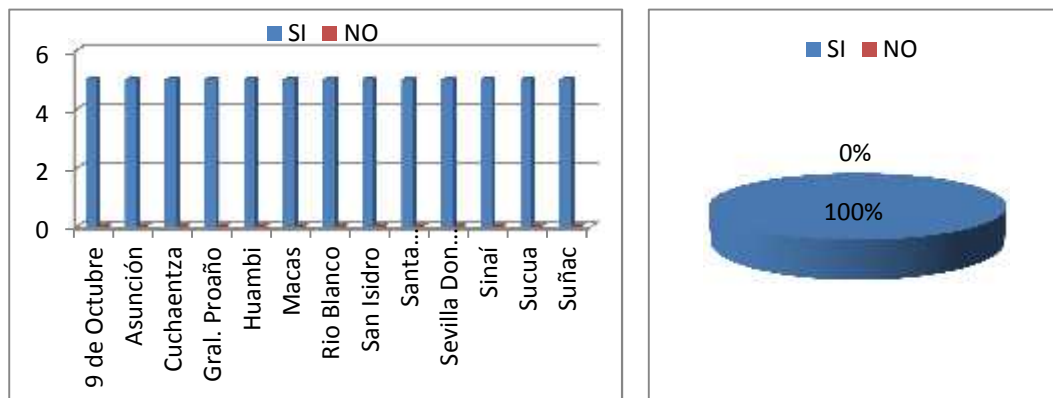


Figura 46. Resultados Pregunta 1⁴²

Interpretación 1: Evidentemente existe una gran conciencia de que el internet mejoraría la calidad de su trabajo y por ende la calidad de vida de la población ya que el 100% de los encuestados está de acuerdo con lo mencionado.

Pregunta 2: ¿Considera que es necesario implementar una red de datos que ofrezca internet y otros servicios en su parroquia?.

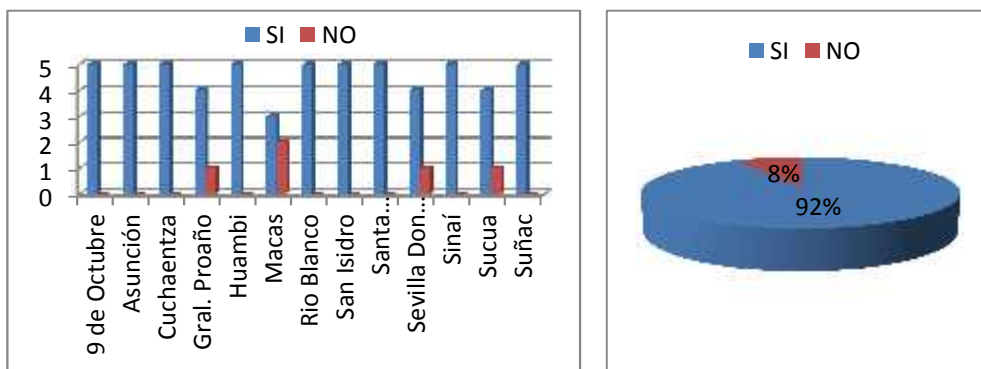


Figura 47. Resultados Pregunta 2⁴²

⁴² Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Interpretación 2: De todos los encuestados un 92% considera que es necesario implementar una nueva red de comunicaciones en la parroquia, lo que da a entender la necesidad de implementar o mejorar las redes de comunicaciones existentes en las parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago.

Pregunta 3: ¿Cree usted que la implementación de una red de comunicaciones en su parroquia le ayudaría a optimizar su tiempo y recursos?.

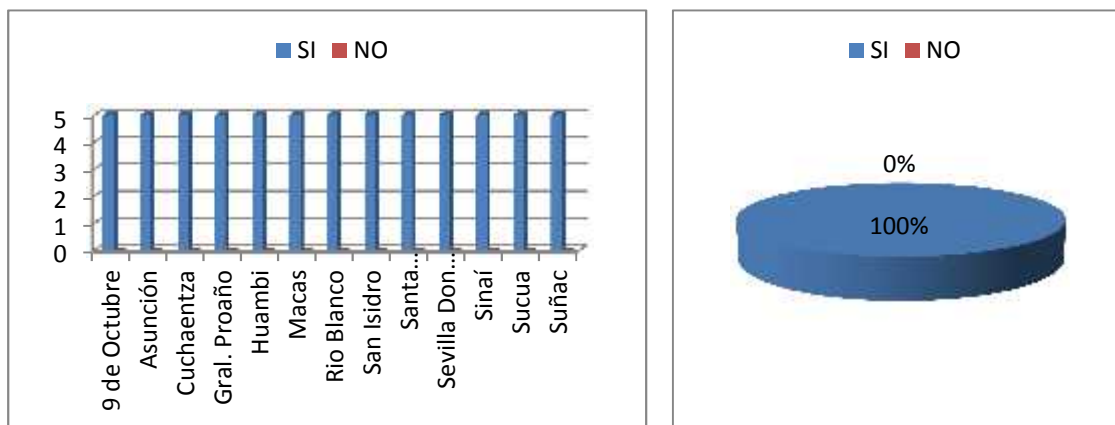


Figura 48. Resultados Pregunta 3⁴³

Interpretación 3: Todos los encuestados consideran que la implementación de redes de comunicaciones y nuevas tecnologías ayudarían a optimizar el tiempo y recursos en las labores diarias.

Pregunta 4: ¿Actualmente cuenta con acceso a internet en su casa o lugar de trabajo?

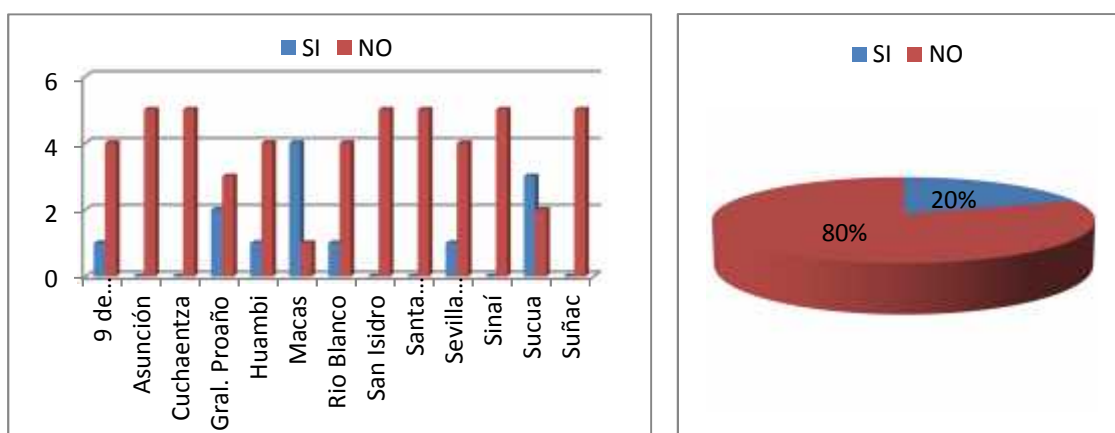


Figura 49. Resultados Pregunta 4⁴³

⁴³ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Interpretación 4: Considerada como la pregunta mas importante ya que nos permite medir el nivel de penetracion de las TIC's en los sectores rurales del centro de la provincia de Morona Santiago, además podemos observar que 6 parroquias de las 13 encuestadas (Asunción, Cuchaentza, San Isidro, Santa Marianita, Sinaí y Zuñac), no cuentan con acceso a internet y en general a penas el 20% de la población en estas zonas rurales cuenta con internet en su casa o lugar de trabajo.

Pregunta 5: ¿Considera que el servicio de internet que posee es bueno?

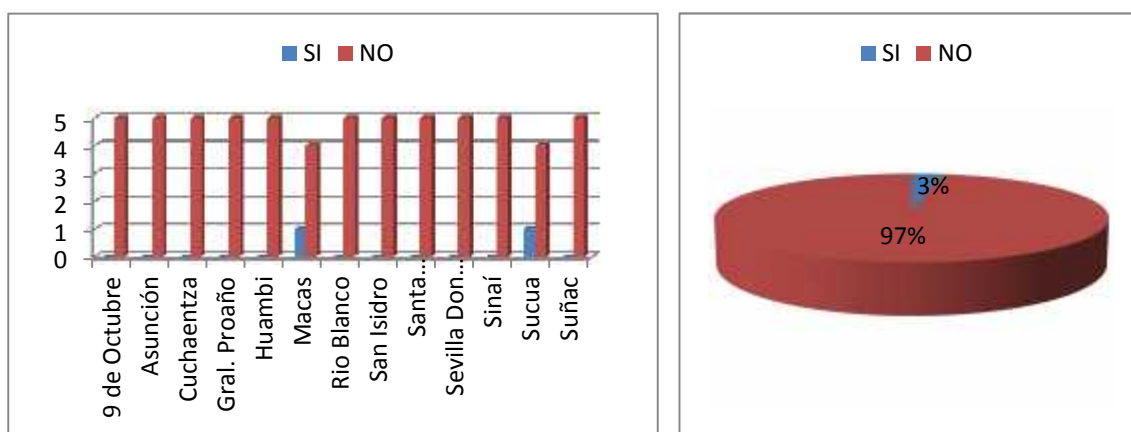


Figura 50. Resultados Pregunta 5⁴⁴

Interpretación 5: De todos los encuestados un 97% consideran que el servicio que les ofrecen los proveedores de internet es bueno, por lo que podemos observar una clara deseperción en el servicio recibido y un alto indice de ineficiencia en las redes de comunicaciones.

Pregunta 6: ¿Qué ventajas le brindaría contar con esta herramienta informática en el desarrollo de sus actividades?.

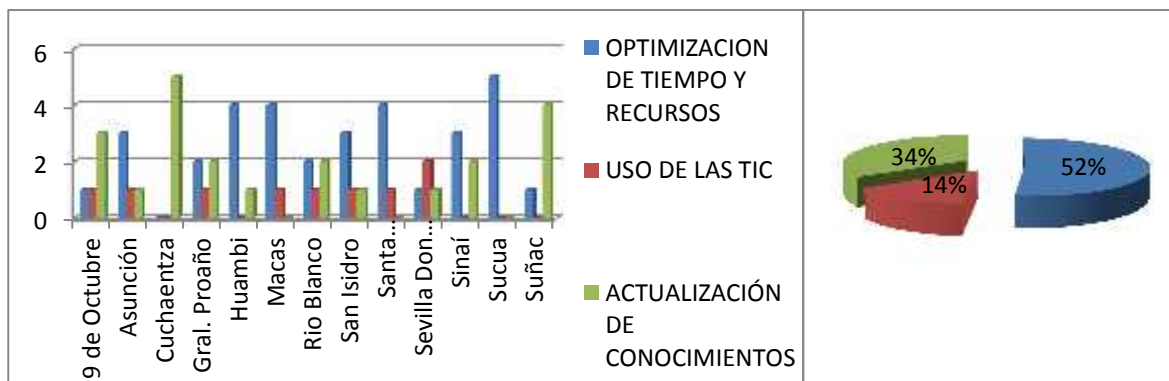


Figura 51. Resultados Pregunta 6⁴⁴

⁴⁴ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Interpretación 6: Del total de encuestados podemos observar que en su mayoría es decir un 52% consideran que contar con una herramienta informatica en el desarrollo de sus actividades le ayudará a optimizar tiempo y recursos, un 34% que les ayudará a la actualización de sus conocimientos y apenas un 14% considera que es bueno ya que podrán hacer uso de la tecnología de la información talves por el desconocimiento delos terminos tecnicos.

4.1.2 CONDICIONES GEOGRÁFICAS

Geográficamente la investigación se llevará a cabo en las parroquias rurales de los cantones centrales (Morona y Sucúa) de la provincia de Morona Santiago, ubicada al centro oriente de la Amazonia Ecuatoriana, estos cantones cuentan con 13 parroquias rurales distribuidos como se muestra en los gráficos:



Figura 52. Parroquias del cantón central Morona⁴⁵



Figura 53. Parroquias del cantón central Sucúa⁴⁵

⁴⁵ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.1.3 CONDICIONES DEMOGRÁFICAS

En el Ecuador según el último censo realizado por el INEC en el año 2010, somos 14'483.499 habitantes, el porcentaje de distribución urbano y rural en las 4 regiones del país se puede ver en la figura 54.

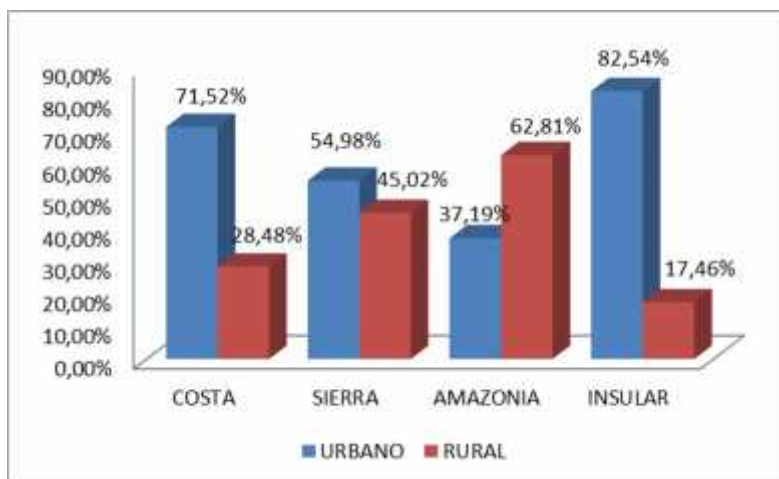


Figura 54. Población del Ecuador por región⁴⁶

Como podemos observar en la figura 54, la región Amazónica es la única región del Ecuador en la cual existe mayor población rural que urbana, situación muy similar ocurre en la Provincia de Morona Santiago en donde la población se encuentra distribuida de la siguiente manera:

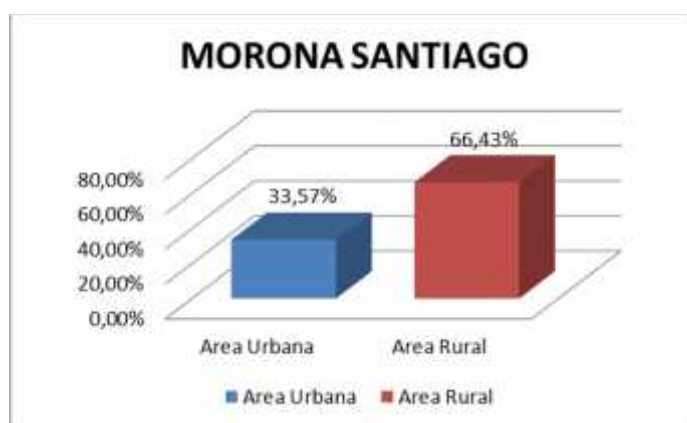


Figura 55. Población en Morona Santiago⁵²

En los cantones centricos (Morona y Sucua) de Morona Santiago, en donde se desea llevar a cabo la investigación, la población urbana y rural se encuentra distribuida de la siguiente forma:

⁴⁶ Fuente: INEC, Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

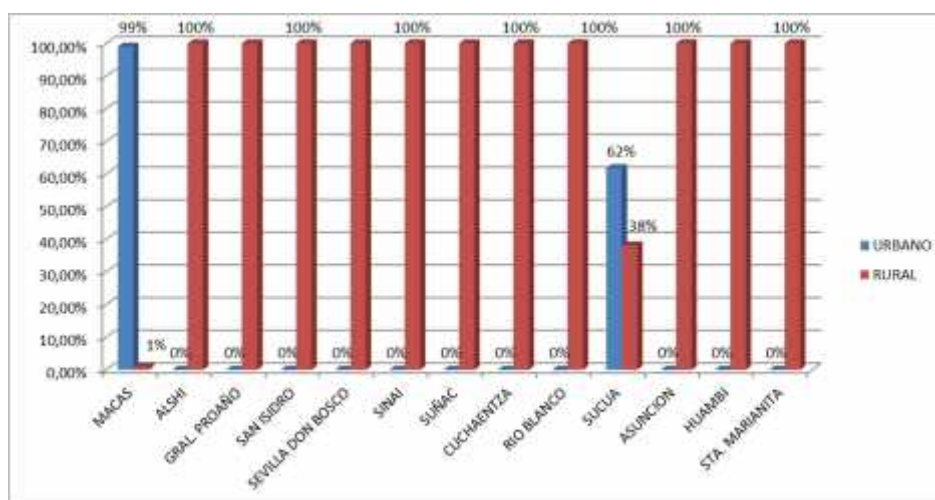


Figura 56. Población en las parroquias del centro de Morona Santiago⁴⁷

De las 13 parroquias que serán consideradas en el proyecto, 11 de ellas son netamente rurales, lo que significa que el proyecto de tesis se aplicará en un 85% del territorio considerado como rural e insidirá en el 100% de la población rural ubicadas en el centro de la provincia de Morona Santiago.

4.1.4 PENETRACIÓN DE INTERNET

En el Ecuador el índice de penetración de internet según el INEC para el año 2011 es del 16.86%, el cual ha tenido un pequeño crecimiento los últimos años como se puede observar en la figura 57:

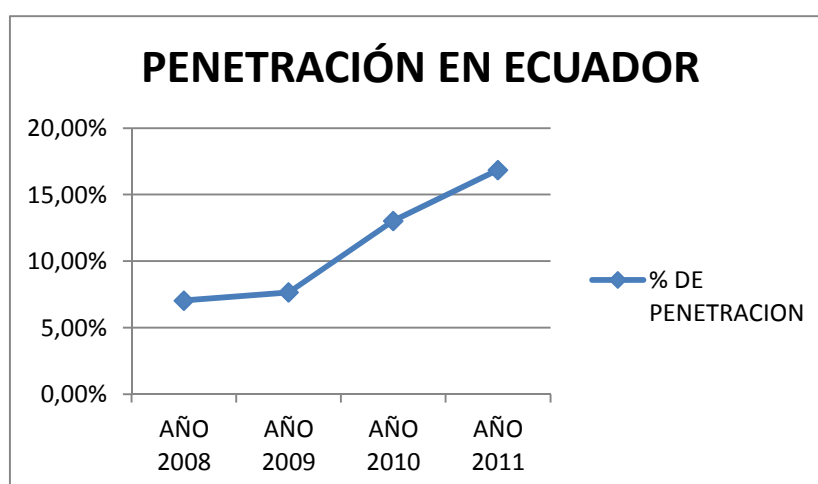


Figura 57. Disponibilidad de internet en el Ecuador⁴⁷

⁴⁷ Fuente: INEC, Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Si bien en los últimos años ha ido creciendo el índice de acceso a internet en el Ecuador, aún estamos lejos de ser un país que supere la brecha digital existente en los países de América Latina.

