

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED COMUNAL
MULTISERVICIOS PARA BRINDAR ACCESO A
INTERNET A CENTROS EDUCATIVOS Y SERVICIOS
COMUNITARIOS PARA UNIDADES PÚBLICAS DEL
CANTÓN URCUQUÍ DE LA PROVINCIA DE
IMBABURA”

Autor

Andrés Eduardo Cervantes Rivadeneira

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el siguiente proyecto de titulado “Análisis y Diseño de una Red Comunal Multiservicios para Brindar Acceso a Internet a Centros Educativos y Servicios Comunitarios para Unidades Públicas del Cantón Urcuquí de la Provincia de Imbabura” fue desarrollado en su totalidad por el señor Andrés Eduardo Cervantes Rivadeneira con C.I. 1003418652 bajo nuestra dirección

Ing. Fabián Sáenz
DIRECTOR

Ing. Carlos Romero
CODIRECTOR

RESUMEN

El presente proyecto trata acerca del diseño y análisis de una Red Comunal para brindar el servicio de Internet a instituciones educativas y gubernamentales del cantón Urcuquí. El propósito de esta Red es desarrollar las telecomunicaciones en los sectores rurales y urbano marginales del país cumpliendo con el Plan de Servicio Universal.

Para poder diseñar de la Red Comunal fue necesario realizar un estudio de campo con el fin de determinar las coordenadas geográficas, el número de alumnos y el equipamiento informático disponible en cada uno de los establecimientos educativos fiscales del cantón. Además se tomaron las coordenadas geográficas de elevaciones estratégicas que pudieran ser utilizadas para colocar las radiobases necesarias para dar cobertura inalámbrica a las instituciones.

La tecnología de acceso seleccionada para la implementación de la red es WiFi y se utilizó el programa Radio Mobile para completar el diseño de la red, simular y analizar todos los radioenlaces existentes en la red inalámbrica. El análisis se realizó con el objeto de determinar la factibilidad de la red y los equipos necesarios para su implementación.

Finalmente como resultado se determinó que es posible implementar una red inalámbrica para poder brindar acceso a Internet a todas las instituciones educativas del cantón Urcuquí, sin embargo este proyecto debe ser financiado por el Estado ya que es demasiado costoso para que las unidades educativas de dicho cantón lo puedan solventar.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, que a lo largo del camino de la vida han sabido darme su apoyo y cariño incondicional, que me han guiado por senderos de perseverancia, de honestidad, y me han enseñado a ser una persona íntegra con valores y principios inamovibles.

Al ingeniero Fabián Saénz, Director del proyecto de grado y al ingeniero Carlos Romero Codirector que con su acertado criterio y mediante su asesoramiento hicieron posible la exitosa realización de este proyecto

A FODETEL, y sobre todo a los ingenieros que conforman su equipo técnico y administrativo, por su valiosa contribución a través de información y capacitación indispensable para el desarrollo de la tesis.

A las honorables autoridades del ilustre Municipio de Urququí, quienes mediante su acogida facilitaron la visita técnica a las instituciones educativas que serán beneficiadas con este proyecto.

Y, finalmente, a mis amigos y compañeros, con quienes compartí no solo gratos momentos sino también mis dudas e inquietudes, aquellos quienes siempre han tenido una mano extendida para ofrecerme su ferviente apoyo sea cual fuere la condición.

DEDICATORIA

A mi padre quien con esfuerzo y cariño me ha apoyado desde el principio de mis estudios, haciendo posible cursar la carrera de la mejor manera y en las mejores condiciones.

A mi madre quien con su amor y el ejemplo que me ha proporcionado, ha hecho posible mi desarrollo y formación como una persona de bien, útil y favorable para la sociedad.

A mis hermanas quienes con cariño y afecto me han acompañado en todo momento y circunstancia, quienes siempre aportaron con su interés y buena voluntad y que con su espíritu siempre positivo me demostraron que todo problema tiene solución.

PRÓLOGO

Debido a la falta de acceso a las telecomunicaciones en las zonas rurales y urbano marginales del Ecuador, el Estado ha establecido al Plan de Servicio Universal como uno de sus principales objetivos. El propósito de este Plan es que todos los habitantes del territorio nacional puedan acceder a las Tecnologías de Información y Comunicación TICs a precios asequibles y con la calidad debida.

Con el fin de dar cumplimiento al Plan de Servicio Universal se creó el Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales (FODETEL) que tiene como principal objetivo gestionar el financiamiento, a través de la inversión nacional o internacional, de proyectos con las tecnologías más adecuadas y el máximo nivel de rentabilidad social en las áreas rurales y urbano marginales.

Para contribuir con el Plan de Servicio Universal y la labor del FODETEL, el presente proyecto plantea el diseño de una Red Comunal para dar el servicio de Internet a instituciones educativas y juntas parroquiales del cantón San Miguel de Urcuquí de la provincia de Imbabura, a su vez realiza un análisis de las tecnologías más apropiadas para ser utilizadas en la implantación de Red y estudia la factibilidad económica del proyecto comparada con la retribución social del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 | INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. | MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 | TECNOLOGÍAS PARA REDES WAN..... | 3 |
| 2.1.1 | Escenario Inalámbrico | 3 |
| 2.1.2 | Escenario con Medios Guiados | 13 |
| 2.1.3 | Escenario Satelital | 17 |
| 2.1.4 | Comparación de las Tecnologías de Acceso | 20 |
| 2.2 | TECNOLOGÍAS PARA REDES LAN..... | 22 |
| 2.2.1 | Tipos de Redes de Área Local..... | 22 |
| 2.2.2 | Tecnología LAN Seleccionada..... | 25 |
| 2.3 | ESPECTRO RADIOELÉCTRICO..... | 25 |
| 2.3.1 | Espectro Radioeléctrico Utilizado por WiFi | 26 |
| 2.3.2 | Espectro Radioeléctrico Utilizado por VSAT | 30 |
| 2.4 | PÉRDIDAS EN LOS RADIOENLACES | 31 |
| 2.4.1 | Pérdidas de propagación..... | 31 |
| 2.4.2 | Ganancia del Sistema..... | 35 |
| 2.4.3 | Margen de Desvanecimiento | 36 |
| 2.5 | SEGURIDAD EN LAS REDES | 37 |
| 2.5.1 | Firewall y Proxy | 38 |
| 2.5.2 | Firewall y Políticas | 42 |
| 2.5.3 | Administración del Ancho de Banda..... | 43 |
| 3. | ESTUDIO DE CAMPO | 46 |
| 3.1 | ESTUDIO DE CAMPO | 46 |
| 3.1.1 | Proveedores de Internet en la Zona | 50 |
| 3.1.2 | Cerros importantes..... | 51 |
| 3.2 | INFORMACIÓN SOCIO ECONÓMICA | 52 |
| 4. | DISEÑO DE LA RED | 57 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | DISEÑO DE LA RED WAN..... | 57 |
| 4.1.1 | Solución Inalámbrica..... | 57 |
| 4.1.2 | Solución Satelital..... | 80 |
| 4.1.3 | Cálculos de Ganancias y Potencias | 87 |
| 4.2 | COBERTURA DE LA RED..... | 90 |
| 4.3 | CÁLCULO DE ANCHO DE BANDA REQUERIDO | 93 |
| 4.4 | CONFIGURACIÓN DE LA RED LAN | 97 |
| 4.5 | SOFTWARE DE SIMULACIÓN RADIO MOBILE | 98 |
| 4.5.1 | Radio Mobile..... | 98 |
| 4.5.2 | Funcionamiento del Software..... | 99 |
| 4.5.3 | Simulación en Radio Mobile..... | 100 |
| 4.6 | EQUIPAMIENTO NECESARIO..... | 107 |
| 4.6.1 | Equipamiento para Redes WLAN..... | 107 |
| 4.6.2 | Equipamiento para Redes VSAT..... | 114 |
| 4.6.3 | Equipamiento para la Infraestructura de la Red | 115 |
| 4.7 | ASPECTOS LEGALES Y REGULATORIOS | 115 |
| 4.7.1 | Norma Para La Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha MDBA..... | 116 |
| 4.7.2 | Reglamento de Derechos de Concesión y tarifas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico..... | 117 |
| 4.7.3 | Reglamento del Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales..... | 121 |
| 5. | ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA | 123 |
| 5.1 | Costos de Inversión..... | 123 |
| 5.1.1 | Costos del Escenario Inalámbrico | 123 |
| 5.1.2 | Costos de la Infraestructura | 125 |
| 5.1.3 | Costos del equipamiento Informático..... | 126 |
| 5.2 | Costos de Operación y Mantenimiento..... | 128 |
| 5.3 | Costo Total del Proyecto..... | 130 |
| 5.4 | Planes de Sostenibilidad | 131 |
| 5.5 | Flujo de Efectivo..... | 132 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 135 |
| 6.1 | Conclusiones..... | 135 |
| 6.2 | Recomendaciones | 136 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 138 |
| 8. | ANEXOS | 139 |

| | | |
|------|--|-----|
| 8.1 | Anexo 1. Mapa de la parroquia de Urcuquí con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 140 |
| 8.2 | Anexo 2. Mapa de la parroquia de Cahuasquí con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 140 |
| 8.3 | Anexo 3. Mapa de la parroquia de Buenos Aires con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 141 |
| 8.4 | Anexo 4. Mapa de la parroquia de Pablo Arenas con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 141 |
| 8.5 | Anexo 5. Mapa de la parroquia de San Blas con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 142 |
| 8.6 | Anexo 6. Mapa de la parroquia de Tumbabiro con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 142 |
| 8.7 | Anexo 7. Mapa del cantón de San Miguel de Urcuquí con las instituciones referenciadas geográficamente..... | 143 |
| 8.8 | Anexo 8. Fotografías de Instituciones Beneficiarias | 144 |
| 8.9 | Anexo 9. Esquema de la Red de Acceso de la Radio base Azaya (Parte 1 de 2) | 149 |
| 8.10 | Anexo 10. Esquema de la Red de Acceso de la Radio base Azaya (Parte 2 de 2) | 149 |
| 8.11 | Anexo 11. Esquema de la Red de Acceso del Repetidor 1 (Parte 1 de 2) | 150 |
| 8.12 | Anexo 12. Esquema de la Red de Acceso del Repetidor 1 (Parte 2 de 2) | 150 |
| 8.13 | Anexo 13. Configuración de la red WAN | 151 |
| 8.14 | Anexo 14. Esquema de la red de acceso de Buenos Aires..... | 152 |
| 8.15 | Anexo 15. Configuración de la red de acceso de Buenos Aires | 152 |
| 8.16 | Anexo 16. Esquema total de la red | 153 |
| 8.17 | Anexo 17. Hojas técnicas de los equipos utilizados | 154 |
| 8.18 | Anexo 18. Flujo de caja de la Red Comunal para el cantón Urcuquí..... | 158 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla. 2.1. Estándares de WiFi..... | 5 |
| Tabla. 2.2. Estándares de WiMAX..... | 7 |
| Tabla. 2.3. Bandas de Frecuencia para LMDS | 10 |
| Tabla. 2.4 Estándares de las redes PON | 17 |
| Tabla. 2.5. Comparación de Tecnologías | 21 |
| Tabla. 2.6. Bandas de Frecuencia de Microonda..... | 26 |
| Tabla. 2.7. Canalización de la Banda 2.4GHz utilizada en WiFi | 28 |
| Tabla. 3.1 Número de Habitantes del Cantón Urcuquí por Parroquias | 48 |
| Tabla. 3.2. Instituciones Beneficiarias del Cantón Urcuquí | 48 |
| Tabla. 3.3. Cerros Importantes | 51 |
| Tabla. 3.4 Índice de Escolaridad por parroquias | 52 |
| Tabla. 3.5. Porcentaje de primaria completa por parroquias ⁴ | 53 |
| Tabla. 3.6. Porcentaje de secundaria completa por parroquia ⁴ | 53 |
| Tabla. 3.7. Porcentaje de analfabetismo por parroquias..... | 53 |
| Tabla. 3.8. Número de Beneficiarios por Centro Educativo | 54 |
| Tabla. 4.1. Instituciones beneficiadas mediante acceso satelital..... | 81 |
| Tabla. 4.2. Resumen de Radioenlaces de la Red | 84 |
| Tabla. 4.3. Cálculo de Margen de Desvanecimiento en Cada Enlace | 88 |
| Tabla. 4.4. Número de Computadoras y Ancho de Banda en Función del Número de Alumnos | 94 |
| Tabla. 4.5. Estudio de Tráfico del Escenario Inalámbrico | 95 |
| Tabla. 4.6. Estudio de Tráfico del Escenario Satelital..... | 96 |
| Tabla. 4.7. Direcciones para la red LAN | 98 |

| | |
|--|-----|
| Tabla. 4.8. Coeficientes y Valor de la Tarifa A..... | 119 |
| Tabla. 4.9. Valor de Fd para Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha | 120 |
| Tabla. 5.1. Costo de la Red Inalámbrica con Tecnología WiFi..... | 124 |
| Tabla. 5.2. Costo de la Red Inalámbrica con Tecnología WiMAX..... | 125 |
| Tabla. 5.3. Costo de la Infraestructura de la Red | 126 |
| Tabla. 5.4. Costo del Equipamiento Informático..... | 127 |
| Tabla. 5.5. Costo Total de Inversión | 128 |
| Tabla. 5.6. Costo mensual de Internet satelita. | 129 |
| Tabla. 5.7. Costo de Sistemas Punto - Multipunto | 129 |
| Tabla. 5.8. Costo Total de Operación y Mantenimiento | 130 |
| Tabla. 5.9. Costo total del proyecto..... | 131 |
| Tabla. 5.10. Egresos Anuales | 132 |
| Tabla. 5.11. Flujo de caja de la Red Comunal para el cantón Urcuquí | 158 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura. 2.1. Clasificación de redes inalámbricas según su cobertura | 4 |
| Figura. 2.2. Ejemplo de Red LAN..... | 23 |
| Figura. 2.3. Ejemplo de Red WLAN | 24 |
| Figura. 2.4. Zona de Fresnel | 32 |
| Figura. 2.5. Router con Filtrado de paquetes..... | 39 |
| Figura. 2.6. Ubicación del Servidor Proxy | 40 |
| Figura. 3.1. Mapa político de cantón San Miguel de Urcuquí..... | 47 |
| Figura. 4.1. Red de transporte inalámbrica..... | 60 |
| Figura. 4.2. Diagrama técnico de la Red de Transporte | 61 |
| Figura. 4.3. Simulación de la Red de Transporte | 61 |
| Figura. 4.4. Perfil del enlace Radio base Azaya – Repetidor 1 | 62 |
| Figura. 4.5 Perfil del enlace Radio base Azaya – Municipio de Urcuquí | 62 |
| Figura. 4.6. Esquema de la Red de Acceso | 63 |
| Figura. 4.7. Simulación de la Red de acceso de la Radio base Azaya | 64 |
| Figura. 4.8. Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín José Reyes Rosero | 65 |
| Figura. 4.9. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Abdón Calderón | 65 |
| Figura. 4.10. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Alfonso Cadena Marcillo | 65 |
| Figura. 4.11. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Amable Elías Salvador..... | 66 |
| Figura. 4.12. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Camilo Gallegos Domínguez ... | 66 |
| Figura. 4.13. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Eugenio Espejo | 66 |
| Figura. 4.14. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Provincia de Manabí | 67 |
| Figura. 4.15. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Quintillano Sánchez | 67 |
| Figura. 4.16. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Víctor Manuel Peñaherrera | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura. 4.17. Enlace entre Radio base Azaya y el Colegio Luís Felipe Borja | 68 |
| Figura. 4.18. Enlace entre Radio base Azaya y el Colegio Urcuquí | 68 |
| Figura. 4.19. Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín de Infantes La Victoria | 68 |
| Figura. 4.20. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Franklin Roosvelt | 69 |
| Figura. 4.21 Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín de Infantes Alberto Amador | 69 |
| Figura. 4.22. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Eloy Alfaro..... | 69 |
| Figura. 4.23 Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Hernán Cortez | 70 |
| Figura. 4.24. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Odilo Aguilar | 70 |
| Figura. 4.25. Enlace entre Radio base Azaya y el Municipio de Urcuquí | 70 |
| Figura. 4.26. Enlace entre Radio base Azaya y la Junta Parroquial de San Blas | 71 |
| Figura. 4.27. Enlace entre Radio base Azaya y la Junta Parroquial de Pablo Arenas..... | 71 |
| Figura. 4.28. Simulación de la red de acceso del Repetidor 1..... | 72 |
| Figura. 4.29. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín 29 de Mayo | 72 |
| Figura. 4.30. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Ecuador Amazónico | 73 |
| Figura. 4.31. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Eduardo Garzón Fonseca | 73 |
| Figura. 4.32. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela José María Córdova..... | 73 |
| Figura. 4.33. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan León Mera..... | 74 |
| Figura. 4.34. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Luis A. Martínez | 74 |
| Figura. 4.35. Enlace entre el Repetidor 1 y el Colegio Cahuasquí..... | 74 |
| Figura. 4.36. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín Pablo Arenas | 75 |
| Figura. 4.37. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela 5 de Junio | 75 |
| Figura. 4.38. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Alejandro Andrade Coello | 75 |
| Figura. 4.39. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Simón Rodríguez..... | 76 |
| Figura. 4.40. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín Tumbabiro..... | 76 |
| Figura. 4.41. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan Jacobo Rousseau | 76 |
| Figura. 4.42. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Jorge Carrera Andrade | 77 |
| Figura. 4.43. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan Jacobo Rousseau | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figura. 4.44. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Vicente Rocafuerte | 77 |
| Figura. 4.45. Enlace entre el Repetidor 1 y la Junta Parroquial de Cahuasqui | 78 |
| Figura. 4.46. Enlace entre el Repetidor 1 y la Junta Parroquial de Tumbabiro..... | 78 |
| Figura. 4.47. Enlace Escuela Simón Rodríguez - Jardín Iruguincho..... | 79 |
| Figura. 4.48. Solución Inalámbrica | 80 |
| Figura. 4.49. Red de acceso para la ciudad de Buenos Aires | 82 |
| Figura. 4.50. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la Escuela 24 de Junio Nº2 | 82 |
| Figura. 4.51. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la Escuela Buenos Aires | 82 |
| Figura. 4.52. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la escuela 24 de Junio Nº283 | |
| Figura. 4.53. Solución Final del Proyecto | 84 |
| Figura. 4.54. Zona de Influencia de la Radio base Azaya | 91 |
| Figura. 4.55. Zona de Influencia del Repetidor 1 | 92 |
| Figura. 4.56. Zona de Influencia Total | 93 |
| Figura. 4.57. Ingreso de nombre de las unidades | 100 |
| Figura. 4.58. Ingreso de Coordenadas Geográficas..... | 101 |
| Figura. 4.59. Configuración de los Parámetros de la red | 101 |
| Figura. 4.60. Configuración de la Topología de la Red | 103 |
| Figura. 4.61. Selección de los miembros de la Red..... | 104 |
| Figura. 4.62. Configuración de los parámetros de los sistemas | 105 |
| Figura. 4.63. Selección del estilo..... | 106 |
| Figura. 4.64. Botón Enlace de Radio..... | 106 |
| Figura. 4.65. Enlace de radio..... | 107 |
| Figura. 4.66. Equipamiento VSAT..... | 114 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La Secretaria Nacional de Telecomunicaciones SENATEL se encuentra ejecutando su Plan de Servicio Universal a través del FODETEL, en el cual su principal objetivo es incorporar a la mayoría de escuelas, colegios y bibliotecas a nivel nacional, a las Tecnología de Información y Comunicación TIC, mostrando hasta el momento resultados satisfactorios en la provincia de Pichincha.

El Plan de Servicio Universal pretende que todos los establecimientos educativos del país se incorporen a las TIC, en especial los de las áreas rurales y urbano marginales, por lo que se ha seleccionado al cantón San Miguel de Urucuquí de la provincia de Imbabura para que sea un beneficiario más de este plan.

El cantón San Miguel de Urucuquí está situado 22 Km. al noroeste de la ciudad de Ibarra en la provincia de Imbabura, se encuentra rodeado de un paisaje natural incomparable y un acogedor clima. En su geografía aún se pueden encontrar pequeños pueblitos que conservan su arquitectura popular y tradicional, reflejando un sabor colonial.

Aunque cuenta con tan solo 767 kilómetros cuadrados, el cantón Urucuquí, perteneciente a la provincia de Imbabura, es famoso y reconocido a nivel nacional e internacional por su gran diversidad y concentración de recursos naturales así como la cordialidad de sus habitantes, que lo distinguen como un especial atractivo para los turistas nacionales y extranjeros.

Posee los siguientes grupos étnicos: mestizos, afro-americano e indígenas, el idioma que se habla es el español – quichua. Tiene un total de 14.381 habitantes distribuidos entre sus parroquias rurales Cahuasquí, San Blas, Tumbabiro, Pablo Arenas, La Merced de Buenos Aires y su parroquia urbana Urucuquí.

1.2 INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto trata acerca del diseño una red comunal multiservicios para poder brindar acceso a Internet a los centros educativos del sector rural y urbano marginal, y servicios comunitarios para unidades públicas del cantón Urcuquí, haciendo uso de cualquier tecnología disponible en el mercado para poder lograrlo, tomando en cuenta los costo que conllevan utilizar cada una de las tecnologías disponibles y a su vez realizar un análisis de la factibilidad económica de la red, incluyendo las variables económicas TIR y VAN y planes de sostenibilidad de la red.

Los sectores rurales y urbanos marginales del cantón Urcuquí y en general del país tienen un limitado acceso y a veces hasta nulo a las telecomunicaciones, tanto así que ni siquiera cuentan con líneas telefónicas en la mayoría de los casos. Es por esto que proporcionar Internet para las escuelas de estos sectores va a aportar una gran herramienta para el desarrollo de los mismos, consiguiendo con esto elevar la calidad de educación que se da a los niños de nuestro país y así tener mejores profesionales a futuro.

Se debe mencionar que es de gran importancia proporcionar Internet a los establecimientos públicos de estos sectores, ya que esto otorgará un mejor desempeño de los mismos y una forma fácil de comunicarse con el resto de establecimientos del país, por lo que se ha seleccionado beneficiar al municipio, y a las cinco juntas parroquiales del cantón con este proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 TECNOLOGÍAS PARA REDES WAN

Para la implementación de la Red Comunal Multiservicios se considerarán los tres principales tipos de medios de transmisión como son: inalámbrico, medios guiados y satelital tanto como para la red de acceso y transporte. Cada una de estos medios se considerará como un escenario diferente que debe ser estudiado con el fin de conocer sus ventajas y desventajas con respecto a los otros con el fin de elegir el que sea más apropiado para la implementación de la red. Además existe la posibilidad de usar una combinación de las tres tecnologías si la situación lo ameritara. A continuación se detallarán cada una a fin de conocer sus ventajas y desventajas.

2.1.1 Escenario Inalámbrico

Las redes inalámbricas transmiten la información mediante ondas electromagnéticas por esto no es necesario un medio guiado como cables, esto proporciona la ventaja de realizar una rápida instalación de la red, tener movilidad dentro de la misma y los costos de mantenimiento de esta red son muy reducidos comparados con una red que utiliza medios guiados.

Se puede clasificar los tipos de redes inalámbricas como se muestra en la Figura. 2.1 dependiendo de la cobertura y alcance que tengan estas, estos tipos son:

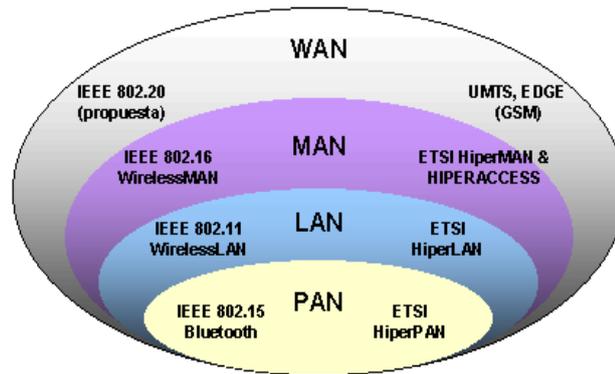


Figura. 2.1. Clasificación de redes inalámbricas según su cobertura¹

- WPAN (*Wireless Personal Area Network*) Redes inalámbricas de área personal
- WLAN (*Wireless Local Area Network*) Redes inalámbricas de área local
- WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) Redes inalámbricas de área metropolitana.
- WWAN (*Wireless Wide Area Network*) Redes inalámbricas de área extensa.

De las cuales nos concentraremos en las redes WWAN o WMAN para la red acceso y WLAN para la red local dentro de cada institución.

Tecnología de Acceso Inalámbricas

Para el despliegue de las redes de acceso y transporte se pueden utilizar varias tecnologías inalámbricas, de las cuales se han seleccionado las más modernas y usadas. A fin de determinar cuál de estas tecnologías es la más apropiada para la implementación de la Red Comunal se debe tomar muy en cuenta todas las características técnicas de cada tecnología, así como el costo, el tiempo que se demoran su implantación y las normas legales que rigen al sector de las telecomunicaciones. Las tecnologías que se muestran a continuación son las que tienen mayor potencial para ser usadas en la implementación de la Red.

WiFi

La palabra WiFi proviene del acrónimo de las palabras en inglés *Wireless Fidelity*. Sin embargo este solo es el nombre comercial del estándar 802.11b establecido por la

¹ Fuente. <http://es.wikipedia.org/>

IEEE. Es una de las tecnologías inalámbricas más usadas en la actualidad, este estándar es apropiado para desplegar tanto redes inalámbricas de área local WLAN como redes WMAN y WWAN.

Desde su creación han existido varios estándares que han incluido mejoras al 802.11, pero los estándares más usados de esta tecnología son los que se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla. 2.1. Estándares de WiFi

| Estándar | Velocidad de Transmisión | Modulación | Codificación | Banda de Frecuencias |
|-----------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 802.11a | 54Mbps | OFDM | CCK (8 bits) | 5GHz |
| 802.11b | 1Mbps | PSK | Secuencia de Barker (11bits) | 2.4GHz |
| 802.11b | 2Mbps | QPSK | Secuencia de Barker (11bits) | 2.4GHz |
| 802.11b | 5.5Mbps | QPSK | CCK (4 bits) | 2.4GHz |
| 802.11b | 11Mbps | QPSK | CCK (8 bits) | 2.4GHz |
| 802.11g | 54Mbps | OFDM | CCK (8 bits) | 2.4GHz |

Como se puede observar en la Tabla. 5.3. WiFi utiliza diversas técnicas de modulación, dependiendo del estándar, por ejemplo para 802.11b se utiliza PSK que es una modulación por desplazamiento de fase, en donde cada símbolo posee una fase diferente. Existen varios niveles de PSK, por ejemplo BPSK que solo utiliza dos fase desplazadas 180° , esto brinda una mayor robustez a la señal pero mejor tasa de transferencia, a diferencia de QPSK que utiliza cuatro fases desfasadas 90° lo que permite transmitir dos veces más rápido que BPSK.

WiFi está diseñado para trabajar en la bandas de frecuencia ISM (Industrial Científica Médica) que son bandas no licenciadas en 2.400-2.4835GHz y 5.725-5.850 GHz y para el Ecuador no es la excepción.

Este estándar incorpora técnicas de espectro ensanchado como FHSS, DSSS y OFDM, dependiendo del estándar y cada una de estas técnicas proporcionan gran robustez a la señal frente a interferencias y atenuaciones por caminos múltiples. La forma como trabajan las técnicas de espectro ensanchado FHSS y DSSS se detallarán en la sección del

espectro radioeléctrico utilizado por WiFi, la modulación OFDM se explica a continuación.

➤ **OFDM (Orthogonal Frequency Division *Multiplexing*)**

Sus siglas significan Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales. Es sí esta técnica no está definida como una técnica de espectro ensanchado, pero ya que posee un funcionamiento similar se la considera como una técnica más de espectro ensanchado. Tanto para las técnicas de espectro ensanchado como para OFDM la señal debe estar previamente modulada, usando cualquier otra técnica como por ejemplo QAM o PSK.

OFDM es una técnica muy robusta ante interferencias y caminos múltiples, además es muy útil para transmitir a grandes distancias puesto que reduce las atenuaciones selectivas de frecuencia, gracias a su innovador método de modulación y a que usa un codificador y decodificador, para la transmisión y recepción respectivamente, con el propósito de realizar una corrección de errores en la señal.

La forma en la que transmite OFDM es la siguiente:

- Primero la señal previamente modulada en QAM o PSK es ingresada al codificador.
- Esta señal codificada es ingresado a un módulo con el algoritmo de la Transformada Rápida Inversa de Fourier (IFFT), lo cual es equivalente a modular la señal con múltiples subportadoras.
- El resultado del algoritmo IFFT es transmitido de forma serial por el canal.
- La señal recibida es transformada nuevamente a datos en paralelo para ser ingresado al algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y luego es decodificado.

La técnica OFDM es utilizada por muchos estándares como el 802.11a/g/n, WiMAX y Televisión Digital (TDT).

WiMAX

Su nombre proviene del acrónimo en inglés (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), esta es una de las últimas tecnologías desarrolladas para redes de acceso y transporte inalámbrico, su estándar es el 802.16 definido por la IEEE. Está

tecnología usa ondas de radio de una forma similar a como lo hace la tecnología WiFi, pero está diseñada para cubrir áreas mucho más extensas y alcanzar mayores velocidades.

Desde que WiMAX fue creado en el año 2002 han existido muchos estándares, como se muestra en la Tabla. 2.2, con los cuales esta tecnología se ha ido desarrollando hasta llegar a los estándares actuales y más usados que son 802.16d (802.16-2004), 802.16e y próximamente 802.16f para enlaces móviles.

Tabla. 2.2. Estándares de WiMAX

| Estándar | Año | Características |
|-----------------|------------|---|
| 802.16 | 2002 | <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias licenciadas de 10 a 66GHz. • Requiere línea de vista. • Velocidades de hasta 134Mbps. • Distancia máxima de 8Km. |
| 802.16a | 2002 | <ul style="list-style-type: none"> • Añade las bandas 2 a 11GHz. • Soporta enlaces sin línea de vista. |
| 802.16c | 2003 | <ul style="list-style-type: none"> • Añade características y especificaciones de las bandas 10 a 66GHz. |
| 802.16d | 2004 | <ul style="list-style-type: none"> • Conocido como el estándar 802.16-2004 • Añade perfiles aprobados en WiMAX Forum. |
| 802.16e | 2005 | <ul style="list-style-type: none"> • Añade conexiones de banda ancha para dispositivos nómadas o portátiles. |
| 802.16f | 2005 | <ul style="list-style-type: none"> • Añade conexiones de banda ancha para dispositivos móviles. |

El estándar 802.16-2004 es el que mejor se adapta para la implementación de redes en áreas rurales, ya que este estándar provee conectividad de banda ancha a distancias muy grandes (75Km en teoría), superando a las tecnologías tradicionales como WiFi o LMDS.

El estándar IEEE 802.16 se enfoca en los estándares 802.16-2004 y 802.16e definidos para sistemas fijos y móviles, respectivamente.

➤ **Móvil o Nómada (802.16e)**

Este estándar está especialmente diseñado para introducirse en el mercado móvil añadiendo la capacidad de utilizar WiMAX en dispositivos portátiles.

Todavía no existe un gran despliegue de dispositivos con adaptadores para conectarse directamente con WiMAX, pero desde que se consolidó este estándar en el 2005 ha existido un gran desarrollo de los mismos.

Este estándar usa OFDMA que es Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia, este tipo de acceso es similar a la multiplexación OFDM que se utiliza en WiFi, ya que ambos dividen la señal en múltiples subportadoras, pero OFDMA va más allá porque agrupa las subportadoras en subcanales. Estos subcanales son repartidos para todos los usuarios, permitiendo dar acceso a muchos usuarios al mismo tiempo ya que a cada uno se le asigna automáticamente una porción del número total de canales.

➤ **Fijo (802.16-2004)**

El estándar 802.16-2004 está definido como un estándar fijo inalámbrico, ya que en este estándar la antena de la estación final se coloca en un lugar fijo como un mástil o torre con línea de vista hacia la estación base. Este estándar también se encarga de la cobertura en entornos cerrados, como dentro de edificios, donde no necesita que la señal sea tan robusta como en el exterior.

Es una solución muy adecuada para redes de transporte y para enlaces de última milla y funciona en las bandas de frecuencia de 2.5GHz, 3.5GHz (necesitan licencia) y en la banda libre de 5.8GHz.

El estándar 802.16-2004 presenta varias ventajas en la entrega de última milla, que mejoran la calidad de la señal en situaciones donde no exista una línea de vista directa entre la estación base y la estación final, algunas ventajas son: reducción de la interferencia por múltiples caminos, control del retraso difundido y presenta mayor robustez.

La capa MAC (Control de Acceso al Medio) de este estándar está optimizada para funcionar con enlaces a grandes distancias, debido a que tolera retrasos mayores y variaciones en los retrasos. Se acoplan mensajes con cierto retardo para lograr administrar el Control de Acceso al Medio a fin de que la estación base sondee a las estaciones finales.

Los equipos WiMAX que funcionen en bandas libres de licencia usarán TDD (Duplexación por División de Tiempo) y los equipos que trabajen en bandas licenciadas usarán TDD o FDD (Duplexación por División de Frecuencia).

El estándar del 802.16-2004 del IEEE utiliza OFDM para la optimización de servicios inalámbricos de datos, esta señal OFDM está dividida en 256 señales portadoras en lugar de 64 como el estándar 802.11, un mayor número de subportadoras en la misma banda da como resultado subportadoras más estrechas y aumenta la inmunidad a las interferencias.

WiMAX está concebida como una tecnología que puede servir tanto para dar acceso de última milla como para ser un enlace de transporte.

Un ejemplo de WiMAX es el acuerdo firmado por Intel con la Estación Científica Charles Darwin en Galápagos, para implementar un proyecto piloto de interconexión WiMAX entre las diferentes islas que conforman el archipiélago.

Operadores como SETEL y ECUADORTELECOM tienen desarrolladas redes metropolitanas con tecnología WiMAX en las ciudades de Quito y Guayaquil.

El organismo ecuatoriano de regulación del espectro radioeléctrico, que es la SENATEL, ha establecido que los operadores que usen WiMAX trabajen en la banda de frecuencia de 3.4-3.7GHz asignada a FWA (siglas en inglés de *Fixed-Wireless Access*) que quiere decir sistema de acceso inalámbrico fijo, para lo cual es necesario establecer un contrato de concesión de frecuencias con dicha institución. Esta concesión representa una gran inversión y es recomendable para casos en lo que se quiera comercializar el acceso a Internet por medio de WiMAX, este no es el caso para este proyecto ya que no se pretende obtener lucro. Sin embargo también se puede hacer uso de las bandas de frecuencia no licenciadas para hacer el despliegue de una red con esta tecnología, pero existen mayores restricciones para la potencia máxima de salida de los equipos.

LMDS

LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) quiere decir Servicio de Distribución Local Multipunto. La palabra multipunto se usa porque se hace una transmisión vía radio hacia múltiples instalaciones de abonado desde un sólo punto, la estación base, mientras que desde los abonados a la base se hace de manera punto a punto. Una base puede tener varios sectores, y

cada sector, un área de cobertura del sistema multipunto. La tecnología LMDS solo sirve para dar acceso de última milla, no puede servir como una red de transporte a diferencia de WiMAX.

Para que esta tecnología brinde acceso a una zona determinada es necesario colocar varias radio bases en sitios estratégicos, cada estación base brinda acceso a un determinado sector poblacional, de la misma manera que lo hace un sistema de telefonía celular. Estas radio bases están conectadas entre sí mediante enlaces troncales que pueden ser inalámbricos o con fibra óptica.

Según la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) las frecuencias estándar de LMDS son la que se muestran en la Tabla. 2.3. El ancho de banda total se encuentra dividido en dos bloques y cada bloque en secciones.

Tabla. 2.3. Bandas de Frecuencia para LMDS

| Bloque | Rango de Frecuencias (GHz) | Ancho de Banda (MHz) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| A | 27,500 - 28,350 | 850 |
| | 29,100 - 29,250 | 150 |
| | 31,075 - 31,225 | 150 |
| B | 31,000 - 31,075 | 75 |
| | 31,225 - 31,300 | 75 |

En Ecuador solo están asignadas las bandas de frecuencia de 27.5-28.35GHz y 29.1-29.25GHz del bloque A y la banda de 2500-2686MHz para el uso de sistemas con tecnología LMDS, el resto de frecuencias se asignan a otros sistemas. Esta tecnología requiere de un contrato de concesión para poder ser aplicada en el país.

Dado a que LMDS usa frecuencias muy altas la señal es muy susceptible a desvanecerse debido a fenómenos climáticos como lluvia o granizo, además sufre de grandes atenuaciones según aumente la distancia del enlace y es muy susceptible a obstáculos a diferencia de las señales en frecuencias menores. Todos estos inconvenientes pueden ser mitigados usando código de corrección de errores FEC y asignación dinámica de potencia, pero también existe la opción de usar las bandas de frecuencias menores como la de 2500-2686MHz.

Características técnicas de LMDS

La tecnología LMDS puede alcanzar velocidades de transmisión de 8 a 45Mbps en la banda de frecuencias de 27,500 - 28,350GHz ya que es la que mayor ancho de banda posee. Pero en esa banda alcanza cortas distancias de aquí su nombre de “Local”.

Las distancias que puede alcanzar se encuentran entre los 100m a 35Km (teóricos) ya que el alcance se ve afectado por las condiciones climáticas.

El tipo de modulación que se usa es QAM o QPSK, combinado con métodos de acceso como FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) o FHSS (Espectro Ensanchado con Salto de Frecuencia). Además los protocolos de transporte que puede usar son: ATM, PPP o Ethernet.

CDMA2000 - CDMA450

Esta es una tecnología creada para redes móviles de tercera generación (3G), capaz de ofrecer servicios de voz, datos e internet a grandes velocidades entre los terminales y las estaciones base.

CDMA2000 utiliza el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) de aquí proviene su nombre, en el cual a cada usuario se le da una secuencia o código pseudoaleatorio para que puedan compartir el mismo canal de frecuencia. Al permitir que un usuario pueda utilizar todo el ancho de banda de frecuencias se logra alcanzar grandes velocidad de transmisión.

Los estándares de CDMA2000 son: CDMA2000 1x, CDMA2000 1xEV-DO, y CDMA2000 1xEV-DV y sus diferencias se detallan a continuación:

➤ CDMA2000 1X

Este es el núcleo del estándar CDMA2000, llamado también 1xRTT. Este estándar opera en un par de canales de 1.25MHz para realizar la transmisión duplicando la capacidad de los antiguos sistemas CDMA *one*. La velocidad de transmisión está limitada a unos 144Kbps. Este estándar está considerado por muchos como una tecnología de 2.5G o 2.75G y no de 3G.

➤ **CDMA2000 3X**

A diferencia de 1x CDMA2000 3x utiliza un par de canales de 3.75MHz, lo que le permite alcanzar mayores velocidades de datos, por esto esta tecnología también es llamada *Multi-Carrier* (Múltiples portadoras). Sin embargo este estándar de CDMA2000 nunca ha sido implementado y no se continuó su desarrollo.

➤ **CDMA2000 1XEV-DO**

Las siglas EV-DO provienen de las siglas en inglés de Evolución Optimizada para Datos (*Evolution Data Optimized*), que primero fue llamado Evolución Solo para Datos (*Evolution Data Only*), es una evolución de CDMA2000 1x con una alta tasa de transmisión de datos que utiliza TDD (Duplexación por División de Tiempo). Ha sido definido como el estándar de interfaz 3G IS-856.

CDMA2000 1xEV-DO soporta velocidades de hasta 3.1Mbps de bajada y 1.8Mbps de subida, usando canales dedicados al transporte de datos de alta velocidad. Estas tasas de transmisión fueron establecidas por la última revisión de EV-DO Rev. A.

➤ **CDMA2000 1XEV-DV**

Al igual que EV-DO, CDMA2000 1xEV-DV es la evolución de 1x pero orientada hacia voz y datos (*Evolution Voice Data*), velocidades de hasta 3.1Mbps de bajada y 1.8Mbps de subida. 1xEV-DV también puede soportar una operación concurrente con los usuarios de voz 1x, usuarios de datos 1x y usuarios de datos de alta velocidad 1xEV-DV en el mismo canal de radio.

Su desarrollo se ha suspendido debido a que las operadoras no muestran interés en esta tecnología y el que se continúe desarrollando depende de la compañía Qualcomm, creadora de la tecnología CDMA2000.

➤ **CDMA450**

Se trata de la misma tecnología CDMA2000 pero operando en la banda de 450MHz. Según muchos expertos esta es la tecnología más apropiada para brindar acceso a telefonía, datos e Internet en las zonas rurales a través de escuelas y centros públicos.

La principal ventaja de utilizar una banda de frecuencia de 450MHz es que la señal se propaga a distancias muchos mayores, alcanzando hasta los 80Km con línea de vista. Esta no es una opción para las zonas urbanas donde la banda de 450MHz se encuentra saturada, pero si para las zonas rurales donde el espectro radioeléctrico se encuentra relativamente libre.

Países como México, Perú y Brasil se encuentran muy interesados en esta tecnología para brindar acceso a los servicios universales a zonas rurales. En países como China y algunos de Europa del Este ya existen infraestructuras y terminales disponibles.

2.1.2 Escenario con Medios Guiados

Para este escenario se considerará una red de acceso y transporte que utilicen medios guiados como cable coaxial o fibra óptica, las ventajas de los medios guiados en general es el gran ancho de banda que puede soportar pero los costos de implementación son mucho mayores que los de una red inalámbrica.

Para aprovechar mejor las cualidades de los medios guiados, estos deben ser instalados en terrenos apropiados que faciliten la construcción de la infraestructura, las áreas planas son la mejor opción para su tendido.

Cuando se tiene terrenos muy accidentados o montañosos no es conveniente desplegar redes cableadas puesto que resultaría una inversión excesiva para la construcción de la infraestructura, además se incrementa el riesgo de sufrir accidentes para las personas que instalan los cables.

Para realizar una red de acceso por medio de cables se debe considerar las dos tecnologías más usadas para esto como son el ADSL y el Cable módem.

Tecnologías de Acceso con Medios Guiados

ADSL

ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) significa Línea de Abonado Digital Asimétrica y es una técnica de modulación de datos que usa las líneas telefónicas existentes y puede alcanzar altas velocidades llegando hasta 6Mbps de bajada y hasta

800Kbps de subida. Esta es una técnica que ya existía desde hace mucho tiempo incluso antes de la masificación del Internet y solo se usaba para líneas de alta velocidad dedicadas. ADSL proviene de la familia de tecnologías xDSL, en la cual se utiliza el mismo concepto de líneas digitales sobre las líneas telefónicas, sin embargo ADSL es la técnica más apropiada para brindar Internet por su bajo precio comparado con el resto de la familia xDSL.

Para realizar una conexión ADSL sobre una línea telefónica se utiliza un *splitter* o discriminador en el cual ingresa la línea telefónica y la separa en voz y datos, con esto logra que se pueda utilizar la línea telefónica e Internet al mismo tiempo. Un circuito de ADSL necesita de módems ADSL a ambos extremos de la línea telefónica, en esta conexión se crean tres canales de información uno de bajada, uno de subida y el circuito telefónico convencional.

Para poder usar el servicio de acceso a Internet con ADSL se necesitan los siguientes requisitos:

- Tener una línea telefónica analógica
- La línea telefónica debe estar conectada a una central con cobertura ADSL.
- La línea telefónica no debe tener ninguna de las siguientes incompatibilidades con ADSL:
 - Servicio RDSI
 - Teletarifación mediante impulsos de 12KHz
 - Hilo musical
 - Servicio TRAC (Telefonía Rural de Acceso Celular)
 - Extensiones de centralita

Las principales ventajas de usar ADSL para la red de acceso son:

- Usa una infraestructura existente como la red telefónica básica, por lo tanto el costo y el tiempo de implementación son mucho menores que si el operador tuviera que implantar desde cero su red.
- Usa canales separados para la voz y datos por lo que se puede usar el Internet y hablar por teléfono al mismo tiempo.
- Proporciona un gran ancho de banda incluso mayor que el de una red inalámbrica.

Las desventajas de ADSL son:

- Las líneas telefónicas tiene que estar en buen estado para poder sopor soportar las exigencias de relación señal a ruido del ASDL.
- La máxima distancia teórica en líneas ideales es de 10Km.
- Los equipos como el *router* y el módem son costos pero por lo general estos gastos los afrontan las operadoras.
- No todas las centrales telefónicas poseen cobertura ADSL.

Para considerar el uso de esta tecnología en el presente proyecto primero se debe asegurar que las zonas beneficiarias tengan cerca proveedores con cobertura ADSL.

CABLE MÓDEM

Los cable-módems son dispositivos que permiten brindar acceso a Internet a través de las redes existentes de televisión por cable aprovechado el ancho de banda desperdiciado por la red de televisión CATV.

Los abonados de un mismo sector comparten un mismo ancho de banda proporcionado por solo una línea de cable coaxial, así que la velocidad de la conexión depende de la cantidad de usuarios que estén conectados en ese momento.

Las principales desventajas del uso de cable módem es el acceso compartido a Internet a través de una única línea, además esta conexión no brinda la adecuada seguridad ya que se puede clonar los dispositivos para poder acceder ilegalmente a Internet.

La tasa de transferencia de un cable modem puede alcanzar hasta los 50Mbps en el mejor de los casos y sin compartición.

La desventaja de esta tecnología es que se requiere que existan operadoras de televisión por cable en la zona y que estén en la capacidad de brindar acceso a Internet. Esto es algo muy difícil de encontrar en las zonas rurales.

REDES PON

Red Pasiva Óptica PON (*Passive Optical Network*), es una configuración de red que utiliza como medio de transmisión fibra óptica, que no posee ningún tipo de elemento

activo entre el proveedor y el usuario. Es capaz de proporcionar una gran variedad de servicios de banda ancha utilizando todas las ventajas proporcionadas por la fibra óptica.

La arquitectura de las redes PON no es dedicada al usuario sino que es una configuración punto – multipunto en la que se divide la señal de luz mediante splitters ópticos, esto reduce considerablemente los costos de implementación de la red. Existen dos tipos de equipos en los extremos en una red PON, estos son: el Terminal de Línea Óptica (OTL) y las Unidades de Red Óptica (ONU), que son los equipos del proveedor y de los suscriptores respectivamente.

Funcionamiento de la Red PON

Para la transmisión de datos de forma descendente (del proveedor al usuario) en una red PON se utiliza un sistema punto – multipunto en donde el OLT envía datos para todos los ONU utilizando la tercera ventana de fibra óptica, ubicada en los 1550nm. Para dar hacer llegar la señal a cada usuario esta es dividida mediante *splitters* ópticos, sin embargo al ser elementos pasivos su única función es dividir la potencia de la señal para dos, así que para dar acceso a cada usuario se utiliza una multiplexación por división de tiempo (TDM).

Para realizar la transmisión ascendente (del usuario al proveedor) se utiliza la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) ya que a cada usuario se le asigna una longitud de onda dentro de la segunda ventana de fibra óptica, ubicada en los 1330nm. Además se utiliza un esquema de acceso al medio por división de tiempo TDMA y a su vez todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como *Ranging*, que se encarga de determinar las distancias entre los usuarios y el proveedor.

Una red PON cubre distancias de hasta 20Km, superando por mucho a la tecnología xDSL que alcanzan un máximo de 5.5Km, además esta tecnología a base de fibra óptica es la que ofrece mayores tasas de transmisión de entre todas las tecnologías existentes. Las redes PON presentan mejoras en la calidad de servicio QoS debido a la inmunidad que presentan a las interferencias electromagnéticas.

Los estándares de las redes PON son los que se detallan en la Tabla. 2.4, cabe mencionar que todas las velocidades de transmisión indicadas son repartidas para el número total de usuarios que estén conectados al proveedor.

Tabla. 2.4 Estándares de las redes PON

| Estándar | Significado | Velocidad de Transmisión | Características |
|----------|-------------------------------|--|--|
| APON | Red PON Asíncrona | 155Mbps | <ul style="list-style-type: none"> • Primer estándar de red PON • Utiliza ATM |
| BPON | Red PON de Banda Ancha | Asimétrico: 622Mbps/155Mbps Simétrico: 622Mbps | <ul style="list-style-type: none"> • Se basa en APON • Soporta otros estándares de banda ancha • Presenta altos costos y complicaciones técnicas. |
| GPON | Red PON con capacidad Gigabit | Asimétrico: 2.5Gbps/1.25Gbps Simétrico: 622Mbps y 2.5Gbps | <ul style="list-style-type: none"> • Soporte global multiservicio: voz, Ethernet 10/100, ATM,... • Cobertura hasta 20 km • Seguridad a nivel de protocolo. |
| GEAPON | Gigabit Ethernet PON | 1Gbps | <ul style="list-style-type: none"> • Trabaja directamente a velocidades de gigabit • La interconexión de islas EPON es más simple. • La reducción de los costes debido a que no utilizan elementos ATM y SDH. |

2.1.3 Escenario Satelital

También es un escenario inalámbrico pero el método de acceso a este es muy diferente por lo que se lo estudiará por separado. La ventaja de este tipo de escenario es que tiene cobertura total sobre cualquier punto del planeta, pero su inconveniente principal es el costo del alquiler de este servicio y el alto costo de los equipos, el ancho de banda también es menor al de los demás escenarios pero suficiente para satisfacer las necesidades de una unidad educativa.

Los satélites son básicamente repetidores que retransmiten la señal de una estación base hacia los usuarios, existen diferentes tipos:

- **LEO** (*Low Earth Orbit*), que significa órbitas bajas, se encuentran orbitando una distancia de 160-2000km y su velocidad les permite dar una vuelta al mundo en

90 minutos. Principalmente se usan para proporcionar datos geológicos sobre movimiento de placas terrestres y para la industria de la telefonía satélite.

- **MEO** (*Medium Earth Orbit*) órbitas medias, se encuentran en órbitas medianamente cercanas, de unos 10.000 km. Se usa para comunicaciones de telefonía y televisión.

- **GEO** orbitas geoestacionarias. Se encuentra aproximadamente a 36000Km y poseen una velocidad de traslación igual a la velocidad de rotación de la Tierra, por lo que siempre se encuentran suspendidos sobre un mismo punto del globo terrestre.

Los satélites más apropiados para proveer el servicio de Internet son los LEO y MEO ya que producen menor retardo en las comunicaciones.

Para realizar en envío de datos tanto para las señales ascendente como para las señales descendentes se utilizan frecuencias diferentes a fin de evitar posibles interferencias entre estas dos señales. Las frecuencias de la señal ascendente son mayores que las del haz descendente, debido a que cuanto mayor sea la frecuencia se produce mayor atenuación en el recorrido de la señal, y por tanto es preferible transmitir con más potencia desde la tierra, donde la disponibilidad energética es mayor.

Dentro de cada banda de frecuencias existen canales de frecuencias y para evitar que estos se interfieran entre sí se utilizan polarizaciones diferentes. Cada satélite posee transpondedores que tienen como misión recibir, cambiar y transmitir las frecuencias del satélite, a fin de que la información que se envía desde la base llegue a las antenas receptoras.

Usar este escenario solo es recomendable para puntos de difícil acceso, por lo que solo se utilizará si no se puede dar Internet con ninguno de los otros dos escenarios.

Tecnología de Acceso Satelital VSAT

Las redes VSAT (*Very Small Aperture Terminals*) son sistemas de comunicación por satélite que permite el establecimiento de enlaces entre varias estaciones remotas hacia un Hub central. Gracias a la tecnología VSAT es posible ofrecer una gran cantidad de servicios como capacidad para transmisión de voz y datos hacia un gran número de

terminales ubicados en lugares remotos y de difícil acceso. Estas redes son coordinadas por un terminal denominado Hub que permite al resto de terminales remotos establecer sus canales de comunicación y realizar un control general de la red.

Este tipo de sistemas están orientados principalmente a la transferencia de datos entre unidades remotas y Centros de Proceso conectados al Hub. Son igualmente apropiados para la distribución de señales de vídeo y en ciertos casos se utilizan también para proporcionar servicios de telefonía entre estaciones remotas y el Hub. Una red VSAT puede tener hasta 1000 terminales remotos. Los sistemas VSAT se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como por ejemplo:

- Redes interactivas de datos para aplicaciones financieras
- Terminales Punto de Venta
- Redes de distribución comercial
- Redes de servicios públicos: Gas, agua, electricidad, etc.
- Sistemas SCADA para supervisión de infraestructuras, medio ambiente, seguridad, etc.

Las ventajas que poseen las redes VSAT son la facilidad y rapidez para el despliegue de la red y la incorporación de nuevos terminales, los costos de implantación no están en función de la distancia, proporciona acceso a lugares remotos a los que ninguna otra tecnología puede llegar, gestión centralizada y fácil configuración del tráfico.

Existen diferentes tipos de redes y topologías VSAT que se clasifican en:

1. Sistemas Unidireccionales de Datos
 - Se compone de una estación transmisora principal y de varias estaciones exclusivamente receptoras.
 - La estación transmisora envía datos con velocidades entre los 19Kbps y 2Mbps.
 - Las unidades receptoras son muy sencillas y sus antenas tiene diámetros entre los 75 a 90cm.
2. Sistemas Bidireccionales o Interactivos

- La estación central o Hub transmite usando varias portadoras y utiliza TDM.
- Las velocidades de transmisión están entre los 64Kbps y 2Mbps.
- Es posible utilizar canales asignados de capacidad fija, para ofrecer servicios de voz o de vídeo.
- Es ideal para organizaciones que utilicen una estructura de procesamiento centralizada y un gran número de sucursales/terminales que comunican muy a menudo en tiempo real con el sistema central.

3. Redes Corporativas

- Cada estación transmisora opera con acceso TDMA.
- Las velocidades de transmisión tienen están entre los 2Mbps a 34Mbps.
- Se utiliza un cierto número de circuitos entre 30 y 500 con una velocidad de 64Kbps cada uno que son asignados dinámicamente a cada estación.
- La utilización del segmento espacial es más eficiente que la de circuitos terrenos ya que el dimensionamiento del tráfico se efectúa sobre el conjunto total de circuitos, lo que es notablemente más eficiente que hacerlo sobre cada uno de ellos.

2.1.4 Comparación de las Tecnologías de Acceso

Después de revisar las características de las posibles tecnologías que existen para implementación de una red de acceso es necesario realizar una comparación entre todas para determinar cuál es la más apropiada para la Red Comunal.

Es importante tomar en cuenta las características del terreno donde se va a implementar la red, por ejemplo este se caracteriza por ser un lugar montañoso y muy irregular, las distancias son grandes y se encuentra en una zona rural muy poco desarrollada en cuanto a servicios de telecomunicaciones.

En la Tabla. 2.5 se muestra un resumen de las características de las tecnologías de acceso, las redes cableadas agrupan a todas las tecnologías de este tipo ya que poseen características similares siendo la velocidad la única diferencia significativa pero es superior al resto de tecnologías.

Tabla. 2.5. Comparación de Tecnologías

| Características | WiFi | WiMAX | CDMA450 | Redes Cableadas | VSAT |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|---|---|--|
| Cobertura | 10-40Km | 40-70Km | 80Km | 1-10Km | Total |
| Velocidad | 11-54Mbps | 75-100Mbps | 2Mbps | 1-1000Mbps | 2-34Mbps |
| Precio | Bajo | Alto | Alto | Alto | Alto/Medio |
| Licencia | No | Si/No | Si | No | Si/No |
| Ventajas | Velocidad y Precio | Velocidad, QoS y Alcance | Alcance | Velocidad | Alcance |
| Desventajas | No soporta QoS, alcance medio | Alto precio de los equipos | Requiere contrato de concesión de frecuencias | No apto para terreno irregular, distancias cortas | Precio extremadamente elevado para implementar, se debe alquilar el servicio |

Las tecnologías cableadas no son apropiadas para entornos rurales ya que los costos de la infraestructura resultan demasiado elevados por las grandes distancias que se deben cubrir, y aunque proporcionan grandes velocidades de transmisión estas son excesivas para las necesidades de una institución educativa de nivel primario o secundario.

La tecnología CDMA450 es una de las más adecuadas para este proyecto ya que está diseñada para cubrir grandes distancias y los equipos no son demasiado costosos, sin embargo se necesita la concesión de la banda de 450MHz y esto implica costos demasiado elevados sin mencionar que la concesión de esta banda ya está otorgada a la CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones).

La tecnología WiMAX en las bandas libres resulta una solución adecuada para el proyecto, sin embargo por su gran desempeño el costo de los equipos es mayor que los demás. WiFi también resulta ser una tecnología adecuada para una Red Comunitaria en zonas rurales debido a que el costo de su implementación es menor, las velocidades de transmisión son suficientes y además si se utilizan antenas con la ganancia suficiente se puede cubrir casi las mismas distancias que con WiMAX, aproximadamente 16Km en sistemas punto – multipunto si perder la calidad de la señal, pero utilizando las menores tasas de transmisión.

Si existiera algún punto de la red que no se puede alcanzar con WiFi, lo más recomendable sería utilizar la tecnología VSAT ya que posee cobertura total, pero esto representaría el incremento del costo de la red.

2.2 TECNOLOGÍAS PARA REDES LAN

Como se sabe, el objetivo de una red LAN es el de compartir recursos de cada computadora hacia el resto, en este caso el recurso que se quiere compartir es el acceso a Internet proporcionado por la red WAN. Para realizar implementación de un red de área local existen dos tecnologías, que son las más usadas en la actualidad: Ethernet y WiFi, la primera cableada y la segunda inalámbrica (WLAN). Cada una presenta diferentes ventajas en cuanto a costo, velocidad y facilidad de despliegue. Se realizara un ejemplo de diseño de una red de área local con cada una de estas tecnologías a fin de determinar cuál es la más apropiada para las instituciones educativas de este proyecto.

2.2.1 Tipos de Redes de Área Local

Red LAN

Existen varios tipos de protocolos redes LAN pero Ethernet se situó como el principal protocolo desde hace ya mucho tiempo. Este protocolo es el que alcanza la mayor velocidad dentro de las redes LAN, llegando hasta los 10Gbps. Existen varios tipos de medios de transmisión cableados para Ethernet como por ejemplo cable coaxial, par trenzado y fibra óptica, siendo esta última la que le permite alcanzar las mayores velocidades.

El medio de transmisión más usado para el protocolo Ethernet es el cable UTP categoría 5e, con conectores RJ-45, con los cuales se pueden alcanzar velocidades (en teoría) de hasta 1Gbps, dependiendo de los equipos que se utilicen, pero las redes LAN de este proyecto no requieren de altas velocidades de transmisión por lo que será suficiente utilizar equipos 100Mbps.

Un ejemplo común de una red LAN es el mostrado en la Figura. 2.2, en esta figura se detallan los equipos necesarios para dar conectividad a Internet a cada computadora.

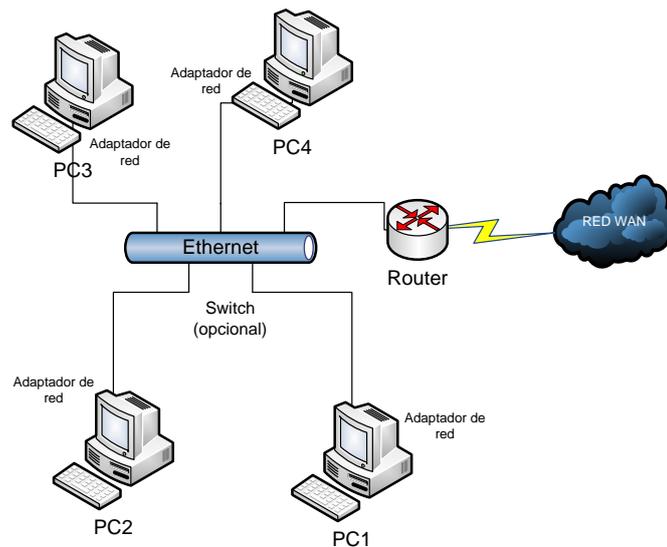


Figura. 2.2. Ejemplo de Red LAN

Los adaptadores de red o tarjetas de red Ethernet vienen incluidas en cualquier computadora moderna, esto representa una ventaja de este protocolo ya que reduce los costos de la implementación. Los *routers* son dispositivos esenciales para unir la red WAN con la red LAN ya que proporcionan un *Gateway* (puerta de acceso) para que los equipos de la red LAN tengan conectividad con el resto de equipos de las otras instituciones y acceso a Internet.

Por lo general los *routers* poseen 4 o más puertos Ethernet y con esto es suficiente para dar conectividad a los equipos de la mayoría de instituciones de este proyecto, pero existirán casos en los que sea necesario disponer de más puertos Ethernet, cuando surja este inconveniente se deberá incluir un *switch* en la red LAN. Este *switch* proporciona de puertos Ethernet adicionales y se conecta a un puerto del *router*, existen *switch* de 8, 16, 24 o más puertos, pero se deberá seleccionar al adecuado dependiendo del número de equipos que se quieran conectar.

A continuación se indicarán las ventajas y desventajas de este protocolo para compararlo con las redes inalámbricas WiFi.

Ventajas

- Los equipos incluyen tarjetas de red Ethernet.
- Bajo costo de los equipos.

- Altas velocidades de transmisión.
- Seguridad contra intrusos.

Desventajas

- Dificultad y demoras en la instalación.
- Red susceptible a daños físicos que incrementan los costos de mantenimiento.

Red WLAN

Este tipo de tecnología está regida por un único estándar el 802.11 o WiFi. Como se explico con anterioridad la tecnología WiFi puede ser utilizada tanto para redes WAN como para redes LAN, debido a su flexibilidad y robustez. En la Figura. 2.3 se muestra un ejemplo típico del uso de esta tecnología para redes de área local.

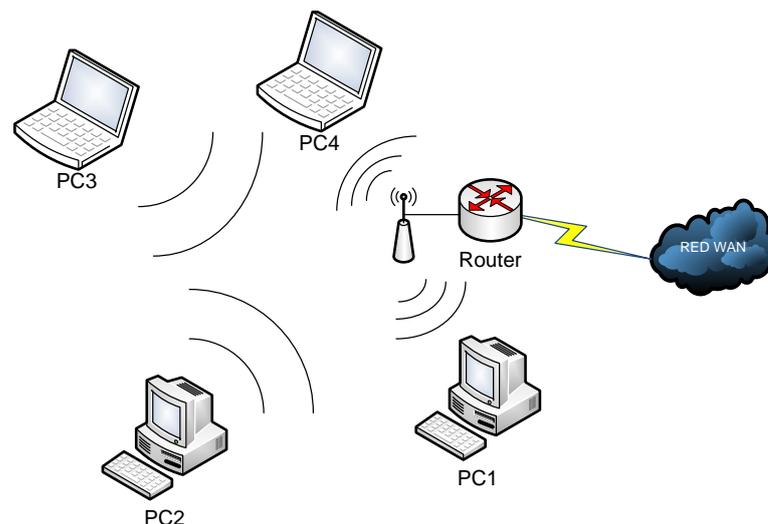


Figura. 2.3. Ejemplo de Red WLAN

Las tarjetas de para redes WLAN por lo general viene incluidas en computadoras portátiles pero las computadoras de escritorio no suelen venir equipadas con estas tarjetas, esto representa un inconveniente para el proyecto ya que si se quisiera utilizar este tipo de tecnología para las redes LAN se debe comprar las tarjetas de red WLAN lo que representaría costos adicionales. En cuanto a los *routers* inalámbricos, estos tienen la capacidad de dar conectividad a varios equipos inalámbricos y suelen tener incorporado algunos puertos Ethernet por lo que ya no es necesario disponer de un *switch* en caso de que la red LAN contenga varios equipos.

Ventajas

- Movilidad y flexibilidad ya que puede llegar a cualquier lugar sin depender de cables
- Rápido despliegue de la red ya que se evita el trabajo de cableado por muros y techos, además no daña la apariencia del local.
- Bajos costos de mantenimiento.

Desventajas

- Susceptible a intromisiones.

2.2.2 Tecnología LAN Seleccionada

Para el presente proyecto se utilizará la tecnología inalámbrica WiFi para redes de área local, debido a la rapidez y simplicidad de implementación y a que casi no requiere de mantenimiento por lo que a la larga su costo será menor.

Además los costos de los equipos para WiFi no demasiado elevados si los comparamos con los costos de un cableado estructurado necesario para redes Ethernet.