En la provincia de Morona Santiago el panorama no se aleja de la situación nacional, siendo aún más crítica ya que apenas el 10.82% de los hogares tiene acceso a internet como se muestra:

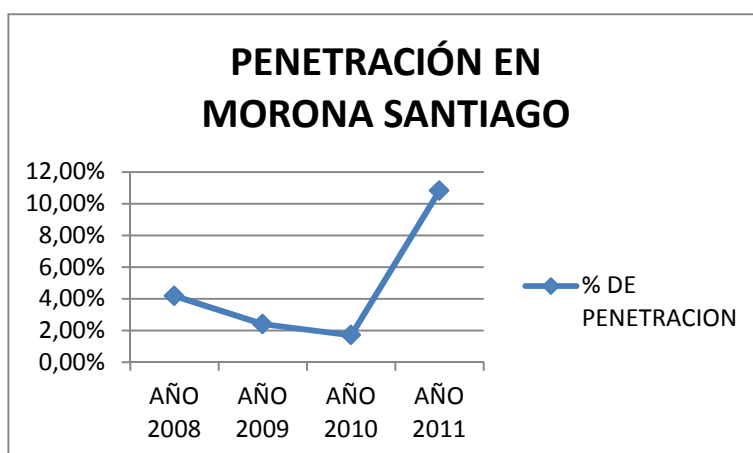


Figura 58. Disponibilidad de internet en Morona Santiago⁴⁸

La situación en Morona Santiago se agrava si analizamos solo los datos en el sector rural, ya que el acceso al internet en estas zonas no superan el 4%, siendo así:

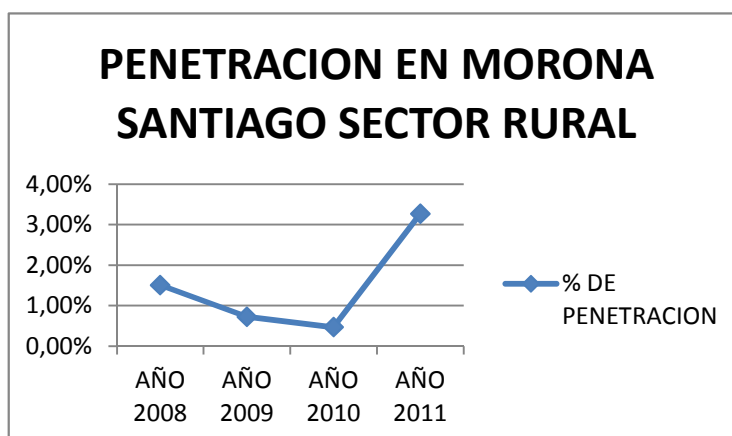


Figura 59. Disponibilidad de internet en Morona Santiago⁴⁸

⁴⁸ Fuente: INEC, Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Si bien en estos últimos años en la provincia de Morona Santiago hay un crecimiento en el índice de disponibilidad de internet, se puede observar que el crecimiento ha sido prácticamente solo en la zona urbana y muy poco en la zona rural.

En el sector centro de la provincia de Morona Santiago (cantones de Morona y Sucua), el índice de penetración de internet es de apenas el 6.3%, esto considerando tanto la zona urbana como rural.

Gracias al último censo realizado por el INEC se puede conocer con exactitud cuantas familias de cada una de las parroquias de nuestro interés cuentan con acceso a internet en sus hogares, graficamente se muestra así:

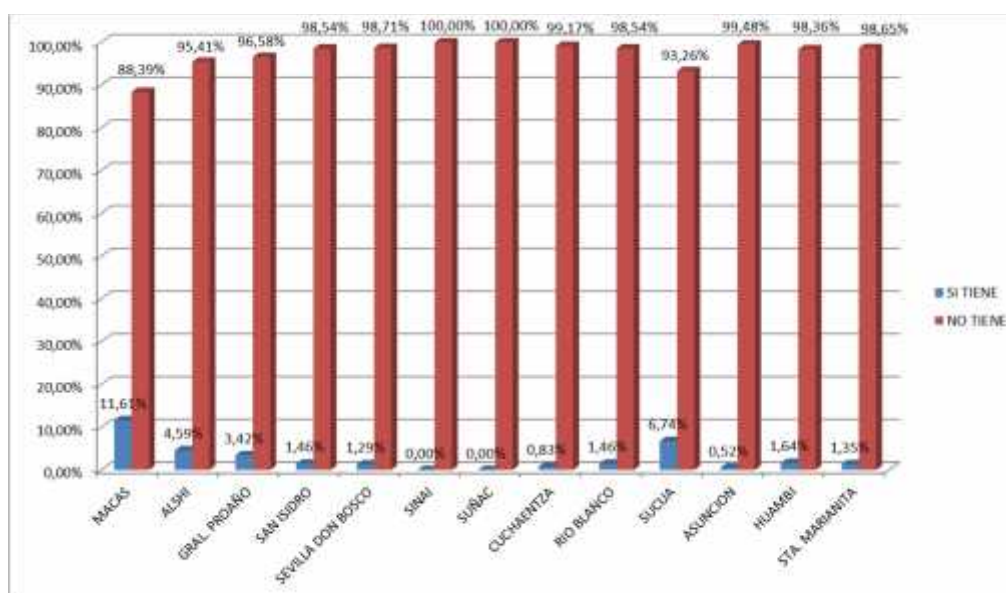


Figura 60. Disponibilidad de internet en Morona Santiago⁴⁹

Si solo se considera la población del sector rural centro de Morona Santiago (1% de la parroquia Morona + 38% de Sucúa + 100% de las otras 11 parroquias, zona rural según la Figura. 56), y lo multiplicamos por el índice de penetración de cada parroquia, entonces, **el índice de penetración en el sector rural centro de Morona Santiago no supera el 2% de los hogares**, lo que muestra la importancia de realizar el proyecto en la zona.

⁴⁹ Fuente: INEC, Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.1.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS INALAMBRICAS

Partiendo de la conceptualización realizada en los capítulos anteriores se puede resumir los beneficios de las tecnologías inalámbricas aplicables en zonas rurales utilizando un análisis cualitativo que permita determinar que tecnología ofrece mayores prestaciones técnicas para el diseño de la nueva red de comunicaciones.

Tabla IV.I. Comparativa de las Tecnologías Inalambricas

PARÁMETROS		WI-FI	WIMAX	WRAN
Topología	Punto-punto	1	1	1
	Punto-multipunto	1	1	1
	Malla	0	1	0
Cobertura	25-40 Km.	1	1	1
	Más de 40 Km.	1	1	1
Ambiente	Con visión directa	1	1	1
	Sin visión directa (NLOS)	0	1	1
Espectro de frecuencia	54 Mhz-4Ghz	1	1	1
	4-42Ghz	1	1	1
	Mayor de 42 GHz	0	1	0
Velocidad de TX	5 a 20 Mbps	1	1	1
	Más de 20 Mbps	1	1	0
Modulación	QPSK, PSK and QAM	1	1	1
Método	Full Dúplex	0	1	1
Costos	Los equipos son económico	1	0	0
Seguridad	Provee autenticación de datos	1	1	1
	Utilización de algoritmos de encriptación	1	1	1
	Soporta transmisiones seguras	0	1	0
	Mecanismos de autenticación (EAP, PKMv2)	0	1	0
Calidad de Servicio	La señal no se pierde por obstáculos	0	1	1
	Existe calidad de servicio en la transmisión de datos	1	1	1
	Aplicación de Políticas definidas por distintos operadores para QoS-sobre la base de su SLA	0	1	0
Aplicación de las tecnologías en el Ecuador	El uso de la tecnología está permitido y regulado en Ecuador	1	1	1
	Existen productos en el país	1	1	0
Aplicación en zonas rurales	Es un estándar aplicable en zonas rurales y de difícil acceso en el Ecuador	1	1	1
TOTAL		17	24	17

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Interpretación:

Comparando las tres tecnologías, vemos la enorme diferencia en la implementación de cada una de ellas, lo que se traduce en un rendimiento totalmente diferente. Las principales diferencias son:

En la capa MAC 802.11 (Wi-Fi) no es determinista (se basa en algoritmos aleatorios) y no es eficiente, la eficiencia MAC llega como mucho al 40%, proporcionando 22 Mbit/s netos de una capa física de 54 Mbit/s, mientras que 802.16 (WiMAX) llega al 92%, proporcionando un throughput de casi 35 Mbit/s de una capa física de 37.7 Mbit/s, referente a 802.22 (WRAN) operando a su máxima capacidad el throughput apenas es de 1.5 Mbit/s sin embargo esto no está definido en pruebas reales.

En términos de la calidad de servicio una de las desventajas de 802.11 frente a 802.16 es que se trata de un protocolo no orientado a conexión (mientras que 802.16 es orientado a conexión) y el control de acceso al medio está basado en la contención (lucha por el canal), lo que pueden causar retardos si se producen errores. 802.22 tampoco le da prioridad a la calidad del servicio ya que su propósito principal es llegar a lugares de difícil acceso.

Otro de los problemas es que tanto en 802.11 como en 802.22 el tamaño del canal es fijo, mientras que en 802.16 puede ser modificado.

Evidentemente la Tecnología WI-MAX es superior a la tecnología WI-FI y WRAN sin embargo dependerá de la aplicación que se le dé al estudio ya que el mismo estudio puede ser aplicado garantizando calidad del servicio o simplemente para brindar acceso a lugares donde no existe conectividad.

Por lo tanto la tecnología a aplicar dependerá exclusivamente de la aplicabilidad de la red en función del presupuesto económico y el servicio o beneficio que se desee brindar, sin embargo dejaremos planteado el análisis costo-beneficio para que en relación a esto se decida cuál será la tecnología a utilizar en este proyecto.

4.1.6 ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO

Para realizar el análisis costo-beneficio entre las tecnologías inalámbricas, nos basaremos en el estudio realizado por Leonardo Muro García de la Universidad Nueva Esparta de Venezuela en el que concluye que:

El estándar WiMax tiene protocolos de seguridad más sólidos que los disponibles hasta ahora en un sistema Wi-Fi, así como también sobresale en sus especificaciones técnicas relacionadas al alcance, velocidad, ancho de frecuencias, calidad de servicio, entre otros. Sin embargo, al establecer una comparativa menos técnica y más práctica, es evidente que actualmente no hay una alternativa que sustituya en el mediano plazo a Wi-Fi, ni siquiera el nuevo estándar WiMax.

Hay varias razones para pensar en ello. Económicamente hablando, no hay comparación entre un punto de acceso Wi-Fi y uno WiMax, ya que el costo para Wi-Fi está por debajo con respecto a WiMax en un 50%. Se han planteado aspectos relativos a la utilización del espectro de frecuencias sin licencia de Wi-Fi con fines comerciales; así como también se ha expuesto la posibilidad de establecer una gran red de malla Wi-Fi. Hoy en día la ciudad de Moscow mantiene una red de malla Wi-Fi con miles de puntos de acceso libre, utilizada por millones de personas que acceden gratuitamente a Internet, lo cual establece claramente las posibilidades de escalabilidad de Wi-Fi. Pero la realidad es que no están nada claros los modelos de negocio para la comercialización de las frecuencias Wi-Fi o la definición de redes malla Wi-Fi.

Por otro lado, las soluciones Wi-Fi de exteriores han sido evaluadas, probadas y medidas en numerosos entornos con claro acierto, buen grado de estabilidad y escalabilidad. WiMax todavía tiene que demostrar su valía y habrá que ver si podrá cumplir todas sus promesas.

Las estaciones base y de los dispositivos de usuario final, son mucho más caros que los equipos WiFi. WiMax no está incorporada masivamente en los dispositivos de consumo, mientras que WiFi se está expandiendo rápidamente a más dispositivos móviles. Además, históricamente los grandes operadores han tratado de desplegar tecnologías de acceso basadas en estándares abiertos para evitar la concentración de poder de los fabricantes.

Por ello la batalla para convertir a WiMax como el estándar de transmisión inalámbrica está en plena gestación, y tendrá que superar muchas barreras comerciales para lograr su establecimiento.

De la experiencia de la empresa OFTELSAT en Ecuador, su presidente el Ing. Paco Olaya Pabón referente a WIMAX dice, *“esta tecnología no tiene tanta aplicación en la zona rural, ni en la zona urbana en aplicaciones fijas. Los enlaces fijos 802.11 a/g funcionan con igual efectividad y a costos mucho más bajos”*.

Por tal razón, si la necesidad es implementar redes donde sobresalgan las especificaciones técnicas con alto grado de complejidad, en donde soporte transmisión de datos, voz y video con prestaciones de calidad de servicio, el costo de WIMAX justifica la inversión, por lo que se deberá utilizar como tecnología inalámbrica WIMAX.

Por otro lado, si la necesidad es implementar redes con menos características técnicas sino más prácticas, en lugares de difícil acceso, con baja densidad poblacional como las zonas rurales, bajo índice de retorno de la inversión, línea de vista y con la suficiente estabilidad y escalabilidad a distancias que no superen los 50 Km, la mejor opción en este caso sería utilizar enlaces WIFI para exteriores a un costo por debajo de la mitad de lo que lo haríamos con WIMAX.

4.1.7 DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA

En la provincia de Morona Santiago existen varios lugares que disponen de la suficiente infraestructura, tanto de acceso vial como de energía eléctrica, para ser usados como sitios de repetición en el caso de no existir línea de vista entre los puntos finales. La ubicación de estos sitios se muestra en la tabla siguiente:

Tabla IV.II. Infraestructura de telecomunicaciones en el Morona Santiago⁵⁶

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	Macas	MSA1	Morona Santiago	820530	9745364
2	Luis de Upano	MSA2	Morona Santiago	820047	9724245
3	Patuca	MSA3	Morona Santiago	805013	9695579
4	Ankuash	MSA4	Morona Santiago	819877	9662268
5	Santiago	MSA5	Morona Santiago	832321	9662564
6	Bosco	MSA6	Morona Santiago	777436	9669031
7	Patococha	MSA7	Morona Santiago	760412	9666192
8	Santa Bárbara	MSA8	Morona Santiago	747235	9648920
9	Gualaquiza	MSA9	Morona Santiago	770836	9620600
10	Bomboiza	MSA10	Morona Santiago	773432	9618906

Los sitios de nuestro interes ubicados en el centro de la provincia son los denominados Macas y San Luis del Upano como podemos observar en la figura de la REP (Red de Entidades Públicas) en el Ecuador.

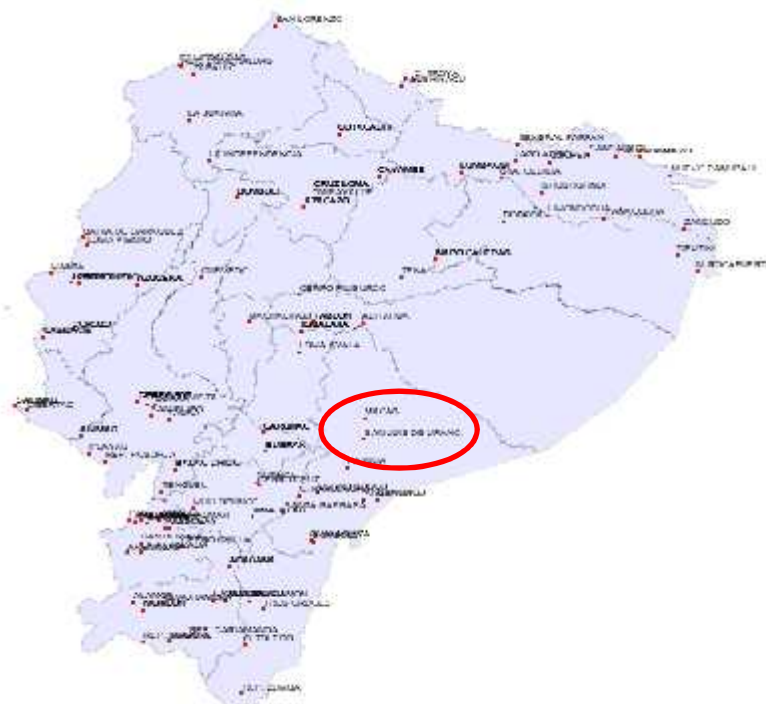


Figura 61. Infraestructura de telecomunicaciones en el Ecuador⁵⁰

⁵⁰ Tomado del proyecto de fin de Master de Danilo Corral De Witt

4.1.8 ESTADO ACTUAL DE LAS REDES INALAMBRICAS EN MORONA

En la provincia de Morona Santiago muy poco se ha hecho en términos de telecomunicaciones durante muchos años, probablemente a que se encuentra ubicada en una zona fronteriza generalmente descuidada por los gobiernos de turno.

Durante los últimos 2 años, de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo, en las telecomunicaciones se ha invertido en grandes proyectos, es así que a inicios del año 2012 finalmente se pudo conectar la capital Macas con el anillo nacional de fibra óptica, lo cual permitió ampliar el canal y los servicios ofertados por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) a todos los usuarios de la red.

Sin embargo, en la actualidad solo existen 3 nodos de fibra en la ciudad de Macas y 1 en la ciudad de Sucúa, los cuales deben abastecer la demanda del servicio en todas las parroquias de los cantones Morona y Sucúa.

En realidad esto no sucede así, en algunos casos los nodos se conectan a la red de cobre de la CNT para brindar acceso a la red de comunicaciones, en otros se utilizar una alternativa WIFI o VSAT para tener conectividad y en varias parroquias ni siquiera se puede brindar el servicio.

La distribución del tipo de tecnología utilizada en las parroquias de nuestro interés se pueden observar con mayor detalle en la siguiente tabla:

Tabla IV.III. Infraestructura de telecomunicaciones en el Morona y Sucúa

No.	PARROQUIA	FIBRA	COBRE	VSAT	WIFI	WIMAX
1	9 de Octubre	NO	NO	SI	NO	NO
2	Asunción	NO	NO	NO	NO	NO
3	Cuchaentza	NO	NO	NO	NO	NO
4	Gral. Proaño	NO	SI	NO	SI	NO
5	Huambi	NO	SI	NO	SI	NO
6	Macas	SI	SI	SI	SI	SI
7	Rio Blanco	NO	SI	NO	SI	NO
8	San Isidro	NO	SI	NO	SI	NO
9	Santa Marianita	NO	NO	NO	NO	NO
10	Sevilla Don Bosco	NO	SI	NO	SI	NO
11	Sinaí	NO	NO	NO	NO	NO
12	Sucúa	SI	SI	NO	SI	NO
13	Zuñac	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: CNT **Elaborada por:** Jorge Hidalgo Bourgeat

Actualmente la red de comunicaciones de la CNT, principal red de internet y datos en el centro de la provincia de Morona Santiago, se encuentra distribuido y diseñado como se muestra en el gráfico.

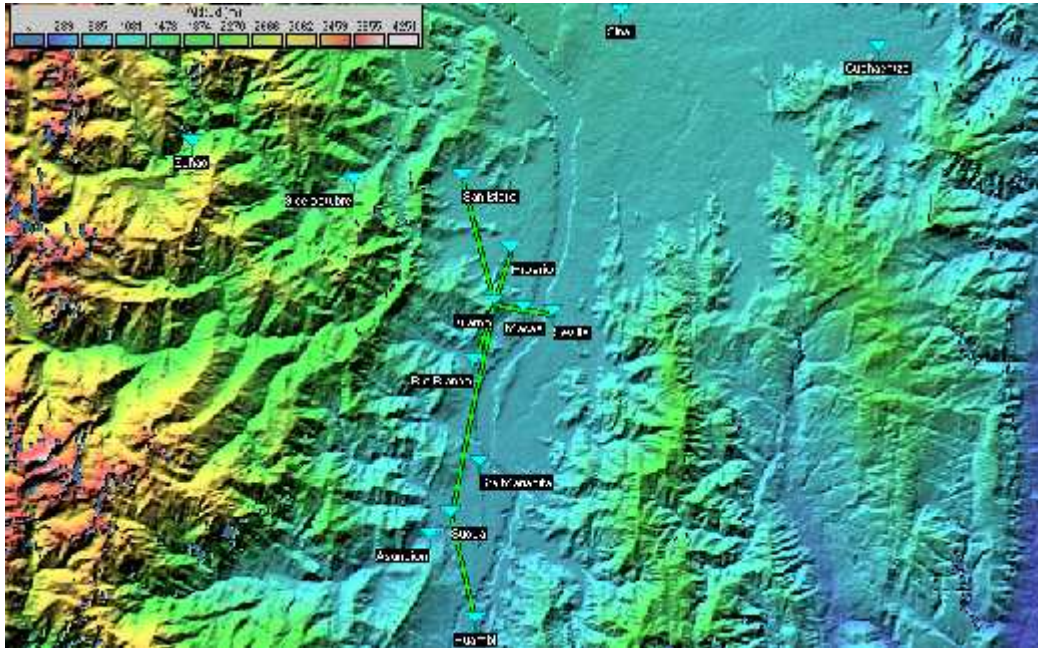


Figura 62. Red actual en el centro de Morona Santiago⁵¹

Como se puede observar 6 parroquias no tienen acceso a las comunicaciones (Asunción, Santa Marianita, Sinaí, Cuchaentza, 9 de Octubre y Zuñac) mientras que las otras 7 tienen acceso a través de una red WIFI, sin embargo nada nos garantiza que este diseño de red sea el más eficiente para brindar el acceso a estas parroquias rurales.

Esto es precisamente lo que se debe analizar para determinar si el diseño de red actual existente en el centro de la provincia de Morona Santiago puede ser mejorado utilizando una otra tecnología o simplemente ampliando la red para llegar a los sitios que la red actual no llega.

⁵¹ Fuente CNT, Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.1.9 TECNOLOGÍA A UTILIZAR

Una vez realizado el análisis de las tecnologías inalámbricas, sus ventajas y desventajas, la situación geográfica y demográfica de la zona, el análisis costo-beneficio y el estado actual de las redes en Morona Santiago se ha llegado a la conclusión que:

WRAN, es la mejor opción al momento de implementar redes en las zonas rurales, sin embargo al ser un estándar nuevo aún no se ha probado su efectividad en la práctica. En el Ecuador la falta de conocimientos, infraestructura y equipos que soporten esta tecnología pero sobre todo su alto costo, hacen que ésta no sea una solución a corto plazo sino más bien a mediano y largo plazo, por lo que descartaremos la posibilidad de realizar el diseño de red con WRAN.

Para las zonas rurales del centro de la provincia de Morona Santiago donde el índice de penetración de internet no supera el 2% (es decir prácticamente nula), en una provincia donde la densidad poblacional es la más baja del país (5.75 habitantes por kilómetro cuadrado), basados en las experiencias de otras empresas y estudios previos; la implementación con WIMAX no se justifica debido al bajo índice de retorno de la inversión y a que WI-FI para exteriores cumple con el suficiente grado de estabilidad y escalabilidad a las distancias necesarias para interconectar las zonas rurales del centro de Morona Santiago.

Por lo tanto entre los estándares WI-FI, el que ofrece las mejores prestaciones para el tipo de red que deseamos diseñar es el 802.11 a/g, el cual lo utilizaremos de aquí en adelante para el diseño de nuestra red de comunicaciones.

4.1.10 DISEÑO DE LA NUEVA RED DE COMUNICACIONES

4.1.10.1 ESTUDIOS DEL SITIO

Ubicación de los puntos finales de la red

Para iniciar los cálculos es muy importante conocer geográficamente en donde se encuentra ubicados los puntos finales a interconectar en nuestra red de comunicaciones, la mejor forma de ubicándolos es a través de la georeferenciación por medio del sistema de posicionamiento global.

Para obtener los datos se ha realizado visitas a los sitios y a través del GPS marca Garmin se obtuvo los siguientes datos:

Tabla IV.IV. Coordenadas Geográficas de los puntos finales

SITIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	G	M	S	ORIENT.	En Grados	ALTURA (m)
9 de Octubre	Latitud	2	13	0.0	S	-2,216662	1578,7
	Longitud	78	14	32.2	O	-78,24229	
Asunción	Latitud	2	28	16.3	S	-2,471189	803,3
	Longitud	78	11	15.9	O	-78,18776	
Cuchaentza	Latitud	2	7	17.5	S	-2,121528	1013,2
	Longitud	77	51	57.3	O	-77,86591	
Gral. Proaño	Latitud	2	15	57.0	S	-2,265833	1087,7
	Longitud	78	07	45.0	O	-78,12917	
Huambi	Latitud	2	31	51.8	S	-2,531047	752,2
	Longitud	78	9	17.1	O	-78,15476	
Macas	Latitud	2	18	28.7	S	-2,307972	1021,2
	Longitud	78	7	11.0	O	-78,11972	
Rio Blanco	Latitud	2	20	46.4	S	-2,346222	950,3
	Longitud	78	9	19.1	O	-78,1553	
San Isidro	Latitud	2	12	47.7	S	-2,21325	1145,5
	Longitud	78	9	51.8	O	-78,16439	
Santa Marianita	Latitud	2	25	7.8	S	-2,418833	880,9
	Longitud	78	9	6.9	O	-78,15192	
Sevilla Don Bosco	Latitud	2	18	40.2	S	-2,311159	979,5
	Longitud	78	5	57.4	O	-78,09927	
Sinái	Latitud	2	12	10.5	S	-2,094944	1189,9
	Longitud	78	5	41.8	O	-78,05022	
Sucúa	Latitud	2	27	20.3	S	-2,455639	831,3
	Longitud	78	10	19,4	O	-78,17206	
Zuñac	Latitud	2	11	22.5	S	-2,189586	2293,5
	Longitud	78	21	30,0	O	-78,35833	

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Ubicación de los sitios de repetición

Será necesario identificar y georeferenciar varios sitios de repetición donde estarán ubicados los equipos de comunicaciones, estos sitios nos permitirán alcanzar los puntos finales en donde inicialmente no existe línea de vista entre los 2 puntos, los sitios están definidos en la tabla IV.V.

Tabla IV.V. Coordenadas Geográficas de los repetidores

SITIOS REPETICIÓN	COORDENADAS GEOGRAFICAS	G	M	S	ORIENT.	En Grados	ALTURA (m)
Kilamo	Latitud	2	18	13.0	S	-2,303611	1420,1
	Longitud	78	8	29.0	O	-78,14139	
San Luis del Upano	Latitud	2	29	36.4	S	-2,493437	1033,9
	Longitud	78	7	0.6	O	-78,11684	
Tres Marias	Latitud	2	6	25.4	S	-2,107056	1175,4
	Longitud	78	1	30.4	O	-78,02511	
Tigre	Latitud	2	13	3.8	S	-2,217722	1860,3
	Longitud	78	13	30.4	O	-78,22511	
Repetidor1	Latitud	2	14	0.0	S	-2,233333	1813,6
	Longitud	78	17	0.0	O	-78,28333	
Repetidor2	Latitud	2	10	15.9	S	-2,171074	2200,0
	Longitud	78	19	40.8	O	-78,32799	

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

Distancia entre los puntos

Para obtener la distancia entre dos puntos de la tierra, se requiere los datos de latitud y longitud como los que se mencionaron en las tablas anteriores. Normalmente los datos se los tiene en grados, minutos y segundos, por lo que se debe convertir los grados con decimales a radianes, para ello podemos aplicar la ecuación:

$$C_{(Radianes)} = \left(H + \frac{M}{60} + \frac{S}{60} \right) \times 0,01745329252$$

Ecuación 17

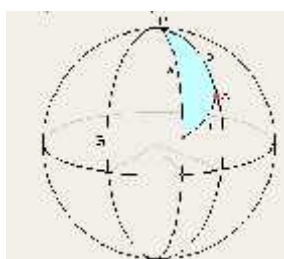


Figura 63. Distancia entre 2 puntos A y B⁵²

⁵² <http://www.arrakis.es/~mcj/notas013.htm>

Para calcular la distancia entre cada salto en la superficie terrestre podemos citar la fórmula de Haversine:

$$D_{AB} = R \text{Acos}[\text{Cos}(\text{lat}A)\text{Cos}(\text{lat}B)\text{Cos}(\text{lng}B - \text{lng}A) + \text{Sin}(\text{lat}A)\text{Sin}(\text{lat}B)]$$

Ecuación 18

Donde R (radio de la superficie terrestre):

R ecuatorial = 6378 Km.

R polar = 6356 Km.

R media = 6371 Km.

Tomando como ejemplo el enlace MACAS(A) – KILAMO(B), utilizando los datos de las tablas IV.IV e IV.V, la distancia entre los puntos se calcula de la siguiente así:

$$D_{AB} = 6378 \text{Acos}[\text{Cos}(-0,0402817104439694)\text{Cos}(-0,0402055966352897)\text{Cos}(-1,3638245375894 - (-1,36344632474049)) + \text{Sin}(-0,0402817104439694)\text{Sin}(-0,0402055966352897)]$$

$$D_{AB} = 2,4586 \text{ Km}$$

En general para todas las redes que se requiere, la distancia entre los puntos se muestra a continuación

Tabla IV.VI. Distancias de los enlaces

SITIO	DISTANCIA SIMULADA (Km)	DISTANCIA CALCULADA (Km)
MACAS - KILAMO	2,45	2,458
KILAMO - GRAL. PROAÑO	4,41	4,413
KILAMO - SEVILLA	4,75	4,751
KILAMO - RIO BLANCO	4,98	4,986
KILAMO - SAN ISIDRO	10,36	10,366
KILAMO – TRES MARIAS	25,37	25,372
KILAMO – TIGRE	13,32	13,321
KILAMO – SAN LUIS DEL UPANO	21,27	21,273
SAN LUIS - HUAMBI	5,93	5,938
SAN LUIS - ASUNCION	8,25	8,249
SAN LUIS - SUCUA	7,43	7,432
SAN LUIS – STA MARIANITA	9,16	9,165
TRES MARIAS – SINAÍ	3,30	3,301
TREA MARIAS - CUCHAENTZA	17,75	17,754
TIGRE – 9 DE OCTUBRE	1,91	1,909
TIGRE – REPETIDOR1	6,69	6,691
REPETIDOR1 - REPETIDOR2	8,51	8,514
REPETIDOR2 - ZUÑAC	3,95	3,949

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.1.10.2 PRESUPUESTO DEL ENLACE

Análisis preliminar

Recordemos que el cálculo del presupuesto del enlace sirve para determinar la viabilidad de un enlace de comunicaciones, un sistema pobremente diseñado puede producir paros del sistema, aumento en la latencia, disminución del rendimiento, o un fallo completo en la comunicación. Por lo tanto, partiremos de lo mencionado en los capítulos anteriores para resumir las características iniciales que tendrá el sistema.

- Tecnología inalámbrica: WI-FI 802.11a
- Topológica: Punto – Punto con repetidores
- Ambiente: Necesariamente Línea de Vista entre las antenas
- Distancia máxima requerida: 25 Km
- Antenas: Omnidireccionales de grilla semiparabólicas con polarización vertical
- Equipamiento: Radio base, Pigtail, Cable de antena, Antena, Torres ventadas, Kit de instalación, Ups, cajas terminas, paneles solares, etc.

Perdida en el Espacio Libre (FSL)

Es la atenuación esperada de una señal mientras viaja fuera del dispositivo transmisor, una señal electromagnética radiada desde un punto central en espacio libre, sufre un estrechamiento y por tanto la densidad de la potencia disminuye a medida que la señal se aleja de la fuente.

Mediante la fórmula de Friis se puede calcular las pérdidas en el espacio libre en dB:

$$FSL(dB) = 32.45 + 20(\log_{10}(F_{MHz})) + 20(\log_{10}(D_{km}))$$

Donde,

D_{km} = Distancia en Kilómetros

F_{MHz} = Frecuencia en MHz

A mayor distancia mayores pérdidas, a mayor frecuencia mayores pérdidas.

De aquí en adelante para observar el procedimiento realizado en todos los cálculos, se tomará como ejemplo el enlace KILAMO – MACAS y se replicará en el resto de enlaces. Por lo tanto el FSL para este enlace que tiene una distancia de 2,45 Km. es:

$$\text{FSL(dB)} = 32.45 + 20(\log_{10}(5800)) + 20(\log_{10}(2,45))$$

$$\text{FSL(dB)} = 107.7 + 20(\log_{10}(2,45))$$

$$\text{FSL(dB)} = 115.501 \text{ dB}$$

La tabla siguiente nos muestra la FSL según las distintas de nuestra red propuesta.

Tabla IV.VII. FSL en la red propuesta

SITIO	DISTANCIA DEL ENLACE (Km)	PERDIDA EN EL ESPACIO-FSL (dB)
MACAS - KILAMO	2,45	115,5
KILAMO - GRAL. PROAÑO	4,41	119,8
KILAMO - SEVILLA	4,75	121,2
KILAMO - RIO BLANCO	4,98	121,6
KILAMO - SAN ISIDRO	10,36	128,0
KILAMO – TRES MARIAS	25,37	135,7
KILAMO – TIGRE	13,32	130,1
KILAMO – SAN LUIS DEL UPANO	21,27	134,2
SAN LUIS - HUAMBI	5,93	123,1
SAN LUIS - ASUNCION	8,25	126,0
SAN LUIS - SUCUA	7,43	125,1
SAN LUIS – STA MARIANITA	9,16	126,9
TRES MARIAS – SINAÍ	3,30	117,5
TREA MARIAS - CUCHAENTZA	17,75	132,6
TIGRE – 9 DE OCTUBRE	1,91	113,4
TIGRE – REPETIDOR1	6,69	124,2
REPETIDOR1 - REPETIDOR2	8,51	126,3
REPETIDOR2 - ZUÑAC	3,95	119,6
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat		

Nivel de señal recibida (RSL)

Supongamos que el punto denominado KILAMO (Tx) está conectado a una antena direccional de 10 dBi de ganancia, mientras que MACAS (Rx) está conectado a una antena direccional de 14 dBi de ganancia. La potencia de transmisión del Kilamo es 100 mW (ó 20 dBm) y su sensibilidad es -89 dBm. La potencia de transmisión del cliente(Macas) es de 30 mW (ó 15 dBm) y su sensibilidad es de -82 dBm. Los cables son cortos, con una pérdida de 2 dB a cada lado.

Sumando todas las ganancias y restando las pérdidas desde el Tx hasta el Rx nos da:

$$\begin{array}{r} 20 \text{ dBm} \quad (\text{TX Potencia del Radio 1}) \\ + 10 \text{ dBi} \quad (\text{Ganancia de la Antena de Radio 1}) \\ - 2 \text{ dB} \quad (\text{Pérdida en los Cables de Radio 1}) \\ + 14 \text{ dBi} \quad (\text{Ganancia de la Antena de Radio 2}) \\ - 2 \text{ dB} \quad (\text{Pérdida en los Cables de Radio 2}) \\ \hline = 40 \text{ dB} \quad \text{Ganancia Total} \end{array}$$

El FSL calculado para este enlace fue de 115.5 dB lo restamos de la ganancia total y obtenemos el RSL:

$$\text{RSL} = 40 \text{ dB} - 115,5 \text{ dB} = -75,5 \text{ dBm}$$

Ahora debemos calcular la ganancia desde el cliente hacia el punto de acceso:

$$\begin{array}{r} 15 \text{ dBm} \quad (\text{TX Potencia del Radio 2}) \\ + 14 \text{ dBi} \quad (\text{Ganancia de la Antena de Radio 2}) \\ - 2 \text{ dB} \quad (\text{Pérdida en los Cables de Radio 2}) \\ + 10 \text{ dBi} \quad (\text{Ganancia de la Antena de Radio 1}) \\ - 2 \text{ dB} \quad (\text{Pérdida en los Cables de Radio 1}) \\ \hline 35 \text{ dB} = \text{Ganancia Total} \end{array}$$

Obviamente, la pérdida en el camino es la misma en el viaje de vuelta. Por lo tanto nuestro nivel de señal recibido en el punto de acceso es:

$$\text{RSL} = 35 \text{ dB} - 115,5 \text{ dB} = -80,5 \text{ dBm}$$

Sensibilidad del receptor

El Umbral de Sensibilidad del Receptor (Rx) define la potencia mínima requerida de la señal para que un radio reciba una señal con éxito, un radio no puede recibir o interpretar una señal que es más débil que el umbral de sensibilidad del receptor.

Por lo tanto en nuestro ejemplo, ya que -75,5 dBm es mayor que la sensibilidad del receptor del cliente (-82 dBm), el nivel de señal es justo el suficiente para que el cliente(Macas) sea capaz de oír al transmisor(Kilamo).

Margen de desvanecimiento

El Margen de desvanecimiento o Fade Margin es la cantidad de señal que se recibe por encima del nivel de sensibilidad del receptor, se calcula:

$$Fade\ Margin = Sensitividad - RSL$$

Ecuación 19

Si la sensibilidad de recepción de la antena instalada en el KILAMO es -89 dBm, nos deja un margen de desvanecimiento de 8,5 dB (89 dB – 80,5 dB). En general este enlace probablemente va a funcionar pero podría utilizar un poco más de ganancia.

Sin embargo, el margen de desvanecimiento en el receptor MACAS solamente es de 6,5 dB (82 dB – 75,5 dB) lo que nos permite trabajar bien con buen tiempo, pero probablemente no sea suficiente para enfrentar condiciones climáticas extremas como las existentes en la región amazónica.

Mientras mas Fade Margin existe mayor confiabilidad tendrá el enlace, el fade Margin mínimo depende de la distancia y esta dado por:

$$Fade\ Margin\ Minimo = 5.25 + 11\log_{10}(D_{km})$$

Para el enlace en cuestión

$$Fade\ Margin\ Minimo = 5.25 + 11\log_{10}(2,45)$$

$$Fade\ Margin\ Minimo = 9.53 \cong 10\ dB$$

Cálculo del enlace factible

Para determinar si un enlace es factible, se debe comparar el nivel de señal recibido calculado con el umbral de sensibilidad recibido. El enlace es teóricamente factible si:

$$RSL \geq RX$$

Finalmente, si la señal recibida es mayor que la intensidad mínima de señal recibida en ambas direcciones del enlace, entonces el enlace es viable.

$$Kilamo \rightarrow Macas: - 75,5\ dB \geq - 82\ dB \text{ (El enlace es viable)}$$

$$Macas \rightarrow Kilamo: - 80,5\ dB \geq - 89\ dB \text{ (El enlace es viable)}$$

4.1.10.3 CÁLCULOS PARA LA SIMULACIÓN

Análisis de Señal

De acuerdo al análisis realizado en el cálculo del presupuesto del enlace del punto anterior, nuestro enlace ejemplo KILAMO - MACAS probablemente trabajará bien con buen tiempo, sin embargo talvés no sea suficiente para enfrentar las condiciones climáticas extremas existentes en la región amazonica.

Para mejorar ésto podemos usar una antena de 24 dBi en el lado de Rio Blanco en lugar de una antena de 14 dBi, tendremos una ganancia adicional de 10 dBi en ambas direcciones del enlace (recordemos que la ganancia de la antena es recíproca).

Una opción más cara puede ser la de utilizar radios de más potencia en ambos extremos del enlace, pero un amplificador o una tarjeta de más potencia en uno sólo de los extremos, no ayuda a mejorar la calidad global del enlace.

Por lo tanto utilizar una antena de 24 dBi garantizará el buen funcionamiento del sistema aún en condiciones climaticas adversas y brindará algo de espacio para la atenuación y la multitrayectoria en la señal de radio recibida, según lo mencionado en el Capítulo II.

Conductividad y permitividad del suelo

En los enlaces en zonas rurales de interés, donde el principal componente a tener en cuenta es la orografía del terreno, el modelo de propagación utilizado habitualmente es el de Logley-Rice. Este modelo tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Frecuencia de operación
- Potencia de Tx
- Sensibilidad de recepción
- Conductividad del suelo
- Permitividad relativa al suelo

Dada su complejidad, se suelen utilizar programas de simulación que, partiendo de los datos topográficos del terreno y de algunos otros parámetros introducidos por el usuario (altura de torres, cantidad de vegetación, clima, etc.) son capaces de realizar una buena estimación de las pérdidas básicas de propagación mediante este modelo.

Uno de estos programas es Radio Mobile, el cual se ha validado el correcto funcionamiento comparando los valores resultantes de los cálculos anteriores con los simulados, obteniendo exactitud en los datos, por lo que la herramienta de simulación para este estudio será el software "Radio Mobile".

Es importante considerar los valores de atenuación producidos por efectos de la lluvia en las diferentes bandas:

En 2.4 GHz:

Lluvia torrencial (4 pulg/hora) = 0.05 dB/Km

Lluvia ligera = 0.02 dB/Km

En 5.8 GHz:

Lluvia torrencial (4 pulg/hora) = 0.05 dB/Km

Lluvia ligera = 0.07 dB/Km

Frecuencia

A fin de implementar el proyecto, se debe determinar que frecuencias en las bandas ICM (Investigación, Ciencia, Medicina) se va a utilizar.

El año 2005 fue aprobada la resolución 417-15-CONATEL-2005, la cual permite la operación de sistemas de radiocomunicaciones que empleen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha.

La Tabla IV.VIII muestra los rangos de frecuencia asignados a las bandas ICM e INI en el Ecuador.