2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radio eléctrico es muy extenso, va desde las ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia (3-30Hz) hasta los Rayos Gama ($30\text{EHz}=30\times 10^{18}\text{Hz}$), la banda de frecuencias utilizada para las telecomunicaciones se encuentra dentro del siguiente rango y dividida de la siguiente forma.

| | | | | | | |
|------------------------|--|-------------------|--|-----------------------------|--|--------------------|
| Radiofrecuencia | | Microondas | | Radiación Infrarroja | | Luz Visible |
| 3KHz | | 1GHz | | 300GHz | | 6THz 789THz |

De esta división, el segmento que es necesario analizar es el que se encuentra dentro de las microondas ya que comprende a las frecuencias utilizadas en este proyecto. Las microondas se subdividen en varias bandas como las mostradas en la Tabla. 2.6.

Tabla. 2.6. Bandas de Frecuencia de Microonda

| Banda | Rango (MHz) | Banda | Rango (GHz) |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| L | 1530 – 2700 | Ka | 17.7 – 21.2 |
| S | 2700 – 3500 | K | 27.5 – 31 |
| C | 3700 – 4200 | Q | 31 – 50 |
| | 4400 – 4700 | U | 40 – 60 |
| | 5725 – 6425 | V | 50 – 75 |
| X | 7900 – 8400 | W | 75 – 110 |
| Ku1 | 10700 – 11750 | F | 90 – 140 |
| Ku2 | 11750 – 12500 | D | 110 – 170 |
| Ku3 | 12500 – 12750 | | |

Debido a que se utilizaran dos tecnologías diferentes como es WiFi y VSAT se debe explicar la porción del espectro radioeléctrico que ocupa cada una de estas tecnologías.

2.3.1 Espectro Radioeléctrico Utilizado por WiFi

Como ya se mencionó con anterioridad WiFi (dependiendo del estándar) trabaja en las bandas libres de 2.4GHz y 5.8GHz. Las bandas libres o ICM (Industrial, Científica y Médica), son bandas reservadas internacionalmente para el uso no comercial de radiofrecuencia. Las bandas ICM están comprendidas en las frecuencias de: 902 a 928MHz, 2.400 a 2.483,5MHz y 5.725 a 5.850MHz. Actualmente estas bandas han sido popularizadas por sus aplicaciones en WiFi y Bluetooth.

A las bandas libres también se las conoce como bandas de espectro ensanchado ya que generalmente se usa técnicas de modulación de espectro ensanchado y esto da la ventaja de poder trabajar sin riesgos de causar interferencias a los demás sistemas. A continuación se explicará cómo trabaja la tecnología de espectro ensanchado y la canalización que se utiliza en WiFi

Espectro Ensanchado

Espectro ensanchado (*Spread Spectrum*) es una técnica mediante la cual una señal se transmite ensanchada a lo largo de una banda de frecuencias muy grande, incluso mucho mayor que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información. Una vez que una señal es ensanchada puede coexistir con señales de banda estrecha debido a que solo representan un pequeño nivel de ruido al resto de señales ya que poseen una densidad

espectral baja. Los receptores de espectro ensanchado no se ven afectados por las señales de banda estrecha ya que estos están listos para recibir secuencias de código en un ancho de banda más amplio.

Existen principalmente dos métodos para ensanchar el ancho de banda de una señal. El primero es codificar la señal con una señal pseudoaleatoria², esto añade bits extra a la información por lo cual es necesario un ancho de banda mucho mayor para poder transmitir la señal. El segundo método consiste en ir cambiando la frecuencia de trabajo de forma pseudoaleatoria durante el proceso de transmisión y en cada frecuencia se transmite una porción de los datos. Las principales técnicas se detallan a continuación.

➤ **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)**

Las siglas de esta técnica quieren decir Espectro ensanchado por Salto de Frecuencia y consiste en dividir la banda de frecuencia en canales distintos con al menos 1MHz de espaciamiento entre sí. La selección de la frecuencia se realiza mediante un código pseudoaleatorio que solo lo conocen los equipos que forman parte del sistema, además el tiempo que dura cada frecuencia es un tiempo fijo definido por el sistema.

En estándar 802.11 la banda de frecuencia de 2400-2483.5MHz utiliza 79 canales de frecuencia de 1MHz y el tiempo que transmite cada canal es de aproximadamente 400ms, antes de cambiar a otro canal para realizar la transmisión.

Esta técnica de espectro ensanchada se creó para el uso de los militares ya que resultaba imposible descifrar el pseudocódigo que se estaba utilizando, por lo tanto el sistema era inmune a intrusos, pero ahora que se estandarizó su uso ha dejado de ser seguro ya que cualquiera que posea un equipo con el estándar 802.11 puede recibir la señal. Sin embargo esta técnica se sigue utilizando debido a que es muy útil al momento de reducir interferencias entre usuarios

➤ **DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)**

Sus siglas en inglés significan Espectro Ensanchado por Secuencia Directa. Esta técnica consiste en agregar bits (de una secuencia de Barker) a la secuencia original,

² Casi aleatoria porque está regida por un código preestablecido.

estos bits extra se denominan chips y se dice que la tasa de chip es mucho mayor a la tasa de bit. Estos bits se agregan de una forma pseudoaleatoria para brindar seguridad al sistema.

En el estándar 802.11 se define una secuencia de 11bits para representar el 1 y para representar el 0 se usa el complemento de la secuencia, por ejemplo así:

1 10110111000
0 01001000111

Para el estándar WiFi se ha establecido que la banda de 2400-2483.5MHz se divide en 14 canales de 5MHz cada uno, como se muestra en la Tabla. 2.7, por esto el estándar 802.11b, que es el que usa esta banda de frecuencias, debe asegurar un ancho de banda de 22MHz para poder realizar una transmisión a 11Mbps, así que se usan los canales 1, 6 y 11 que tiene una separación de 25MHz. Para que no provoque interferencia entre puntos de acceso cercanos estos deben seleccionar canales diferentes (1,6 u 11).

Tabla. 2.7. Canalización de la Banda 2.4GHz utilizada en WiFi

| Canal | Frecuencia (MHz) | Canal | Frecuencia (MHz) |
|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 2412 | 8 | 2447 |
| 2 | 2417 | 9 | 2452 |
| 3 | 2422 | 10 | 2457 |
| 4 | 2427 | 11 | 2462 |
| 5 | 2432 | 12 | 2467 |
| 6 | 2437 | 13 | 2472 |
| 7 | 2442 | 14 | 2484.5 |

En el estándar 802.11a que trabaja en las bandas de 5150-5350MHz y 5725-5850MHz se definen 8 canales de 20MHz cada uno, lo cual es suficiente para que no se provoquen interferencias entre canales.

Una de las grandes ventajas de usar técnicas de espectro ensanchado es que la señal puede coexistir con otras del mismo tipo en la misma banda de frecuencia, además la señal

se vuelve más resistente a situaciones adversas como interferencias multicamino o interferencias.

Para poder explicar mejor la robustez que poseen las señales con espectro ensanchado se debe recordar el teorema de Shannon:

$$C = W * \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Donde:

C = capacidad del canal (bps, bits por segundo)

W = ancho de banda

S = potencia de la señal

N = potencia del ruido

De esta ecuación se puede observar que la capacidad del canal es proporcional al ancho de banda utilizado y a la relación señal a ruido, por lo que si se aumenta el ancho de banda se puede reducir los efectos producido por el ruido.

Las técnicas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum) tienen las siguientes características:

- La señal transmitida tiene una densidad espectral baja distribuida uniformemente dentro un ancho de banda mayor al convencional, el cociente entre el ancho de banda de la señal transmitida y el ancho de banda de la señal original (ganancia de procesamiento) debe ser alto.
- La señal que utilice estas técnicas de modulación es resistente a interferencias, incluso a las intencionales, debido a que la persona que quiera provocar interferencias debería conocer el código pseudoaleatorios con el que esté operando el sistema en ese momento.
- Debido a que se utiliza Multiplexación por División de Código CDMA, es posible que varios usuarios utilicen simultáneamente la misma banda de frecuencias, con una interferencia entre canales mínima.

- Los sistemas de Espectro Ensanchado son capaces de coexistir con sistemas de Banda Angostas ya que solo introducen un pequeño nivel de ruido a estos, por lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico.
- Los sistemas deben operar en las bandas libres ICM, atribuidas para dicha tecnología.

2.3.2 Espectro Radioeléctrico Utilizado por VSAT

Los sistemas satelitales y en especial los usados para la tecnología VSAT utilizan la porción del espectro electromagnético comprendido dentro de la banda C y Ku.

Banda C

Como ya se indico la banda C está comprendida desde los 3.7 hasta los 6.4GHz, esta banda fue la primera en ser utilizada para las comunicaciones satelitales. Los satélites básicamente actúan como repetidores que reciben la señal en la parte alta de la banda y la retransmiten en la parte baja de la banda con una separación de 2225MHz. En VSAT típicamente se utilizan las frecuencias de 5925 – 6425MHz para la transmisión y las frecuencias de 3625 – 4200MHz para la recepción desde el satélite hacia el Hub o la estación VSAT.

Debido a que el diámetro de las antenas es inversamente proporcional a la frecuencia, esta banda es la que requiere de las antenas más grandes para la comunicación satelital, por esto no es un problema si van a ser utilizadas para estaciones fijas. La banda C también es la más confiable ya que presenta menores perdidas en el trayecto y no se ve tan afectada por las condiciones climáticas adversas como las otras bandas satelitales.

Banda Ku

La banda Ku (*Kurz-unten band*) es la porción del espectro comprendida entre las frecuencias desde 10.7 hasta los 12.75GHz en donde cada región como la Americana, Europea y Africana, entre otras definen el rango específico de frecuencias de esta banda para ser utilizado en las comunicaciones satelitales.

La mayoría del continente americano se encuentra en la Región 2 definida por la UIT, donde se asigna las frecuencias de 11.7 a 12.2GHz para satélites de servicio fijo como por ejemplo para VSAT, cada uno de estos satélites utiliza de 12 a 24 transpondedores de 20 a 120W cada uno por lo que es necesario antenas de 0.8 a 1.4m para la recepción.

De igual forma el segmento radioeléctrico desde los 12.2 a 12.7GHz se asigna a los satélites de servicios de *broadcasting* como televisión, en donde los satélites poseen entre 16 y 32 transpondedores de 27MHz de ancho de banda con una potencia de 100 a 240W, permitiendo el uso de antenas con diámetros de aproximadamente 0.45m.

2.4 PÉRDIDAS EN LOS RADIOENLACES

Para estimar si un radio enlace funcionará adecuadamente es necesario realizar el cálculo de balance de potencias, esto implica calcular las pérdidas del sistema y la ganancia necesaria para superar estas pérdidas. Pero hay que tomar en cuenta que estos cálculos son teóricos y que el enlace estará sujeto a diversos factores como la alineación de las antenas, reflexiones, interferencias, entre otros. Por esto es importante realizar comprobaciones durante la fase de instalación y posteriormente para asegurar un buen funcionamiento del sistema.

2.4.1 Pérdidas de propagación

Pérdidas en espacio libre

Las pérdidas en espacio libre son pérdidas propias de cada radio enlace ya que están en función de la frecuencia y la distancia. La mayoría de la potencia de una señal se disipa en el aire, incluso en el espacio vacío las ondas pierden su energía, esto se debe al principio de Huygens que dice que dentro del haz electromagnético de un enlace la energía siempre se irradia en distintas direcciones a la del eje del enlace.

Las pérdidas en espacio libre se miden sin considerar obstáculos, solo trayectorias con línea de vista directa. Además se excluyen pérdidas adicionales producidas por los fenómenos climáticos o vegetación.

Para calcular las pérdidas en espacio libre se utiliza la fórmula de Friis que es la siguiente:

$$L_e = 32.44 + 20 \log(F [MHz]) + 20 \log(d [Km])$$

Ecuación. 12.1. Pérdidas en Espacio Libre

Pérdidas de Fresnel

La zona Fresnel es un área teórica alrededor de la línea de vista de una transmisión de antena que puede afectar la fuerza de la señal. Los objetos que penetran la zona Fresnel pueden originar debilitamiento de la señal transmitida. Este debilitamiento es originado por la cancelación de la señal debido a las reflexiones fuera de fase. Es importante una línea de vista no obstruida, pero también se debe asegurar que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstrucciones como vegetación, techos metálicos, edificaciones, etc. ya que existirá una pérdida de señal.

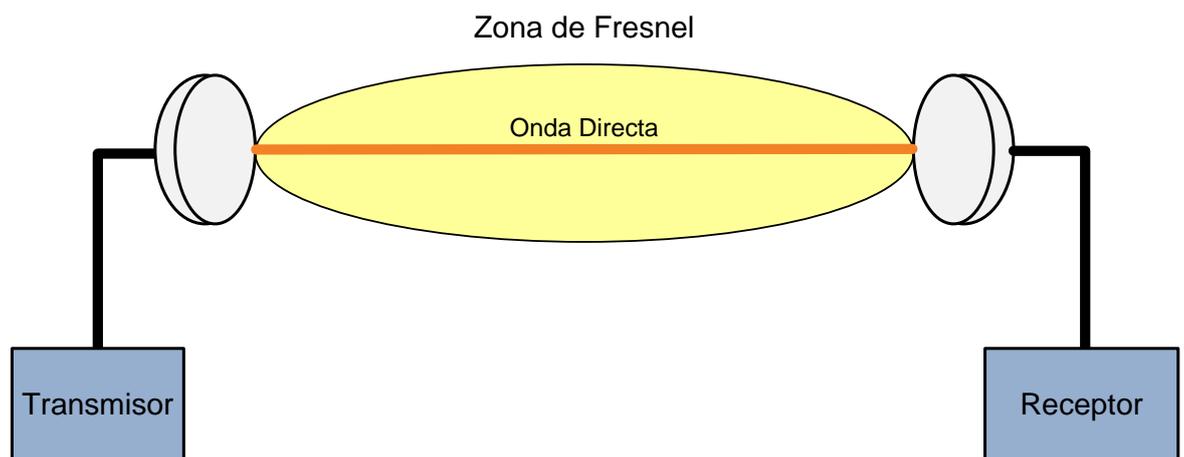


Figura. 2.4. Zona de Fresnel

Pérdidas adicionales

Se tratan de todas las pérdidas que sufren las ondas electromagnéticas durante su propagación y que son diferentes a las pérdidas en espacio libre. Estas pérdidas son producidas por absorción atmosférica e hidrometeoros, fenómenos de difracción y reflexiones.

Estos fenómenos naturales afectan especialmente a las frecuencias milimétricas o de microonda, que están comprendidas en la región del espectro radioeléctrico entre 1GHz y 300GHz, a estas frecuencias la influencia de la ionosfera se considera despreciable para la

propagación de las ondas electromagnéticas. La propagación de las ondas en este rango de frecuencias debe darse con línea de vista entre las antenas y los principales factores que afectan a la propagación de señales de radio en este rango de frecuencias son las siguientes:

Lluvia

Las ondas electromagnéticas que se propagan a través de lluvia sufren de una atenuación debida a la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua, adicionalmente se producen pérdidas debido a la dispersión de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia.

La fórmula que relaciona la atenuación específica con parámetros como la tasa de lluvia, la frecuencia o temperatura es la que se muestra a continuación:

$$\text{Atenuación Específica} \left(\frac{dB}{Km} \right) = k * R^\alpha$$

Ecuación. 12.2. Atenuación por lluvia

En donde R es la tasa de lluvia en mm/h, k y alfa son constantes que dependen de la frecuencia y de la temperatura de la lluvia. La temperatura también es un factor a tomar en consideración ya que la constante dieléctrica del agua depende de la temperatura. En la Tabla. 2.1 se pueden observar algunos valores de las constantes k y α en función de la frecuencia y polarización.

Tabla 2.1. Constantes k y α en función de la frecuencia y polaridad

| Frecuencia (GHz) | α_H | α_V | k_H | k_V |
|------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 0,912 | 0,880 | 0,0000387 | 0,0000352 |
| 2 | 0,963 | 0,923 | 0,000154 | 0,000138 |
| 4 | 1,121 | 1,075 | 0,000650 | 0,000591 |
| 10 | 1,276 | 1,264 | 0,0101 | 0,00887 |
| 20 | 1,099 | 1,065 | 0,0751 | 0,0691 |

| Frecuencia (GHz) | α_H | α_V | k_H | k_V |
|------------------|------------|------------|-------|-------|
| 40 | 0,939 | 0,929 | 0,350 | 0,310 |

Como se puede apreciar en la Tabla 12.1 la atenuación por lluvia varía dependiendo de la polarización, siendo mayor para la polarización horizontal, debido a la forma que adoptan las gotas de agua al caer. Las atenuaciones por lluvia se encuentran en el orden de 1dB/Km o más, causando atenuaciones significativas de la potencia de una señal para lo que es necesario aumentar la ganancia de las antenas o de la potencia de transmisión.

Niebla

La niebla está constituida de gotas de agua por lo cual la atenuación producida por la niebla utiliza la misma ecuación que para la atenuación producida por lluvia, la diferencia es que las gotas de agua de la niebla se encuentran suspendidas y poseen radios muy pequeños, entre 0.01 y 0.05mm.

Las atenuaciones producidas varían según la concentración, típicamente 0.032g/m^3 . Para casos de niebla muy densa la concentración es de 1g/m^3 y para una frecuencia de 100GHz la atenuación producida es aproximadamente de 1dB/Km. Por lo tanto para frecuencias en el orden de los 2 a 5GHz la atenuación producida por niebla es casi despreciable para lo cual solo será necesario tener un buen margen de desvanecimiento para compensar los efectos de la niebla.

Hielo y Nieve

La atenuación por hielo o nieve es mucho menor que la atenuación por lluvia, esto se debe a que cuando el agua se solidifica produce cambios significativos a la constante dieléctrica. En el caso del hielo la constante dieléctrica compleja tiene un valor real de 3.17 y la parte imaginaria es muy pequeña y casi no depende de la frecuencia, este valor de la parte imaginaria indica que los cristales de hielo producen muy poca atenuación.

Cuando los cristales de hielo se mezclan con agua en estado líquido la atenuación resulta ser mayor que la de la lluvia, por ejemplo para una precipitación de 5mm/h de nieve

con lluvia y en una frecuencia de 35GHz la atenuación es aproximadamente de 2dB/Km y para nieve seca es 0.02dB/Km.

Debido a que se involucra a un gran número de variables es muy difícil determinar las verdaderas pérdidas producidas por hielo y nieve, en especial si se mezclan con agua. Para compensar este tipo de pérdidas se deberá ajustar el margen de desvanecimiento.

Vegetación

La vegetación como árboles y arbustos existentes a lo largo del enlace representan un factor muy importante para la degradación de frecuencias de microonda, en especial si estos interfieren con la línea de vista del enlace llegando a obstruir completamente la señal si se trata de vegetación muy densa. Por esto es importante elevar las antenas para que la línea de vista no se vea afectada por la vegetación.

Además la vegetación produce una multitud de pequeñas ondas dispersadas que se suman mediante un proceso Gaussiano cuya amplitud sigue una distribución de Rayleigh. Si a la suma de estas ondas dispersadas se añade la contribución del rayo directo, entonces la estadística de la amplitud de la señal se modela por medio de una distribución de Nakagami-Rice. La adición de estas ondas dispersadas se la puede considerar como pérdidas por múltiples trayectorias.

2.4.2 Ganancia del Sistema

La ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor o sensibilidad del receptor. Para que se pueda establecer un radio enlace la ganancia del sistema debe ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas de una señal a lo largo de su camino desde el transmisor hasta el receptor. La ganancia del sistema se utiliza para estimar la confiabilidad del mismo para determinados parámetros del sistema. La ganancia del sistema expresada matemáticamente es como se muestra en la Ecuación 12.3.

$$G_S = P_t - C_{\text{mínima}} \geq F_m + L_s + L_f + L_b - A_t - A_r$$

Ecuación. 12.3. Ganancia del Sistema

En donde: G_s = Ganancia del sistema (dB)
 P_t = Potencia de salida del transmisor (dBm)
 $C_{\text{mínima}}$ = Potencia mínima de entrada o sensibilidad (dBm)
 A_t = Ganancia de la antena transmisora (dBi)
 A_r = Ganancia de la antena receptora (dBi)
 L_e = Pérdidas en espacio libre (dB)
 L_f = Pérdidas del alimentador de guías de onda (dB) entre la red de distribución y su antena respectiva
 L_b = Pérdida total de acoplamiento o ramificación (dB) en los circuladores, filtros y red de distribución
 F_m = margen de desvanecimiento para una determinada confiabilidad

Ya que la ganancia del sistema representa la pérdida neta, los valores de pérdidas tienen signo positivo y los valores de ganancia tienen signo negativo.

2.4.3 Margen de Desvanecimiento

En el diseño de todo sistema de radiocomunicaciones se deben considerar las peores condiciones para la propagación de las ondas electromagnéticas, condiciones como anomalías atmosféricas temporales, pérdidas por múltiples trayectorias y sensibilidad a superficies rocosas. Todas estas características añaden pérdidas en la propagación de las ondas en el espacio libre y usualmente son perjudiciales para el funcionamiento general del sistema.

El margen de desvanecimiento es un factor de compensación incluido como pérdida en la ecuación de ganancia del sistema, con el propósito de superar estas pérdidas adicionales y cumplir con los objetivos de confiabilidad.

Los enlaces son estructuralmente sistemas en serie, de tal manera que si uno falla se corta todo el enlace. Por ello se le exige una alta disponibilidad y confiabilidad utilizándose la redundancia de equipos frente a las averías y técnicas de diversidad frente a los desvanecimientos. Esto también implica que es necesario de sistemas de supervisión y control que realice automáticamente la aplicación de estas técnicas.

Típicamente se exige una confiabilidad anual del 99.99% para los sistemas digitales, lo que quiere decir que solo el 0.01% del año (aproximadamente 53 minutos) el sistema estará fuera de servicio. Es necesario asegurar cierto nivel de margen de desvanecimiento para cada enlace con el fin de que la relación señal a ruido SNR^3 sea suficientemente grande para que el receptor pueda captar la información sin cometer errores. Los sistemas que utilizan técnicas de espectro ensanchado son más robustos porque pueden trabajar con densidades espectrales de potencia con niveles cercanos al ruido por lo que pueden tolerar relaciones señal a ruido muy bajas y trabajar con niveles de margen de desvanecimiento menores a los que requerirían otros sistemas. Generalmente se recomienda que el margen de desvanecimiento sea superior a los 20dB para tener una señal confiable y con alto nivel de disponibilidad anual.

2.5 SEGURIDAD EN LAS REDES

Cuando una red privada se conecta con Internet el tema de la seguridad de ser tomado muy en cuenta ya que existen diversos tipos de situaciones que se deben evitar en una red. La primera es la intromisión de personas ajenas a la red (*hackers*) que pueden sustraer y poner en riesgo información valiosa. La segunda es que con la Internet se pone al alcance de niños y jóvenes contenidos no aptos para ellos y debido a que esta es una red dedicada a proporcionar Internet a escuelas y colegios este es un problema no debe ser ignorado.

Otro problema que se presenta en redes de gran escala es el mal uso del ancho de banda ya que existe la posibilidad de que algún miembro de la red este acaparando el ancho de banda y esto provocaría que el resto de usuarios de la red se vean afectados ya que se reduciría el desempeño de toda la red.

Existen diversos mecanismos para brindar seguridades en las redes y prevenir todo tipo de problemas indeseables, por ejemplo los cortafuegos (*Firewall*) y los servidores *Proxy*. Además se deben establecer políticas de seguridad para prevenir el acceso no autorizado de usuarios a los recursos de la red.

³ Margen que existe entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido

2.5.1 Firewall y Proxy

Es un sistema o grupo de sistemas que establece una política de seguridad entre dos redes diferentes, en este caso la red comunal y la Internet, esta última es una red no confiable.

Su propósito es establecer que servicios y recursos de una red pueden acceder los usuarios que están fuera de esta. Todo el tráfico que proviene de Internet tiene que pasar por el *Firewall* para que la información sea analizada antes de dejarla pasar al red privada, sin embargo si existe una ruta alterna el *Firewall* pierde su efectividad ya que si un agresor logra evadir las seguridades e ingresar al sistema ya no hay nada que el *Firewall* pueda hacer para detenerlo.

Un Firewall tiene las siguientes características:

- Todo tráfico que sale y entra a una red debe pasar por el *firewall*.
- Solo el tráfico autorizado por la política de seguridad puede pasar por el *Firewall* hacia la red.
- El sistema es altamente resistente a penetraciones.

Los *Firewall* pueden actuar de dos formas: filtrando paquetes o como *gateways* de aplicación y de circuito.

Firewall de Filtrado

Cuando un *Firewall* actúa como filtro este determina que datos pasan por una red a otra, por ejemplos los *routers* toman decisiones de ruteo basados en sus tablas de enrutamiento y es posible modificar dichas tablas para que solo puedan pasar datos que provienen de ciertas direcciones de esta forma un *router* se convierte en un dispositivo de control de acceso que puede filtrar paquetes (en general paquetes IP).

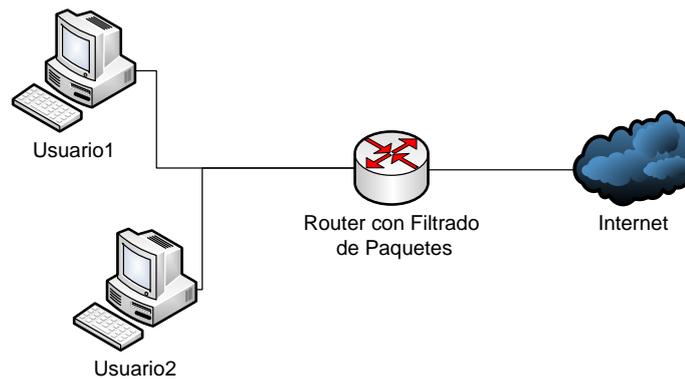


Figura. 2.5. Router con Filtrado de paquetes

Los *routers* pueden filtrar paquetes IP basándose en la dirección IP de fuente, IP de destino, puerto TCP/UDP fuente o TCP/UDP destino, con esto se podría impedir ingresen paquetes provenientes de direcciones no confiables o que los usuarios de una red tenga acceso a ciertas direcciones. Existen dos tipos de filtrados de paquetes:

- **Filtrado Estático:** El firewall permite el acceso a tráfico, según se haya especificado en las políticas de acceso a servicios, a través de puertas que se encuentran siempre abiertas.
- **Filtrado Dinámico:** El firewall discrimina a los paquetes según la información que esté contenida en su cabecera.

Ventajas

La mayoría de redes solo utilizan un *router* de filtrado de paquetes cuya implementación no es muy costosa, desde que la mayoría de *routers* incluyen revisiones estándar de *software* para dicho efecto. Una gran ventaja es que el *router* es transparente para los usuarios y soporta la mayoría de aplicaciones, obteniendo un mayor control de lo que se considera confiable.

Desventajas

Determinar que paquetes pueden acceder a la red resulta una tarea larga y compleja, porque se necesita tener un estudio detallado de las clases de servicios que existen en la Internet y los formatos de sus paquetes, además no es completamente inmune a los ataques

ya que una vez que se tenga acceso a la red pueden ser explotadas todas las vulnerabilidades de esta, tampoco proporciona autenticación de usuarios.

Servidor Proxy o Gateway de Aplicación

Son aplicaciones diseñadas para superar los problemas que tienen los firewall de filtrado de paquetes. El objetivo de los servidores proxy es actuar como un intermediario entre dos redes conectadas permitiendo que los usuarios de una red segura se comuniquen con los usuarios o servidores de otra red de forma indirecta a través del *proxy*.

En el *Gateway* se asigna un código de propósito especial para cada aplicación (servicio *proxy*) y si un aplicación no tiene asignada este código no podrá desplazarse a través del *firewall*. El proxy puede ser configurado para soportar solo algunas características de una aplicación y negar a las demás.

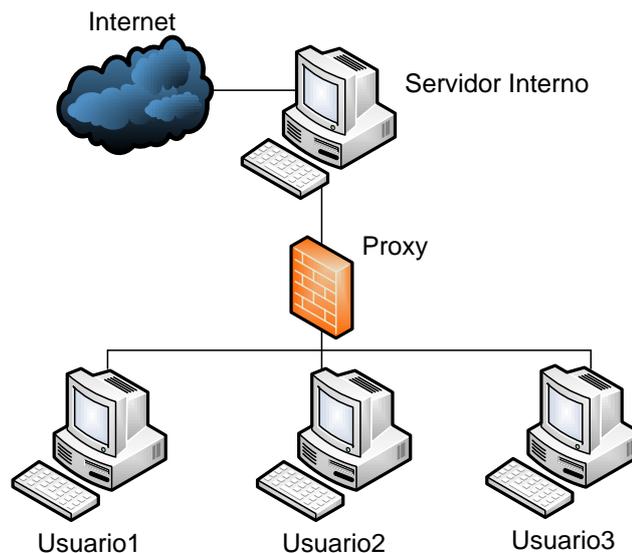


Figura. 2.6. Ubicación del Servidor Proxy

Ventajas

- **Ocultamiento de Información:** la información del usuario de un red no se da a conocer, en especial la dirección IP de esta, lo usuarios externos que quieran comunicarse solo podrán hacerlo de manera indirecta a través del servidor *proxy* y solo conocerán la dirección de este.

- **Robustos mecanismos de autenticación:** Los *Gateway* a nivel-aplicación tienen la habilidad de soportar autenticaciones forzando al usuario para proveer información detallada de registro.
- **Reglas de filtrado más simples:** las reglas de filtrado para un *Gateway* de este tipo son mucho más fáciles de configurar y probar que en un *router* con filtrado de paquetes, debido a que el *router* no tiene que controlar los paquetes dirigidos a cada usuario sino que simplemente controla los paquetes dirigidos al servidor proxy.

Desventajas

Una de las grandes limitaciones de un *Gateway* a nivel de aplicación es que requiere de un software especializado en cada sistema que acceda a los servicios *Proxy*. Como siempre el software especializado podrá ser instalado en un sistema determinado para hacer las aplicaciones del *Gateway* transparentes al permitir a los usuarios especificar el servidor de destino mejor que el propio.

Gateway a nivel de Circuito

Un *Gateway* a nivel de circuito solo discrimina las conexiones TCP sin realizar ningún proceso adicional de filtrado de paquetes, es como un cable que conecta los usuarios de la red externa con los de la interna, pero realiza un copia de los bytes antes y después de la conexión interna y de la conexión externa. Con esto se la información que viaja del interior hacia el exterior actúa como si fuera originada por el sistema de firewall encubriendo la información sobre la protección de red.

Una de las mayores ventajas es que puede ser usado como un *Gateway* híbrido soportando servicios *proxy* para conexiones entrantes y funciones de nivel de circuito para información que sale de la red. Esto hace que el sistema firewall sea más amigable con los usuarios internos ya que proporciona acceso seguro a los servicios de Internet mientras que provee protecciones necesarias para los ataques externos.

2.5.2 Firewall y Políticas

Un *firewall* se encuentra ligado a las políticas de seguridad establecidas para la red y para que esta política sea exitosa cada miembro debe conocerla y entender su propósito. Existen dos tipos de políticas que determinan la configuración y uso del *firewall*:

Política de Acceso a Servicios

En esta política se determina que servicios serán restringidos o permitidos y la forma como podrán ser usados. La política debe existir antes de que se realice la implementación del *firewall* ya que este se diseñará en base a esta política.

La política debe ser balanceada entre la protección que brinda a la red y los servicios a los que se puede acceder, de manera que brinden seguridad a los usuarios pero sin quitarles demasiada libertad.

Política de Diseño de Firewall

Esta política determina la manera en la cual el firewall restringe el acceso de la red y como será implementado el filtrado de paquetes según lo especificado en la política anterior. La política de diseño del firewall puede adoptar dos posturas completamente opuestas:

- **Permisiva:** Permitir el acceso a todos los servicios a menos que se especifique lo contrario. Es decir el firewall permite que los usuarios puedan acceder a cualquier servicio de la red a excepción de los que estén prohibidos por la política de acceso a servicios.
- **Restrictiva:** Denegar cualquier servicio a menos que se especifique lo contrario. En este caso el firewall negará el acceso a cualquier servicio a excepción de los que hayan sido permitidos por la política de acceso a servicios.

En conclusión, para la implementación de un firewall debe tomarse en cuenta la política de seguridad definida y saber cuáles son los servicios permitidos y cuales los denegados.

2.5.3 Administración del Ancho de Banda

En una red de datos siempre existe la posibilidad de hacer un mal uso del ancho de banda contratado al no poder asignar ancho de banda en forma dinámica a determinados tipos de tráfico, esto provoca congestión del enlace, pérdida de tráfico de alta prioridad, entrega inoportuna de la información, etc. Todos estos inconvenientes afectan a los usuarios y reducen la productividad de la red.