Tabla IV.VIII. Frecuencias que asigna la SENATEL

Ord	Banda MHz	Asignación
1	902 - 928	ICM
2	2400 - 2483.5	ICM
3	5150 – 5250	INI
4	5250 – 5350	INI
5	5470 – 5725	INI
6	5725 - 5850	ICM, INI
Fuente: Proyecto de fin de Master de Danilo Corral De Witt		

Para el proyecto se utilizará la frecuencia de 5725 – 5850 la cual es la más alta banda de frecuencias INI no licenciadas, aun así según la regulación vigente, es necesario que quien opere estas frecuencias las registre en la SENATEL y cancele un valor por uso de la misma.

Zona de Fresnel

La línea de vista en RF no es la misma línea de vista óptica, adicionalmente se requiere una zona limpia denominada Primera Zona de Fresnel. Se requiere mínimo el 60% de la primera zona de fresnel libre de obstáculos.

El tamaño de cada zona de fresnel varía basado en la frecuencia de la señal de radio y la longitud de la ruta:

- Así cuando la frecuencia disminuye, el tamaño de la zona de fresnel aumenta.
- Así cuando la longitud de la ruta aumenta, el tamaño de la zona de fresnel también aumenta.

De lo mencionado en el capítulo II la fórmula para calcular el radio de la primera zona de fresnel está dada por:

$$F1 = 17.3 \sqrt{\frac{D_1(Km) \times D_2(Km)}{F_{GHZ} \times D}}$$

Para nuestro enlace KILAMO – MACAS el valor es el siguiente:

$$F1 = 17.3 \sqrt{\frac{2.5 \times 2.5}{5.8 \times 2.45}}$$
$$F1 = 11.47 \text{ m} \Rightarrow 60\% = 6.88 \text{ m}$$

Capacidad del enlace

Es necesario estimar la capacidad que debe soportar cada enlace de acceso. Para realizar los cálculos, se procede como se señala en la sección 2.3.2.2

Los valores que se asigna a las variables son:

N_u es el número de usuarios, se considera 50 por cada NLS.

T_n es el tiempo de ocupación del canal, se lo estima en 300 segundos.

Aplicando (1), se obtiene que:

$$A = N_u \times T_n / 3600 \quad (1)$$

$$A = 50 \times 300 / 3600$$

$$A = 4,16 \text{ Er}$$

Se asume una probabilidad de bloqueo P_b de 10%, lo que representa que en la hora pico, el 10 % de los usuarios que requieran usar el canal, es probable que no puedan hacerlo y deban reintentar.

Se utiliza la Tabla II.XIII, que representa el tráfico soportado por un enlace para una determinada probabilidad de bloqueo y un número de canales dados. Empleando (2), se puede encontrar el número de canales necesarios.

$$B^{-1}(P_b, A) = N \quad (2)$$

Donde:

$$P_b = 10\%$$

$$A = 4,16$$

Entonces

$$N = 7$$

B_n es el ancho de banda asignado a cada canal, para simplificar, se asume que el ancho de banda necesario por usuario es de **250 Kbps de bajada por 150 Kbps de subida**, esta velocidad respeta la definición de la SENATEL de que banda ancha es un canal mínimo de 250 Kbps para el usuario, entonces el canal necesario para cada usuario es de:

$$400 \text{ Kbps.}$$

Entonces:

$$C_{\text{enlace}} = N \times Bn \quad (3)$$

$$C_{\text{enlace}} = 7 \times 400 \text{ Kbps}$$

$$C_{\text{enlace}} = 2,8 \text{ Mbps}$$

La red requiere de salida al internet, lo cual se puede lograr por medio del nodo de fibra optica de CNT en Macas, por lo tanto si todo el tráfico sale a través de éste enlace principal (Kilamo-Macas), la capacidad total sería la suma de los doce enlaces secundarios, ya que obviamente Macas sale por su mismo nodo, así:

$$C_{\text{enlace principal}} = 2,8 \text{ Mbps} \times 12$$

$$C_{\text{enlace principal}} = 33,6 \text{ Mbps}$$

Sin embargo, se puede mejorar el rendimiento de la red, aprovechando el nodo de fibra óptica de CNT en Sucúa, de ésta forma se subdivide el tráfico en dos subredes y se disminuye la capacidad requerida para los enlaces principales hacia el internet.

La primera subred está compuesta por 8 parroquias rurales, todas ellas salen a través de la red Macas-Kilamo. Los cálculos realizados se pueden resumir en la Tabla IV.IX.

Tabla IV.IX. Cálculo de la Capacidad para el enlace a Macas

Población	Nº	Pb %	T (seg)	A(Er)	Canales B	n (Kbps)	Velocidad
9 de Octubre	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Gral. Proaño	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
San Isidro	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Sevilla Don Bosco	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Sinaí	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Zuñac	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Cuchaentza	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Rio Blanco	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Capacidad del enlace principal 1 (Macas-Kilamo):							22,4 Mbps
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat							

Para cumplir con lo establecido por la SENATEL, el enlace Macas-Kilamo requiere una capacidad mínima de 22,4 Mbps, ésta capacidad es ampliamente superado por el estandar WI-FI 802.11a/g el cual estamos utilizando.

Mientras que la segunda subred está compuesta por 3 parroquias, todas ellas salen a través de la red Sucúa-San Luis del Upano, éste enlace requiere una capacidad de 8,4 Mbps como muestra en la Tabla IV.X.

Tabla IV.X. Cálculo de la Capacidad para el enlace a Sucúa

Población	Nº	Pb %	T (seg)	A(Er)	Canales B	n (Kbps)	Velocidad
Asunción	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Huambi	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Santa Marianita	50	10	300	4,16	7	400	2,8 Mbps
Capacidad del enlace principal 2 (Sucúa-San Luis del Upano):							8,4 Mbps
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat							

De igual forma sucede para cada uno de los enlaces, es decir cada enlace requiere una velocidad de transferencia de 2,8 Mbps.

Si la red es utilizada para brindar acceso a internet, la salida hacia el internet será a través de cada subred principal, por lo tanto el enlace Kilamo-San Luis del Upano quedará subutilizado.

Pero si la red se utiliza para envío de datos entre todos las parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago, ésto significa que en el supuesto caso que la red opere a su maxima capacidad (todos contra todos), la capacidad requerida para el enlace troncal Kilamo-San Luis del Upano será de:

$$C_{\text{enlace troncal}} = 2,8 \text{ Mbps} \times 13$$

$$C_{\text{enlace troncal}} = 36,4 \text{ Mbps}$$

Ya que los equipos a utilizar soportan 54 Mbps, la capacidad será suficiente para el enlace principal sin que se presente un cuello de botella. Además la red proporcionará conectividad a 650 hogares (50*13), esto significa que el índice de penetración llegaría al 10.9% lo que implica una mejoría del **4.6%** con relación a índice actual.

Si se desea ampliar la capacidad de los enlaces o se proyecta a futuro un alto crecimiento de usuario de la red, lo ideal sería utilizar tecnología WIMAX ya que permitirá una mayor capacidad del canal, tambien conocido como ancho de banda.

4.1.11 RESULTADOS EN AMBIENTE DE SIMULACIÓN

Una vez determinados los requerimientos iniciales, calculadas las pérdidas en el espacio, el nivel de señal recibida, la sensibilidad del receptor, el margen de desvanecimiento, la conductividad y permitividad del suelo, la frecuencia a utilizar y la zona de Fresnel, usando Radio Mobile versión 11.3.5, se diseñará, simulará y propondrá un nuevo diseño de red de comunicaciones que permita mejorar la conectividad en el sector rural centro de Morona Santiago.

Luego de realizar las visitas respectivas a los puntos finales y sitios de repetición como se ve en el ANEXO IX, finalmente se encontró 2 diseños de red que brindan conectividad a todas las parroquias rurales del centro de Morona Santiago, diseños que fueron plasmados en la herramienta de simulación, tal como se muestra:

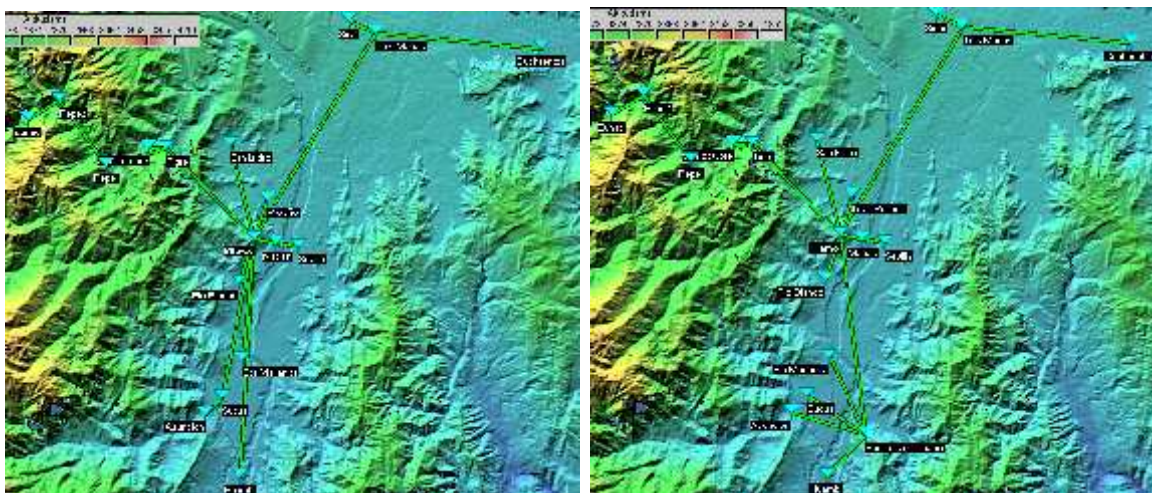


Figura 64. Diseños de redes para interconectar el sector rural centro de Morona Santiago⁵³

De lo analizado en la sección 4.1.10.3 referente a la capacidad del enlace y el uso del canal, se determina que la red de la derecha, la cual usa redundancia para proveer conectividad al internet es la red más eficiente, ya que permite desconcentrar el tráfico y optimizar los recursos.

Para cada enlace se ha procurado dejar un margen de desvanecimiento mínimo de 10 dB debido a las condiciones climáticas de la zona.

Las características de cada enlace como potencia, ganancia, altura de la antena, frecuencia, etc. se muestran en las figuras siguientes:

⁵³ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace Macas-Kilamo

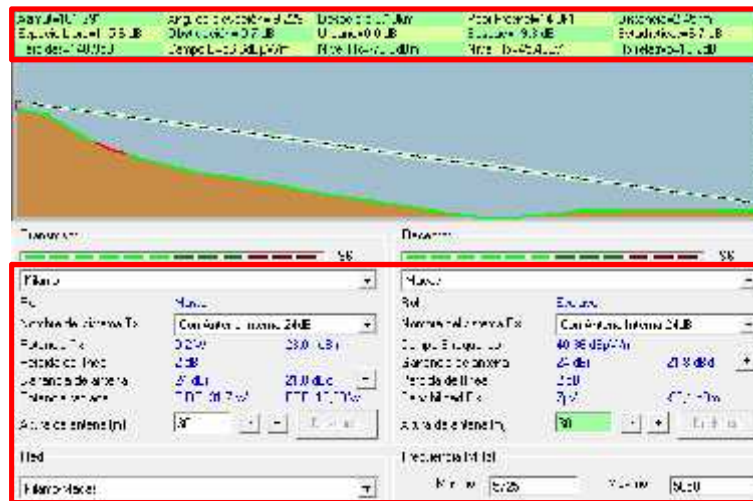


Figura 65. Simulación del enlace Macas-Kilamo⁵⁴

Enlace Kilamo-Gral. Proaño

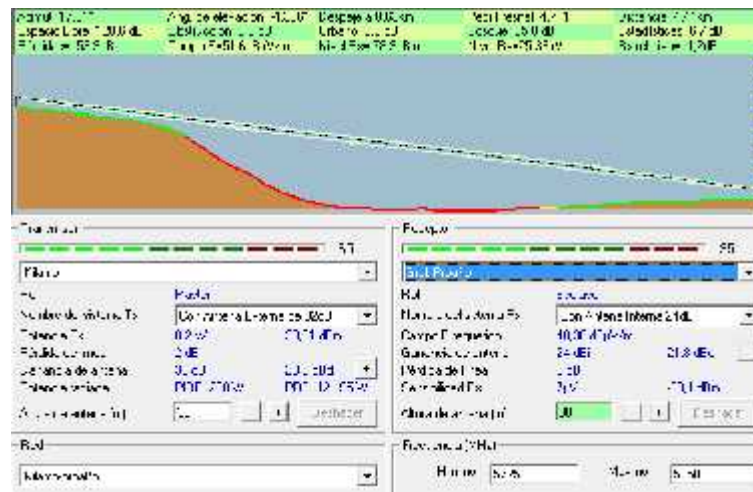


Figura 66. Simulación del enlace Kilamo-Gral Proaño⁵⁴

Enlace Kilamo-San Isidro

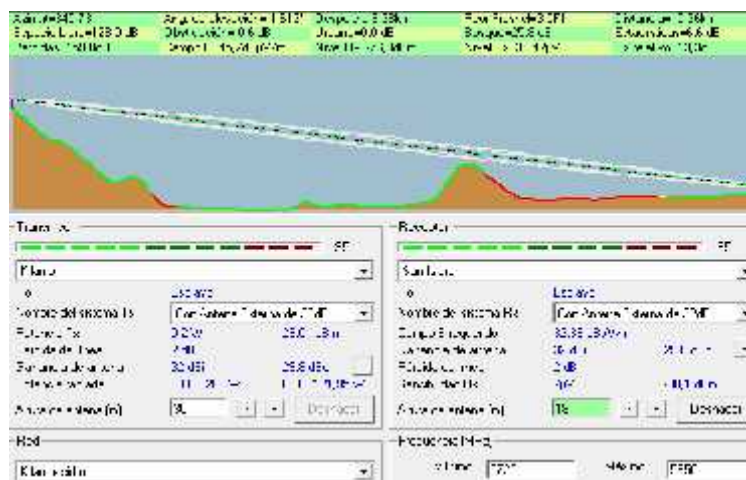


Figura 67. Simulación del enlace Kilamo-San Isidro⁵⁴

⁵⁴ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace Kilamo-Rio Blanco

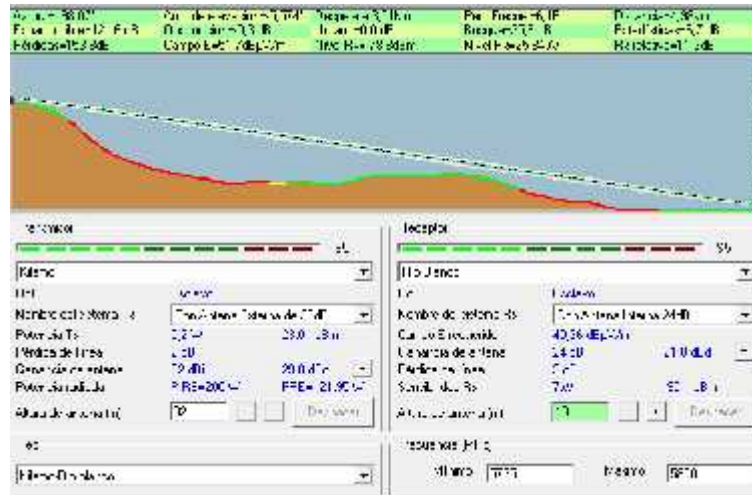


Figura 68. Simulación del enlace Kilamo-Rio Blanco⁵⁵

Enlace Kilamo-Sevilla Don Bosco

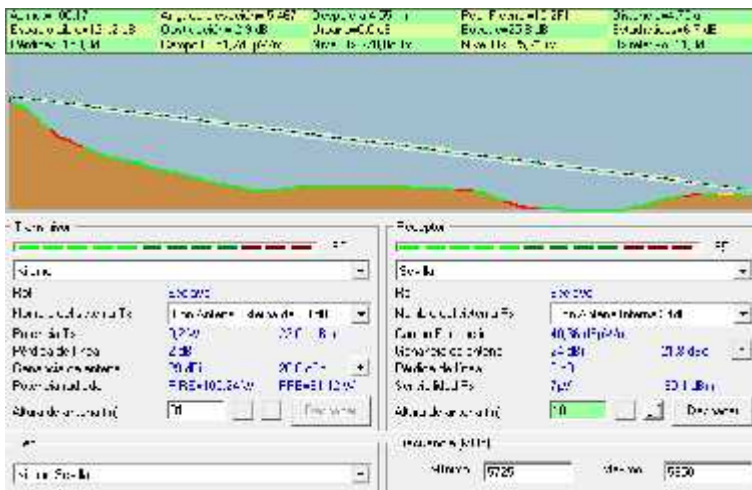


Figura 69. Simulación del enlace Kilamo-Sevilla Don Bosco⁵⁵

Enlace Kilamo-Tigre

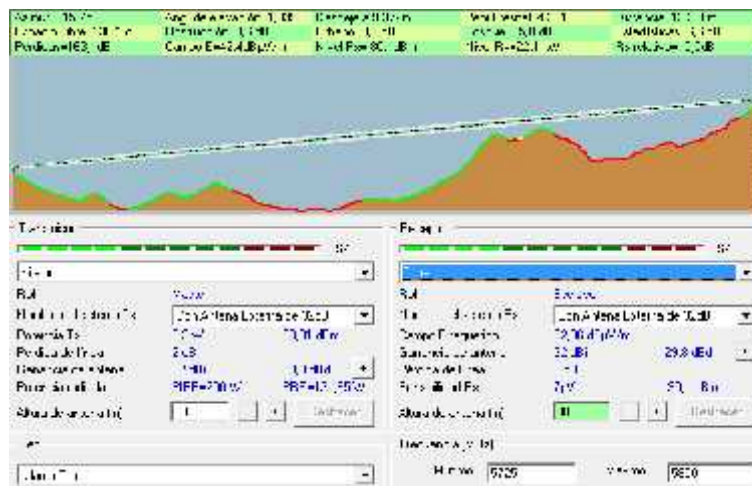


Figura 70. Simulación del enlace Kilamo-Tigre⁵⁵

⁵⁵ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace Tigre - 9 de Octubre

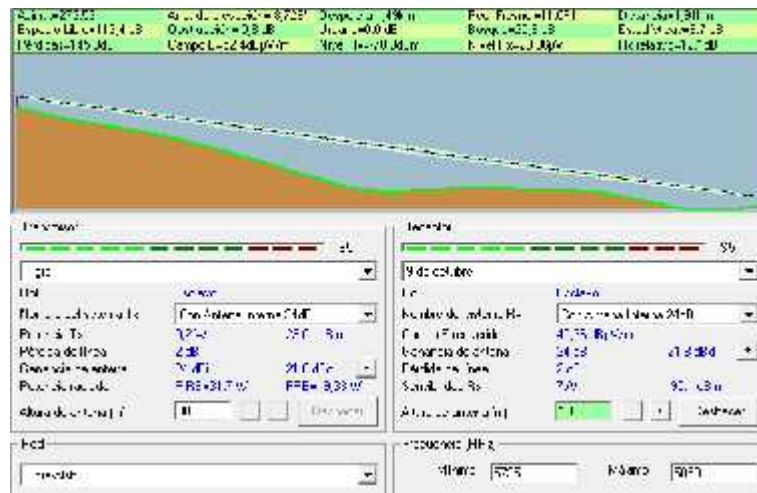


Figura 71. Simulación del enlace Tigre – 9 de Octubre⁵⁶

Enlace Tigre – Repetidor 1

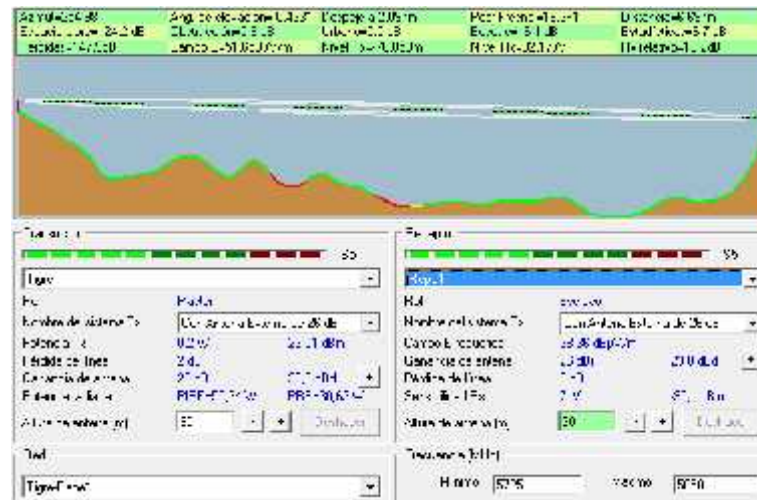


Figura 72. Simulación del enlace Tigre – Repetidor1⁵⁶

Enlace Repetidor 1 – Repetidor 2

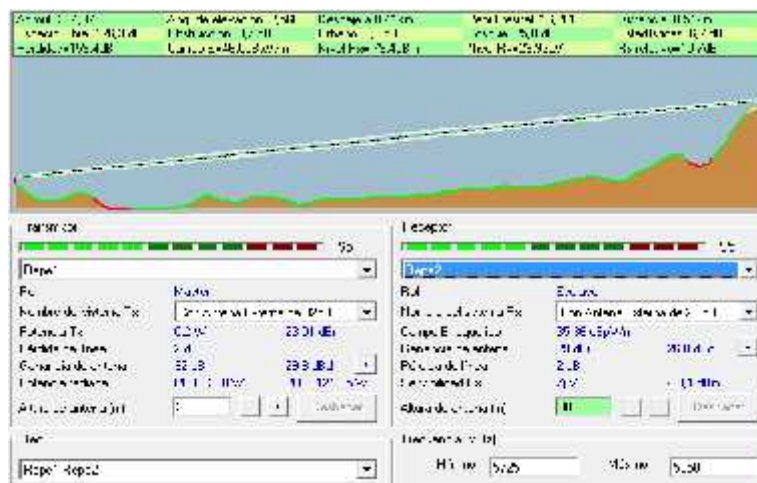


Figura 73. Simulación del enlace Repetidor1-Repetidor2⁵⁶

⁵⁶ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace Repetidor 2 - Zuñac

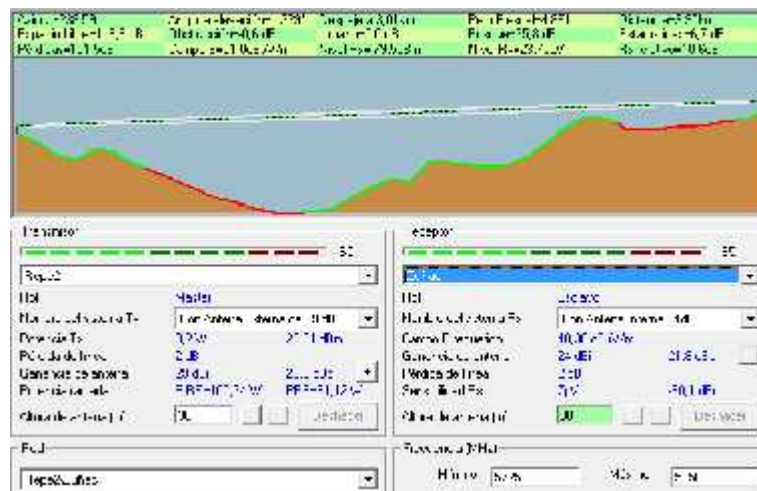


Figura 74. Simulación del enlace Repetidor2-Zuñac⁵⁷

Enlace Kilamo – Tres Marías

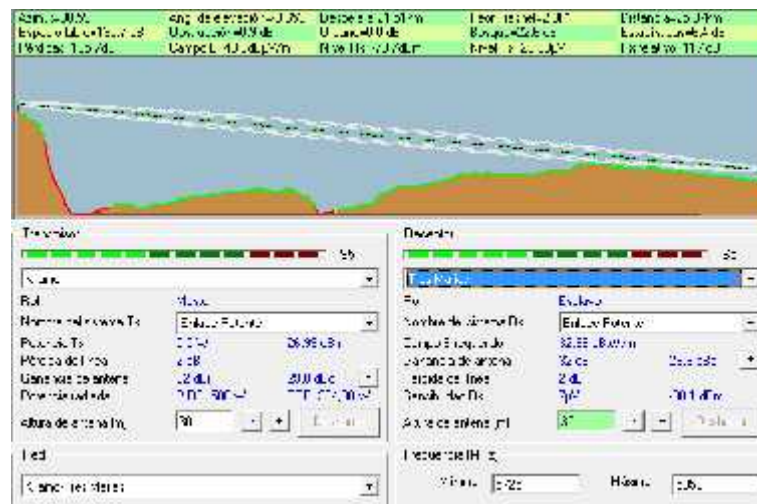


Figura 75. Simulación del enlace Kilamo-Tres Marías⁵⁷

Enlace Tres Marías - Sinal

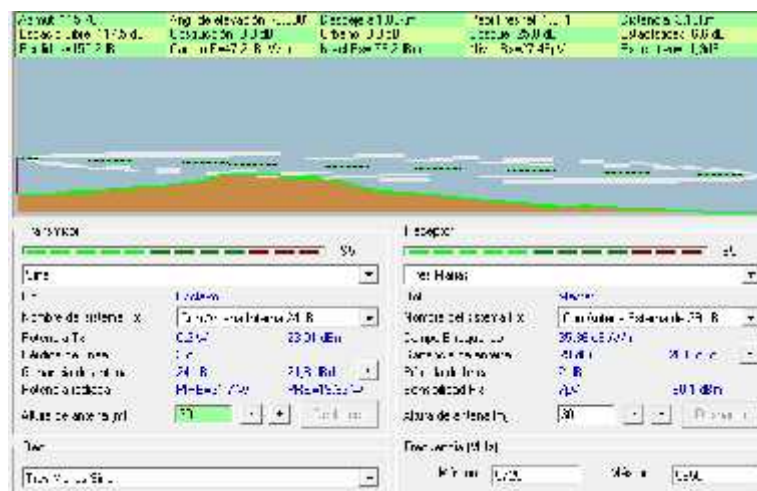


Figura 76. Simulación del enlace Tres Marías-Sinal⁵⁷

⁵⁷ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace Tres Marías - Cuchaentza

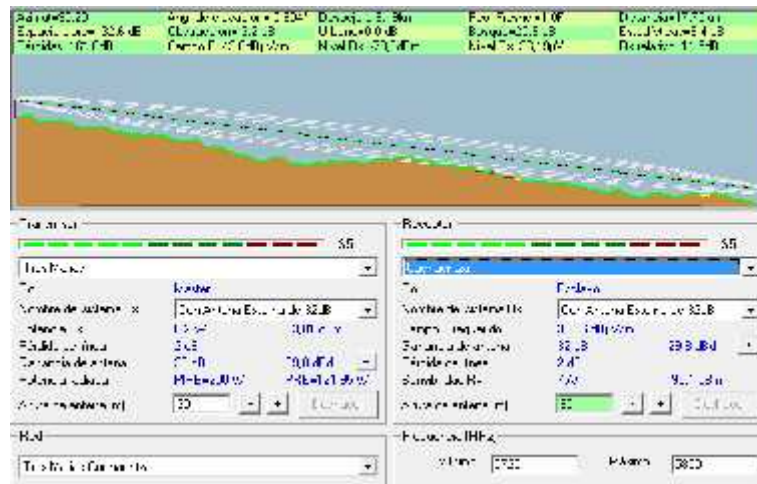


Figura 77. Simulación del enlace Tres María - Cuchaentza⁵⁸

Enlace Kilamo – San Luis del Upano

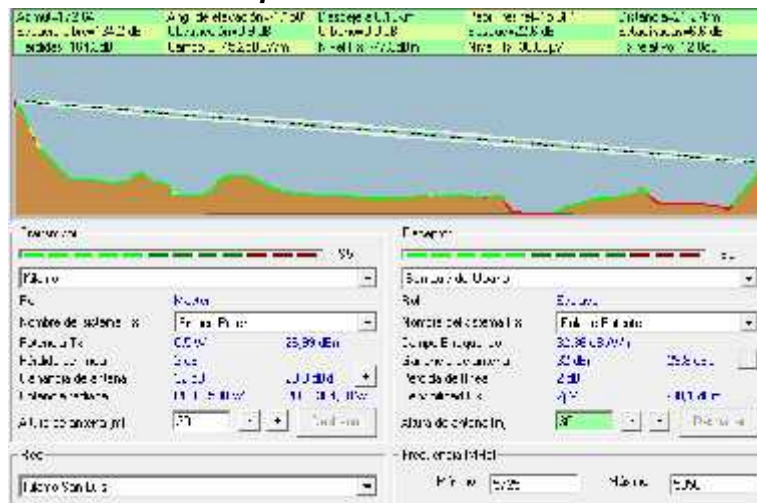


Figura 78. Simulación del enlace Kilamo-San Luis del Upano⁵⁸

Enlace San Luis del Upano – Sta. Marianita



Figura 79. Simulación del enlace San Luis del Upano – Sta. Marianita⁵⁸

⁵⁸ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Enlace San Luis del Upano – Sucúa

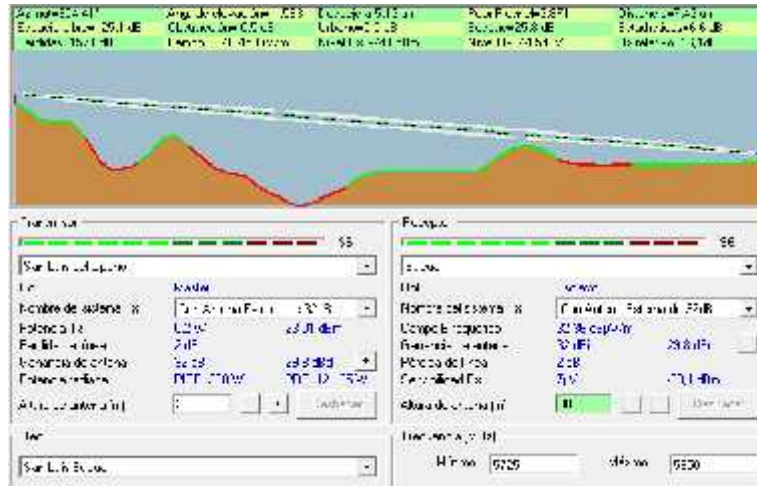


Figura 80. Simulación del enlace San Luis del Upano - Sucúa⁵⁹

Enlace San Luis del Upano – Asunción

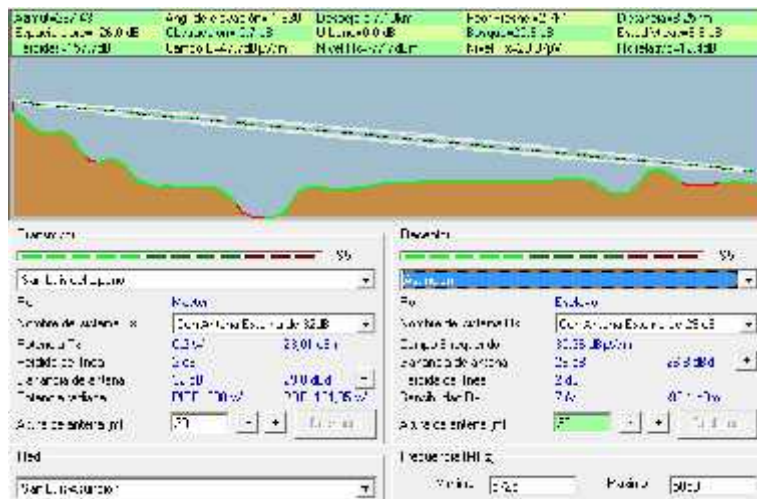


Figura 81. Simulación del enlace San Luis del Upano-Asunción⁵⁹

Enlace San Luis del Upano – Huambi

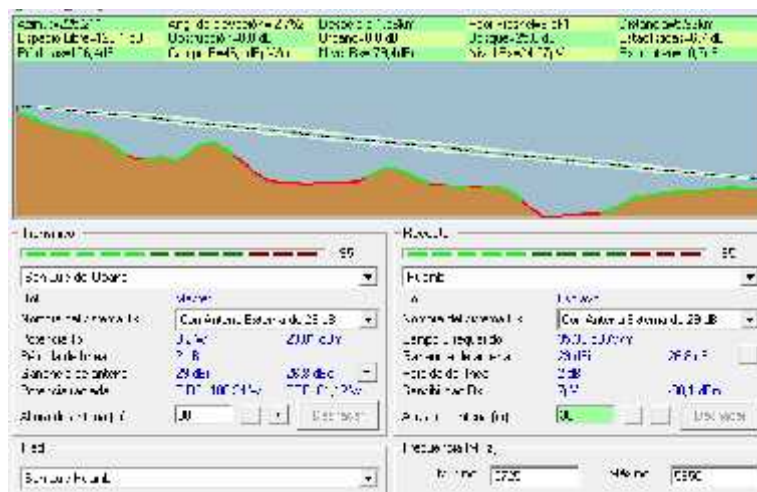


Figura 82. Simulación del enlace San Luis del Upano-Huambi⁵⁹

⁵⁹ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

Se ha levantado un resumen de toda la información técnica para los enlaces en la siguiente ficha.

Tabla IV.XI. Ficha técnica de los enlaces⁶⁰

N°	Nodo Wi-Fi				CPE				Distancia Km.	Perdidas Esp. Libre	Parametros para la ubicación de la Entidad y CPE					
	Nodo	Gain dBi	Pot. dBm	Freq. Ghz	Canton	Ubicación	Latitud Sur	Longitud O			Marca Tipo	RX Sensitiv	Gain dBi	Pot. dBm	Gain Total dB	Campo dBm
1	Macas	24	23	5,8	Morona	Kilamo	02°18'13.0"	078°08'29.0"	2,45	115,5	Mickrotic	-90	24	23	69	-46,5
2	Kilamo	29	23	5,8	Morona	Sevilla D.B.	02°18'40.2"	078°05'57.4"	4,75	121,2	Mickrotic	-90	24	23	74	-47,2
3	Kilamo	32	23	5,8	Morona	Gral. Proaño	02°15'57.0"	078°07'45.0"	4,41	119,8	Mickrotic	-90	24	23	77	-42,8
4	Kilamo	32	23	5,8	Morona	Río Blanco	02°20'46.4"	078°09'19.1"	4,98	121,6	Mickrotic	-90	24	23	77	-44,6
5	Kilamo	32	23	5,8	Morona	San Isidro	02°12'47.7"	078°09'51.8"	10,36	128,0	Mickrotic	-90	32	23	85	-43,0
6	Kilamo	32	27	5,8	Morona	Tres Marías	02°06'25.4"	078°01'30.4"	25,37	135,7	Mikrotik	-90	32	27	89	-46,7
7	Kilamo	32	23	5,8	Morona	Tigre	02°13'03.8"	078°13'30.4"	13,32	130,1	Mikrotik	-90	32	23	85	-45,1
8	Kilamo	32	27	5,8	Sucua	San Luis Upano	02°29'36.4"	078°07'00.6"	21,27	134,2	Mikrotik	-90	32	27	89	-45,2
9	Repetidor 1	32	23	5,8	Morona	Repetidor 2	02°10'15.9"	078°19'40.8"	8,51	126,3	Mikrotik	-90	29	23	82	-44,3
10	Repetidor 2	29	23	5,8	Morona	Suñac	02°11'22.5"	078°21'30.0"	3,95	119,6	Mikrotik	-90	24	23	74	-45,6
11	San Luis Upano	32	23	5,8	Sucua	Sucua	02°27'20.3"	078°10'19.4"	7,43	125,1	Mikrotik	-90	32	23	85	-40,1
12	San Luis Upano	29	23	5,8	Sucua	Sta. Marianita	02°25'07.8"	078°09'06.9"	9,16	126,9	Mikrotik	-90	29	23	79	-47,9
13	San Luis Upano	29	23	5,8	Sucua	Huambi	02°31'51.8"	078°09'17.1"	5,93	123,1	Mikrotik	-90	29	23	79	-44,1
14	San Luis Upano	32	23	5,8	Sucua	Asunción	02°28'16.3"	078°11'15.9"	8,25	126,0	Mikrotik	-90	29	23	82	-44,0
15	Tigre	24	23	5,8	Morona	9 de Octubre	02°13'00.0"	078°14'32.2"	1,91	113,4	Mikrotik	-90	24	23	69	-44,4
16	Tigre	26	23	5,8	Morona	Repetidor 1	02°14'00.0"	078°17'00.0"	6,69	124,2	Mikrotik	-90	26	23	73	-51,2
17	Tres Marías	32	23	5,8	Morona	Cuchaentza	02°07'17.5"	077°51'57.3"	17,75	132,6	Mickrotic	-90	32	23	85	-47,6
18	Tres Marías	24	23	5,8	Morona	Sinai	02°12'10.5"	078°05'41.8"	3,3	117,5	Mickrotic	-90	29	23	74	-43,5

⁶⁰ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.1.12 EQUIPOS

Entre los equipos más utilizados en el mercado Ecuatoriano para este tipo de enlaces tenemos los Tranzeo, Motorola Canopy y Mikrotik, los cuales se ponen a consideración sus características:

4.1.12.1 EQUIPO TRANZEO TR5PLUS

Los equipos de la Serie TR-5Plus de Tranzeo es una de las nuevas adiciones a la línea de productos de Tranzeo. Un equipo Tranzeo TR-5plus en la banda 5.8 GHz, puede ser configurado como Punto de Acceso, Punto a Punto o como puente.



Figura 83. Equipo de radio difusión Tranzeo⁶¹

Las características principales de este equipo son:

- WiFi Protected Access (WPA)
- WEP
- LED
- Salida RF de 23 dBm
- Puertos Duales de Ethernet
- Apoyo de Protocolo Túnel (VPN, PPTP, RSA, etc)
- Sistema de Distribución Inalámbrico (WDS)
- Seguridad (WEP, WPA, Autenticación MAC)
- Alertas de Status (en modalidad de Punto de Acceso)
- Alertas de Alineación (en modalidad CPE)
- Enrutador de Cliente NAT con QoS (Calidad de Servicio).
- Consumo máximo de 7 W
- Frecuencias en la banda de 5.8Ghz
- Modelos con antenas incorporadas y antenas externas.
- Logra enlaces de 64Km con antena externa de 32dBi
- Calidad de Servicio

⁶¹ <http://www.tranzeo.com>

4.1.12.2 EQUIPO MOTOROLA CANOPY 5700BHRF20DD

La compañía Motorola ofrece una amplia gama de equipos entre los cuales esta Canopy el cual es utilizado especialmente por los proveedores de la Internet (datos, voz y video), aplicaciones de protección (sistemas de cámaras), redes de comunicación urbana. Para que este tipo de equipos puedan alcanzar un mayor alcance estos necesitan de un reflector, y al igual que cualquier otro equipo Wireless necesita también de un POE.



Figura 84. Equipo de radio difusión Tranzeo⁶²

Las características principales de este equipo son:

- WiFi Protected Access (WPA)
- WEP
- Salida RF de 23 dBm
- Alertas de Status (en modalidad de Punto de Acceso)
- Consumo máximo de 8,2 W
- Frecuencias en la banda de 5725-5850 MHz
- Logra enlaces de 56Km
- Ancho de Canal 20 MHz
- Throughput 14 MHz.
- Interface: 10/100 Base T, half/full duplex. Rate auto negotiated (802.3 compliant)
- Usando: IPV4, UDP, TCP, ICMP, Telnet, HTTP, FTP, SNMP.
- Generalmente se usa para enlaces punto a punto a largas distancias.

⁶² <http://www.motorola.com>

4.1.12.3 EQUIPO MIKROTIK

Los equipos inalámbricos Mikrotik proveen varios productos interesantes, por ejemplo el sistema operativo RouterOs y distintas tarjetas madre (motherboards), las mini PCI que son tarjetas compatibles con los Estándares 802.11a, 802.11b and 802.11g. y operan en rangos de frecuencias de 2,4 y 5,8 GHz, en conjunto forman un robusto sistema capaz de garantizar un servicio con la mejor calidad posible.

Las características principales de este equipo son:

- Administración gráfica y remota
- Scriptping
- HotSpot
- VLAN
- Tunneling L2TP PPPTP PPPOE
- Bandwidth Manager
- Proxy
- Bridging
- Historial de trafico por cliente
- DHCP client/server
- Enlaces Inalámbricos
- Cache Web
- Control de ancho de banda
- Identificación y priorización de tráfico
- Balanceo de conexiones WAN
- Firewall NAT
- PPPoE server
- Seguridad wireless
- Enlaces punto a punto
- Servidor de VPN

- Control de prioridad P2P
- Tareas por horarios

4.1.12.4 TABLA DE RESUMEN

Podemos observar el resumen de las características de los equipos mencionados en la siguiente tabla:

Tabla IV.XII. Comparación técnica entre equipos WIFI

EQUIPOS	MIKROTIK	HANZO IB-SPlus	Motorola Category 5 R08HRZ0015
CARACTERÍSTICAS			
Standard	TIPO: 802.11a, 802.11b and 802.11g (NORM)	802.11a	802.11b
Rango de Frecuencia	2400 MHz to 5000 MHz (Depende de la antena o conector)	5175 MHz to 5800 MHz	5175 MHz to 5300 MHz
Tipo de Comunicación	Half-Duplex / Full-Duplex	Half-Duplex	10/100 Base-T, half/full duplex. Rate auto negotiated (802.3 compliant)
Transmit Power	hasta 27 dBm	hasta 28 dBm	hasta 24 dBm
Sensibilidad	-90dBm (depende de la miniPCI)	-76dBm @ 54Mbps	-93dB @ 10Mbps, -100dB @ 20 Mbps
Typical Aggregate Usual Throughput (Polinización)	54Mbps (depende de la miniPCI) Horizontal or Vertical	32Mbps Horizontal or Vertical	20 Mbps Vertical
Administración			
Medio de Administración	Windows para Windows y Linux (¡¡¡es gratis!!!) con Winbox	Windows Utility, Web-based Management, SNMP	Windows Utility
Configuración Remota	HTTP, TELNET, FTP, SNMP	HTTP, FTP, SNMP	HTTP, TelNet, FTP, SNMP Version 2c
Protocolos	TCP/IP	TCP/IP	TCP/IP
Seguridad	Hardware based 128/128 bit WEP, TKIP and WPA-CCM encryption. WPA, WPA2, 802.1x	(WEP, WPA, WPA authentication)	40 bits and 128 bits WEP encryption, Media Access Control address filter (MAC), WPA
Alcance	Algun con antena externa	50 km con antena externa	50 km con conector
Conexiones Ethernet	3 conexiones 10/100 base-T (Water Tight RJ-45)	2 conexiones 10/100 base-T (Water Tight RJ-45)	1 conexión 10/100 base-T (Water Tight RJ-45)
Temperatura de Operación	-30°C to +60°C	-55°C to +60°C	-40°C to +55°C (-40°F to +132°F)
APLICACIONES			
Access point	si	si	si
Cliente (DPT)	si	si	si
Móviles y Control	si	si	si
configuración AP Estación Y Difusión al mismo tiempo en el mismo equipo	si	no	no
Desarrollo de servidores	si	no	no
Control de ancho de Banda Clientes	si	no	no
Smoothing	si	no	no
Redes Wireless	si	no	no
Redes VLANs	si	no	no

Fuente: Tomado de la tesis de Klever Suqui Carchipulla, UP Salesiana

Los tres equipos son prácticamente capaces de brindar los mismos beneficios en la red, siendo un mejor mikrotik según la tabla resumen, sin embargo adicionalmente los equipos a utilizar estarán definidos por los costos de implementar enlaces con cada uno de ellos.

4.1.13 ESTIMACIÓN DE COSTOS

El análisis financiero es parte fundamental del proyecto para determinar los costos, ya que esto nos permitirá saber que equipos se deben utilizar frente a otros equipos con la capacidad de realizar las mismas funciones.

Para ellos compararemos los costos estimados de tres de los equipos más utilizados en el mercado Ecuatoriano como Tranzeo, Motorola Canopy y Mikrotik, además de los materiales a utilizar para la implementación del proyecto.

Tabla IV.XIII. Costos de los equipos Tranzeo, Motorola y Mikrotik

EQUIPOS Y MATERIALES	UNID.	CANT.	Equipos Tranzeo		Equipos Motorola		Equipos Mikrotik	
			VALOR	TOTAL	VALOR	TOTAL	VALOR	TOTAL
Motorola Canopy 5,7 GHz 20 Mbps backhaul unidad con reflector	u.	36			1974,70	71089,20		
Antena en 5,8 GHz dish parabólica de 32,5 dbi	u.	10	548,40	5484,00			548,40	5484,00
Antena grilla en 5,8 GHz de 27 dbi	u.	26	108,25	2814,50			108,25	2814,50
Tranzeo tr-5plus	u.	36	750,00	27000,00				
Routerboard 433ah con 3 slot	u.	10					224,94	2249,40
Routerboard 411ah con 1 slot	u.	26					157,06	4083,56
Mini pci adapter	u.	36					179,20	6451,20
Pigtail mmcx	u.	36					24,64	887,04
Pigtail macho a N macho	u.	36	24,64	887,04			24,64	887,04
Poe	u.	36	41,46	1492,56	41,46	1492,56	41,46	1492,56
Fuente de 24v	u.	36	27,57	992,52	27,57	992,52	27,57	992,52
Caja Impermeable	u.	6	80,00	480,00	80,00	480,00	80,00	480,00
Cable STP cat 5	m.	300	1,55	465,00	1,55	465,00	1,55	465,00
Soporte de Antena o Brazo	u.	13	76,48	994,24	76,48	994,24	76,48	994,24
Politubo de 1/2" x 6m	m.	50	6,50	325,00	6,50	325,00	6,50	325,00
Correas Plásticas ajustable 20 cm	u.	100	0,05	5,00	0,05	5,00	0,05	5,00
Conector RJ-45 metálico	u.	100	1,45	145,00	1,45	145,00	1,45	145,00
Cinta Autofondente 3M	u.	5	5,74	28,70	5,74	28,70	5,74	28,70
Cinta Aislante 3M	u.	3	0,71	2,13	0,71	2,13	0,71	2,13
TOTAL			41 115,69		76 019,35		27 786,89	

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

En la tabla IV.XIII podemos observar claramente que la implementación del proyecto utilizando equipos de la familia Mikrotik resulta ser la más conveniente económicamente, por lo que si el propósito es ahorrar dinero con excelentes resultados definitivamente esta es la mejor opción.

Además los equipos Mikrotik ofrecen mayores prestaciones que sus competidores de características similares, ya que nos permiten llegar a potencias de 27dB para los enlaces más largos y pueden ser configurados como AP Station y Difusión al mismo tiempo.

Finalmente analizando la relación costo beneficio de los equipos y en base a los resultados obtenidos de la investigación, se recomienda utilizar los equipos Mikrotik para la implementación del proyecto.

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.2.1 ANÁLISIS DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

El tema de esta tesis propone mejorar la red de comunicaciones existente en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, realizando un análisis comparativo entre la red de comunicaciones actual y una nueva red propuesta.

Para el estudio de la variable independiente denominada “tecnología inalámbrica eficiente” el análisis se lo realizará en lo que consideraremos los 6 parámetros más importantes de una red eficiente que son: Tecnología inalámbrica, rendimiento, infraestructura, equipos, costos y beneficios.

- **La tecnología inalámbrica WIMAX** es capaz de soportar gran cantidad de datos sobre la red de comunicaciones, es la tecnología inalámbrica que ofrece mayores prestaciones, sin embargo WI-FI ofrece similares características con un poco menos de prestaciones pero a mucho menor costo, lo que la hace ideal para aplicarla en zonas rurales donde el presupuesto y la densidad poblacional son bajos.

- **El rendimiento** de la red de comunicaciones está basada en la velocidad, alcance, escalabilidad y calidad de servicio, que la tecnología inalámbrica es capaz de brindar según los requerimientos obtenidos en el nuevo diseño de red.
- **La infraestructura** es la disponibilidad o accesibilidad de infraestructura para los sitios de repetición, es un pilar fundamental en el objetivo de obtener un diseño de red eficiente, ya que esto nos permitirá minimizar los costos pero sobre todo proponer un diseño de red apegado a la realidad.
- **Los equipos** permitirán ofrecer más y mejores servicios tecnológicos, dependerá de las características técnicas que soporten y prestaciones que brinden a la red, relacionados directamente con el costo.
- **Los costos** se refiere al valor de los equipos y la infraestructura necesaria para el funcionamiento de los enlaces de comunicaciones ya sean estos para el usuario final o enlaces punto a punto optimizando los recursos.
- **Los beneficios** relacionados directamente con la población de las zonas rurales del centro de la provincia de Morona Santiago, es decir es el índice de penetración de las TIC's y por ende de internet con que cuenta dicha población.

4.2.1.1 TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

Para realizar el análisis comparativo de los parámetros técnicos que permitan obtener una red comunicaciones más eficiente que la anterior, se ha utilizado el resultado del análisis cualitativo calculado en los apartados anteriores.

Los valores cualitativos para cada una de las tecnologías inalámbricas resultaron ser de la siguiente manera:

No existe	= 0
VSAT	= 1
Wi-Fi	= 2

WIMAX = 3

WRAN = 2

Tabla IV.XIV. Valores cualitativos para la Tecnología Inalambrica

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	1	2
2	<i>Asunción</i>	0	2
3	<i>Cuchaentza</i>	0	2
4	<i>Gral. Proaño</i>	2	2
5	<i>Huambi</i>	2	2
6	<i>Macas</i>	2	2
7	<i>Rio Blanco</i>	2	2
8	<i>San Isidro</i>	2	2
9	<i>Santa Marianita</i>	0	2
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	2	2
11	<i>Sinaí</i>	0	2
12	<i>Sucúa</i>	2	2
13	<i>Zuñac</i>	0	2
	TOTAL	15	26
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

4.2.1.2 RENDIMIENTO

Se mide en base las principales características técnicas requeridas por la nueva red de comunicaciones, tales como: Alcance, Escalabilidad, Velocidad y Calidad de Servicio.

Alcance

0 = Si el alcance es < a 25 Km

1 = Si el alcance es >= a 25 Km

Tabla IV.XV. Valores cualitativos para el Alcance

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	1	1
2	<i>Asunción</i>	0	1
3	<i>Cuchaentza</i>	0	1
4	<i>Gral. Proaño</i>	1	1
5	<i>Huambi</i>	1	1
6	<i>Macas</i>	1	1
7	<i>Rio Blanco</i>	1	1
8	<i>San Isidro</i>	1	1
9	<i>Santa Marianita</i>	0	1
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	1	1
11	<i>Sinaí</i>	0	1
12	<i>Sucúa</i>	1	1
13	<i>Zuñac</i>	0	1
	TOTAL	8	13
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

Escalabilidad

0 = No existe

1 = Canales Fijos

2 = Canales variables

Tabla IV.XVI. Valores cualitativos para la Escalabilidad

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	1	1
2	<i>Asunción</i>	0	1
3	<i>Cuchaentza</i>	0	1
4	<i>Gral. Proaño</i>	1	1
5	<i>Huambi</i>	1	1
6	<i>Macas</i>	1	1
7	<i>Rio Blanco</i>	1	1
8	<i>San Isidro</i>	1	1
9	<i>Santa Marianita</i>	0	1
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	1	1
11	<i>Sinaí</i>	0	1
12	<i>Sucúa</i>	1	1
13	<i>Zuñac</i>	0	1
TOTAL		8	13
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

Velocidad

0 = Si la velocidad es < a 36 Mbps

1 = Si el velocidad es >= a 36 Mbps

Tabla IV.XVII. Valores cualitativos para la Velocidad

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	0	1
2	<i>Asunción</i>	0	1
3	<i>Cuchaentza</i>	0	1
4	<i>Gral. Proaño</i>	1	1
5	<i>Huambi</i>	1	1
6	<i>Macas</i>	1	1
7	<i>Rio Blanco</i>	1	1
8	<i>San Isidro</i>	1	1
9	<i>Santa Marianita</i>	0	1
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	1	1
11	<i>Sinaí</i>	0	1
12	<i>Sucúa</i>	1	1
13	<i>Zuñac</i>	0	1
TOTAL		7	13
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

Calidad de Servicio

0 = No soporta

1 = El equipo utilizado soporta QoS

2 = Es propio de la Tecnología

Tabla IV.XVIII. Valores cualitativos para la Calidad de Servicio

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	2	0
2	<i>Asunción</i>	0	0
3	<i>Cuchaentza</i>	0	0
4	<i>Gral. Proaño</i>	0	0
5	<i>Huambi</i>	0	0
6	<i>Macas</i>	0	0
7	<i>Río Blanco</i>	0	0
8	<i>San Isidro</i>	0	0
9	<i>Santa Marianita</i>	0	0
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	0	0
11	<i>Sinaí</i>	0	0
12	<i>Sucúa</i>	0	0
13	<i>Zuñac</i>	0	0
	TOTAL	2	0
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

4.2.1.3 INFRAESTRUCTURA

La disponibilidad de infraestructura se ha cuantificado con la siguiente escala:

0 = No existe infraestructura

1 = No existe infraestructura pero existen las facilidades

2 = Existe infraestructura

Tabla IV.XIX. Valores cualitativos para la Infraestructura

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	2	2
2	<i>Asunción</i>	1	2
3	<i>Cuchaentza</i>	1	2
4	<i>Gral. Proaño</i>	2	2
5	<i>Huambi</i>	2	2
6	<i>Macas</i>	2	2
7	<i>Río Blanco</i>	2	2
8	<i>San Isidro</i>	2	2
9	<i>Santa Marianita</i>	1	2
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	2	2
11	<i>Sinaí</i>	1	2
12	<i>Sucúa</i>	2	2
13	<i>Zuñac</i>	0	2
	TOTAL	20	26
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

4.2.1.4 EQUIPOS

Las características técnicas y prestaciones de los equipos permiten ofrecer mejores servicios tecnológicos, por lo tanto se cuantifica:

0 = Bajas prestaciones o no existe

1 = Medianas prestaciones

2 = Altas prestaciones

Tabla IV.XX. Valores cualitativos para los equipos

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	2	2
2	<i>Asunción</i>	0	2
3	<i>Cuchaentza</i>	0	2
4	<i>Gral. Proaño</i>	1	2
5	<i>Huambi</i>	1	2
6	<i>Macas</i>	1	2
7	<i>Río Blanco</i>	1	2
8	<i>San Isidro</i>	1	2
9	<i>Santa Marianita</i>	0	2
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	1	2
11	<i>Sinaí</i>	0	2
12	<i>Sucúa</i>	1	2
13	<i>Zuñac</i>	0	2
	TOTAL	9	26

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.2.1.5 COSTOS

El análisis de costos permitirá el mejoramiento de la red a través de la optimización del recurso económico, la cual cuantificaremos con la siguiente escala:

0 = Muy elevado o no existe

1 = Elevado

2 = Económico

Tabla IV.XXI. Valores cualitativos para los costos

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	0	2
2	<i>Asunción</i>	0	2
3	<i>Cuchaentza</i>	0	1
4	<i>Gral. Proaño</i>	2	2
5	<i>Huambi</i>	2	2
6	<i>Macas</i>	2	2
7	<i>Río Blanco</i>	2	2
8	<i>San Isidro</i>	2	1
9	<i>Santa Marianita</i>	0	2
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	2	2
11	<i>Sinaí</i>	0	1
12	<i>Sucúa</i>	2	2
13	<i>Zuñac</i>	0	1
	TOTAL	14	22

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.2.1.6 BENEFICIOS

El mejoramiento en el nivel de acceso al internet es el mejor beneficio que puede obtener la población de los sectores alejados:

0 = El índice de penetración es $\leq 10\%$

1 = El índice de penetración es $> 10\%$

Tabla IV.XXII. Valores cualitativos para los beneficios

No.	PARROQUIA	ACTUAL	PROPUESTA
1	<i>Alshi</i>	0	1
2	<i>Asunción</i>	0	1
3	<i>Cuchaentza</i>	0	1
4	<i>Gral. Proaño</i>	0	1
5	<i>Huambi</i>	0	0
6	<i>Macas</i>	1	1
7	<i>Río Blanco</i>	0	1
8	<i>San Isidro</i>	0	1
9	<i>Santa Marianita</i>	0	1
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	0	0
11	<i>Sinaí</i>	0	1
12	<i>Sucúa</i>	0	0
13	<i>Zuñac</i>	0	1
	TOTAL	1	10
Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat			

4.2.1.7 EFICIENCIA

La eficiencia de la red de comunicaciones se logra obteniendo la tecnología inalámbrica más apropiada, con el mejor rendimiento, infraestructura acorde a la realidad, equipos con excelentes prestaciones a bajo costo y que brinden un beneficio social.

Para determinar el mejoramiento de la red de comunicaciones se comparará en base a los parámetros obtenidos de eficiencia entre la red actual y la red propuesta considerando sus valores cualitativos.

En la tabla siguiente podemos observar el resumen de los valores cualitativos obtenidos en los estudios previos, lo que nos permitirá aplicar los resultados obtenidos a nuestro modelo matemático definido anteriormente para la demostración de la hipótesis

Tabla IV.XXIII. Valores cualitativos para la Eficiencia de la Red⁶³

No.	PARROQUIA	TECNOLOGIA INALAMBRICA		RENDIMIENTO								INFRAESTRUCTUR A		EQUIPOS		COSTOS		BENEFICIOS		TOTAL	
				ALCANCE		ESCALABILIDAD		VELOCIDAD		QoS											
		ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.	ACT.	PROP.
1	Alshi	1	2	1	1	1	1	0	1	2	0	2	2	2	2	0	2	0	1	9	12
2	Asunción	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	0	2	0	1	1	12
3	Cuchaentza	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	0	1	0	1	1	11
4	Gral. Proaño	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0	1	10	12
5	Huambi	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0	0	10	11
6	Macas	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	1	1	11	12
7	Rio Blanco	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0	1	10	12
8	San Isidro	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	1	0	1	10	11
9	Santa Marianita	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	0	2	0	1	1	12
10	Sevilla Don Bosco	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0	0	10	11
11	Sinaí	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	0	1	0	1	1	11
12	Sucua	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	2	0	0	10	11
13	Suñac	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	2	0	2	0	1	0	1	0	11
	TOTAL	15	26	8	13	8	13	7	13	2	0	20	26	9	26	14	22	1	10	84	149

ACT = Situación Actual

PROP = Situación Propuesta

⁶³ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.2.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Para realizar el análisis de la variable dependiente vasta con analizar el estado actual de la red de comunicaciones existente en las 13 parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago y compararla con la red de comunicaciones propuesta, se desea determinar utilizando un modelo matemático si existe o no una mejoramiento en la red de comunicaciones en la zona.

Elección y justificación de la prueba estadística T de Student para grupos relacionados.

- Las mediciones son cuantitativas con variables continuas y una escala de intervalo.
- Número de observaciones N=13.
- Una Variable Dependiente numérica: mejoramiento de la red de comunicaciones de las 13 parroquias del centro de Morona Santiago.
- Una Variable Independiente con 2 niveles: Red Actual y Red Propuesta.
- Dos muestras relacionadas: los mismos sujetos evaluados en dos momentos diferentes.

Tabla IV.XXIV. Valoración cualitativa obtenida del diseño de red propuesto

SUJETO	PARROQUIA	ANTES	DESPUES
1	<i>Alshi</i>	9	12
2	<i>Asunción</i>	1	12
3	<i>Cuchaentza</i>	1	11
4	<i>Gral. Proaño</i>	10	12
5	<i>Huambi</i>	10	11
6	<i>Macas</i>	11	12
7	<i>Rio Blanco</i>	10	12
8	<i>San Isidro</i>	10	11
9	<i>Santa Marianita</i>	1	12
10	<i>Sevilla Don Bosco</i>	10	11
11	<i>Sinaí</i>	1	11
12	<i>Sucúa</i>	10	11
13	<i>Zuñac</i>	0	11

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.2.3 PRESENTACION DE RESULTADOS

Del análisis de la variable dependiente y los resultados obtenidos, se puede ver que en todas las parroquias del sector rural centro de Morona Santiago existe una mejoría del diseño de la red de comunicaciones comparada con el diseño actual de la red.