Debido a estos problemas se creó la calidad de servicio en las redes o QoS, con la cual se puede asegurar a cada usuario un ancho de banda, un retardo y una variación de retardo a valores necesarios para cada usuario. QoS permite asignar anchos de banda de forma dinámica, controlar la congestión o establecer prioridades de tráfico a fin de optimizar el uso del ancho de banda. Para poder dar un uso eficiente al ancho de banda existen dos herramientas principales:

Control de Gestión

Cuando el tráfico de salida de una interfaz excede la capacidad del *buffer* se produce un congestionamiento. Cuando llegan varios paquetes a la interfaz al mismo tiempo y no existe un control de congestión la interfaz almacena los que puede y el resto son desechados produciendo pérdidas de información. Para esto existen *routers* que permiten un control de congestión basado en prioridades que se le dan a cada tipo de paquetes.

El control de congestión involucra la creación de colas, asignación de paquetes a estas colas en función de la clasificación del paquete y la planificación para la transmisión del paquete. Para el control de congestión se utilizan cuatro algoritmos de encolamiento y cada uno permite especificar la creación de diferentes números de colas.

Existen cinco tipos de encolamiento:

- FIFO (*First In.First Out Queueing*): este tipo de cola no se aplica el concepto de prioridad o clases de tráfico.
- PQ (*Priority Queueing*): se atiende primero a los paquetes con alta prioridad y luego al tráfico de menor prioridad, con el fin de asegurar la entrega oportuna de esos paquetes de alta prioridad.

- CQ (*Custom Queueing*): a cada clase de paquetes se le asigna un ancho de banda determinado. CQ permite especificar el número de bytes o de los paquetes que se almacenaran en la cola.
- WFQ (*Weighted Fair Queueing*): se basa en el peso de cada clase de tráfico para asignar una ponderación a cada uno de forma que determina el orden de tránsito en la cola de paquetes.
- CBWFQ (*Class Based Weighted Fair Queueing*): Es una extensión de WFQ para brindar soporte de clases de tráfico definidas por el usuario. En CBWFQ se definen clases de tráfico basadas en criterios de coincidencias que incluyen protocolos, listas de control de acceso (ACLs) e interfaces de entrada.

Traffic Shaping

Esta herramienta se utiliza para controlar el ancho de banda disponible, de modo que se regula y restringe el tráfico destinado a cada usuario asignado un ancho de banda máximo para cada uno. Esto evita la congestión que puede ocurrir cuando el tráfico enviado excede la velocidad de acceso remota y limitar el uso del ancho de banda de un grupo de usuarios para asegurar que otros puedan disponer del asignado.

Cuando se utiliza *traffic shaping* se crea un pequeño nivel de congestión en la interfaz donde se quiera administrar el ancho de banda asegurando las tasas de transmisión no superen lo establecido y controlándolas mediante el uso de colas ya que los métodos de control de congestión solo se activan cuando la interfaz se satura. Esta congestión intencional solo genera un pequeño retraso y una baja pérdida de paquetes, por lo que el rendimiento de la red no se ve afectado.

Cabe mencionar que con el software adecuado se puede prescindir de la compra de costos equipos para la administración de la red, este es el caso de los sistemas operativos como Windows Server o Linux creados especialmente para la administración de grandes redes. Ambos programas poseen características como:

- Control de Ancho de Banda: asigna un ancho de banda a cada usuario.
- *Firewall* Avanzado: bloquea todo y permite solo direcciones IP habilitadas, bloquea puertos y conexiones P2P.

- Redireccionamiento de Puertos.
- Proxy Transparente: bloquea página, palabras y contenidos no deseados
- MRTG: herramienta gráfica para el monitoreo de consumo de ancho de banda o canal.
- Caché de DNS: aumenta la velocidad de acceso a páginas Web.
- Servidor DHCP.

Pero el sistema operativo que más se recomienda para la administración y seguridad de redes es Linux ya que es un software libre, sin embargo será necesario adquirir un servidor (computadora encargada de administrar las redes) con características adecuadas para el manejo del ancho de banda de la Red Comunal.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE CAMPO

3.1 ESTUDIO DE CAMPO

El Cantón San Miguel de Urucuquí se encuentra rodeado de un paisaje natural incomparable y un acogedor clima. De las entrañas de la madre tierra brotan aguas con poder curativo por lo que es visitado por turistas nacionales y extranjeros que buscan en ellas una terapia para su cuerpo y alma. Este rincón está habitado por gente amable y trabajadora con deseo de luchar.

Rodeado de majestuosas montañas que representan un legado histórico, y un paisaje natural incomparable, nace el Cantón San Miguel de Urucuquí, como una bendición a la naturaleza y al hombre. El acogedor clima atrae al turista nacional e internacional fascinándolo con el encanto de una tierra amable, gestora de hijos trabajadores con deseo de luchar y alcanzar el más alto curul de progreso.

El cantón Urucuquí, perteneciente a la provincia de Imbabura, es famoso y reconocido a nivel nacional e internacional por su gran diversidad y concentración de recursos naturales así como la cordialidad de sus habitantes, que lo distinguen como un especial atractivo para los turistas nacionales y extranjeros, mismos que no por casualidad ya sobrepasan el millón de visitas anuales

| | |
|------------------------|---|
| Ubicación: | Noroeste de la provincia de Imbabura. |
| Superficie: | 767 Km ² . |
| Altitud: | 800 a 4.400 m. s. n. m. |
| Clima: | Desde el templado Subtropical hasta el frío de los páramos. |
| Temperatura: | 17°C. promedio |
| Grupos étnicos: | Mestizos, Afro-americanos e Indígenas |
| Idioma: | Español – Quichua |
| Habitantes: | 14.381 |

Parroquias**Parroquia Urbana**

Urcuquí

Parroquias Rurales

Cahuasquí

San Blas

Tumbabiro

Pablo Arenas

La Merced de Buenos Aires



Figura. 3.1. Mapa político de cantón San Miguel de Urcuquí

El cantón San Miguel de Urcuquí tiene una población total de 14.381 habitantes según el último censo realizado por INEC en el año 2001, los habitantes están distribuidos en las seis parroquias de la siguiente manera:

Tabla. 3.1 Número de Habitantes del Cantón Urcuquí por Parroquias

| Parroquia | Población |
|---------------------------|-----------|
| Urcuquí | 4.499 |
| Cahuasquí | 1.874 |
| La Merced de Buenos Aires | 1.560 |
| Pablo Arenas | 2.045 |
| San Blas | 2.800 |
| Tumbabiro | 1.603 |

Después de realizar el trabajo de campo en cada uno de los establecimientos educativos fiscales y las juntas parroquiales en el cantón Urcuquí, se obtuvo las lecturas de las coordenadas geográficas y otros datos de importancia. La ubicación geográfica de cada institución se detalla en la Tabla. 3.2.

Tabla. 3.2. Instituciones Beneficiarias del Cantón Urcuquí

| No | Institución | Parroquia | Ubicación Poblado | Latitud | Longitud |
|----|--|-----------|-------------------|--------------|--------------|
| 1 | Jardín de Infantes José Reyes Rosero | Urcuquí | Urcuquí | 0°25'03.3"N | 78°11'32.7"O |
| 2 | Escuela Abdón Calderón | Urcuquí | Urcuquí | 0°24'04.8"N | 78°11'51.1"O |
| 3 | Escuela Alfonso Cadena Marcillo | Urcuquí | Cochapata | 0°26'31.4"N | 78°15'12.7"O |
| 4 | Escuela Amable Elías Salvador | Urcuquí | San Antonio | 0°25'36.3"N | 78°10'11.6"O |
| 5 | Escuela Dr. Camilo Gallegos Domínguez | Urcuquí | San José | 0°24'05.6"N | 78°10'24.9"O |
| 6 | Escuela Eugenio Espejo | Urcuquí | Urcuquí | 0°25'02.8"N | 78°11'43.6"O |
| 7 | Escuela Provincia de Manabí | Urcuquí | Coñaquí | 0°22'50.3"N | 78°13'04.9"O |
| 8 | Escuela Quintillano Sánchez | Urcuquí | Azaya | 0°25'57.9"N | 78°13'35.0"O |
| 9 | Escuela Víctor Manuel Peñaherrera No.2 | Urcuquí | Tapiapamba | 0°25'20.8"N | 78°08'59.9"O |
| 10 | Colegio Luis Felipe Borja | Urcuquí | Urcuquí | 0°25'01.6"N | 78°11'56.9"O |
| 11 | Colegio Técnico Urcuquí | Urcuquí | Urcuquí | 0°25'05.90"N | 78°11'36.6"O |
| 12 | Municipio de Urcuquí | Urcuquí | Urcuquí | 0°25'00.1"N | 78°11'37.2"O |
| 13 | Jardín de Infantes 29 de Mayo | Cahuasquí | Cahuasquí | 0°30'44.3"N | 78°12'39.4"O |

| No | Institución | Parroquia | Ubicación Poblado | Latitud | Longitud |
|----|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------|---------------|
| 14 | Escuela Ecuador Amazónico | Cahuasquí | Guañibuela | 0°31'20.7"N | 78°15'06.7"O |
| 15 | Escuela Eduardo Garzón Fonseca | Cahuasquí | La Florida | 0°30'56.1"N | 78°12'29.5"O |
| 16 | Escuela José María Córdova | Cahuasquí | Pugarán | 0°31'44.4"N | 78°14'11.5"O |
| 17 | Escuela Juan León Mera | Cahuasquí | Cahuasquí | 0°30'45.8"N | 78°12'43.8"O |
| 18 | Escuela Luis Alfredo Martínez | Cahuasquí | San Francisco | 0°29'35.9"N | 78°15'05.0"O |
| 19 | Colegio Cahuasquí | Cahuasquí | Cahuasquí | 0°30'41.8"N | 78°12'42.20"O |
| 20 | Junta Parroquial de Cahuasquí | Cahuasquí | Cahuasquí | 0°30'57.9"N | 78°12'35.8"O |
| 21 | Escuela 24 de Junio No. 2 | Buenos Aires | Buenos Aires | 0°37'05.7"N | 78°19'00.7"O |
| 22 | Escuela Boyacá | Buenos Aires | El Triunfo | 0°40'00.8"N | 78°21'01.2"O |
| 23 | Escuela Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires | 0°37'02.6"N | 78°19'02.5"O |
| 24 | Escuela Coronel Santacruz | Buenos Aires | San Luís | 0°36'51.2"N | 78°20'06.5"O |
| 25 | Escuela General Calicuchima | Buenos Aires | El Corazón | 0°36'40.3"N | 78°21'50.1"O |
| 26 | Escuela General José Mires | Buenos Aires | San Pedro | 0°39'23.2"N | 78°21'06.0"O |
| 27 | Escuela Nueva Granada | Buenos Aires | La Primavera | 0°34'48.1"N | 78°21'30.1"O |
| 28 | Escuela Sergio Enrique Loyo A. | Buenos Aires | San José | 0°33'59.9"N | 78°21'22.2"O |
| 29 | Colegio Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires | 0°37'08.0"N | 78°19'09.0"O |
| 30 | Junta Parroquial de Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires | 0°37'14.5"N | 78°18'59.9"O |
| 31 | Jardín Pablo Arenas | Pablo Arenas | Pablo Arenas | 0°30'04.4"N | 78°11'33.0"O |
| 32 | Jardín La Victoria | Pablo Arenas | La Victoria | 0°30'58.3"N | 78°09'43.8"O |
| 33 | Escuela 5 de Junio | Pablo Arenas | Pablo Arenas | 0°30'04.9"N | 78°11'24.2"O |
| 34 | Escuela Alejandro Andrade Coello | Pablo Arenas | Palagá | 0°29'15.3"N | 78°13'30.3"O |

| No | Institución | Parroquia | Ubicación Poblado | Latitud | Longitud |
|----|----------------------------------|--------------|-------------------|-------------|--------------|
| 35 | Escuela Franklin Roosevelt | Pablo Arenas | La Victoria | 0°30'53.9"N | 78°09'50.3"O |
| 36 | Junta Parroquial de Pablo Arenas | Pablo Arenas | Pablo Arenas | 0°30'04.6"N | 78°11'37.8"O |
| 37 | Jardín Alberto Amador | San Blas | San Blas | 0°24'42.4"N | 78°12'34.7"O |
| 38 | Jardín Iruguincho | San Blas | Iruguincho | 0°24'29.2"N | 78°14'42.8"O |
| 39 | Escuela Cecilia Barba de Jijón | San Blas | El Hospital | 0°24'09.8"N | 78°15'14.3"O |
| 40 | Escuela Eloy Alfaro | San Blas | San Blas | 0°24'46.8"N | 78°12'40.2"O |
| 41 | Escuela Hernán Cortez | San Blas | Iruguincho | 0°24'13.7"N | 78°14'54.1"O |
| 42 | Escuela Odilo Aguilar | San Blas | Pisangacho | 0°25'14.6"N | 78°14'48.0"O |
| 43 | Escuela Simón Rodríguez | San Blas | San Juan | 0°24'37.8"N | 78°13'20.4"O |
| 44 | Junta Parroquial de San Blas | San Blas | San Blas | 0°24'37.8"N | 78°12'23.4"O |
| 45 | Jardín Tumbabiro | Tumbabiro | Tumbabiro | 0°27'42.2"N | 78°11'31.7"O |
| 46 | Escuela Aguas Calientes | Tumbabiro | Ajumbuela | 0°26'30.1"N | 78°13'11.6"O |
| 47 | Escuela Jorge Carrera Andrade | Tumbabiro | La Delicia | 0°27'17.7"N | 78°12'55.4"O |
| 48 | Escuela Juan Jacobo Rousseau | Tumbabiro | Chiriyacu | 0°26'26.5"N | 78°11'55.5"O |
| 49 | Escuela Vicente Rocafuerte | Tumbabiro | Tumbabiro | 0°27'37.4"N | 78°11'33.2"O |
| 50 | Junta Parroquial de Tumbabiro | Tumbabiro | Tumbabiro | 0°27'41.1"N | 78°11'31.5"O |

Como se pudo observar en la Tabla. 3.2, se tiene un total de 50 instituciones que van a ser beneficiadas por este proyecto, repartidas en cada una de las parroquias de la siguiente forma: 12 instituciones en la parroquia de Urcuquí, 8 en la parroquia de Cahuasquí, 10 en la parroquia de Buenos Aires, 6 en la parroquia de Pablo Arenas, 8 en la parroquia de San Blas y 6 en la parroquia de Tumbabiro. En los anexos del 1 al 7 se muestran los mapas de cada parroquia con sus respectivas instituciones y un mapa general del cantón San Miguel de Urcuquí con todas las instituciones beneficiarias.

3.1.1 Proveedores de Internet en la Zona

En el cantón Urcuquí no se encuentra implantada ninguna red para proporcionar el servicio de Internet, las únicas conexiones disponibles son enlaces de microonda propiedad

de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones destinados únicamente para el servicio de telefonía las cuales no soportarían el despliegue de redes xDSL, por lo cual no es factible brindar el servicio de Internet de Banda ancha necesario para el proyecto.

Sin embargo existen empresas que brindan el servicio de portador a nivel nacional y que están en la capacidad de establecer radioenlaces desde los cantones aledaños hacia el cantón de Urcuquí para dar conexión a Internet de banda ancha, algunos ejemplos de estas empresas son Porta, Megadatos, Globalcrossing, etc. También existen las empresas proveedoras de capacidad satelital con cobertura sobre todo el terreno ecuatoriano que podrían proveer de Internet en los lugares más remotos del país.

3.1.2 Cerros importantes

Para que un cerro sea considerado como útil o importante en el diseño de un sistema de telecomunicaciones inalámbrico, este debe cumplir con las siguientes consideraciones:

- Debe tener un camino de acceso hacia la ubicación donde se colocaran las estructuras que soporten las antenas.
- Debe poseer energía eléctrica.
- Debe tener una buena línea de vista.

Tomando en cuenta estas características se ha determinado que los cerros detallados en la Tabla. 3.3 pueden ser usados para implementar una red inalámbrica en el catón San Miguel de Urcuquí.

Tabla. 3.3. Cerros Importantes

| Nombre | Localidad | Latitud | Longitud | Altura s.n.m (m) |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|------------------|
| Loma San Eloy | Urcuquí | 0°25'03.4"N | 78°11'06.0"O | 2365 |
| Loma San Pedro | Pablo Arenas | 0°29'57.4"N | 78°11'54.4"O | 2495 |
| Loma San Francisco | Pablo Arenas | 0°26'55.2"N | 78°12'58.4"O | 2434 |
| Cerro Cotacachi | Cotacachi | 0°20'46.0"N | 78°20'20.0"O | 4047 |
| Cerro Negro | Imantag | 0°28'57.0"N | 78°19'48.0"O | 4484 |
| Loma Azaya | Ibarra | 0°22'41.8"N | 78°07'54.1"O | 2347 |

Cabe mencionar que elevaciones Cerro Cotacachi, Cerro Negro y Loma de Azaya no se encuentran en el cantón San Miguel de Urququí, si no en los cantones aledaños. Además mediante el software de simulación *Radio Mobile* se comprobará si existe línea de vista entre todos estos cerros y las instituciones beneficiadas.

Las lomas San Eloy, San Pedro y San Francisco poseen torres no autoportadas de 9m que son propiedad del Municipio de Urququí por lo que fácilmente se puede llegar a un acuerdo para usar estas estructuras, si así se requiriera para la implantación de la Red Comunal.

3.2 INFORMACIÓN SOCIO ECONÓMICA

Con el fin de conocer las necesidades de los centros educativos se ha realizado un estudio detallado de sus condiciones económicas y sociales.

Índices de Educación en el Cantón San Miguel de Urququí

Los siguientes datos fueron tomados de CD SIISE v4.5 (Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador) proporcionado por el Ministerio de Coordinación de Desarrollo Social MCDS. Estos datos son considerados para tener un referente de la calidad de educación que existe en el cantón San Miguel de Urququí

Tabla. 3.4 Índice de Escolaridad por parroquias⁴

| Parroquias | Escolaridad |
|---------------------------|-------------|
| Urququí | 5.4 |
| Tumbabiro | 4.5 |
| La Merced de Buenos Aires | 4.4 |
| Cahuasquí | 4.4 |
| Pablo Arenas | 4.4 |
| San Blas | 3.7 |

⁴ Información proporcionada por el Ministerio de Coordinación de Desarrollo Social MCDS

Tabla. 3.5. Porcentaje de primaria completa por parroquias⁵

| Parroquias | Primaria Completa %(12 años y más) |
|---------------------------|---|
| Urcuquí | 51.2 |
| Cahuasquí | 30.2 |
| La Merced de Buenos Aires | 36.7 |
| Pablo Arenas | 26.0 |
| San Blas | 32.6 |
| Tumbabiro | 37.2 |

Tabla. 3.6. Porcentaje de secundaria completa por parroquia⁵

| Parroquias | Secundaria Completa %(18 años y más) |
|---------------------------|---|
| Urcuquí | 8.2 |
| Cahuasquí | 3.7 |
| La Merced de Buenos Aires | 6.1 |
| Pablo Arenas | 2.1 |
| San Blas | 3.5 |
| Tumbabiro | 3.3 |

Tabla. 3.7. Porcentaje de analfabetismo por parroquias⁵

| Parroquias | Analfabetismo %(15 años y más) |
|---------------------------|---|
| Urcuquí | 10.8 |
| Cahuasquí | 12.9 |
| La Merced de Buenos Aires | 11.5 |
| Pablo Arenas | 11.5 |
| San Blas | 21.1 |
| Tumbabiro | 14.0 |

En la Tabla. 3.8 se detalla el número de alumnos, profesores y computadores existentes en cada institución, conocer el número de estos es de gran importancia para

⁵ Información proporcionada por el Ministerio de Coordinación de Desarrollo Social MCDS

realizar el estudio de tráfico y el dimensionamiento de la red, además saber si la institución posee o no energía eléctrica (E.E.) es de suma importancia ya que todos los equipos funciona con electricidad y en el caso de no existir este servicio básico se debe solucionar este inconveniente antes de la implementación de la Red Comunal, estos costos correrán por cuenta del municipio.

Tabla. 3.8. Número de Beneficiarios por Centro Educativo

| No. | Centro Educativo | Alumnos | Profesores | Número de PCs Existentes | E.E. |
|-----|--------------------------------|---------|------------|--------------------------|------|
| 1 | Jardín José Reyes Rosero | 112 | 3 | 0 | Si |
| 2 | Abdón Calderón | 431 | 13 | 6 | Si |
| 3 | Alfonso Cadena Marcillo | 19 | 1 | 0 | Si |
| 4 | Amable Elias Salvador | 0 | 0 | 0 | Si |
| 5 | Dr. Camilo Gallegos Domínguez | 37 | 2 | 0 | Si |
| 6 | Eugenio Espejo | 208 | 6 | 4 | Si |
| 7 | Provincia de Manabí | 9 | 1 | 0 | Si |
| 8 | Quintillano Sánchez | 25 | 2 | 1 | Si |
| 9 | Víctor Manuel Peñaherrera N°.2 | 22 | 2 | 0 | Si |
| 10 | Colegio Luis Felipe Borja | 106 | 6 | 6 | Si |
| 11 | Colegio Urcuquí | 596 | 39 | 10 | Si |
| 12 | Jardín 29 de Mayo | 16 | 1 | 1 | Si |
| 13 | Ecuador Amazónico | 32 | 1 | 1 | Si |
| 14 | Eduardo Garzón Fonseca | 7 | 1 | 0 | No |
| 15 | José María Córdova | 33 | 2 | 0 | Si |
| 16 | Juan León Mera | 145 | 7 | 2 | Si |
| 17 | Luis Alfredo Martínez | 40 | 2 | 1 | Si |
| 18 | Colegio Cahuasquí | 95 | 13 | 8 | Si |
| 19 | 24 de Junio No. 2 | 27 | 1 | 0 | Si |
| 20 | Boyacá | 24 | 1 | 0 | Si |
| 21 | Buenos Aires | 124 | 6 | 0 | Si |
| 22 | Coronel Santacruz | 17 | 1 | 0 | Si |
| 23 | General Calicuchima | 33 | 1 | 0 | Si |

| No. | Centro Educativo | Alumnos | Profesores | Número de PCs Existentes | E.E. |
|--------------|--------------------------|---------|------------|--------------------------|------|
| 24 | General José Mires | 27 | 1 | 0 | Si |
| 25 | Nueva Granada | 27 | 2 | 0 | Si |
| 26 | Sergio Enrique Loyo A. | 21 | 2 | 0 | Si |
| 27 | Colegio Buenos Aires | 31 | 6 | 0 | Si |
| 28 | Jardín Pablo Arenas | 25 | 1 | 1 | Si |
| 29 | Jardín La Victoria | 18 | 1 | 0 | Si |
| 30 | 5 de Junio | 164 | 6 | 3 | Si |
| 31 | Alejandro Andrade Coello | 14 | 1 | 0 | Si |
| 32 | Franklin Roosevelt | 86 | 4 | 0 | Si |
| 33 | Jardín Alberto Amador | 37 | 1 | 0 | Si |
| 34 | Jardín Iruguincho | 10 | 1 | 0 | Si |
| 35 | Cecilia Barba de Jijón | 30 | 1 | 1 | Si |
| 36 | Eloy Alfaro | 214 | 8 | 2 | Si |
| 37 | Hernán Cortez | 42 | 2 | 1 | Si |
| 38 | Odilo Aguilar | 40 | 2 | 2 | Si |
| 39 | Simón Rodríguez | 28 | 2 | 0 | Si |
| 40 | Jardín Tumbabiro | 20 | 1 | 0 | Si |
| 41 | Aguas Calientes | 22 | 1 | 1 | Si |
| 42 | Jorge Carrera Andrade | 36 | 2 | 1 | Si |
| 43 | Juan Jacobo Rousseau | 10 | 1 | 0 | Si |
| 44 | Vicente Rocafuerte | 109 | 6 | 4 | Si |
| TOTAL | | 3169 | 165 | 56 | |

En total se tiene como beneficiarios directos 44 centros educativos, 3169 alumnos entre preprimaria, primaria y secundaria, además, a esto se tiene que sumar las 5 juntas parroquiales y el municipio del cantón San Miguel de Urucuquí, teniendo en total 50 puntos a los cuales se debe llegar con la red de acceso WAN. En el Anexo 8 se puede apreciar fotografías de las instituciones educativas del cantón Urucuquí.

La escuela Amable Elías Salvador, perteneciente a la parroquia de Urucuquí, se encuentra cerrada, por lo que no se la incluirá en estudio de tráfico (no se le asignará ancho

de banda) ni en análisis económico, sin embargo se la tomará en cuenta para el diseño de la red ya que existe la posibilidad de que sea reabierta.

Es necesario que cada centro educativo posea computadores para acceder al servicio de Internet, por esto se proporcionaran computadores a las instituciones educativas que no los posean y se completará las computadoras faltantes del resto de instituciones, esto se hará en base a lo descrito en el estudio de tráfico. Los costos de los computadores se incluirán en el presupuesto de este proyecto.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RED

4.1 DISEÑO DE LA RED WAN

Para el siguiente diseño se han seleccionado dos soluciones: el escenario inalámbrico ya que es el de mayor flexibilidad, menores costos y por todas la demás ventajas mencionadas anteriormente, y el escenario satelital ya que existirán algunos lugares remotos en los que el escenario inalámbrico no puede llegar o se vuelve demasiado costoso de implementar. No se ha tomado en cuenta al escenario usando medios guiados puesto que este no es recomendable para zonas rurales ya que las distancias son muy grandes.

Con el fin de realizar el diseño técnico de la red se utilizará el programa Radio Mobile que es un software libre diseñado para realizar análisis y simulación de redes inalámbricas, estudios de coberturas y perfiles de los radioenlaces.

Para la ubicación de los centros educativos se hizo uso de las coordenadas antes obtenidas de los mismos. La selección de la ubicación de las radio bases y repetidoras se ha efectuado después de realizar el estudio de campo, encontrando los sitios desde los cuales las radio bases logran la mayor cobertura, alcanzan a la mayoría de establecimientos y por tanto son más eficientes.

4.1.1 Solución Inalámbrica

La tecnología que se utilizará para este diseño es WiFi, este tipo de tecnología no causa interferencia a otros sistemas que trabajen en la misma frecuencia y requiere de un bajo nivel de potencia para funcionar. La justificación y el funcionamiento de esta tecnología se detallan mejor en las secciones anteriores.

Como se mencionó con anterioridad en el estudio de campo, un cerro de gran importancia es la loma de Azaya, ubicada en la ciudad de Ibarra. En esta ubicación se colocará la radio base principal, ya que está cerca de la ciudad así que se puede acceder fácilmente en vehículo, además existen radio bases de operadores celulares por lo que ya cuenta con líneas eléctricas y esta radio base da cobertura a casi el 50% de las instituciones a ser beneficiadas.

A partir de esta radio base se colocarán los repetidores que sean necesarios para alcanzar al resto de instituciones. Las coordenadas de la Radio base Azaya son las siguientes:

Latitud: 00°22'41.8"N
Longitud: 78°07'54.1"O
Altitud s.n.m.: 2347m

Cabe mencionar que se puede llegar a un acuerdo con los dueños de radio bases ya existentes en esta loma para arrendar espacio en la estructura y colocar las antenas, si necesidad de instalar una nueva estructura, lo que reduciría mucho los costos de implementación de la red inalámbrica.

Para completar la red inalámbrica de acceso es necesario de otro repetidor, que ha sido seleccionado por su posición estratégica para hacer posible la cobertura de la mayoría de instituciones beneficiarias en el cantón San Miguel de Urcuquí mediante la solución inalámbrica. Este repetidor colocará en la torre que es propiedad del municipio de dicho cantón, ubicado en la loma de San Pedro, una pequeña elevación al oeste de la ciudad de Pablo Arena, sus coordenadas son las siguientes:

Latitud: 0°29'57.4"N
Longitud: 78°11'54.4"O
Altitud s.n.m.: 2651m

Los cerros Cotacachi y Negro, mencionados en el estudio de campo, no pudieron ser aprovechados para este proyecto porque no poseían línea de vista con ninguna de las instituciones beneficiadas.

Requisitos Para los Enlaces

Para hacer el diseño de esta red se tomaron en cuenta algunos requisitos mínimos que deben tener los enlaces para asegurar un buen desempeño y un bajo porcentaje de desvanecimiento de las señales. Un requisito que debe cumplir un enlace es tener un nivel de señal de al menos 20dB sobre el nivel de sensibilidad del receptor, y además, al tratarse de enlaces que usan altas frecuencias, se debe asegurar que exista línea de vista y por lo menos un 60% de despeje de la primera línea de Fresnel.

Además es difícil saber si todos los enlaces tendrán una línea de vista libre de vegetación como árboles y arbustos, por esto es necesario asegurar que en el punto más crítico del enlace exista una altura de 20m entre el haz radioeléctrico y el nivel del suelo, a esto se llama claridad, esta altura es suficiente para sobrepasar a la gran mayoría de árboles grandes y asegurar la calidad del enlace. Es recomendable una altura mínima de 15m sobre el nivel del suelo para de las antenas sectoriales que sirven de punto de acceso, con el fin de asegurar una buena claridad en los enlaces, a menos que se tenga la certeza de que existe una buena línea de vista entre las estaciones finales y el punto de acceso, en ese caso se puede ir disminuir al mínimo la altura de la antena del punto de acceso con el fin de reducir los costos de implementación. Las alturas de los repetidores estarán en función del costo beneficio, ya que a mayor altura existirán mayores costos para la implementación pero esto reduce la altura mínima de la antena de las estaciones finales.

Red de Transporte

La red de transporte se realizará mediante enlaces Punto – Punto usando la banda de frecuencia de 5,8GHz que es una banda no licenciada y por tanto reduce los precios de la implementación, por lo que no es necesario pagar derechos de concesión al ente de regulación del espectro radioeléctrico que para el Ecuador es la SENATEL, pero si es necesario registrar todo enlace que se haga en estas bandas de frecuencia. Además se eligió esta banda de frecuencias por que tiene un mayor ancho de banda comparada con la banda de 2,4GHz y 900MHz que también son bandas no licenciadas. La red de transporte es la que se muestra en la Figura. 4.1 y como se puede apreciar en esta figura, el Internet es suministrado mediante un proveedor al Municipio de Urcuquí y de aquí se reparte hacia toda la red mediante los enlaces de la red de transporte.

El enlace desde el Municipio hacia la radio base en Azaya se realiza mediante el *Access point* de la red de acceso ubicada en esta torre. El Municipio es un suscriptor más de esta red de acceso, sin embargo es el que proporciona el Internet a toda la red. Es importante aclarar que el enlace principal de la red de transporte se realiza en la banda de 2.4GHz, sin embargo esto no le resta capacidad a la red ya que los equipos que trabajan en esta banda alcanzan tasas de transmisión muy superiores a las requeridas por la Red Comunal, sin embargo si fuera necesario un mayor ancho de banda se debería realizar un enlace punto a punto entre el Municipio de Urcuquí y la Radio base de Azaya. Los detalles del enlace entre el Municipio y la Radio base Azaya se explicarán más adelante.

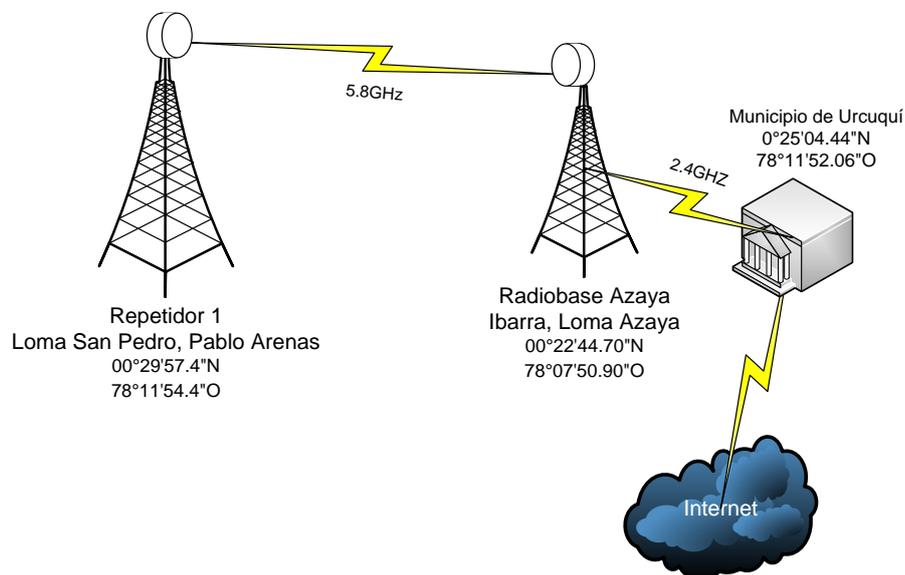


Figura. 4.1. Red de transporte inalámbrica

El diagrama técnico de la Figura. 4.2 muestra los que equipos que son necesarios para la red de transporte y además muestra como estos equipos van a estar conectado por medio de *routers* con los equipos necesarios para la red de acceso, ya que cada radio base no solo sirve como repetidor de la estación principal, sino que también proporcionan acceso a las instituciones beneficiarias.