Esta puede ser cuantificable en un 77.3% de acuerdo a los resultados del apartado 4.2.1, diferencia amplia debido a que actualmente en algunos sitios ni siquiera existe conectividad, lo que deja ver el éxito de la investigación.

Finalmente, se puede observar en la Figura 85 el mejoramiento de la red de comunicaciones para el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago.

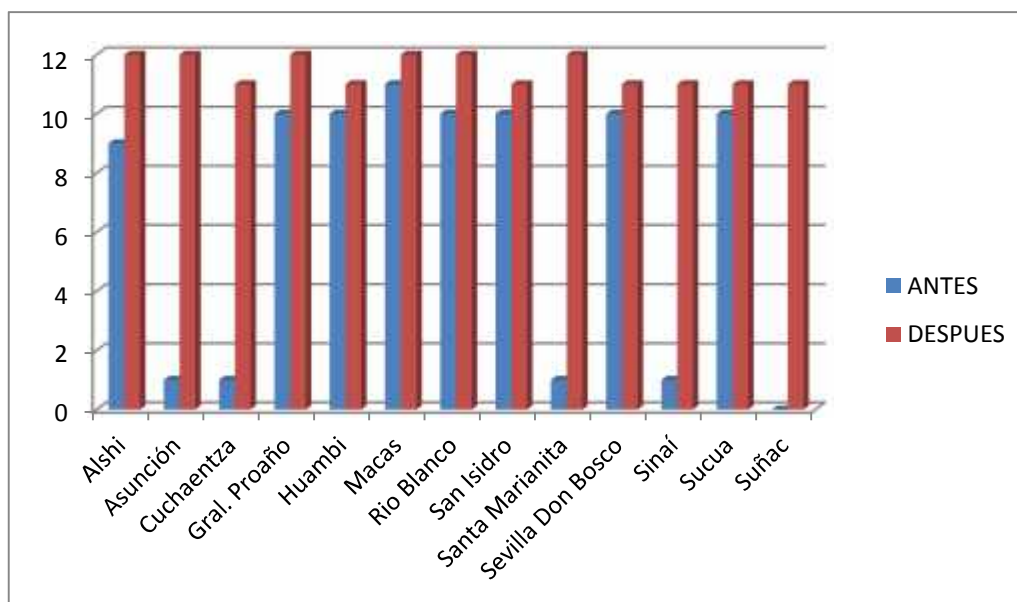


Figura 85. Valores cualitativos para los beneficios⁶⁴

4.3 PRUEBA DE LA HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN

En los temas anteriores se han podido ir identificando las ventajas que tienen cada una de las tecnologías inalámbricas mencionadas anteriormente, sin embargo es imprescindible demostrar matemáticamente cuál de ellas es la tecnología más apropiada para mejorar la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago antes de presentar la propuesta final.

⁶⁴ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

- Hipótesis nula (Ho). Los cambios observados después del análisis de las tecnologías inalámbricas no mejoran el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago, y las diferencias observadas se deben al azar. Ho: $X1 \geq X2$.
- Hipótesis alterna (Ha). Los cambios planteados después del análisis de las tecnologías inalámbricas mejoran el diseño de la red de comunicaciones en el sector rural centro de Morona Santiago. Ha: $X1 < X2$.

4.3.2 NIVEL DE SIGNIFICACIÓN.

Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se acepta Ha y se rechaza Ho.

$$\alpha = 0.05$$

4.3.3 ZONA DE RECHAZO.

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha.

- Si la $t_0 > t_{\alpha}$ se rechaza Ho.
- Si la $p(t_0) \leq \alpha$ se rechaza Ho.

Tabla IV.XXV. Cálculos para el uso de la t de student

SUJETO	ANTES	DESPUES	d	$(x_1 - x_2)$	$(x_1 - x_2)^2$
1	9	12	3	-2,000	4,000
2	1	12	11	6,000	36,000
3	1	11	10	5,000	25,000
4	10	12	2	-3,000	9,000
5	10	11	1	-4,000	16,000
6	11	12	1	-4,000	16,000
7	10	12	2	-3,000	9,000
8	10	11	1	-4,000	16,000
9	1	12	11	6,000	36,000
10	10	11	1	-4,000	16,000
11	1	11	10	5,000	25,000
12	10	11	1	-4,000	16,000
13	0	11	11	6,000	36,000
			$\sum d = 0$	$\sum (x_1 - x_2)^2 = 260$	

Elaborada por: Jorge Hidalgo Bourgeat

4.3.4 CÁLCULO DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA.

Aplicando el modelo matemático de la t-student el cual dice:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\sigma d}{\sqrt{N}}}$$

Se requiere calcular la media aritmética \bar{d} :

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{N}$$

$$\bar{d} = \frac{65}{13} = 5,0$$

La desviación estándar de las diferencias se logra como sigue:

$$\sigma d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma d = \sqrt{\frac{260}{13 - 1}} = 4,6547$$

Ahora si podemos utilizar éstos valores para realizar el cálculo de la t de student así:

$$t = t_0 = \frac{5}{\frac{4,6547}{\sqrt{13}}} = 3,873$$

Los grados de libertad para el tamaño de muestra 13 se calcula:

$$gl = N - 1 = 13 - 1 = 12$$

El nivel de certeza es del 95%, por lo que existe un margen de probabilidad de error del 0.05%, dado que es un modelo con dos colas épsilon se lo que representa:

$$\alpha/2 = 0.025$$

Para un margen de error del 0.05% y 12 grados de libertad, el valor referencial según la tabla de student (ANEXO X) es:

$$t_t = 2.179$$

El valor calculado u obtenido de t (3,873) se compara con los valores críticos de la distribución t (tabla), y se observa que a una probabilidad de 0,05 le corresponde 2,179 de t . Por tanto, el cálculo tiene una probabilidad menor que 0,05.

4.3.5 DECISIÓN.

Como t_o es 3,873 con 12 grados de libertad, y es mayor que 2,179; entonces **se rechaza H_o y se acepta H_a .**

Esto significa que hay una mejora significativa entre el diseño de la red de comunicaciones actual y el nuevo diseño de red propuesto una vez que se ha realizado el análisis de las tecnologías inalámbricas.

$t_o > t_t$ se rechaza H_o .

$t_o > t_t$ se acepta H_a .

4.3.6 INTERPRETACIÓN.

Al realizar el estudio comparativo de las tecnologías inalámbricas y proponer un nuevo diseño de red de comunicaciones para el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago se mejora el diseño de la red de comunicaciones y conectividad existente en la zona, existiendo diferencias significativas entre antes y después y aceptando la Hipótesis de investigación.

4.4 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA FINAL

Finalmente se presenta el nuevo diseño de red propuesto para mejorar la red de comunicaciones existente en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, interconectando 13 parroquias rurales utilizando 18 radio enlaces, como se ve.



Figura 86. Propuesta final en Radio Mobile⁶⁵



Figura 87. Propuesta final en Google Earth⁶⁵

⁶⁵ Elaborada por Jorge Hidalgo Bourgeat

4.5 FUTURAS APLICACIONES SOBRE LA RED

La implementación de la red utilizando el diseño planteado en esta investigación servirá para mejorar la calidad de vida de las personas residentes en las parroquias rurales del centro de la provincia de Morona Santiago ya que la red puede tener varias aplicaciones, como por ejemplo:

Se puede utilizar para interconectar los subcentros de salud de las parroquias con el Hospital General y el resto del mundo, permitiendo intercambiar experiencias y criterios entre los médicos optimizando los recursos e incluso salvando vidas; también se podría realizar videos conferencias, telefonía IP e incluso operaciones medicas remotas.

Las juntas parroquiales pueden estar interconectadas con el cabildo principal permitiendo agilizar los procesos y optimizando la utilización de los recursos públicos.

Como red privada puede servir para interconectar las agencias de una cooperativa, o las sucursales de un supermercado, e incluso crear nuevas opciones como por ejemplo el uso de la red para disminuir los costos de los productos al consumidor final sin tener intermediarios como lo hace el FEPP.

Pero sobre todo el principal beneficio es el incremento en la tasa de uso del internet la disminución en el analfabetismo digital y la reducción en la brecha digital existente en la zona.

CONCLUSIONES

Al culminar el presente estudio, se determinan las siguientes conclusiones:

- Se ha logrado mejorar el diseño de la red de comunicaciones existente en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, proponiendo un nuevo diseño de red que incrementa la eficiencia en un 77% con relación al actual.
- Las tecnologías inalámbricas Wi-Fi, WIMAX, WRAN y Satelital, pueden ser usadas para brindar acceso a las TIC's en las zonas rurales y de difícil acceso del Ecuador, sin embargo para el sector rural centro de Morona Santiago, específicamente la tecnología Wi-Fi es la mejor alternativa por su excelente relación costo-beneficio.
- La alternativa tecnológica, junto con la infraestructura y los equipos Mikrotik seleccionados, a una frecuencia de 5.8 GHz y una tasa de transferencia de 54 Mbps, proporcionan un rendimiento superior a la red, suficientes para mejorar las comunicaciones existentes en el sector rural centro de la provincia de Morona Santiago, e ideal para brindar prestaciones de monitoreo, seguridad en los datos y un nivel aceptable de calidad de servicio.
- Se ha planteado un diseño de red de comunicaciones eficiente, que permitirá superar las dificultades existentes en la zona, aportando una amplia base del conocimiento para la implementación de ésta red en cualquier momento, incrementando la tasa de uso de internet en un 4.6%, disminuyendo el analfabetismo digital y la brecha digital existentes en la región.
- Los resultados en ambiente de simulación utilizando el software Radio Mobile, son bastante reales ya que han sido verificados en el sitio mismo, sin embargo la exactitud de los datos solo podrán ser demostrados al momento de implementar el diseño de red propuesto.

- Aplicando el modelo matemático t-student se pudo demostrar que existe una mejoría significativa entre el diseño de la red de comunicaciones actual y el diseño de la red de comunicaciones propuesta para el sector rural centro de Morona Santiago, aceptando como verdadera la Hipótesis de investigación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda observar los resultados en los ambientes de prueba utilizando la tecnología WRAN, ya que al momento en el Ecuador no se ha implementado redes utilizando esta tecnología no se ha podido comprobar su rendimiento, sin embargo a futuro esta tecnología podría convertirse en una excelente alternativa para redes de comunicaciones en zonas rurales.
- Para la implementación de la red, se recomienda realizar los respectivos trámites de aprobación y homologación de la red ante todos los organismos de control, además de un estudio de sustentabilidad en el tiempo, ya que la inversión es bastante alta para dejarla perder.
- Si el estudio se desea aplicar en otro lugar de la amazonia, se recomienda revisar exhaustivamente los requerimientos iniciales y el uso que se le dará a la red, con esto determinar si dichos requerimientos son similares para que los resultados en la práctica sean satisfactorios.
- En caso que los requerimientos iniciales sean diferente, se recomienda seleccionar la tecnología inalámbrica más apropiada de acuerdo al número de usuarios y los servicios que se desea ofrecer para que el diseño de red sea el más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-FLICKENGER, R.**, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo., Hacker Friendly., Tercera Edición., 2008.
- 2.-MEJIA, E.**, Técnicas e instrumentos de Investigación., Biblioteca Nacional de Perú N.º 2005-8142., Primera Edición., Lima-Perú., 2005.
- 3.-PAOLINI, M.**, Wi-Fi, WiMAX and 802.20 The Disruptive Potential de Wireless Broadband., Senza Fili Consulting., 2004.
- 4.-STALLINGS, W.**, Wireless Communications and Networks., Prentice Hall., Second Edition., 2005.
- 5.-TANEMBAUM, A.**, Redes de Computadores., Pearson Educación., Cuarta Edición., 2003.

TÉSIS

- 6.-ALVARADO, J.**, Elección y Diseño de una Red de Comunicaciones para la Región de Loreto, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima-Perú, PUCP., TESIS., 2005
- 7.-CARRILLO, M.**, Estudio de Integración de Tecnologías de Redes Inalámbricas para la Interconexión de zonas rurales de la provincia de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., ESPOCH., TESIS., 2010.

- 8.-CORRAL, D.**, Red Alternativa de Telecomunicaciones Rurales en Ecuador – Universidad Rey Juan Carlos., Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones., TESIS., 2009/2010.
- 9.-ESTRADA, Y., CAMACHO, C.**, Estudio y diseño de una red Wimax caso práctico FASTNET-RIOBAMBA., Escuela de Ingeniería Electrónica., Riobamba-Ecuador., ESPOCH., TESIS., 2009.
- 10.-ROSERO, V.**, Análisis de Alternativa de Optimización del Sistema de Comunicaciones Petroproducción enlace Distrito Quito – distrito Amazónico., EPN, TESIS., 2007.
- 11.-SUQUI, K.**, Estudio e implementación de un radio enlace con tecnología Mikrotik para el I.S.P. JJSISTEMAS en el cantón Gualaquiza, provincia Morona Santiago., Facultad de Ingenierías., Carrera de Ingeniería Electrónica., Cuenca-Ecuador., UPS., TESIS., 2010.

ARTÍCULOS

- 12.-ANTONELLI, J., LARA, M. y NAVARRO, H.**, WIMAX., Universidad Fermin Toro., Caracas-Venezuela. 2012.
- 13.-CARRION, H.**, Conectividad rural para el desarrollo Experiencias en Ecuador, 2008
- 14.-CORDEIRO, C., y otros.**, IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios., 2006.
- 15.-MARTÍNEZ, A.**, Sistemas Difusión Radio y Cable., Universidad Politécnica de Valencia., 2011.

INTERNET

16.-CONATEL SENATEL

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/

21/03/2013

17.-ESTADISTICAS DE ECUADOR Y MORONA SANTIAGO

<http://www.inec.gob.ec>

21/03/2013

18.-IEEE 802.22

http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.22

24/01/2013

19.- INVESTIGACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

http://www.fisterra.com/mbe/investiga/cuanti_cuali/cuanti_cuali2.pdf

24/01/2013

20.-LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO

<http://www.macas.gov.ec/modulos/mmdle.asp?id=2>

24/01/2013

21.-WILAN.

<http://www.monografias.com/trabajos14/wi-fi/wi-fi.shtml>

24/01/2013

22.-WIMAX

<http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

24/01/2013

ANEXOS

- ANEXO I Redes inalámbricas en el Ecuador

- ANEXO II Proyectos de comunicaciones en Morona Santiago

- ANEXO III Radio Bases de comunicaciones

- ANEXO IV Dimensiones de los cables y su resistencias

- ANEXO V Tipos de conectores

- ANEXO VI Repetidores de la Red de Entidades Públicas del Ecuador (REP)

- ANEXO VII Características técnicas de los equipo similares WIMAX

- ANEXO VIII Encuesta Aplicada y Resultados

- ANEXO IX Puntos finales y sitios de repetición

- ANEXO X Tabla T-STUDENT

ANEXO I

REDES INALAMBRICAS EN EL ECUADOR

La mayor parte de iniciativas inalámbricas han sido desarrolladas por ONG's, organizaciones públicas y privadas, aquí se presenta algunos ejemplos en el Ecuador.

El proyecto desarrollado por el municipio de Quito en conjunto con la empresa Paradyne S.A. quienes se asociaron para instalar por primera vez el servicio de Internet Inalámbrico y hot-spots en la capital del Ecuador, el servicio fue denominado como WirelessNet.

Entre Quito, Guayaquil y Cuenca, existen numerosos "wi-fi hotspots" también denominados "zonas wifi", generalmente provistos por hoteles, centros comerciales, malls, cadenas de restaurantes internacionales, centros educativos, etc.

Cuenca tomó la iniciativa al incorporar un hotspot en el Parque Central Abdón Calderón de acceso gratuito, iniciativa seguida por Guayaquil con la implementación de hotspots gratuitos en la Universidad de Guayaquil y en el Colegio Vicente Rocafuerte.

En Cuenca la Empresa ETAPATELECOM brinda servicio de Internet inalámbrico gratuito (zonas WIFI) en espacios públicos, contribuyendo al ahorro de dinero de los usuarios de esta herramienta tecnológica, indispensable para la educación y comunicación actual.

En el año 2006, tuve la oportunidad de trabajar como parte de Acción Rural junto con IICD, Oftelsat, Postal Portals y CAMARI-FEPP como colaborador en un proyecto de Telecomunicaciones para dotar de Internet e interconexión financiera a varias zonas rurales de difícil acceso a las tecnologías de la información hasta ese momento, en los cantones rurales de las provincias de Chimborazo y Tungurahua exitosamente interconectando 10 puntos finales y 6 sitios de repetición.

El CONATEL a través del FODETEL también está desarrollando proyectos de telecomunicaciones en las zonas rurales, entre ellos el denominado “PROYECTO DE TELEMEDICINA PARA LOS SECTORES AISLADOS DEL ECUADOR – PASTAZA / MORONA SANTIAGO, el cual trata de apoyar la implementación de una red pública de telemedicina articulado al Plan Nacional de Telemedicina del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, el mismo que se ejecutará en las provincias de Pastaza y Morona Santiago, en el marco de los procesos de modernización de Servicios Públicos del Estado Ecuatoriano, con el propósito de contribuir en el mejoramiento de la calidad de los servicios públicos y fortalecer las capacidades institucionales necesarias del MSP para fortalecer la gestión a corto, mediano y largo plazo; y en el cual esta investigación podría hacer valiosas aportaciones aplicables a la medicina rural en los subcentros de salud.

Oftelsat A.C.P. e Infofepp viene trabajando juntos desde hace tres años aproximadamente, en el desarrollo de las Telecomunicaciones en zonas rurales del Ecuador, así mediante el apoyo del IICD, han podido incrementar el número de Infocentros en la provincia de Cotopaxi, en sectores donde el acceso al Internet no existía, experiencia que puede ser aprovechada en el desarrollo de esta investigación.

Es así que en Pastocalle actualmente también han instalado 3 Infocentros comunitarios que dan servicio de Internet a estudiantes de primaria y secundaria de la parroquia. También tienen 7 usuarios particulares de la parroquia que utilizan el servicio para sus negocios, noticias, curiosidades y su propio conocimiento.

Paco Olaya Pabón, Steef Fassotte de OFTELSAT y Geovanni Castañeda de INFOFEPP concluyen: “De esta manera seguimos incrementando más usuarios y beneficiarios en zonas rurales, donde el acceso a las nuevas tecnologías es una limitante para el desarrollo de los pueblos”.

ANEXO II

PROYECTOS DE COMUNICACIONES EN MORONA SANTIAGO

El ECORAE (Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico Ecuatoriano) el cual trabaja con las comunidades rurales de la Región Amazónica del Ecuador tratando de dar solución a los problemas que enfrentan estas zonas, entre ellos la falta de acceso a las nuevas tecnologías mediante el uso del Internet, hoy por hoy se lo está tratando de solucionar en base de Telecentros Comunitarios, pero su cobertura abarca a un solo cantón, es por eso que la ampliación de la red se hace necesaria, para que más cantones cercanos a los ya mencionados antes tengan acceso al Internet y a sus servicios.

La Corporación nacional de Telecomunicaciones (CNT) en Morona Santiago tiene pensado implementar Infocentros utilizando una tecnología WI-MAX en los cantones de Taisha y Tiwintza siendo estos los más alejados de la provincia, pero sin embargo hasta la fecha no se ha concretado ningún resultado, por lo que se sugiere el apoyo del FODETEL.

Otro aporte importante de este tipo de proyectos en la Zona es el de Telemedicina para los sectores aislados del Ecuador – Pastaza / Morona Santiago un proyecto muy interesante que se tiene pensado implementar en los próximos 5 años y en el cual ya se ha dado los primeros pasos como la creación del Hospital General de Macas y la contratación de 2 MB de ancho de banda para el servicio.

En dicho proyecto se encuentran trabajando el FODETEL, Ministerio de Salud Pública, SENPLADES, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Fundación Hispanoamérica de Salud (EHAS) y varias universidades las cuales son las encargadas de brindar las capacitaciones al personal.

El Consejo de la Judicatura de Morona Santiago pretende conectar los cantones en los que cuenta con juzgados civiles, penales y multicompetentes, sin embargo en la actualidad esto solo sería factible usando la red de cobre de CNT, es decir mediante líneas dedicadas a los cantones, los cuales implican un alto costo de arriendo del medio de transmisión, pero al ser estas dos entidades empresas publicas existen convenios entre las partes para lograr el objetivo, sin embargo si el objetivo sería el mismo en una pequeña empresa particular no tendría acceso debido al alto costo mensual, por eso la necesidad de implantar estas redes privadas o de carácter comunal.

ANEXO III

RADIO BASES DE COMUNICACIONES

Entre las marcas de equipos para radiocomunicaciones más utilizadas en el país y américa latina encontramos a: Mikrotik, Tranzeo, Lobometrics, ubiquiti, trango, deliberant, alvarion (Telmex), airspan (TvCable), etc., equipos que pueden ser utilizados tanto en el transmisor como en el receptor con configuraciones diferentes en cada extremo según su funcionalidad.



Figura 88. Equipos Mikrotik



Figura 89. Equipos Tranzeo con antena interior



Figura 90. Equipos Lobometrics



Figura 91. Equipos Trango



Figura 92. Equipos Deliberiant



Figura 93. Equipos Alvarion



Figura 94. Equipos AirSpan

ANEXO IV

DIMENSIONES DE LOS CABLES Y SUS RESISTENCIAS

Tabla A.I. Cables de Cobre a 25 C

Calibre AWG No	Resistencia W/100 m	Amperaje Máximo (A)*			Dimensiones	
		TIPO DE CABLE UF	USE, THW TW, THWN	NM	Diám. mm	Area cm ²
4/0	0,01669	211	248		13,412	1,4129
3/0	0,02106	178	216		11,921	1,1161
2/0	0,02660	157	189		10,608	0,8839
1/0	0,03346	135	162		9,462	0,7032
2	0,05314	103	124		7,419	0,4322
4	0,08497	76	92		5,874	0,2710
6	0,1345	59	70		4,710	0,1742
8	0,2101	43	54		3,268	0,0839
10	0,3339	32	32	30	2,580	0,0523
12	0,5314	22	22	20	2,047	0,0329
14	0,8432	16	16	15	1,621	0,0206

NOTAS:

* Estos valores contemplan hasta 3 conductores por envoltura.

Obsérvese que para valores de resistencia de menos de 0,1/100 m, el valor está dado con cinco (5) cifras decimales, para mayor precisión.

La máxima temperatura de trabajo para los tipos USE y TH es 75°C. La máxima temperatura de trabajo para el tipo UF es 60°C.

ANEXO VI

REPETIDORES DE LA RED DE ENTIDADES PÚBLICAS DEL ECUADOR (REP)

Se detallan los listados que contienen las características principales de los repetidores identificados para el proyecto.

Anexo VI.1

Tabla A.II. Repetidores de la REP, Frontera Norte

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	Troya	CAR1	Carchi	866159	10092063
2	San Lorenzo	ESM1	Esmeraldas	739350	10148079
3	Zapallo	ESM2	Esmeraldas	663777	10098105
4	Esmeraldas	ESM3	Esmeraldas	650751	10107816
5	La Juanita	ESM4	Esmeraldas	658893	10051873
6	La Independencia	ESM5	Esmeraldas	677488	10010228
7	Cotacachi	IMB1	Imbabura	796310	10037160
8	Lumbaqui	SUC1	Sucumbíos	908425	9998712
9	Santa Cecilia	SUC2	Sucumbíos	944875	9992227
10	Lago Agrio	SUC3	Sucumbíos	958328	10009308
11	General Farfán	SUC4	Sucumbíos	961289	10026354
12	Cooper	SUC5	Sucumbíos	990767	10007955
13	Shushufindi	SUC6	Sucumbíos	983471	9977608
14	Limoncocha	SUC7	Sucumbíos	988640	9953681
15	Sansahuari	SUC8	Sucumbíos	1026139	10016246
16	Palma roja	SUC9	Sucumbíos	1051527	10013411
17	Putumayo	SUC10	Sucumbíos	1071584	10013327
18	Pañacocha	SUC11	Sucumbíos	1040640	9950846
19	Nuevo Panupali	SUC12	Sucumbíos	1101507	9994839
20	Zancudo	SUC13	Sucumbíos	1113380	9939996

Anexo VI.2

Tabla A.III. Repetidores de la REP, Costa Central

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	Azucena	MAN1	Manabí	612566	9882666
2	Jaboncillo	MAN2	Manabí	550962	9884891
3	Portoviejo	MAN3	Manabí	558281	9884012
4	Loma Viento	MAN4	Manabí	566390	9922293
5	Bahía de Caráquez	MAN5	Manabí	562701	9930768
6	Manta	MAN6	Manabí	533380	9894500
7	Corozo	MAN7	Manabí	553160	9835703
8	Cabuyas	MAN8	Manabí	525368	9829352
9	Flavio Alfaro	MAN9	Manabí	623801	9953656
10	Pedernales	MAN10	Manabí	607687	10004728
11	Quevedo	LR1	Los ríos	670988	9890038
12	Bombolí	SDO1	Sto. Domingo	704084	9972071
13	Cerro 507	GUA1	Guayas	613196	9762567
14	Bellavista	GUA2	Guayas	621377	9759663
15	Durán	GUA3	Guayas	629057	9759548
16	San Filipo	GUA4	Guayas	625057	9748531
17	Taura	GUA5	Guayas	640793	9744157
18	Playas	GUA6	Guayas	568045	9709800
19	Posorja	GUA7	Guayas	582758	9701314
20	Balao Chico	GUA8	Guayas	647497	9692878
21	Tenguel	GUA9	Guayas	635157	9669880
22	Libertad	SEL1	Santa Elena	511490	9753333

Anexo VI.3

Tabla A.IV. Repetidores de la REP, Sierra Central

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	Cayambe	PIC1	Pichincha	864849	9993614
2	Cruz Loma	PIC2	Pichincha	774562	9979533
3	La Forestal	PIC3	Pichincha	777847	9971327
4	Atacazo	PIC4	Pichincha	765618	9962018
5	Pilisurco	TUN1	Tungurahua	760441	9872673
6	Tablón	TUN2	Tungurahua	774147	9844302
7	Igualata	TUN3	Tungurahua	762750	9835169
8	Loma Ayala	CHI1	Chimborazo	760511	9813157
9	Machalingo	BOL1	Bolívar	714719	9844229
10	Carshao	CAÑ1	Cañar	728484	9730991
11	Buerán	CAÑ2	Cañar	730199	9711817
12	Cuenca	AZU1	Azuay	722335	9679546
13	Cerro Cruz	AZU2	Azuay	723420	9676718
14	Mullopungo	AZU3	Azuay	663905	9653369
15	Tinajillas	AZU4	Azuay	718110	9645078

Anexo VI.4

Tabla A.V. Repetidores de la REP, Centro Oriente

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	El Coca	ORE1	Orellana	947264	9947405
2	Tiputini	ORE2	Orellana	1106829	9913353
3	Nuevo Rocafuerte	ORE3	Orellana	1124765	9896889
4	Tena	NAP1	Napo	854182	9890965
5	Napo Galeras	NAP2	Napo	885727	9908293
6	Abitahua	PAS1	Pastaza	818345	9843649
7	Puyo	PAS2	Pastaza	833358	9836519
8	Macas	MSA1	Morona Santiago	820530	9745364
9	Luis de Upano	MSA2	Morona Santiago	820047	9724245
10	Patuca	MSA3	Morona Santiago	805013	9695579
11	Ankuash	MSA4	Morona Santiago	819877	9662268
12	Santiago	MSA5	Morona Santiago	832321	9662564
13	Bosco	MSA6	Morona Santiago	777436	9669031
14	Patococha	MSA7	Morona Santiago	760412	9666192
15	Santa Bárbara	MSA8	Morona Santiago	747235	9648920
16	Gualaquiza	MSA9	Morona Santiago	770836	9620600
17	Bomboiza	MSA10	Morona Santiago	773432	9618906

Anexo VI.5

Tabla A.VI. Repetidores de la REP, Frontera Sur

Ord	Nombre	Código	Provincia	Coord. X	Coord. Y
1	Chilla	EOR1	El Oro	652847	9613986
2	Casacay	EOR2	El Oro	642318	9633257
3	Pasaje	EOR3	El Oro	637651	9633318
4	Palmar	EOR4	El Oro	632788	9640013
5	El Cambio	EOR5	El Oro	622007	9637575
6	Machala	EOR6	El Oro	615362	9640125
7	Puerto Bolívar	EOR7	El Oro	611101	9639171
8	Puerto Jambelí	EOR8	El Oro	605635	9641580
9	Santa Rosa	EOR9	El Oro	615764	9617701
10	La Avanzada	EOR10	El Oro	615846	9608893
11	Arenillas	EOR11	El Oro	603811	9606842
12	Acacana	LOJ1	Loja	695937	9593480
13	Villonaco	LOJ2	Loja	692887	9559198
14	Catamayo	LOJ3	Loja	682132	9558833
15	Cariamanga	LOJ4	Loja	660114	9521907
16	Morupe	LOJ5	Loja	642643	9516944
17	Macará	LOJ6	Loja	618079	9516246
18	Motilón	LOJ7	Loja	617994	9549081
19	Alamor	LOJ8	Loja	608419	9556518
20	Guachanamá	LOJ9	Loja	636545	9556112
21	San Ramón	ZCH1	Zamora Chinchipe	715725	9557617
22	Tres Cruces	ZCH2	Zamora Chinchipe	727387	9549939
23	Toledo	ZCH3	Zamora Chinchipe	710268	9513281
24	Zumba	ZCH4	Zamora Chinchipe	708120	9463407

ANEXO VII

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EQUIPOS SIMILARES WiMAX

Tabla A.VII. Características técnicas de equipos WiMAX

Características Estación Base	Alvarion BreezeMAX	Airspan MacroMAX	Canopy wi4 WiMAX	Siemens WayMAX
Frecuencia de operación	3,5 GHz	3,5 GHz	3,5 GHz	3,5 GHz
LOS y NLOS	Si	Si	Si	Si
Capa Física PHY	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Método de Acceso	FDD y TDD	FDD y TDD	TDD	FDD y TDD
Tamaño de Canal	1.75, 3.5 MHz	1.75, 3.5 MHz	5, 7 MHz	1.75 MHz
Encriptación interfaz Aire	DES y AES	DES y AES	AES	DES
Alcance	30 Km LOS 5 Km NLOS	25 Km LOS 2,5 Km NLOS	20 Km LOS 2,5 Km NLOS	30 Km LOS 3 Km NLOS
Potencia de Tx	28 dBm	28 dBm	28 dBm	28 dBm
Sensibilidad	-82/85 dBm -100/103 dBm	-103 dBm	-86 dBm	-103 dBm
Interfaces	Ethernet RJ45	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Características de Red	802.1Q, DiffServ DHCP, NAT, VPN	802.1Q, VLAN DiffServ	802.1Q DiffServ	DHCP

ANEXO VIII

ENCUESTA APLICADA Y RESULTADOS

La encuesta realizada como datos iniciales para el estudio fue:

Pregunta 1: ¿Cree usted que actualmente el Internet es una herramienta necesaria para el desarrollo de su trabajo diario?.

SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Pregunta 2: ¿Considera que es necesario implementar una red de comunicaciones que ofrezca internet y otros servicios en su parroquia?.

SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Pregunta 3: ¿Cree usted que la implementación de una red de comunicaciones le ayudaría a optimizar su tiempo y recursos?.

SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Pregunta 4: ¿Actualmente cuenta con acceso a internet en su casa o lugar de trabajo?

SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Pregunta 5: ¿Considera que el servicio de internet que posee es bueno?

SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Pregunta 6: ¿Qué ventajas le brindaría contar con esta herramienta informática en el desarrollo de sus actividades?. Marque con una X solo una opción.

OPTIMIZACION DE TIEMPO Y RECURSOS	<input type="checkbox"/>
USO DE LAS TIC	<input type="checkbox"/>
ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS	<input type="checkbox"/>

Los resultados obtenidos se pueden ver en las siguiente tablas:

Tabla A.VIII. Resultados Pregunta 1

No.	PARROQUIA	SI	NO
1	9 de Octubre	5	0
2	Asunción	5	0
3	Cuchaentza	5	0
4	Gral. Proaño	5	0
5	Huambi	5	0
6	Macas	5	0
7	Río Blanco	5	0
8	San Isidro	5	0
9	Santa Marianita	5	0
10	Sevilla Don Bosco	5	0
11	Sinaí	5	0
12	Sucúa	5	0
13	Suñac	5	0
	TOTAL	65	0
	PORCENTAJE	100,00%	0,00%

Tabla A.IX. Resultados Pregunta 2

No.	PARROQUIA	SI	NO
1	9 de Octubre	5	0
2	Asunción	5	0
3	Cuchaentza	5	0
4	Gral. Proaño	4	1
5	Huambi	5	0
6	Macas	3	2
7	Río Blanco	5	0
8	San Isidro	5	0
9	Santa Marianita	5	0
10	Sevilla Don Bosco	4	1
11	Sinaí	5	0
12	Sucúa	4	1
13	Suñac	5	0
	TOTAL	60	5
	PORCENTAJE	92,31%	7,69%

Tabla A.X. Resultados Pregunta 3

No.	PARROQUIA	SI	NO
1	9 de Octubre	5	0
2	Asunción	5	0
3	Cuchaentza	5	0
4	Gral. Proaño	5	0
5	Huambi	5	0
6	Macas	5	0
7	Río Blanco	5	0
8	San Isidro	5	0
9	Santa Marianita	5	0
10	Sevilla Don Bosco	5	0
11	Sinaí	5	0
12	Sucúa	5	0
13	Suñac	5	0
	TOTAL	65	0
	PORCENTAJE	100,00%	0,00%

Tabla A.XI. Resultados Pregunta 4

No.	PARROQUIA	SI	NO
1	9 de Octubre	1	4
2	Asunción	0	5
3	Cuchaentza	0	5
4	Gral. Proaño	2	3
5	Huambi	1	4
6	Macas	4	1
7	Río Blanco	1	4
8	San Isidro	0	5
9	Santa Marianita	0	5
10	Sevilla Don Bosco	1	4
11	Sinaí	0	5
12	Sucúa	3	2
13	Suñac	0	5
	TOTAL	13	52
	PORCENTAJE	20,00%	80,00%

Tabla A.XII. Resultados Pregunta 5

No.	PARROQUIA	SI	NO
1	9 de Octubre	0	5
2	Asunción	0	5
3	Cuchaentza	0	5
4	Gral. Proaño	0	5
5	Huambi	0	5
6	Macas	1	4
7	Río Blanco	0	5
8	San Isidro	0	5
9	Santa Marianita	0	5
10	Sevilla Don Bosco	0	5
11	Sinaí	0	5
12	Sucúa	1	4
13	Suñac	0	5
	TOTAL	2	63
	PORCENTAJE	3,08%	96,92%

Tabla A.XIII. Resultados Pregunta 6

No.	PARROQUIA	OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO Y RECURSOS	USO DE LAS TIC	ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS
1	9 de Octubre	1	1	3
2	Asunción	3	1	1
3	Cuchaentza	0	0	5
4	Gral. Proaño	2	1	2
5	Huambi	4	0	1
6	Macas	4	1	0
7	Río Blanco	2	1	2
8	San Isidro	3	1	1
9	Santa Marianita	4	1	0
10	Sevilla Don Bosco	1	2	1
11	Sinaí	3	0	2
12	Sucúa	5	0	0
13	Suñac	1	0	4
	TOTAL	33	9	22
	PORCENTAJE	50,77%	13,85%	33,85%

ANEXO IX

PUNTOS FINALES Y SITIOS DE REPETICION



Figura 102. Cerro Kilamo visto desde el lejos

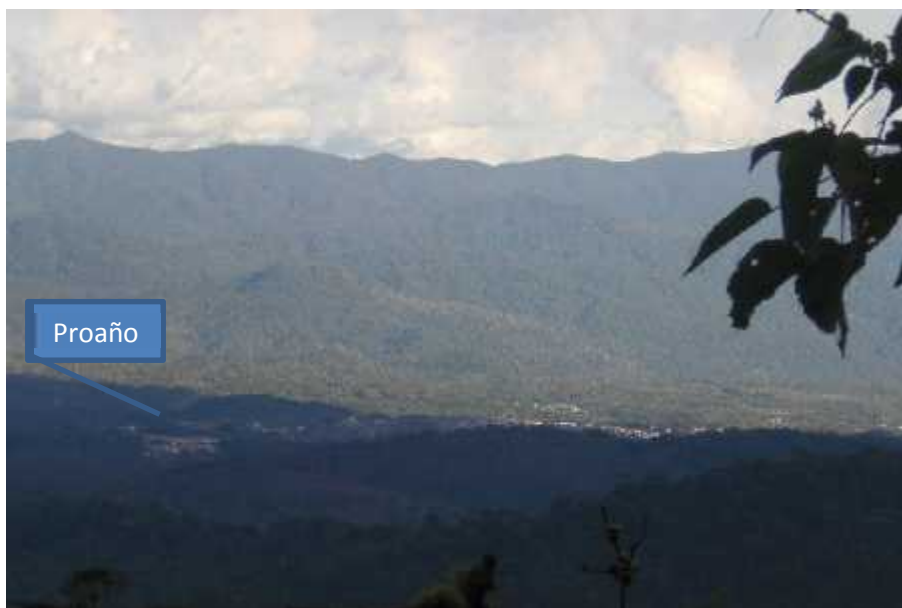


Figura 103. Parroqui Gral. Proaño vista desde el kilamo



Figura 104. Rio Abanico desde el Mirador Tigre



Figura 105. Parroqui Alshi / 9 de octubre y Repe 1 desde Tigre



Figura 106. Vista desde Repetidor San Luis del Upano



Figura 107. Parroqui Rio Blanco



Figura 108. Infraestructura en el Kilamo



Figura 109. Cableado eléctrico vía 9 de Octubre - Zuñac



Figura 110. Parroqui Sinaí

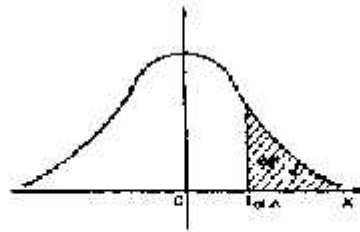


Figura 111. Vista a Macas desde el Kilamo

ANEXO X

TABLA T-STUDENT

Tabla A. XIV. Tabla T-Student



α	0,40	0,30	0,20	0,10	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001	0,0005
1	0,325	0,727	1,375	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,963	9,025	22,32	31,60
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,22	12,94
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,859
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,893	2,365	2,998	3,499	4,785	5,405
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,936	3,355	4,501	5,031
9	0,261	0,544	0,883	1,381	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,189	4,144	4,587
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,794	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	0,864	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,013
17	0,257	0,534	0,863	1,332	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,955
18	0,257	0,534	0,862	1,329	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,902
19	0,257	0,533	0,861	1,325	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,853
20	0,257	0,533	0,860	1,322	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,809
21	0,257	0,532	0,859	1,320	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,770
22	0,256	0,531	0,858	1,317	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,732
23	0,256	0,531	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,707
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,497	2,797	3,467	3,685
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	0,855	1,311	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	0,853	1,303	1,688	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,255	0,528	0,849	1,298	1,676	2,009	2,403	2,678	3,262	3,495
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,650	3,232	3,450
80	0,254	0,526	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,525	0,845	1,290	1,659	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	0,843	1,286	1,653	1,973	2,345	2,601	3,131	3,359
500	0,253	0,523	0,842	1,283	1,648	1,962	2,334	2,586	3,106	3,310
∞	0,253	0,523	0,842	1,282	1,645	1,950	2,326	2,576	3,090	3,291