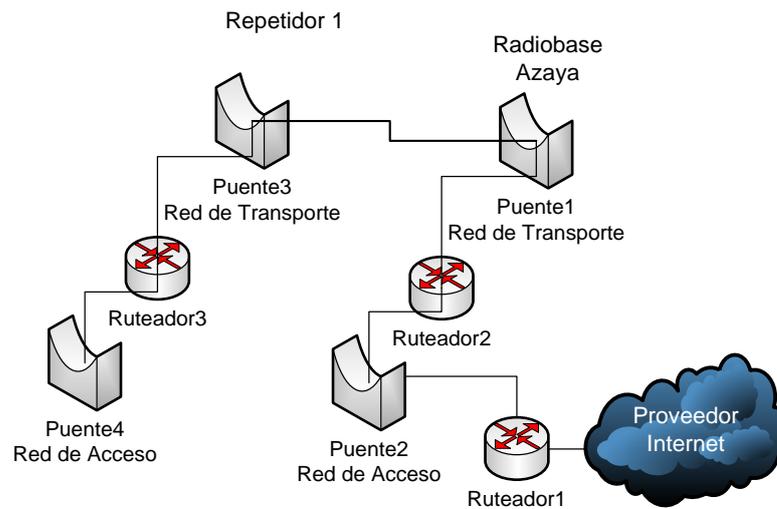


Figura. 4.2. Diagrama técnico de la Red de Transporte

Después de realizar la respectiva simulación en Radio Mobile se puede observar que la red de transporte es como la que se muestra en la Figura. 4.3, cada enlace de esta red será analizado por separado a continuación.

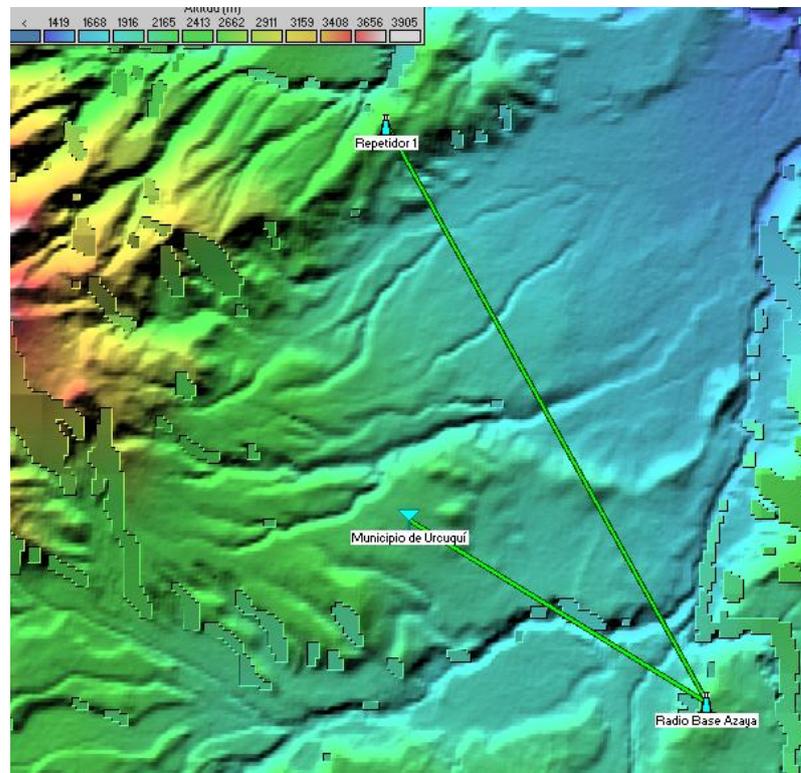


Figura. 4.3. Red de Transporte

Enlaces de la Red de Transporte

Para la simulación de estos enlaces se ha establecido una altura de antena de 14m en cada radio base y repetidor, ya que a 15m se colocaran las antenas para *access point*.

Para la red de transporte se tienen los siguientes enlaces.

1. Radio base Azaya – Repetidor 1

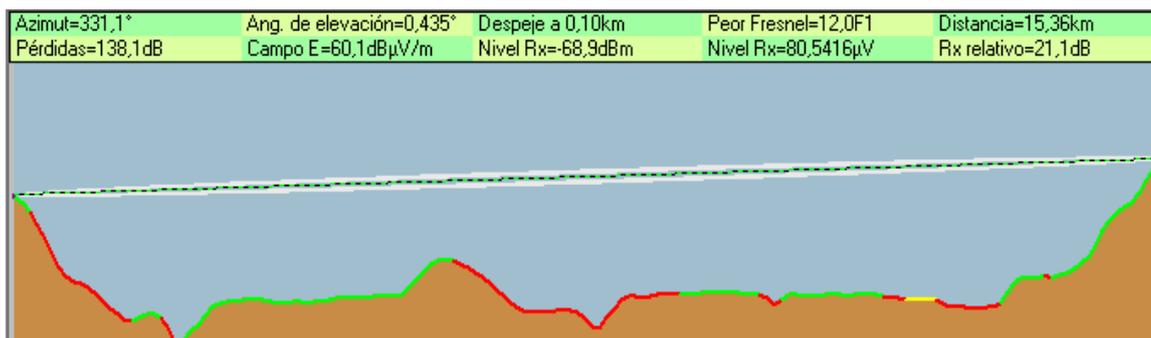


Figura. 4.4. Perfil del enlace Radio base Azaya – Repetidor 1

2. Radio base Azaya – Municipio de Urcuquí

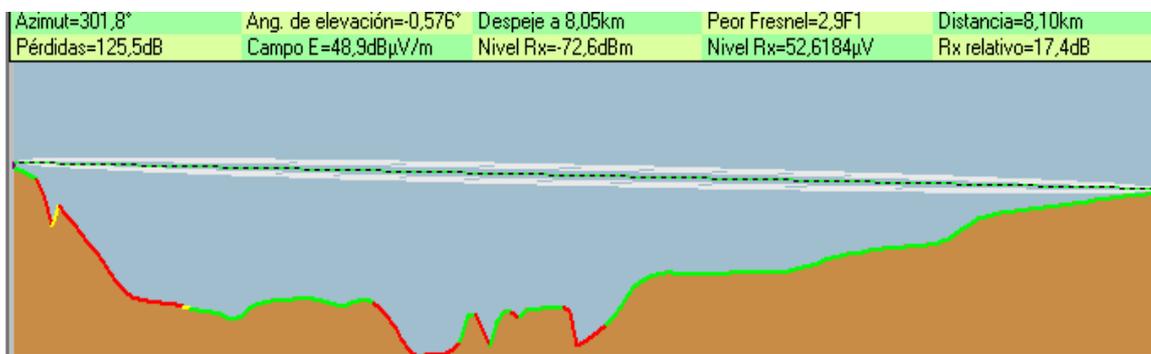


Figura. 4.5 Perfil del enlace Radio base Azaya – Municipio de Urcuquí

Como se pudo apreciar en la simulación el enlace de mayor distancia es entre la Radio base Azaya y el Repetidor 1 este enlace es aproximadamente de 16Km y esta distancia es fácil de cubrir con equipos que usan la tecnología WiMAX o WiFi, sin exceder los límites de potencia establecidos por ley.

Red de Acceso

Para la red de acceso se utilizará la tecnología WiFi en la banda no concesionada de 2,4GHz, ya que esta banda puede alcanzar mayores distancias que la banda de 5,8GHz debido a que a mayores frecuencias se producen mayores atenuaciones. Se utilizarán sistemas Punto – Multipunto entre las radio bases y los centros educativos, esto reduce drásticamente los costos de realizar un enlace Punto – Punto para cada centro educativo. Un esquema simple de cómo se conectarán cada una de las instituciones beneficiadas con la radio base se muestra en la Figura. 4.6.

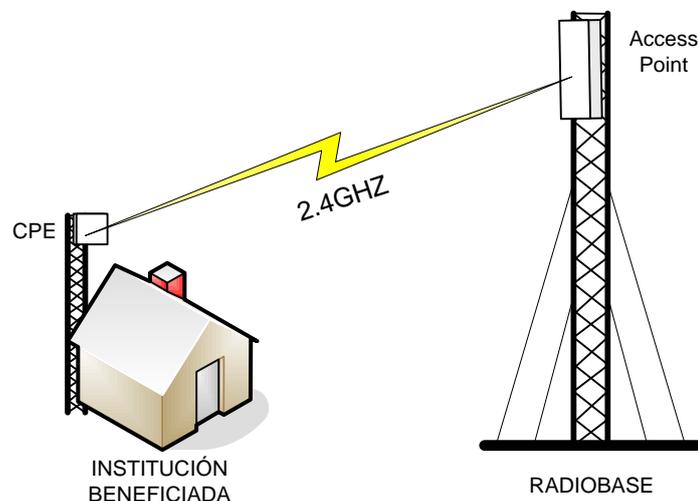


Figura. 4.6. Esquema de la Red de Acceso

Para esto se utilizarán antenas sectoriales con el fin de cubrir mayor territorio, sin embargo este tipo de antenas posee una menor ganancia que una antena directiva por lo que se hace necesario incrementar la potencia de los equipos, pero considerando que existen limitaciones para la potencia máxima establecidas por ley.

Red de Acceso de la Radio base Azaya

Esta radio base es la más importante para el proyecto porque tiene línea de vista con un gran número de instituciones, incluido el Municipio que es el que proveerá el servicio de Internet, la radio base se encuentra ubicada en un cerro que cuenta con instalaciones eléctricas y es de fácil acceso.

Cubre casi en su totalidad a 3 de las 6 parroquias del cantón y beneficiando en total a 20 instituciones educativas y gubernamentales, por esto será necesario disponer de equipos punto – multipunto que puedan soportar esta gran cantidad de enlaces. Después de realizar la simulación en el programa Radio Mobile se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura.4.7 en donde se puede apreciar con claridad la gran área que cubre esta radio base.

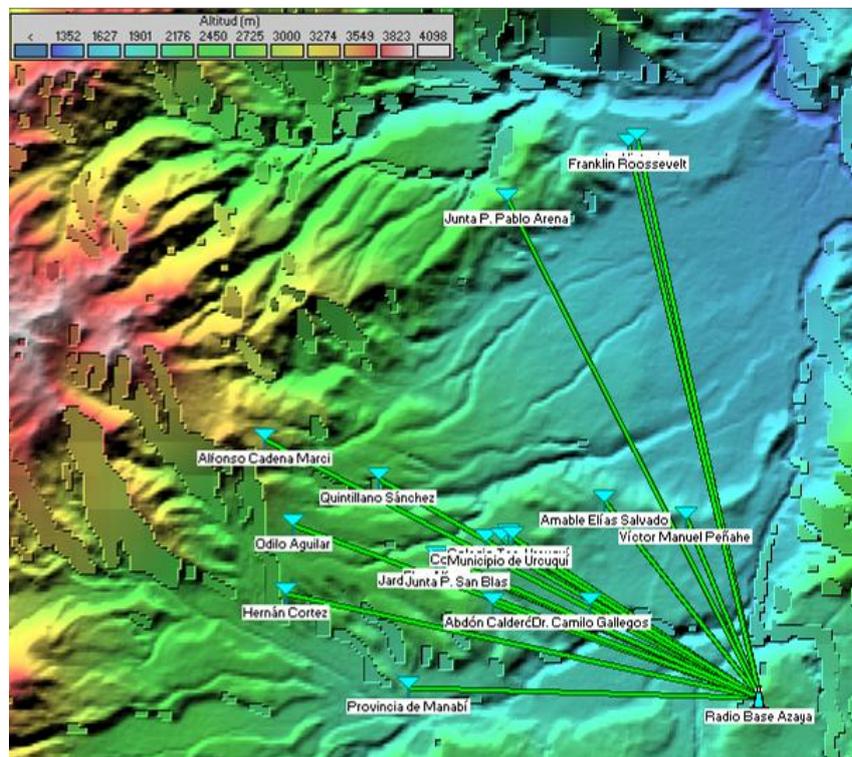


Figura. 4.7. Simulación de la Red de acceso de la Radio base Azaya

Los enlaces serán realizados mediante una antena sectorial de 120° o dos antenas sectoriales de 90° (dependiendo del análisis económico y la capacidad de los equipos) orientadas hacia el noroeste, ubicadas en la radio base y antenas directivas en cada estación final y junto a equipos de gran ancho de banda, que se describirán a profundidad posteriormente, serán capaces de satisfacer la demanda de esta red de acceso.

La altura de la antena sectorial ubicada en la radio base será de 15m con lo que es posible colocar antenas de 3m en la mayoría de instituciones y cumplir con los requisitos mínimos de claridad, existen algunas excepciones en las que se indicará la altura mínima de las antenas para asegurar la calidad del enlace.

A continuación se detallan los perfiles de cada uno de los enlaces entre las instituciones beneficiarias y la Radio base Azaya. La Radio base Azaya es la que se encuentra a la izquierda de los enlaces.

1. Jardín de Infantes José Reyes Rosero

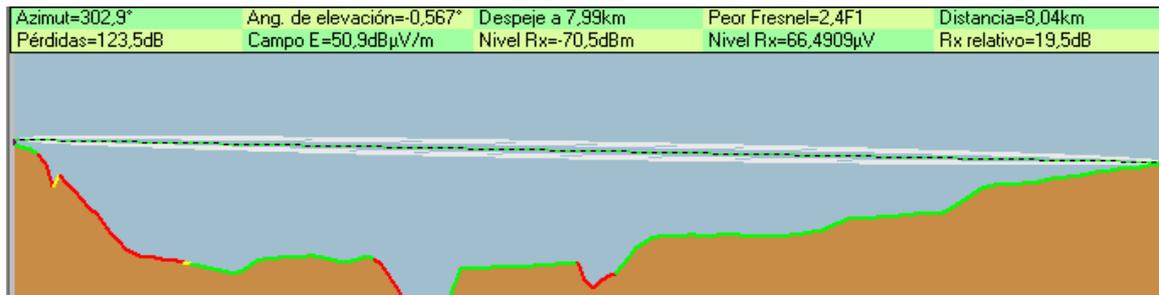


Figura. 4.8. Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín José Reyes Rosero

2. Escuela Abdón Calderón

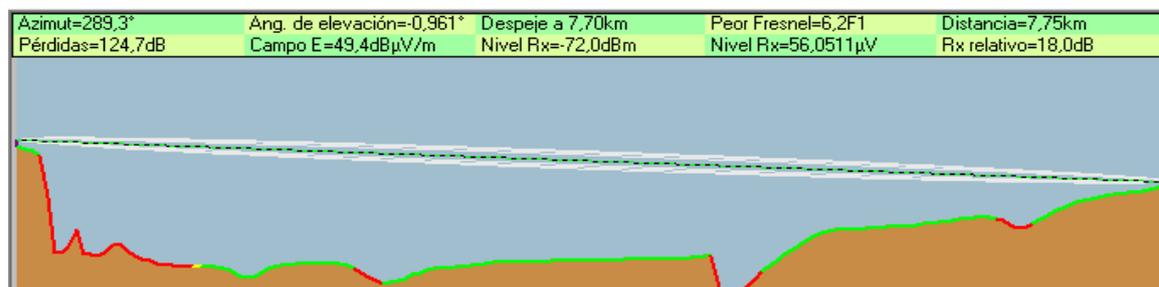


Figura. 4.9. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Abdón Calderón

3. Escuela Alfonso Cadena Marcillo

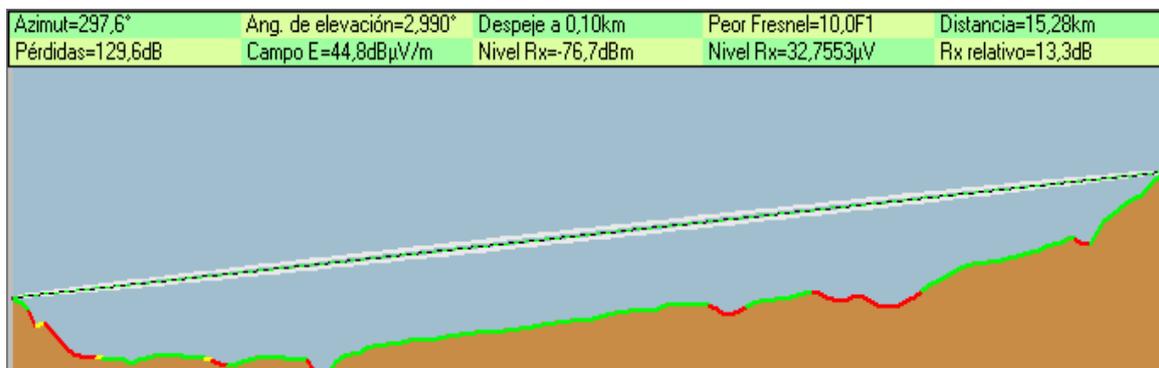


Figura. 4.10. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Alfonso Cadena Marcillo

4. Escuela Amable Elías Salvador

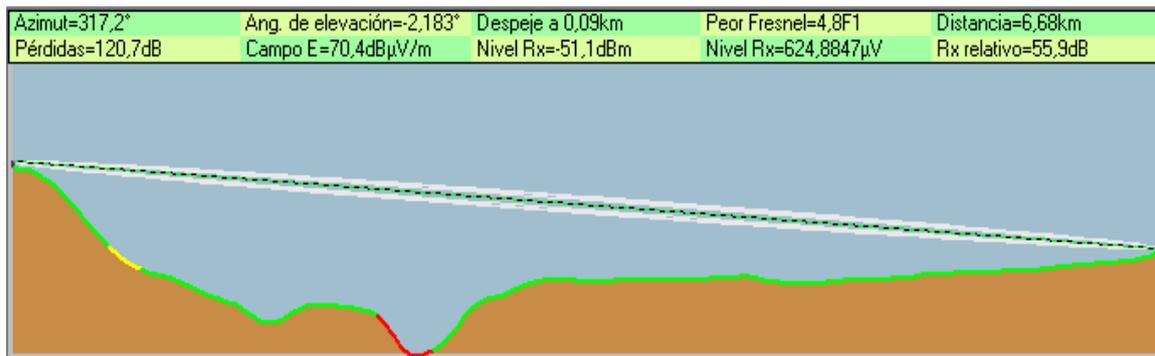


Figura. 4.11. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Amable Elías Salvador

5. Escuela Camilo Gallegos Domínguez

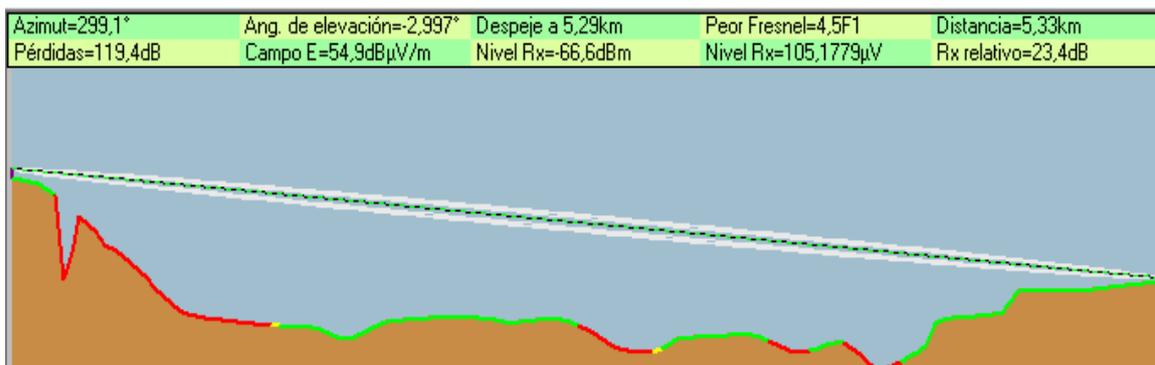


Figura. 4.12. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Camilo Gallegos Domínguez

6. Escuela Eugenio Espejo

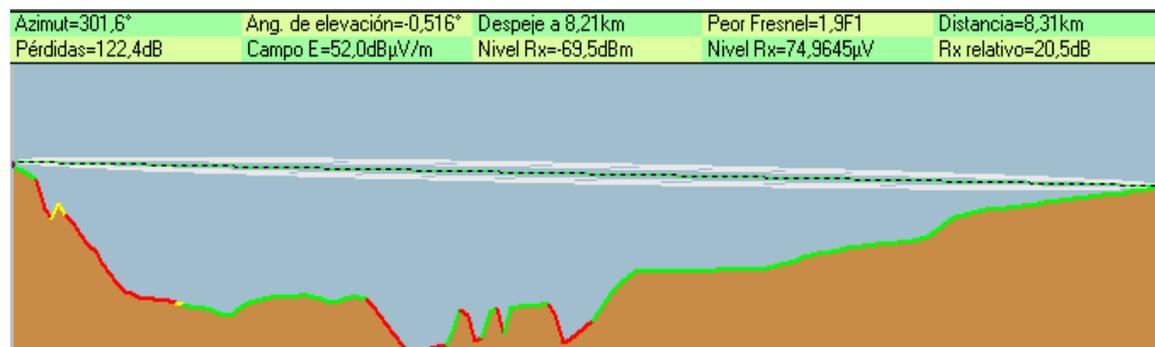


Figura. 4.13. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Eugenio Espejo

7. Escuela Provincia de Manabí

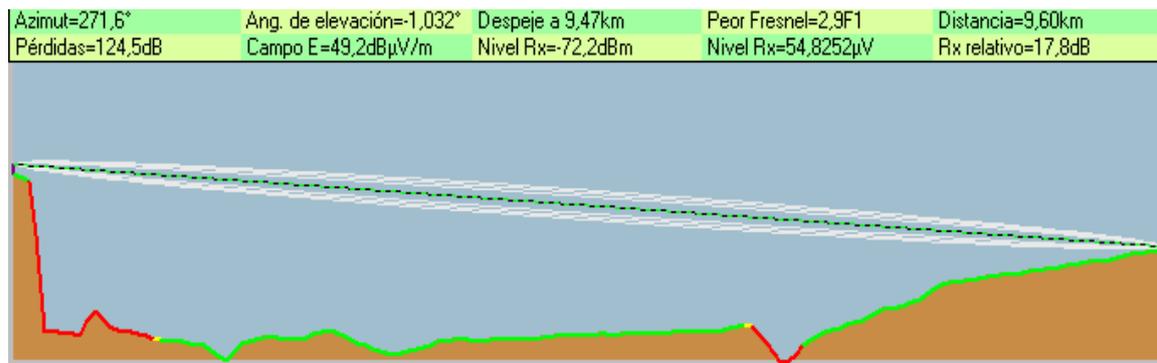


Figura. 4.14. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Provincia de Manabí

8. Escuela Quintillano Sánchez

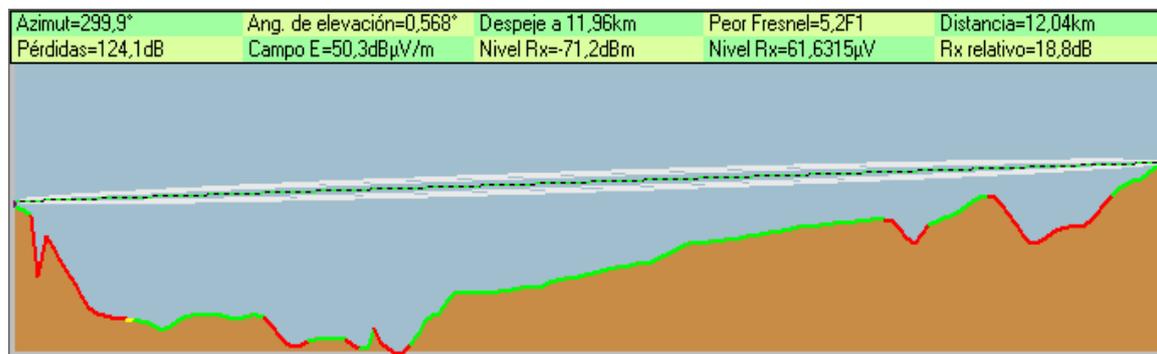


Figura. 4.15. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Quintillano Sánchez

9. Escuela Víctor Manuel Peñaherrera

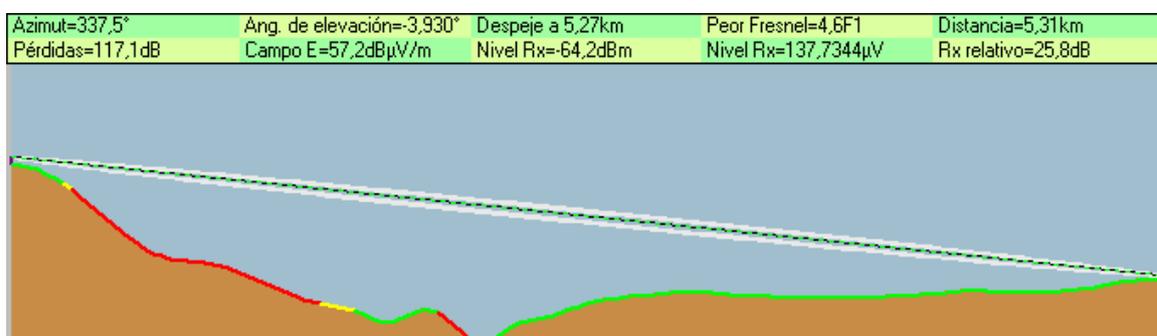


Figura. 4.16. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Víctor Manuel Peñaherrera

10. Colegio Luís Felipe Borja

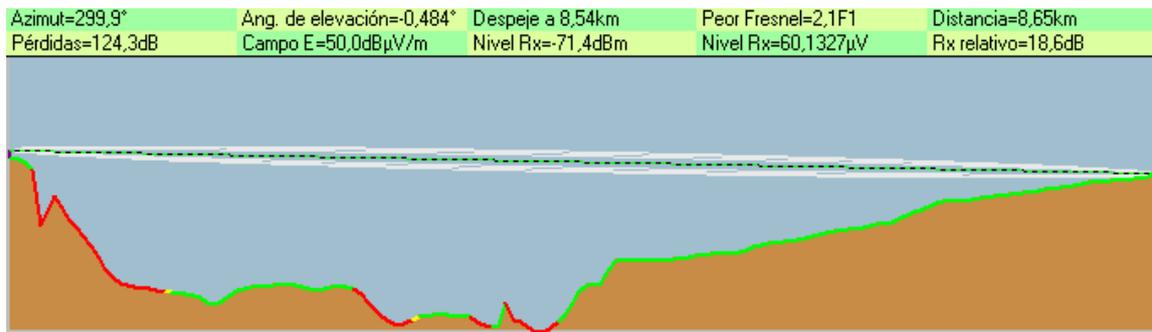


Figura. 4.17. Enlace entre Radio base Azaya y el Colegio Luís Felipe Borja

11. Colegio Urcuquí

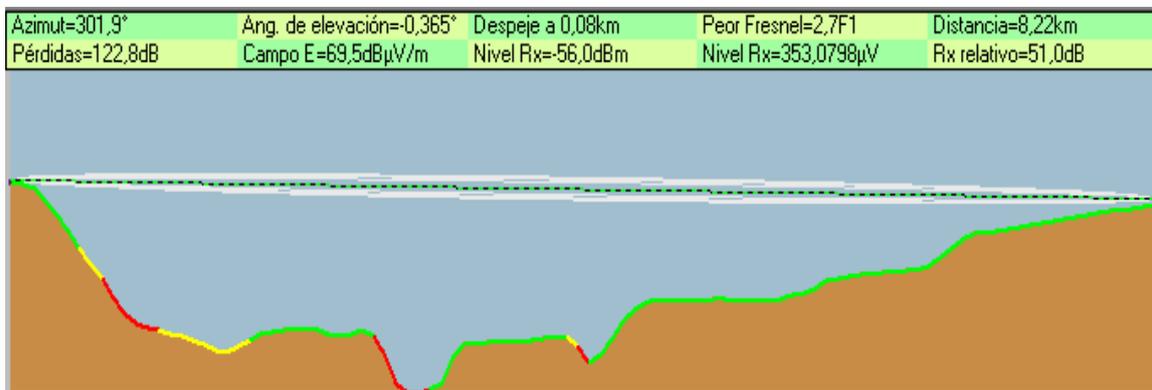


Figura. 4.18. Enlace entre Radio base Azaya y el Colegio Urcuquí

12. Jardín de Infantes La Victoria

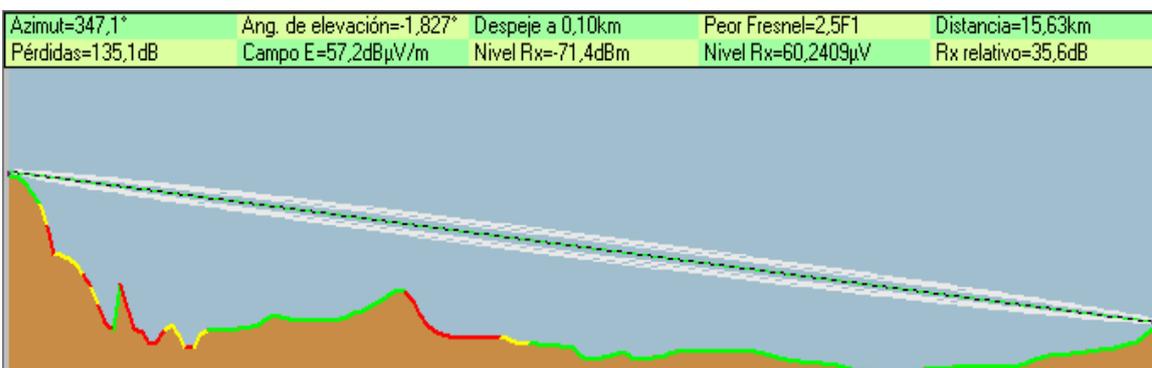


Figura. 4.19. Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín de Infantes La Victoria

13. Escuela Franklin Roosvelt

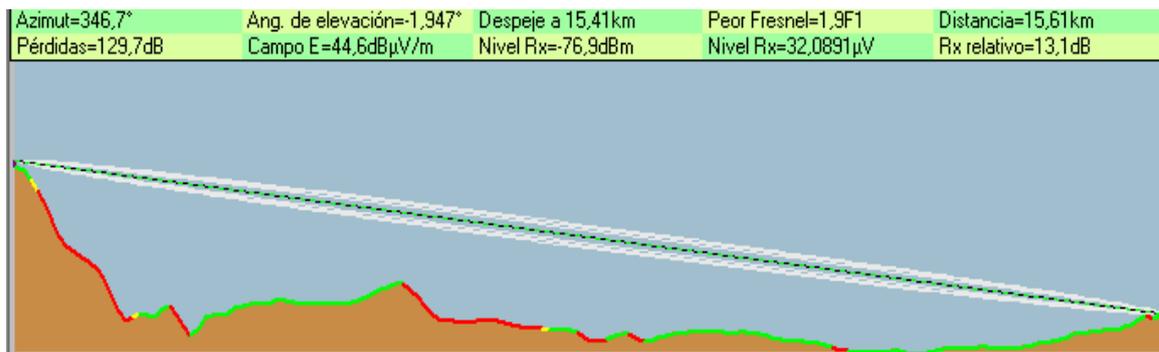


Figura. 4.20. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Franklin Roosvelt

14. Jardín de Infantes Alberto Amador

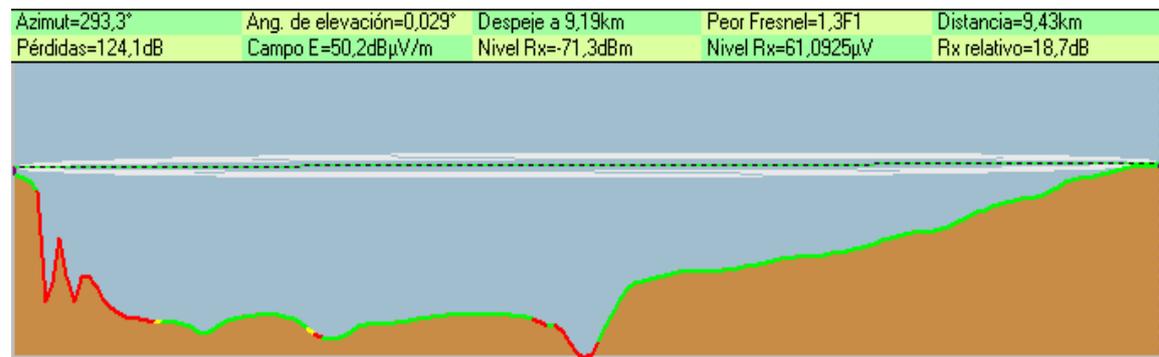


Figura. 4.21 Enlace entre Radio base Azaya y el Jardín de Infantes Alberto Amador

15. Escuela Eloy Alfaro

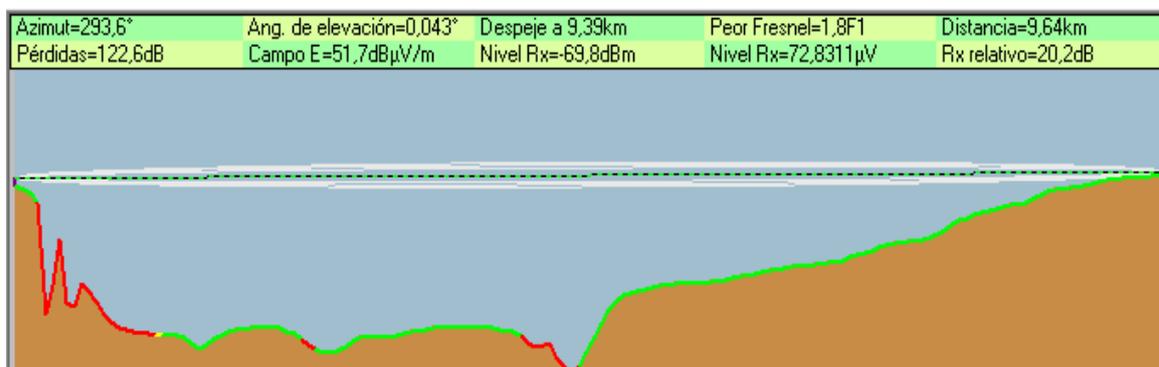


Figura. 4.22. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Eloy Alfaro

16. Escuela Hernán Cortez

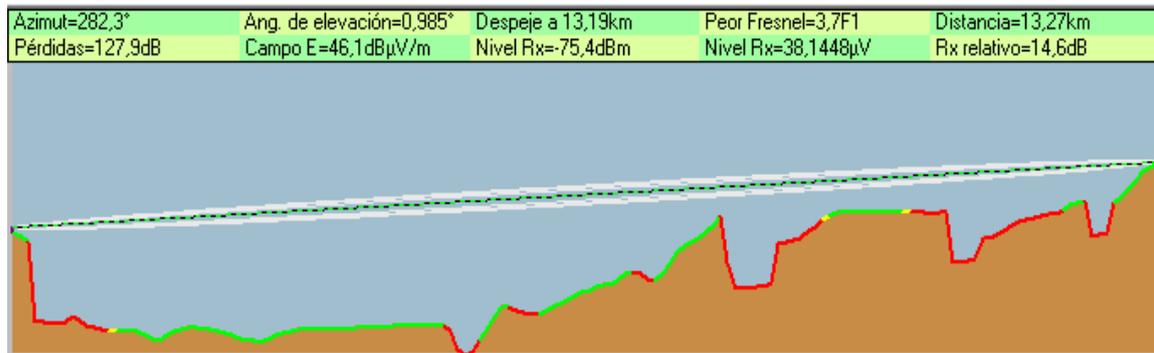


Figura. 4.23 Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Hernán Cortez

17. Escuela Odilo Aguilar

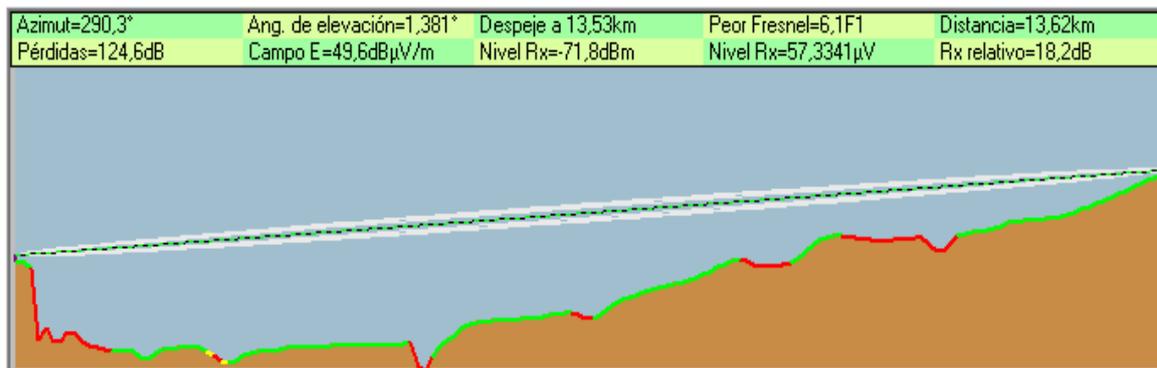


Figura. 4.24. Enlace entre Radio base Azaya y la Escuela Odilo Aguilar

18. Municipio de Urcuquí

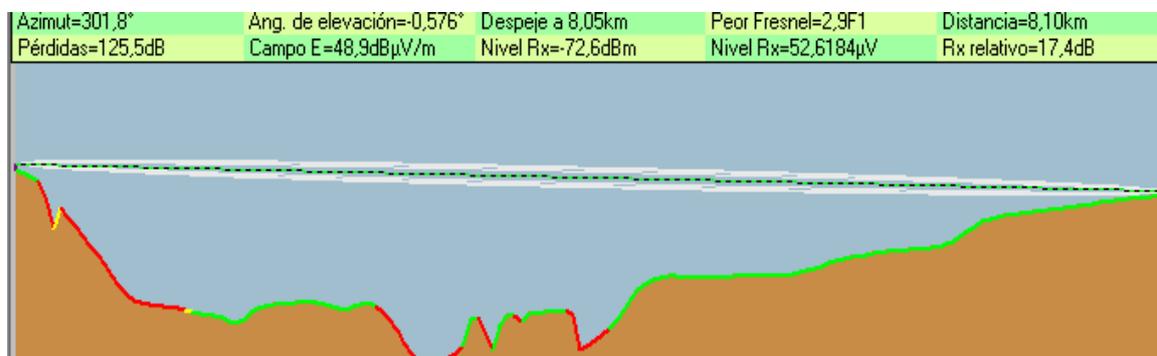


Figura. 4.25. Enlace entre Radio base Azaya y el Municipio de Urcuquí

19. Junta Parroquial de San Blas

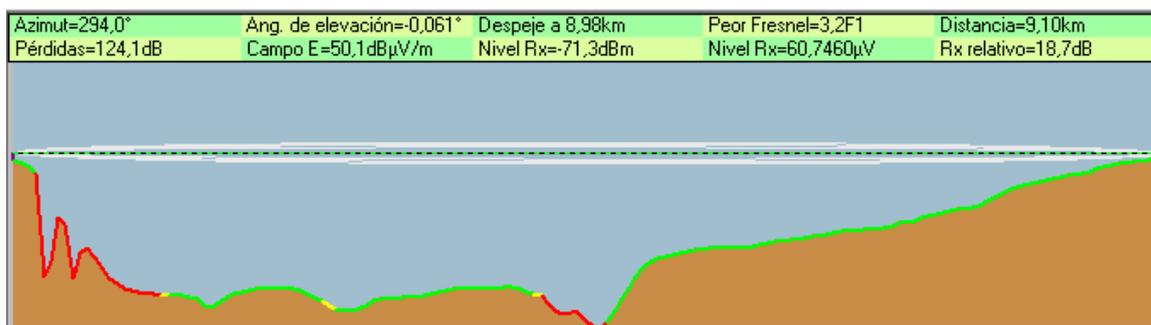


Figura. 4.26. Enlace entre Radio base Azaya y la Junta Parroquial de San Blas

20. Junta Parroquial Pablo Arenas

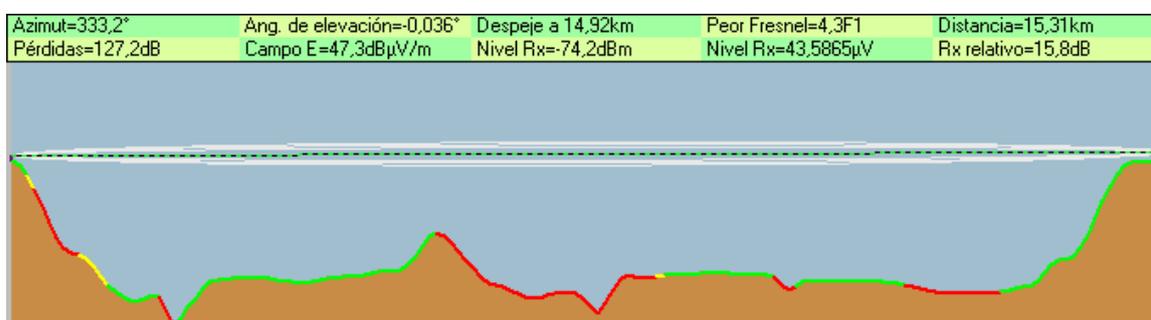


Figura. 4.27. Enlace entre Radio base Azaya y la Junta Parroquial de Pablo Arenas

En los Anexos 9 y 10 se detalla todo el esquema de la red de acceso de la Radio base Azaya.

Red de Acceso del Repetidor 1

Desde el Repetidor 1 ubicado en la Loma San Pedro se tiene acceso a las instituciones educativas mostradas en la Figura. 4.28. Para este repetidor se utilizarán los mismos equipos y la misma banda de frecuencias que para la Radio base Azaya y debido a la naturaleza de la tecnología de Espectro Ensanchado no existe riesgo de causar interferencias entre las coberturas de cada radio base. Sin embargo se recomienda utilizar una polarización diferente para cada uno de los puntos de acceso.

Como se observa en dicha figura las instituciones que van a acceder a la red mediante el Repetidor 1 se encuentra dispersas en todas la direcciones, por esto es

necesario utilizar una antena omnidireccional o varias antenas sectoriales a fin de dar cobertura a los 360°.

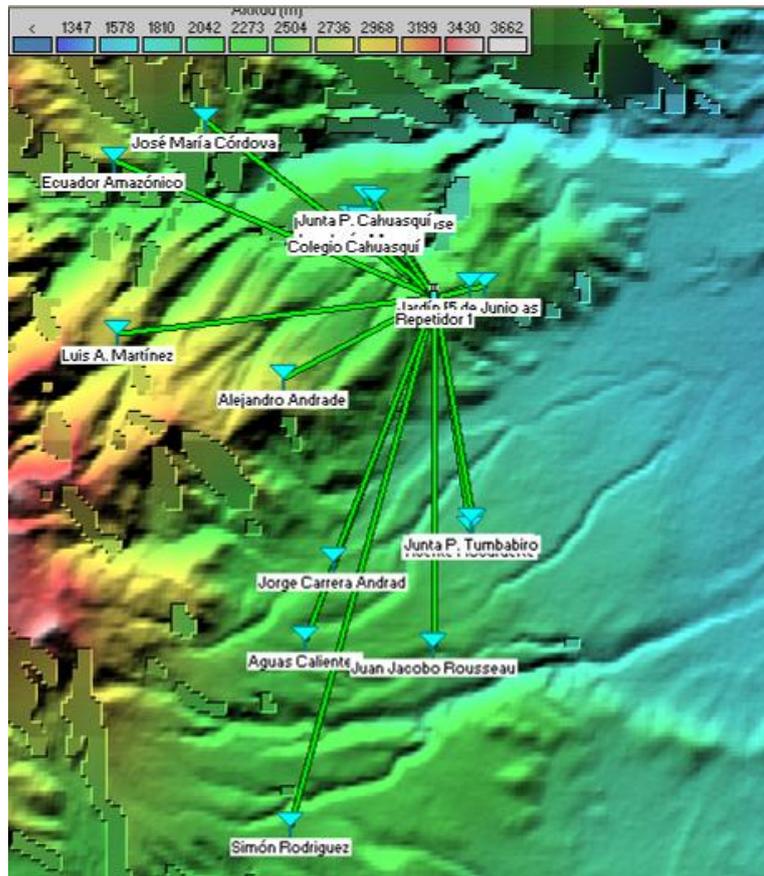


Figura. 4.28. Simulación de la red de acceso del Repetidor 1

La altura recomendada para las estaciones finales en esta red de acceso es 3m y la altura de la antena del Repetidor 1 será de 15m. Este repetidor es el que se encuentra a la izquierda de los enlaces.

1. Jardín 29 de Mayo



Figura. 4.29. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín 29 de Mayo

2. Escuela Ecuador Amazónico

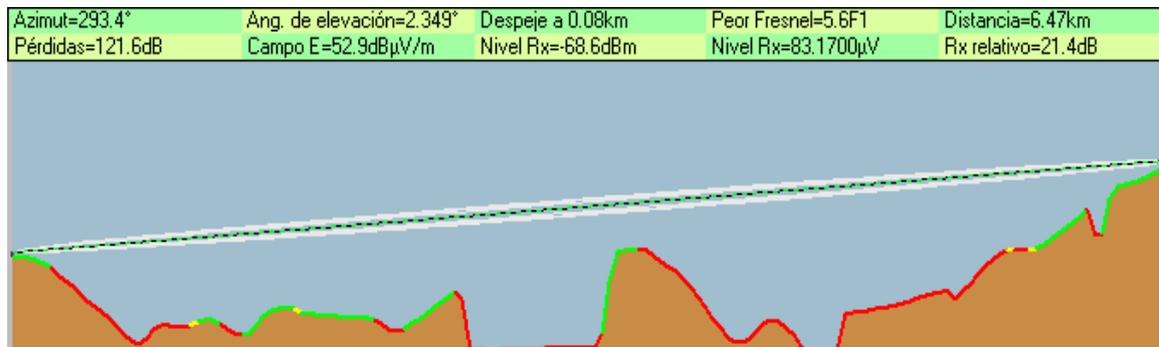


Figura. 4.30. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Ecuador Amazónico

3. Escuela Eduardo Garzón Fonseca

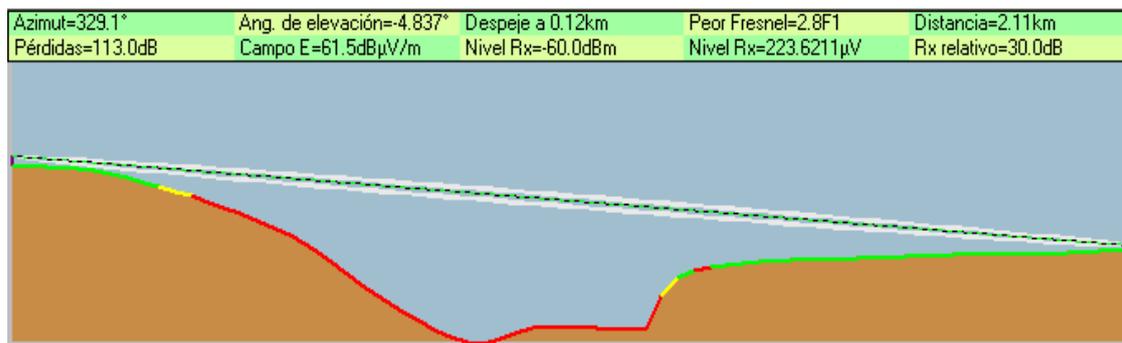


Figura. 4.31. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Eduardo Garzón Fonseca

4. Escuela José María Córdova

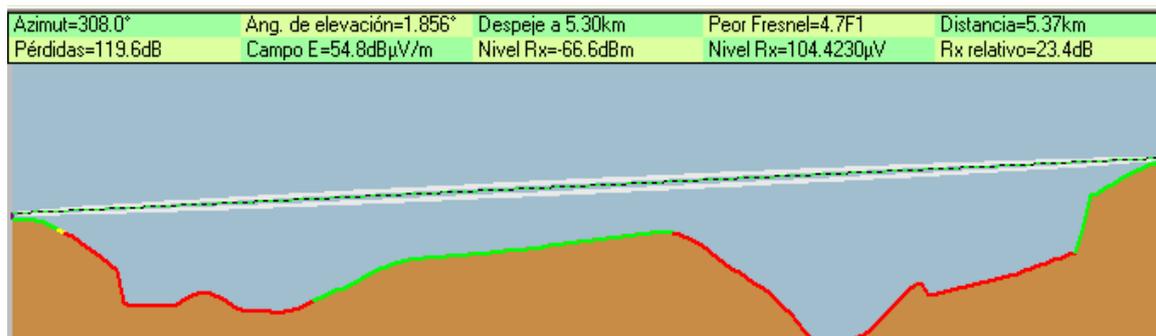


Figura. 4.32. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela José María Córdova

5. Escuela Juan León Mera

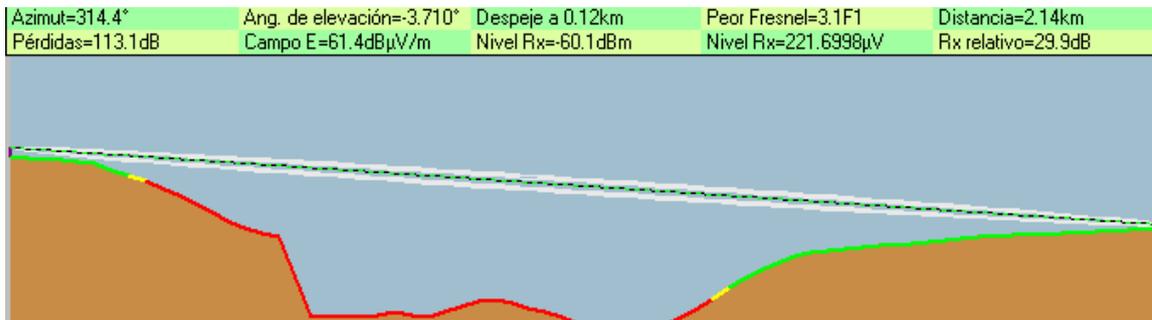


Figura. 4.33. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan León Mera

6. Escuela Luis A. Martínez

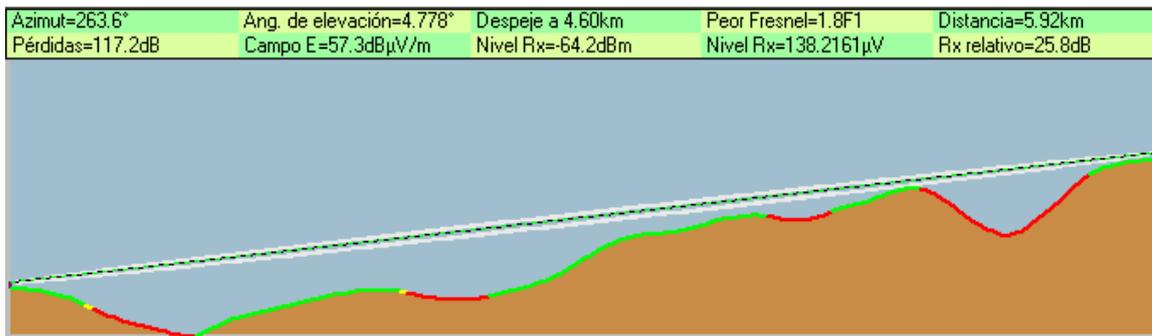


Figura. 4.34. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Luis A. Martínez

7. Colegio Cahuasquí

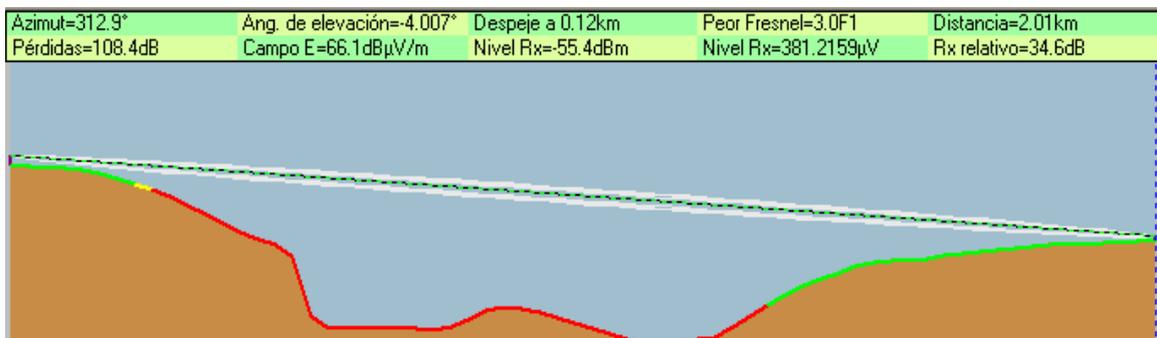


Figura. 4.35. Enlace entre el Repetidor 1 y el Colegio Cahuasquí

8. Jardín Pablo Arenas

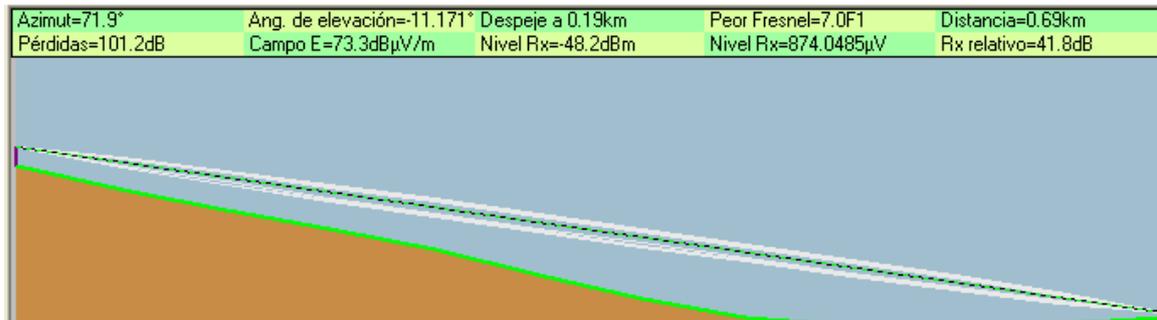


Figura. 4.36. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín Pablo Arenas

9. Escuela 5 de Junio

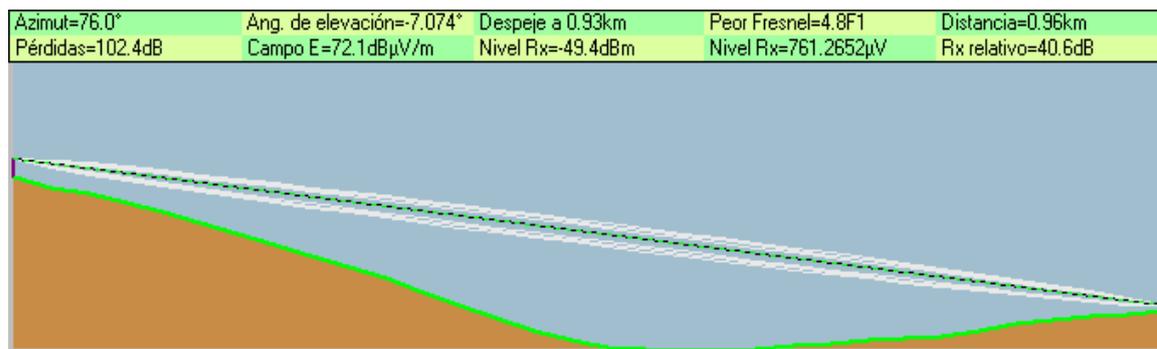


Figura. 4.37. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela 5 de Junio

10. Escuela Alejandro Andrade Coello

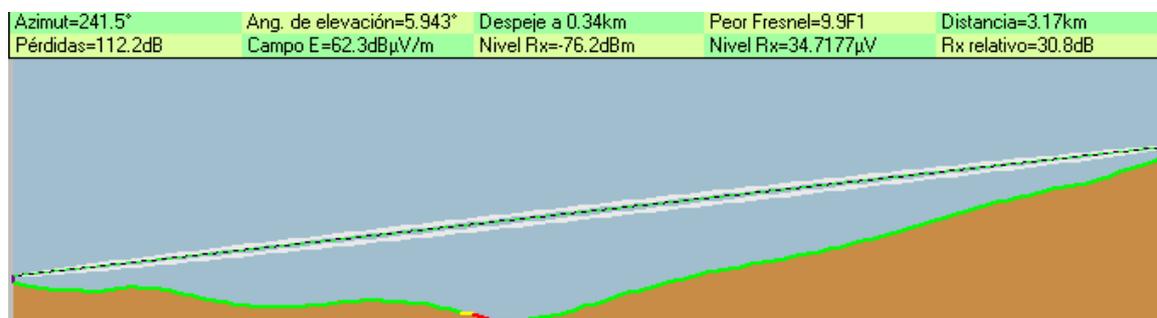


Figura. 4.38. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Alejandro Andrade Coello

11. Escuela Simón Rodríguez

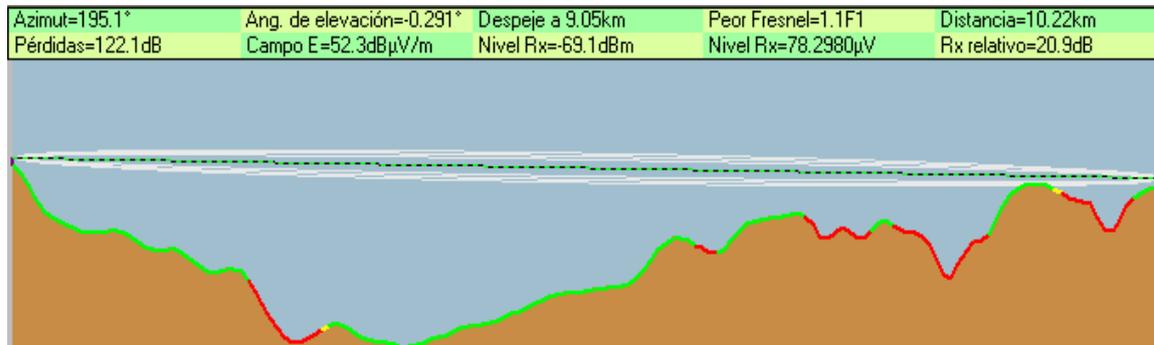


Figura. 4.39. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Simón Rodríguez

12. Jardín Tumbabiro

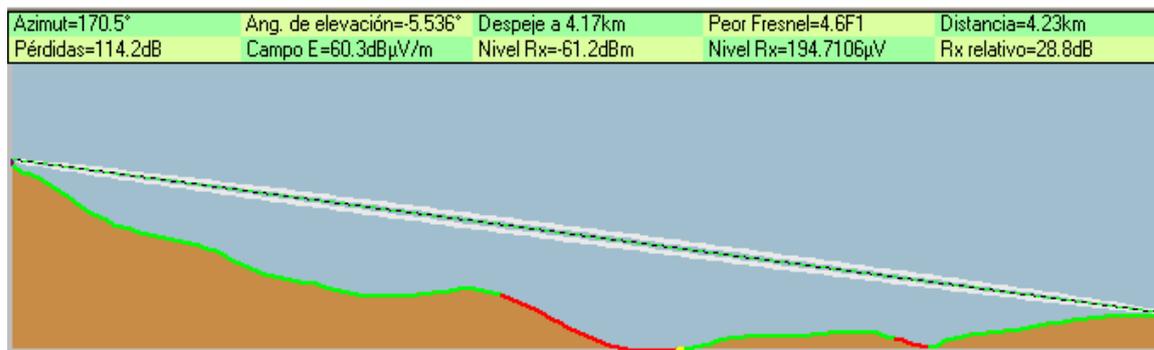


Figura. 4.40. Enlace entre el Repetidor 1 y el Jardín Tumbabiro

13. Escuela Aguas Calientes

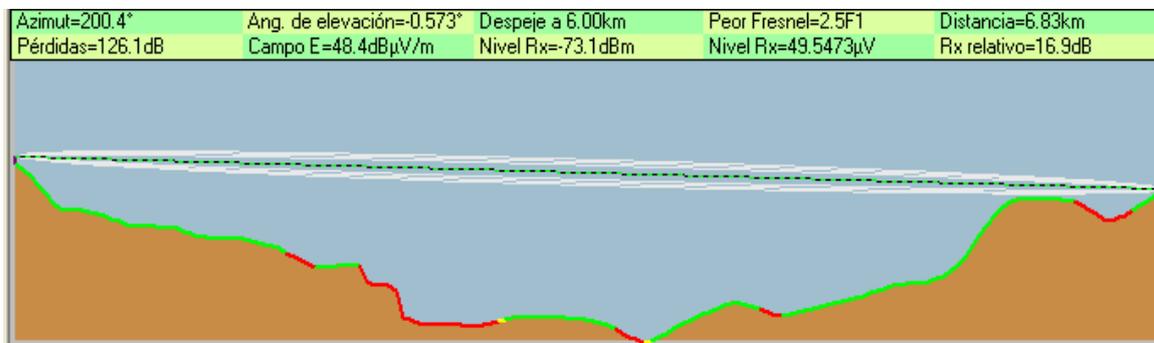


Figura. 4.41. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan Jacobo Rousseau

14. Escuela Jorge Carrera Andrade

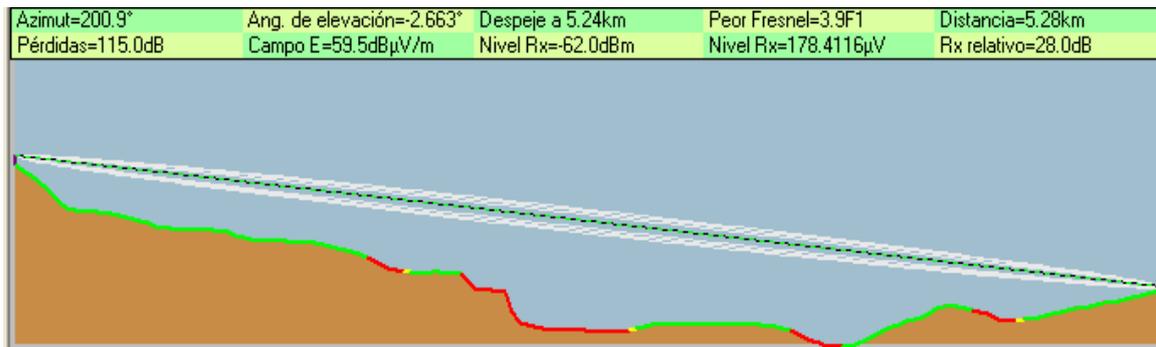


Figura. 4.42. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Jorge Carrera Andrade

15. Escuela Juan Jacobo Rousseau

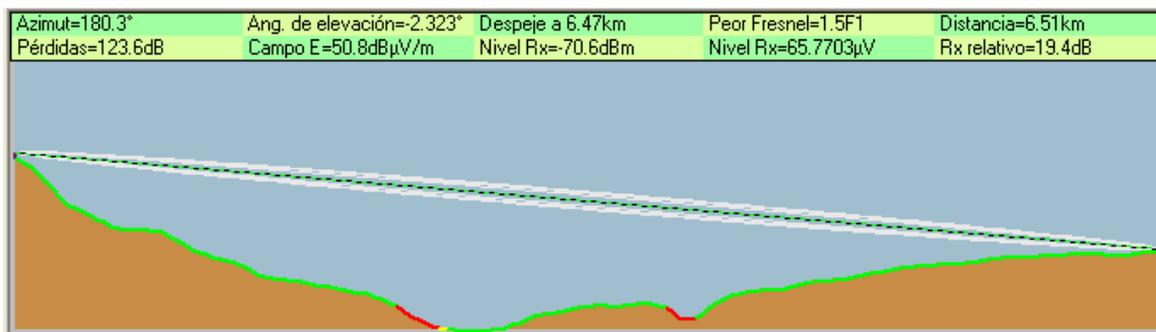


Figura. 4.43. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Juan Jacobo Rousseau

16. Escuela Vicente Rocafuerte

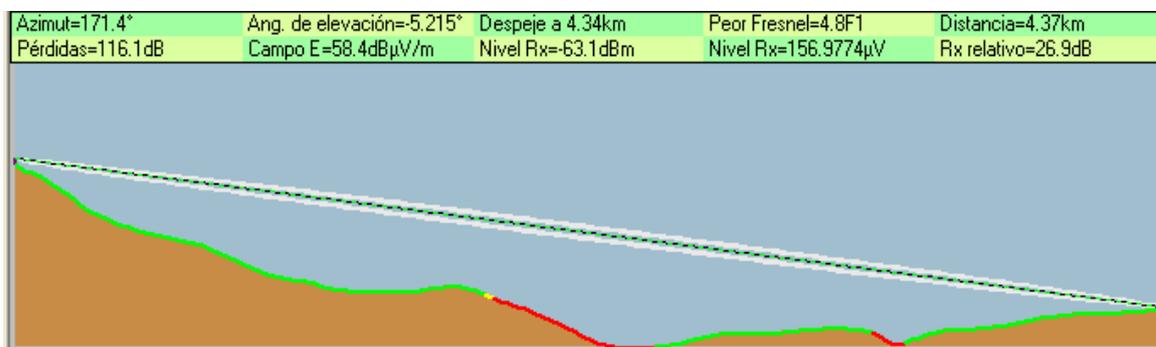


Figura. 4.44. Enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Vicente Rocafuerte

17. Junta Parroquial de Cahuasquí

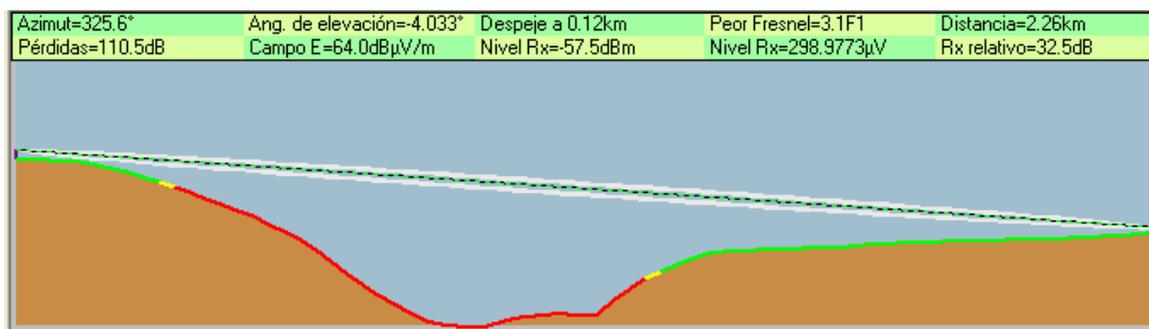


Figura. 4.45. Enlace entre el Repetidor 1 y la Junta Parroquial de Cahuasquí

18. Junta Parroquial de Tumbabiro

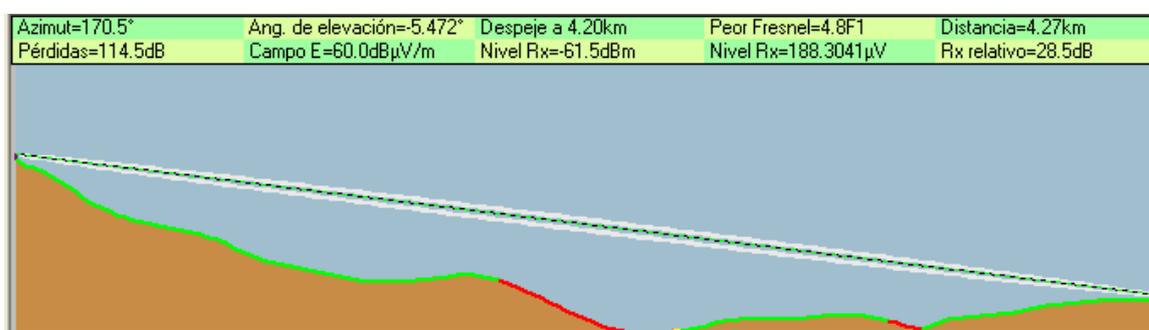


Figura. 4.46. Enlace entre el Repetidor 1 y la Junta Parroquial de Tumbabiro

Para poder tener un enlace entre el Repetidor 1 y la Escuela Simón Rodríguez es necesario que la antena de la escuela se encuentre a una altura de 15m a fin de dar cumplimiento al requisito del 60% de la primera zona de Fresnel y asegurar la disponibilidad del enlace.

En los Anexos 11 y 12 se detalla todo el esquema de la red de acceso del Repetidor 1.

Enlaces Adicionales

Para poder dar acceso a todos los centros educativos fue necesario realizar un enlace adicional a la red de acceso y de transporte. Como se mencionó antes para asegurar la disponibilidad del enlace en algunas escuelas es necesario colocar torres demasiado grandes produciendo costos excesivos para implementación del proyecto, es por esto que se tomo la decisión de acceder a esta institución desde otra con la que tenía una buena línea

de vista y a su vez esta institución tienen acceso a los repetidores descritos anteriormente. Para el enlace adicionales se utilizará la banda de frecuencias de 5725-5850MHz ya que se debe evitar cualquier clase de interferencia con la cobertura de los puntos de acceso.

El enlace adicional es entre la Escuela Simón Rodríguez y el Jardín de Infantes Iruguincho, ya que este Jardín no tiene línea de vista con ninguno de los puntos de acceso de las torres repetidoras, así que la única manera de hacer llegar el servicio de Internet a esta institución es utilizar a la Escuela Simón Rodríguez como repetidor. Para asegurar la disponibilidad del enlace es necesario que ambas instituciones ubiquen sus antenas a una altura de 9m. En la Figura. 4.47 se muestra el enlace.

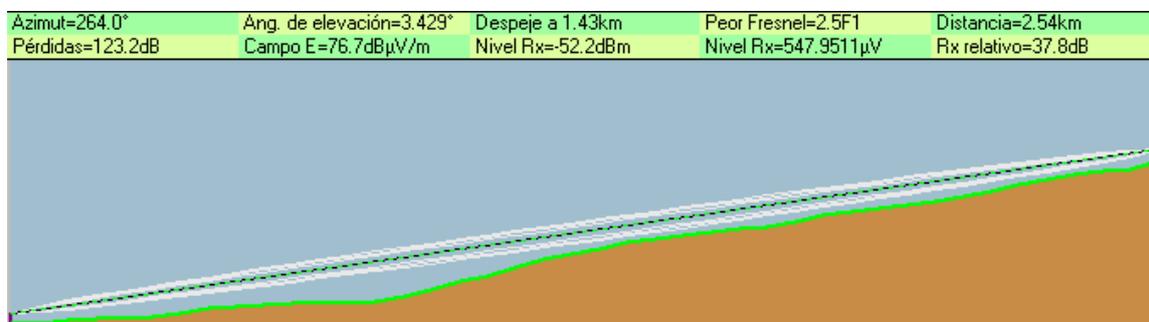


Figura. 4.47. Enlace Escuela Simón Rodríguez - Jardín Iruguincho

Todos los enlaces de la Red Inalámbrica, tanto de la red de acceso como de la red de transporte y enlaces adicionales, se pueden apreciar en la Figura 4.48. En esta figura se muestra la simulación de la Red Comunal Multisevicios Inalámbrica.

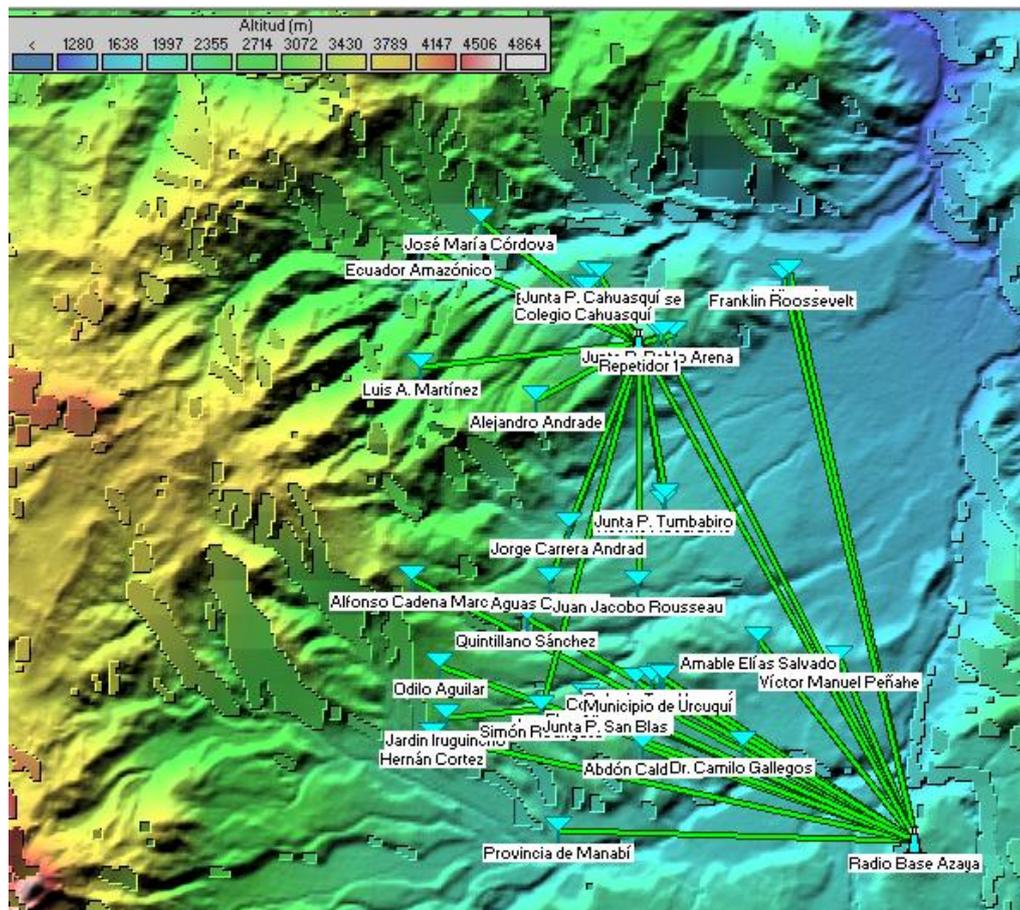


Figura. 4.48. Solución Inalámbrica

De todas las instituciones beneficiadas mostradas anteriormente no se pudo dar acceso mediante esta solución a la escuela Cecilia Barba de Jijón ubicada en la parroquia San Blas ni a las instituciones de la parroquia de Buenos Aires.

La configuración de las redes de acceso y transporte de la red WAN se muestran en el Anexo 13 junto con los equipos que se recomienda para implementar esta red.

4.1.2 Solución Satelital

Como se indico anteriormente un esquema de acceso usando repetidores satelitales y específicamente la tecnología VSAT solo será aceptable en caso de que no existe ningún otro medio para dar conectividad a una determinada posición geográfica. Este es el caso para algunas de las instituciones beneficiarias mostradas en la Tabla. 4.1.

Tabla. 4.1. Instituciones beneficiadas mediante acceso satelital

| No | Institución | Parroquia | Ubicación Poblado |
|----|----------------------------------|--------------|-------------------|
| 1 | Escuela 24 de Junio No. 2 | Buenos Aires | Buenos Aires |
| 2 | Escuela Boyacá | Buenos Aires | El Triunfo |
| 3 | Escuela Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires |
| 4 | Escuela Coronel Santacruz | Buenos Aires | San Luís |
| 5 | Escuela General Calicuchima | Buenos Aires | El Corazón |
| 6 | Escuela General José Mires | Buenos Aires | San Pedro |
| 7 | Escuela Nueva Granada | Buenos Aires | La Primavera |
| 8 | Escuela Sergio Enrique Loyo A. | Buenos Aires | San José |
| 9 | Colegio Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires |
| 10 | Junta Parroquial de Buenos Aires | Buenos Aires | Buenos Aires |
| 11 | Escuela Cecilia Barba de Jijón | San Blas | El Hospital |

Pero de este grupo de instituciones se agruparán las que se encuentran en la ciudad de Buenos Aires ya que estas poseen línea de vista entre sí por lo que se puede construir una pequeña red inalámbrica entre estas con el fin de reducir el número de estaciones VSAT necesarias y por lo tanto reducir los costos de operación de la red. La red es la que se muestra en la Figura. 4.49.

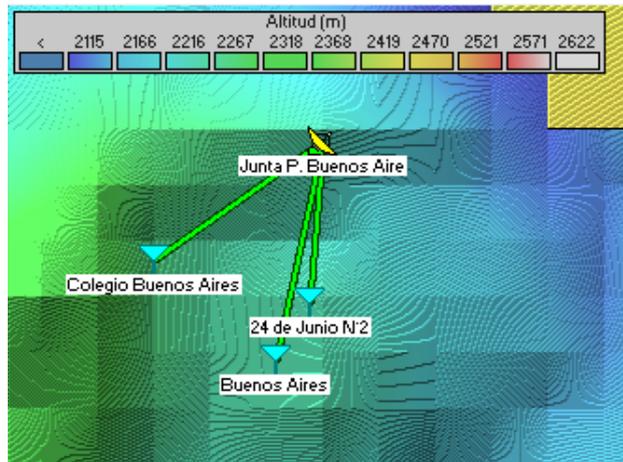


Figura. 4.49. Red de acceso para la ciudad de Buenos Aires

Para esta red se colocará el punto de acceso satelital en la Junta Parroquial de Buenos Aires y esta se encargará de repartir la señal a las instituciones educativas aledañas mediante una red de acceso similar a las redes de la Radio base Azaya el Repetidor 1, es decir trabajando en la banda de frecuencias de 2.4GHz y utilizando los mismos equipos. Los enlaces son los siguientes:

1. Escuela 24 de Junio N°2

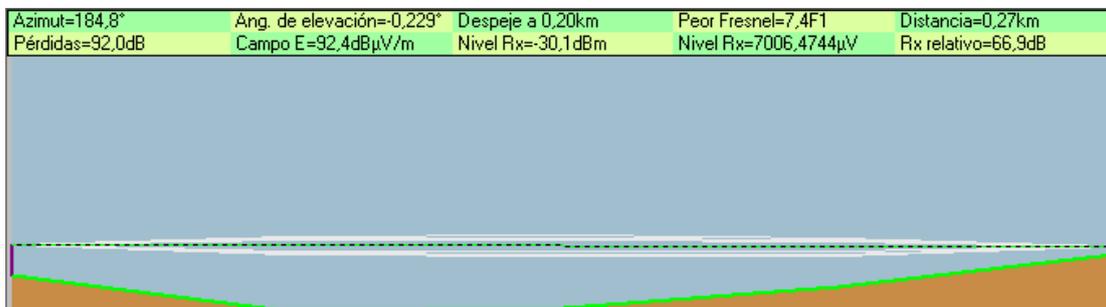


Figura. 4.50. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la Escuela 24 de Junio N°2

2. Escuela Buenos Aires

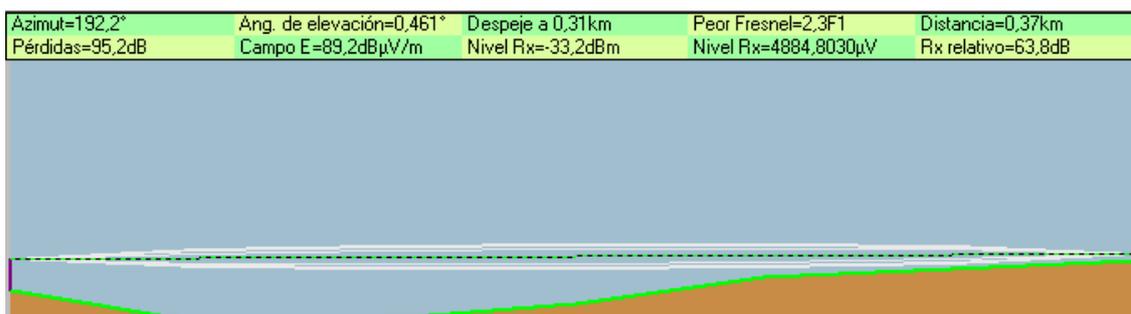


Figura. 4.51. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la Escuela Buenos Aires

3. Colegio Buenos Aires

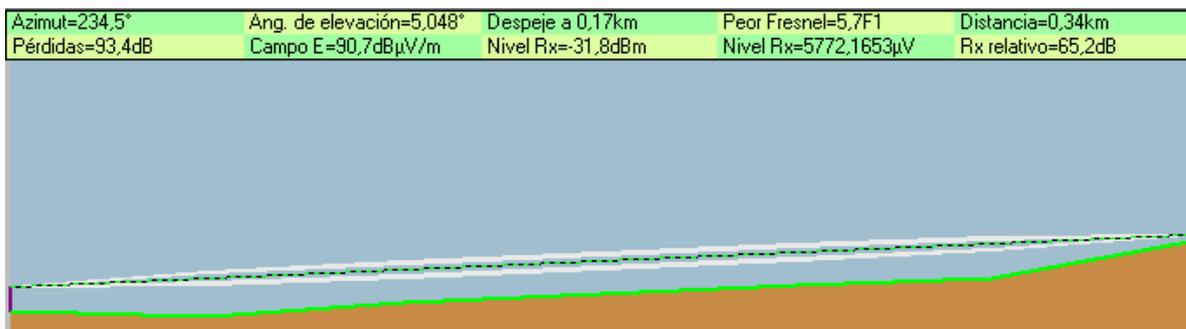


Figura. 4.52. Enlace entre la Junta Parroquial de Buenos Aires y la escuela 24 de Junio N°2

El esquema de la red de acceso de Buenos Aires se detalla en el Anexo 14 y la configuración de esta red se muestra en el Anexo 15. Además con la implementación de esta se reduce a 8 el número total de instituciones que requieren de acceso satelital con lo que se reducen los costos de operación de la red.

Existen dos formas de dar acceso satelital a un punto geográfico, la primera es contratar a un proveedor de segmento espacial que ya tenga establecida una red mediante un HUB satelital y la otra forma es comprar el HUB satelital y alquilar ancho de banda de algún satélite dispuesto para esto, con el fin de crear una red privada, pero el costo de un HUB satelital que solo disponga de las funciones básicas y para un pequeño número de usuarios se encuentra alrededor de los \$70000 y si a eso se le añade el costo del alquiler del satélite resultaría demasiado costo implementar una red privada de este tipo. Por esto es mejor buscar proveedores con capacidad satelital que garantice una velocidad de conexión constante para cada una de las instituciones beneficiarias.

Como se menciona antes, la solución satelital es sencilla, rápida para su implementación pero muy costosa ya que se debe pagar mensualmente a un proveedor satelital y los costos por este servicio en el país tienden a ser muy elevados.

Le diseño definitivo de la Red Comunal del cantón Urcuquí es el que se muestra en la Figura. 4.53 y en el Anexo 16 se muestra el esquema total de la red.

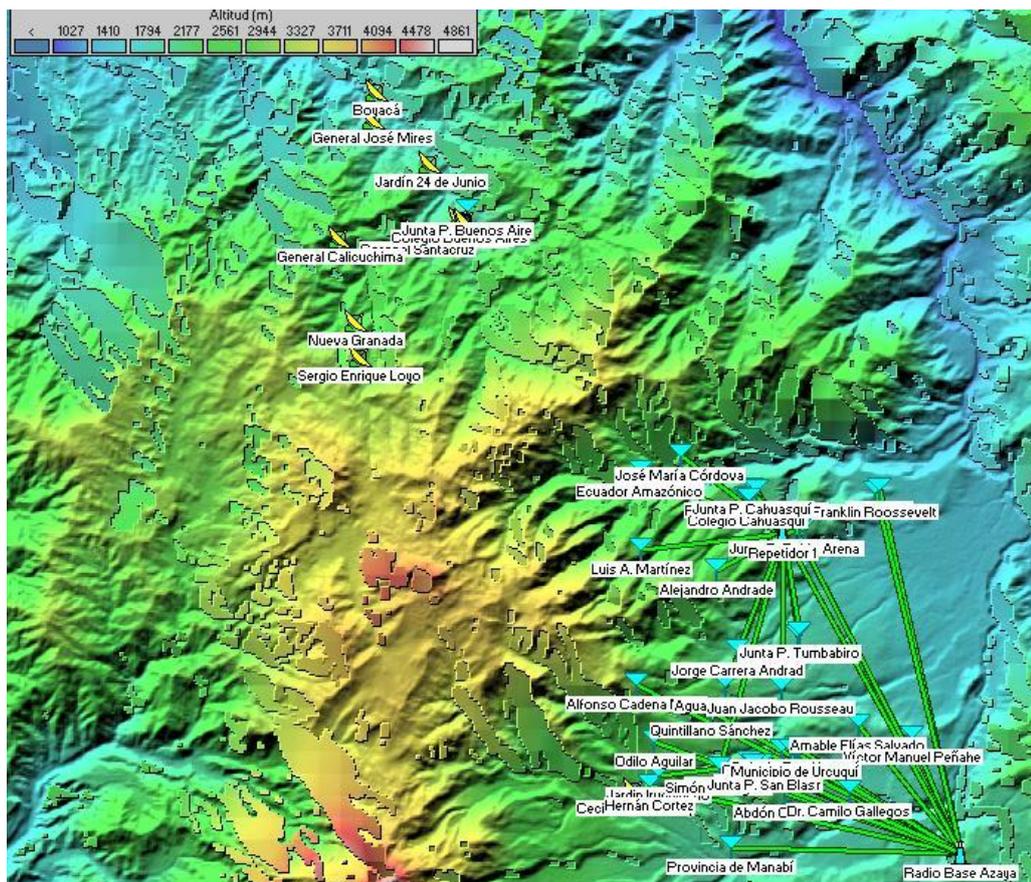


Figura. 4.53. Simulación total de la Red Comunal

En la Tabla. 4.2 se muestra un resumen de todos los enlaces diseñados para la red inalámbrica y para la red de la ciudad de Buenos Aires, este resumen es importante para realizar los cálculos de pérdidas y la selección de los equipos necesarios para la construcción de esta red.

Tabla. 4.2. Resumen de Radioenlaces de la Red

| No. | Punto de Acceso | Estación Final | | Tipo de Sistema | Frecuencia (MHz) | Distancia (Km) | Altura de la Torre |
|-----|------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| | | Nombre | Parroquia | | | | |
| 1 | Radio Base Azaya | Repetidor 1 | Pablo Arenas | P-P | 5725-5850 | 15.36 | 15-15 |
| 2 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes José Reyes Rosero | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 8.04 | 3 |
| 3 | Radio Base Azaya | Escuela Abdón Calderón | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 7.75 | 3 |

| No. | Punto de Acceso | Estación Final | | Tipo de Sistema | Frecuencia (MHz) | Distancia (Km) | Altura de la Torre |
|-----|------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| | | Nombre | Parroquia | | | | |
| 4 | Radio Base Azaya | Escuela Alfonso Cadena Marcillo | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 15.28 | 3 |
| 5 | Radio Base Azaya | Escuela Amable Elías Salvador | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 6.86 | 3 |
| 6 | Radio Base Azaya | Escuela Camilo Gallegos Domínguez | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 5.33 | 3 |
| 7 | Radio Base Azaya | Escuela Eugenio Espejo | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 8.31 | 3 |
| 8 | Radio Base Azaya | Escuela Provincia de Manabí | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 9.60 | 3 |
| 9 | Radio Base Azaya | Escuela Quintillano Sánchez | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 12.04 | 3 |
| 10 | Radio Base Azaya | Víctor Manuel Peñaherrera | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 5.31 | 3 |
| 11 | Radio Base Azaya | Colegio Luís Felipe Borja | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 8.65 | 3 |
| 12 | Radio Base Azaya | Colegio Urcuquí | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 8.18 | 3 |
| 13 | Radio Base Azaya | Municipio de Urcuquí | Urcuquí | P-MP | 2400-2483,5 | 8.10 | 3 |
| 14 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes La Victoria | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,5 | 15.63 | 3 |
| 15 | Radio Base Azaya | Escuela Franklin Roosvelt | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,5 | 15.61 | 3 |
| 16 | Radio Base Azaya | Junta Parroquial de Pablo Arenas | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,5 | 15.31 | 3 |
| 17 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes Alberto Amador | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 9.43 | 3 |
| 18 | Radio Base Azaya | Escuela Eloy Alfaro | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 9.64 | 3 |
| 19 | Radio Base Azaya | Escuela Hernán Cortez | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 13.27 | 3 |
| 20 | Radio Base Azaya | Escuela Odilo Aguilar | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 13.62 | 3 |
| 21 | Radio Base Azaya | Junta Parroquial de San Blas | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 9.10 | 3 |
| 22 | Repetidor 1 | Jardín 29 de Mayo | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 2.01 | 3 |

| No. | Punto de Acceso | Estación Final | | Tipo de Sistema | Frecuencia (MHz) | Distancia (Km) | Altura de la Torre |
|-----|------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| | | Nombre | Parroquia | | | | |
| 23 | Repetidor 1 | Escuela Ecuador Amazónico | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,6 | 6.47 | 3 |
| 24 | Repetidor 1 | Escuela Eduardo Garzón Fonseca | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 2.11 | 3 |
| 25 | Repetidor 1 | Escuela José María Córdova | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 5.37 | 3 |
| 26 | Repetidor 1 | Escuela Juan León Mera | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 2.14 | 3 |
| 27 | Repetidor 1 | Escuela Luis Alfredo Martínez | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 5.92 | 3 |
| 28 | Repetidor 1 | Colegio Cahuasquí | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 2.01 | 3 |
| 29 | Repetidor 1 | Junta Parroquial de Cahuasquí | Cahuasquí | P-MP | 2400-2483,5 | 2.26 | 3 |
| 30 | Repetidor 1 | Jardín de Infantes Pablo Arenas | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,5 | 0.69 | 3 |
| 31 | Repetidor 1 | Escuela 5 de Junio | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,5 | 0.96 | 3 |
| 32 | Repetidor 1 | Escuela Alejandro Andrade Coello | Pablo Arenas | P-MP | 2400-2483,6 | 3.17 | 3 |
| 33 | Repetidor 1 | Escuela Simón Rodríguez | San Blas | P-MP | 2400-2483,5 | 10.22 | 9 |
| 34 | Repetidor 1 | Jardín de Infantes Tumbabiro | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,5 | 4.23 | 3 |
| 35 | Repetidor 1 | Escuela Aguas Calientes | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,5 | 6.83 | 3 |
| 36 | Repetidor 1 | Escuela Jorge Carrera Andrade | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,5 | 5.28 | 3 |
| 37 | Repetidor 1 | Escuela Juan Jacobo Rousseau | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,5 | 6.51 | 3 |
| 38 | Repetidor 1 | Escuela Vicente Rocafuerte | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,5 | 4.37 | 3 |
| 39 | Repetidor 1 | Junta Parroquial de Tumbabiro | Tumbabiro | P-MP | 2400-2483,6 | 4.27 | 3 |
| 40 | Escuela Simón Rodríguez | Jardín de Infantes Iruquincho | San Blas | P-P | 2400-2483,5 | 2.54 | 9 |
| 41 | Junta Parroquia Buenos Aires | Escuela 24 de Junio N°2 | Buenos Aires | P-MP | 2400-2483,5 | 0.27 | 3 |

| No. | Punto de Acceso | Estación Final | | Tipo de Sistema | Frecuencia (MHz) | Distancia (Km) | Altura de la Torre |
|-----|------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| | | Nombre | Parroquia | | | | |
| 42 | Junta Parroquia Buenos Aires | Colegio Buenos Aires | Buenos Aires | P-MP | 2400-2483,5 | 0.37 | 3 |
| 43 | Junta Parroquia Buenos Aires | Escuela Buenos Aires | Buenos Aires | P-MP | 2400-2483,5 | 0.34 | 3 |

Adicionalmente a estos enlaces existen los ocho enlaces satelitales para las instituciones a las que no se pudo dar acceso con la red inalámbrica.

4.1.3 Cálculos de Ganancias y Potencias

Para realizar los cálculos de las ganancias y potencias necesarias para este proyecto se utilizará el programa Radio Mobile ya que este programa puede determinar el margen de desvanecimiento y el nivel de recepción de la señal a partir de datos reales de equipos. Las características de los equipos son las siguientes:

Estación Base

Potencia: 23dBm=200mW

Ganancia de la antena: 17dBi, sectorial de 120°

PIRE⁶: 10.02W

Sensibilidad: -90dBm

Subscriptor

Potencia: 23dBm=200mW

Ganancia de la antena: 24dBi, directiva

PIRE: 50.24W

Sensibilidad: -90dBm

Estos datos fueron tomados de un equipo con buenas características capaz de cubrir hasta 16Km en sistemas punto – multipunto, cabe mencionar que se están utilizando las características máximas de potencia y sensibilidad de recepción del equipo por lo que este no podrá trabajar a velocidades mayores a 1Mbps, sin embargo esta velocidad cubre las necesidades de una unidad educativa.

⁶ Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: producto de la ganancia de la antena por la potencia de salida del equipo expresada en Vatios.

Radio Mobile es capaz de calcular las pérdidas en espacio libre, pérdidas estadísticas y pérdidas dependiendo del terreno, por ejemplo bosque o ciudad, después de ingresar todos los datos al programa de simulación Radio Mobile (como se mostrará posteriormente en la sección 4.5) se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla. 4.3.

Tabla. 4.3. Cálculo de Margen de Desvanecimiento en Cada Enlace

| No | Estación 1 | Estación 2 | Perdidas Espacio Libre | Pérdidas Totales | Nivel Rx | Rx Relativo (Margen D.) |
|----|------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------|-------------------------|
| 1 | Radio Base Azaya | Repetidor 1 | 131.44 | 136.9 | -71.3 | 25.7 |
| 2 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes José Reyes Rosero | 118.45 | 121.2 | -61.8 | 35.2 |
| 3 | Radio Base Azaya | Escuela Abdón Calderón | 118.13 | 121.0 | -61.8 | 35.2 |
| 4 | Radio Base Azaya | Escuela Alfonso Cadena Marcillo | 124.02 | 130.0 | -70.6 | 26.4 |
| 5 | Radio Base Azaya | Escuela Amable Elías Salvador | 117.07 | 122.2 | -62.7 | 34.3 |
| 6 | Radio Base Azaya | Escuela Camilo Gallegos Domínguez | 114.88 | 120.1 | -60.7 | 36.3 |
| 7 | Radio Base Azaya | Escuela Eugenio Espejo | 118.73 | 124.1 | -64.7 | 32.3 |
| 8 | Radio Base Azaya | Escuela Provincia de Manabí | 119.99 | 120.6 | -61.8 | 35.2 |
| 9 | Radio Base Azaya | Escuela Quintillano Sánchez | 121.95 | 124.5 | -65.1 | 31.9 |
| 10 | Radio Base Azaya | Víctor Manuel Peñaherrera | 114.84 | 116.4 | -57.0 | 40.0 |
| 11 | Radio Base Azaya | Colegio Luís Felipe Borja | 119.08 | 121.2 | -61.8 | 35.2 |
| 12 | Radio Base Azaya | Colegio Urcuquí | 118.60 | 120.6 | -61.2 | 35.8 |
| 13 | Radio Base Azaya | Municipio de Urcuquí | 118.51 | 125.4 | -66.0 | 31.0 |
| 14 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes La Victoria | 124.22 | 126.6 | -67.4 | 29.6 |
| 15 | Radio Base | Escuela Franklin | 124.21 | 128.4 | -69.1 | 27.9 |

| No | Estación 1 | Estación 2 | Perdidas Espacio Libre | Pérdidas Totales | Nivel Rx | Rx Relativo (Margen D.) |
|----|------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|----------|-------------------------|
| | Azaya | Roosvelt | | | | |
| 16 | Radio Base Azaya | Junta Parroquial de Pablo Arenas | 124.04 | 130.2 | -70.8 | 26.2 |
| 17 | Radio Base Azaya | Jardín de Infantes Alberto Amador | 119.83 | 128.0 | -68.8 | 28.2 |
| 18 | Radio Base Azaya | Escuela Eloy Alfaro | 120.02 | 124.8 | -65.5 | 31.5 |
| 19 | Radio Base Azaya | Escuela Hernán Cortez | 122.80 | 125.8 | -66.7 | 30.3 |
| 20 | Radio Base Azaya | Escuela Odilo Aguilar | 123.02 | 128.2 | -69.0 | 28.0 |
| 21 | Radio Base Azaya | Junta Parroquial de San Blas | 119.52 | 127.8 | -68.5 | 28.5 |
| 22 | Repetidor 1 | Jardín 29 de Mayo | 106.41 | 109.1 | -57.1 | 39.9 |
| 23 | Repetidor 1 | Escuela Ecuador Amazónico | 116.56 | 119.6 | -67.6 | 29.4 |
| 24 | Repetidor 1 | Escuela Eduardo Garzón Fonseca | 106.83 | 109.3 | -57.2 | 39.8 |
| 25 | Repetidor 1 | Escuela José María Córdova | 114.94 | 117.3 | -65.2 | 31.8 |
| 26 | Repetidor 1 | Escuela Juan León Mera | 106.95 | 112.5 | -60.5 | 36.5 |
| 27 | Repetidor 1 | Escuela Luis Alfredo Martínez | 115.79 | 122.0 | -70.3 | 26.7 |
| 28 | Repetidor 1 | Colegio Cahuasquí | 106.41 | 109.6 | -57.6 | 39.4 |
| 29 | Repetidor 1 | Junta Parroquial de Cahuasquí | 107.42 | 109.8 | -57.8 | 39.2 |
| 30 | Repetidor 1 | Jardín de Infantes Pablo Arenas | 97.12 | 101.2 | -49.2 | 47.8 |
| 31 | Repetidor 1 | Escuela 5 de Junio | 99.99 | 103.1 | -51.1 | 45.9 |
| 32 | Repetidor 1 | Escuela Alejandro Andrade Coello | 110.36 | 114.0 | -68.0 | 29.0 |
| 33 | Repetidor 1 | Escuela Simón Rodríguez | 120.53 | 124.9 | -73.5 | 23.5 |
| 34 | Repetidor 1 | Jardín de Infantes Tumbabiro | 112.87 | 117.3 | -65.2 | 31.8 |

| No | Estación 1 | Estación 2 | Perdidas Espacio Libre | Pérdidas Totales | Nivel Rx | Rx Relativo (Margen D.) |
|----|------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|----------|-------------------------|
| 35 | Repetidor 1 | Escuela Aguas Calientes | 117.03 | 119.9 | -67.9 | 29.1 |
| 36 | Repetidor 1 | Escuela Jorge Carrera Andrade | 114.79 | 115.8 | -63.8 | 33.2 |
| 37 | Repetidor 1 | Escuela Juan Jacobo Rousseau | 116.61 | 117.6 | -65.6 | 31.4 |
| 38 | Repetidor 1 | Escuela Vicente Rocafuerte | 113.15 | 119.2 | -67.2 | 29.8 |
| 39 | Repetidor 1 | Junta Parroquial de Tumbabiro | 112.95 | 115.1 | -63.1 | 33.9 |
| 40 | Escuela Simón Rodríguez | Jardín de Infantes Iruquincho | 108.44 | 123.2 | -55.8 | 41.2 |
| 41 | Junta Parroquia Buenos Aires | Escuela 24 de Junio N°2 | 88,97 | 92 | -30.1 | 66.9 |
| 42 | Junta Parroquia Buenos Aires | Colegio Buenos Aires | 91,71 | 95,2 | -33.2 | 63.8 |
| 43 | Junta Parroquia Buenos Aires | Escuela Buenos Aires | 90,97 | 93,4 | -31.8 | 65.2 |

Como se puede apreciar en la tabla anterior todos los enlaces superan los 20dB mínimos de margen de desvanecimiento por lo que se comprueba que las características de los equipos existentes son suficientes para la implementación de esta red comunal. Los valores de Nivel Rx y Rx Relativo mostrados en la tabla son los resultados de la simulación con Radio Mobile.

4.2 COBERTURA DE LA RED

Como se menciono anteriormente los puntos de acceso de la Radio base Azaya y los repetidores usarán antenas sectoriales, pero para reducir costos de operación solo se colocaran las antenas que sean necesarias para cubrir las instituciones, sin embargo con el fin de analizar toda el área que puede cubrir un punto de acceso se asumirá que en este se han colocado antenas sectoriales para cubrir los 360° de la zona. A fin de determinar las zonas a las que influenciará esta red primero se realiza un análisis del área de cobertura que tendrá cada una de las repetidoras y según esto se determinará a que poblaciones tiene

acceso la red comunal. En la Figura. 4.50 se puede observar el área de cobertura que posee la Radio base Azaya, esta tiene un buen alcance sobre la ciudad de Urucuquí y alrededores por lo que con esta se cubre aproximadamente un 50% de la instituciones a ser beneficiadas y además se tiene cobertura sobre una gran porción de la ciudad de Ibarra, por lo que podría ser utilizada para implementar una red comunitaria sobre dicha ciudad. Pero como este proyecto se enfoca solo al cantón San Miguel de Urucuquí entonces se usarán solamente antenas sectoriales (en este caso dos de 90°) para dar cobertura a la zona de interés. Cabe mencionar que para dar una cobertura total de 360° grados solo es necesario aumentar las antenas sectoriales faltantes.

La Radio base Azaya tiene una zona de influencia sobre las parroquias Urucuquí, Pablo Arenas, San Blas y Tumbabiro del cantón San Miguel de Urucuquí, la parroquia Ibarra del Cantón Ibarra, y parte de la parroquia Imantag del Cantón Cotacachi, todos estos cantones se encuentran en la provincia de Imbabura.

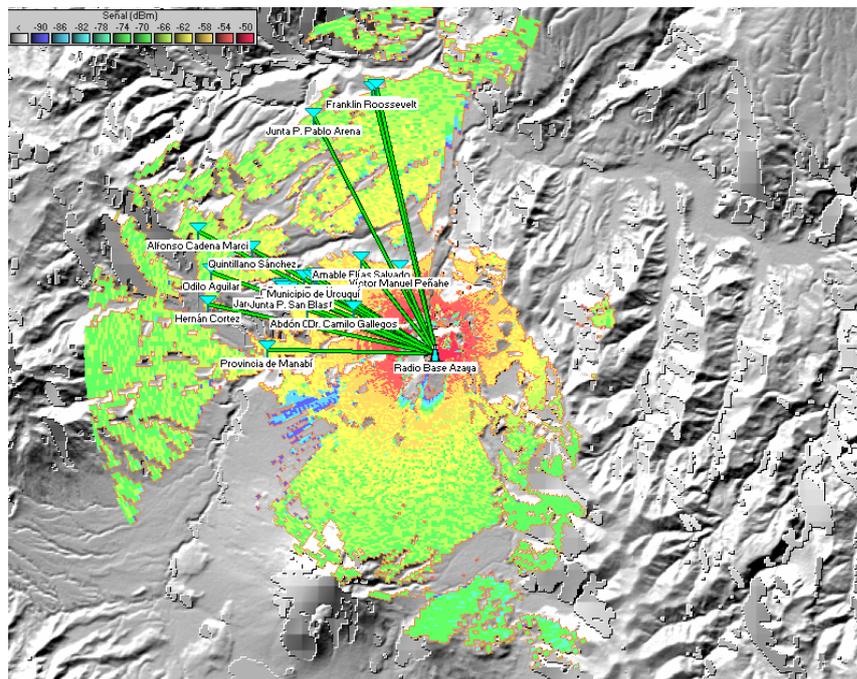


Figura. 4.54. Zona de Influencia de la Radio base Azaya

En la Figura. 4.51 se muestra que el Repetidor 1 tiene una zona de influencia sobre las parroquias Urucuquí, Tumbabiro y Pablo Arenas al igual que la Radio base Azaya pero adicionalmente alcanza a la parroquia de Cahuasquí.

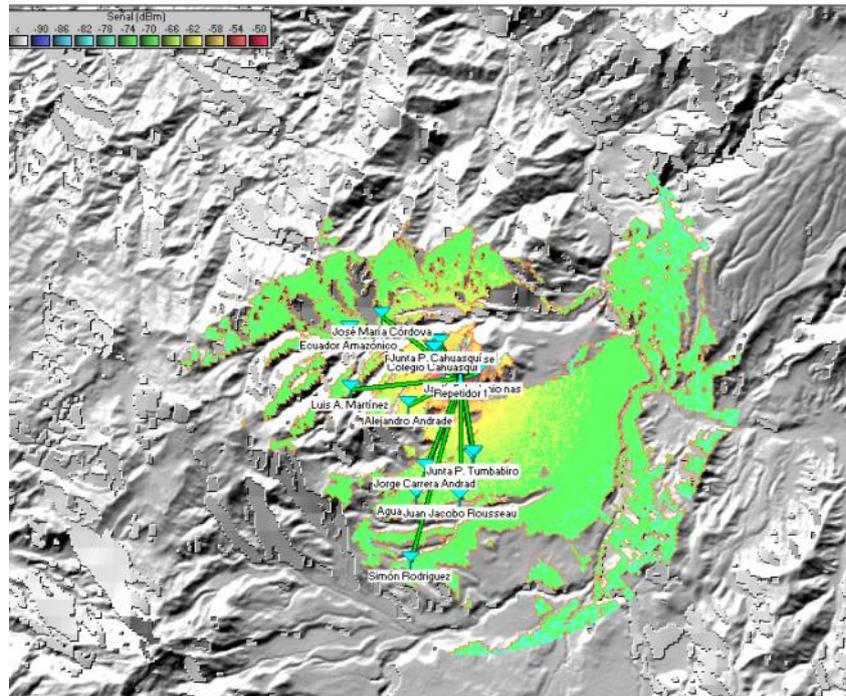


Figura. 4.55. Zona de Influencia del Repetidor 1

Analizando las figuras anteriores se puede determinar que la red a comunal tendrá cobertura sobre el 50% del cantón aproximadamente, en especial en las zona pobladas, además esta red tiene influencia sobre las parroquias correspondiente a otros cantones, como se menciona anteriormente. La zona de influencia total es la que se muestra en la Figura. 4.52.

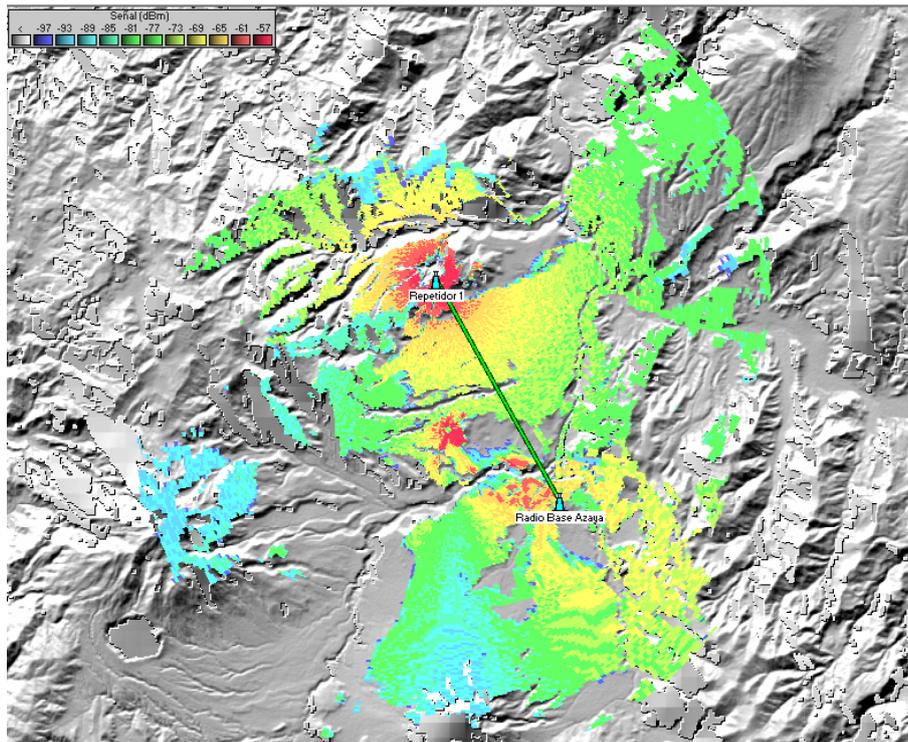


Figura. 4.56. Zona de Influencia Total

Sin embargo este proyecto no pudo alcanzar la expectativa de cubrir al cantón en su totalidad debido a que las zonas más remotas son demasiado montañosas y por lo tanto las radio bases que se coloquen no tendrán línea de vista con este sector. Pero en este sector se utilizará acceso satelital con lo que se puede dar acceso a Internet a todas las instituciones beneficiarias. No se toma en cuenta la pequeña radio base existente en la ciudad de Buenos Aires ya que esta es exclusiva para dicha ciudad y la conexión a Internet se realiza mediante acceso satelital por lo que el ancho de banda es muy limitado para esta red.

4.3 CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA REQUERIDO

Para realizar el análisis del tráfico de datos de la Red Comunal es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros como el número de computadoras que se van a utilizar, la cantidad de ancho de banda que se va a dar a cada computadora, el porcentaje de ocupación que tienes estas, es decir el porcentaje de horas que la computadora va a acceder a Internet en un día y el ancho de banda necesario para cada computadora. Este último depende de los programas que se vayan a usar y cuanto ancho de banda requiera cada programa. La aplicación más usada es el Internet Explorer y asumiendo que solo será

usado para realizar consultas del tipo académico no es necesario demasiado ancho de banda para cada computadora.

En vista de los factores antes descritos el FODETEL y el Fondo de Solidaridad han considerado que es apropiado realizar la asignación de ancho de banda y número de computadoras a cada institución, en función del número de alumnos, de la forma como se muestra en la Tabla. 4.4 utilizando una compartición de 4 a 1 para el uso de Internet. Se determino que esta compartición es suficiente ya que solo en el peor de los casos se utilizará el máximo ancho de banda asignado a cada computadora al mismo tiempo y esto es muy improbable que suceda.

Tabla. 4.4. Número de Computadoras y Ancho de Banda en Función del Número de Alumnos

| Alumnos | Internet Requerido (Kbps) | Computadoras |
|----------------|----------------------------------|---------------------|
| 10 a 30 | 128 | 2 |
| 31 a 100 | 128 | 3 |
| 101 a 300 | 128 | 10 |
| 301 a 600 | 256 | 15 |
| 601 a 1000 | 512 | 20 |
| 1001 a 3000 | 512 | 40 |
| 3001 o más | 1.024 | 40 |

Además se ha establecido que es adecuado brindar una velocidad de acceso a Internet de 128Kbps para las instituciones gubernamentales como el Municipio y las Juntas Parroquiales del cantón San Miguel de Urucuquí, debido a que estas instituciones podrían hacer uso de programas que consuman mayor ancho de banda como los que se usaría para el monitoreo de la red o aplicaciones de gobierno electrónico.

Se debe calcular por separado el ancho de banda necesario para la solución inalámbrica y el necesario para la solución satelital.

En la Tabla. 4.5 se detalla en ancho de banda necesario para cada institución educativa, gubernamental de la solución inalámbrica.

Tabla. 4.5. Estudio de Tráfico del Escenario Inalámbrico

| No. | Centro Educativo | Alumnos | Número de Computadoras | Ancho de Banda |
|-----|--------------------------------|---------|------------------------|----------------|
| 1 | Jardín José Reyes Rosero | 112 | 10 | 128 |
| 2 | Abdón Calderón | 431 | 15 | 256 |
| 3 | Alfonso Cadena Marcillo | 19 | 2 | 128 |
| 4 | Dr. Camilo Gallegos Domínguez | 37 | 3 | 128 |
| 5 | Eugenio Espejo | 208 | 10 | 128 |
| 6 | Provincia de Manabí | 9 | 1 | 128 |
| 7 | Quintillano Sánchez | 25 | 2 | 128 |
| 8 | Víctor Manuel Peñaherrera N°.2 | 22 | 2 | 128 |
| 9 | Colegio Luis Felipe Borja | 106 | 10 | 128 |
| 10 | Colegio Urcuquí | 596 | 15 | 256 |
| 11 | Jardín 29 de Mayo | 16 | 2 | 128 |
| 12 | Ecuador Amazónico | 32 | 3 | 128 |
| 13 | Eduardo Garzón Fonseca | 7 | 1 | 128 |
| 14 | José María Córdova | 33 | 3 | 128 |
| 15 | Juan León Mera | 145 | 10 | 128 |
| 16 | Luis Alfredo Martínez | 40 | 3 | 128 |
| 17 | Colegio Cahuasquí | 95 | 3 | 128 |
| 18 | Jardín La Victoria | 18 | 2 | 128 |
| 19 | 5 de Junio | 164 | 10 | 128 |
| 20 | Alejandro Andrade Coello | 14 | 2 | 128 |
| 21 | Franklin Roosevelt | 86 | 3 | 128 |
| 22 | Jardín Alberto Amador | 37 | 3 | 128 |
| 23 | Jardín Iruguincho | 10 | 2 | 128 |
| 24 | Jardín Pablo Arenas | 25 | 2 | 128 |
| 25 | Eloy Alfaro | 214 | 10 | 128 |
| 26 | Hernán Cortez | 42 | 3 | 128 |
| 27 | Odilo Aguilar | 40 | 3 | 128 |
| 28 | Simón Rodríguez | 28 | 2 | 128 |
| 29 | Jardín Tumbabiro | 20 | 2 | 128 |
| 30 | Aguas Calientes | 22 | 2 | 128 |
| 31 | Jorge Carrera Andrade | 36 | 3 | 128 |

| No. | Centro Educativo | Alumnos | Número de Computadoras | Ancho de Banda |
|-----|--------------------------|---------|------------------------|----------------|
| 32 | Juan Jacobo Rousseau | 10 | 2 | 128 |
| 33 | Vicente Rocafuerte | 109 | 10 | 128 |
| 34 | Municipio de Urcuquí | - | - | 128 |
| 35 | Junta P. de Buenos Aires | - | - | 128 |
| 36 | Junta P. de Cahuasquí | - | - | 128 |
| 37 | Junta P. de Pablo Arenas | - | - | 128 |
| 38 | Junta P. de San Blas | - | - | 128 |
| 39 | Junta P. de Tumbabiro | - | - | 128 |
| | TOTAL | | 156 | 5248 |

Para la solución inalámbrica son necesarios 5248Kbps de ancho de banda si se utilizara un ancho de banda de 128Kbps dedicados para cada institución, pero como se recomienda una compartición de 4 a 1 entonces se debe dividir el ancho de banda total para 4, por lo que son necesarios 1312Kbps para satisfacer la demanda de este proyecto. Sin embargo a fin de poder asegurar la calidad del servicio, posibilitar la expansión de la red y facilitar los planes de sostenibilidad este valor se lo aproximará a un E1, es decir 2048Kbps. A las escuelas que requieren de acceso satelital se proporcionará un ancho de banda menor que para el resto de escuelas ya que los costos de esta tecnología de acceso son mayores. En la Tabla. 4.5 se detalla en ancho de banda necesario para cada institución educativa, gubernamental de la solución satelital.

Tabla. 4.6. Estudio de Tráfico del Escenario Satelital

| No. | Centro Educativo | Alumnos | Número de Computadoras | Ancho de Banda |
|-----|------------------------------------|---------|------------------------|----------------|
| 1 | Red de la Junta P. de Buenos Aires | 182 | 15 | 256 |
| 2 | Boyacá | 24 | 2 | 64 |
| 3 | Coronel Santacruz | 17 | 2 | 64 |
| 4 | General Calicuchima | 33 | 3 | 64 |
| 5 | General José Mires | 27 | 2 | 64 |
| 6 | Nueva Granada | 27 | 2 | 64 |
| 7 | Sergio Enrique Loyo A. | 21 | 2 | 64 |
| 8 | Cecilia Barba de Jijón | 30 | 2 | 64 |
| | TOTAL | | 32 | 960 |

El ancho de banda para esta solución será contratado individualmente para cada institución y su nivel de compartición estará en manos del proveedor satelital. La Red de la Junta Parroquial de Buenos Aires incluye los alumnos y computadoras de las escuelas 24 de Junio N°2, Buenos Aires y el Colegio Buenos Aires.

La escalabilidad o expansión de la red estará en función de la tecnología y de los equipos que se usen para la implementación de esta. Sin embargo como se explicó en el capítulo 2, cualquiera de estas tecnologías es capaz de sustentar esta demanda de ancho de banda, la mayoría dispone de equipamiento que fácilmente alcanza velocidades de 10, 20, 50Mbps e incluso mayores con lo que se podría llegar incrementar la capacidad de la red hasta 25 veces, haciendo que la vida útil de la red se extienda más allá de 10 años, pero todo esto depende de los costos de los equipos para la implantación, de los costos del servicio de Internet y de la capacidad que tenga el ISP a futuro.

4.4 CONFIGURACIÓN DE LA RED LAN

La configuración de una red de área local es muy sencilla ya que la mayoría de los *routers* inalámbricos o normales poseen DHCP (Protocolo Dinámico de Configuración de Anfitrión), este protocolo se encarga de asignar dinámicamente direcciones IP a cada dispositivo que se conecte al *router*.

Sin embargo usar esta configuración añade el riesgo de intromisiones en la red, en especial en las redes inalámbricas, por lo que es recomendable desactivar el DHCP de los *routers* y proceder a configurar manualmente las direcciones IP de cada uno de los equipos que formen parte de la red.

La dirección IP de red que se asigna comúnmente a una red privada es 198.162.100.0, pero por motivos de seguridad la dirección de red y de los equipos que se recomienda usar la dirección de red que se muestra en la Tabla. 9.1, esta es una dirección IP para redes privadas tomada al azar con el fin de dificultar las intromisiones a la red LAN.

Tabla. 4.7. Direcciones para la red LAN

| Elemento de Red | Dirección IP |
|-----------------|-----------------|
| Gateway | 192.170.155.0 |
| PC1 | 192.170.155.1 |
| PC2 | 192.170.155.10 |
| PC3 | 192.170.155.11 |
| ... | 192.170.155... |
| Broadcast | 192.170.155.255 |

Ya que estas son direcciones de red clase C la Máscara de red será 255.255.255.0, por lo que se tendrá un máximo de 254 usuarios lo que es un número difícil de superar para una institución educativa primaria o secundaria.

4.5 SOFTWARE DE SIMULACIÓN RADIO MOBILE

Para realizar las simulaciones de este proyecto se ha utilizado el programa Radio Mobile que es un software libre (no requiere licencia) diseñado especialmente para predecir el desempeño de radio enlaces en el exterior, a largas distancias y en terrenos irregulares, por lo que es ideal para este proyecto.

4.5.1 Radio Mobile

Es un software gratuito desarrollado por Roger Coudé, este fue diseñado en un principio para proporcionar a los radioaficionados una manera fácil y económica de simular y analizar sus sistemas de comunicaciones en las bandas VHF y UHF.

Después de su gran acogida el software Radio Mobile fue evolucionando hasta convertirse en una poderosa herramienta usada por profesionales para el análisis de sistemas inalámbricos de telecomunicaciones móviles y fijas, llegando a ser muy útil para predecir las atenuaciones en las señales de redes WLAN, WMAN y WWAN.

Además este programa cuenta con varias utilidades de apoyo como son el cálculo de perfiles, áreas de cobertura de radio polar y radio cartesianas, cálculo de atenuaciones en las líneas de transmisión, etc.

Para que este programa pueda realizar su trabajo se requiere de mapas digitalizados con datos de elevación y que estén referenciados geográficamente, en el Internet existen datos de elevación disponibles de casi todo el mundo en distintos formatos.

Los datos de elevación también se usan para producir mapas virtuales en relieve ya que el programa proporciona vistas en 3D, estereoscópicas y animación. Se puede superponer una imagen en relieve con otro mapa escaneado, foto de satélite, etc. para obtener simulaciones más realistas.

Cabe mencionar que Radio Mobile permite ingresar como parámetros todas las características técnicas de los equipos que se pretende usar en la realidad, por lo que refleja de manera casi exacta el comportamiento de un sistema de telecomunicaciones real.

4.5.2 Funcionamiento del Software

El programa Radio Mobile utiliza el Modelo de Terreno Irregular (ITM siglas en ingles) para realizar las simulaciones. El modelo ITM es un modelo de propósito general basado en la teoría electromagnética y el análisis estadístico de las características del terreno. Este modelo es válido en un rango de 20MHz A 20GHz y distancias entre 1 y 2000km, por lo que es útil para simular un gran número de aplicaciones y servicios inalámbricos.

A fin de realizar la simulación el usuario debe tener los siguientes requerimientos:

- Coordenadas geográficas de los sitios donde se ubicaran los puntos de acceso o los usuarios.
- Tener los mapas digitales con datos de elevación, de los respectivos sitios.
- Especificaciones técnicas de los equipos, cables y la altura de las estructuras donde se colocarán las antenas.
- Información del tipo de terreno y clima del área (para realizar una simulación más precisa).

Un tipo de cartografía digital muy usada para Latinoamérica es la SRMT (siglas en ingles de *Shuttle Radar Topography Mission*) la cual posee imágenes de radar con una resolución de 30 a 90metros, Latinoamérica se encuentra muestreada con 3arcosegundos y es una cartografía gratuita fácil de descargar de Internet.

4.5.3 Simulación en Radio Mobile

Como ejemplo para la simulación se va a usar el radio enlace entre la Radio base-Azaya y la escuela Abdón Calderón de la parroquia de Urcuquí.

Propiedades de las unidades

En primer lugar se debe ingresar la ubicación geográfica de las estructuras, para esto se debe acceder a la ventana de configuración de las propiedades de las unidades como se indica en la Figura. 4.53 e ingresar el nombre de cada unidad.

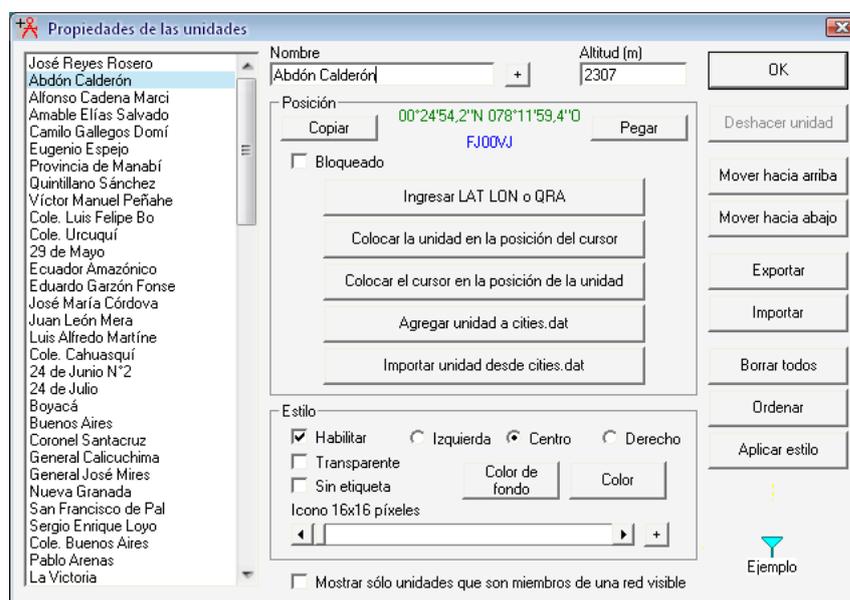


Figura. 4.57. Ingreso de nombre de las unidades

Luego de indicar el nombre de la unidad se debe establecer las coordenadas geográficas de esta mediante el botón “Ingresar LAT LONG o QRA”, como se indica en la Figura. 4.54, estas coordenadas se encuentran en formato WGS84.

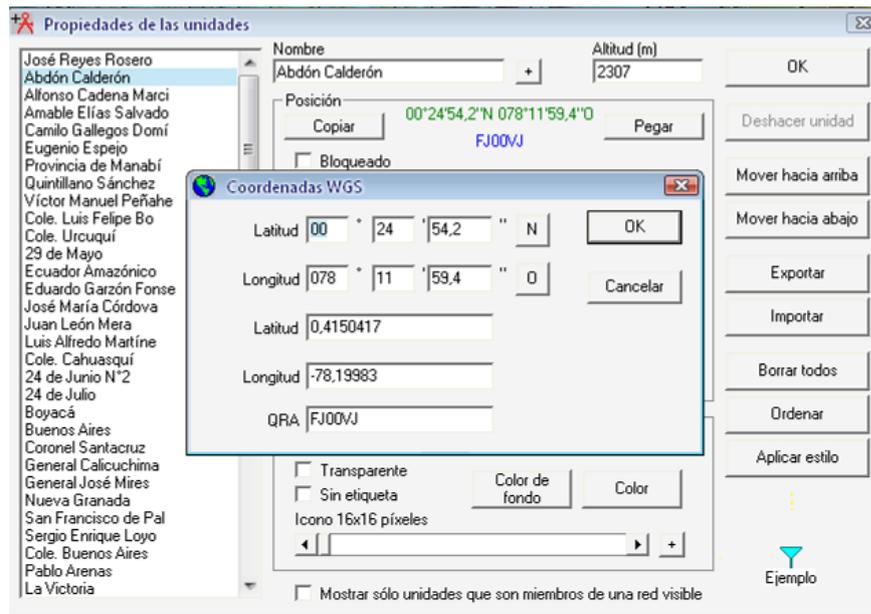


Figura. 4.58. Ingreso de Coordenadas Geográficas

Propiedades de las redes

Después de tener colocadas las unidades dentro del mapa, se procede a configurar las redes, en este caso para unir las dos unidades mencionadas se usará la Red Acceso Azaya.

Como se aprecia en la Figura. 4.59 existen varios campos en los cuales se pueden ingresar las características de las redes.

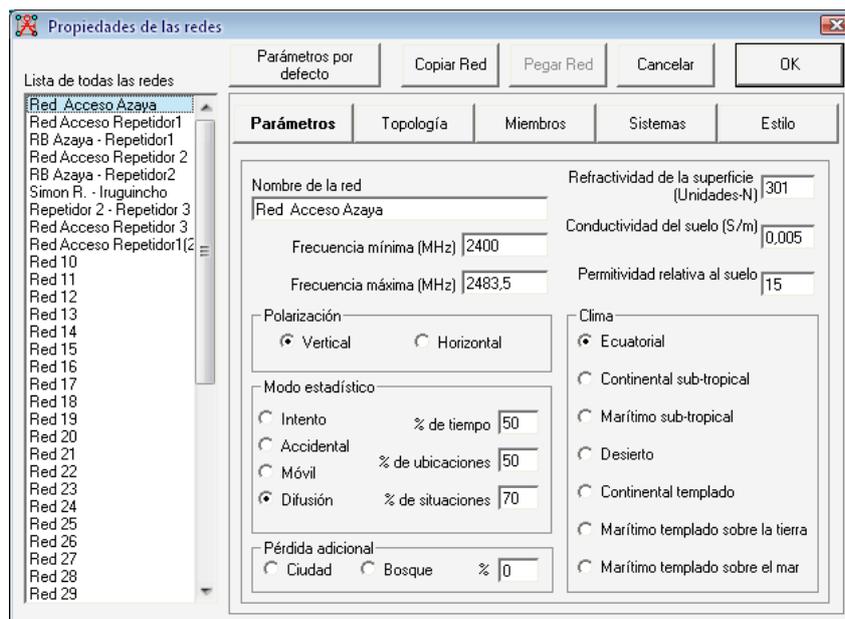


Figura. 4.59. Configuración de los Parámetros de la red

Parámetros

Primero se configuran los parámetros básicos de la red como la frecuencia mínima y máxima de operación y la polarización. Si se quiere tener más precisión en la simulación se puede configurar la Refractividad de la Superficie, Conductividad del Suelo, Permitividad relativa del Suelo y el Clima.

Para el modo estadístico se tiene cuatro opciones: Intento, Accidental, Móvil, Difusión, según se elija cada uno de estos parámetros se podrá seleccionar los porcentajes de tiempo, ubicaciones y situaciones. Al aumenta cada uno de estos porcentajes se incrementa el nivel de pérdidas del enlace, estos son parámetros característicos del modelo de propagación que usa el programa.

El modo estadístico de Difusión sirve para simular redes en las cuales todas las estaciones son fijas, por lo que es el que más se aproxima a la red que se desea simular.

Topología

La topología de una red nos indica la forma en la cual van a estar enlazadas cada una de las unidades. El programa Radio Mobile permite seleccionar tres tipos de topología: Red de voz; Red de datos, Topología Estrella; y Red de datos, *cluster*, como se muestran en la Figura. 4.60.

La red acceso diseñada en este proyecto se ajusta a una topología del tipo estrella, ya que cuenta con una estación central (maestra) y varias estaciones esclavas, así que se seleccionará esta opción para la simulación.

Adicionalmente aquí se puede seleccionar si la red es visible o no, esto es muy útil cuando se tiene varias redes y es muy difícil verlas a todas al mismo tiempo, así que esta opción permite elegir que red es la que quiere visualizar.

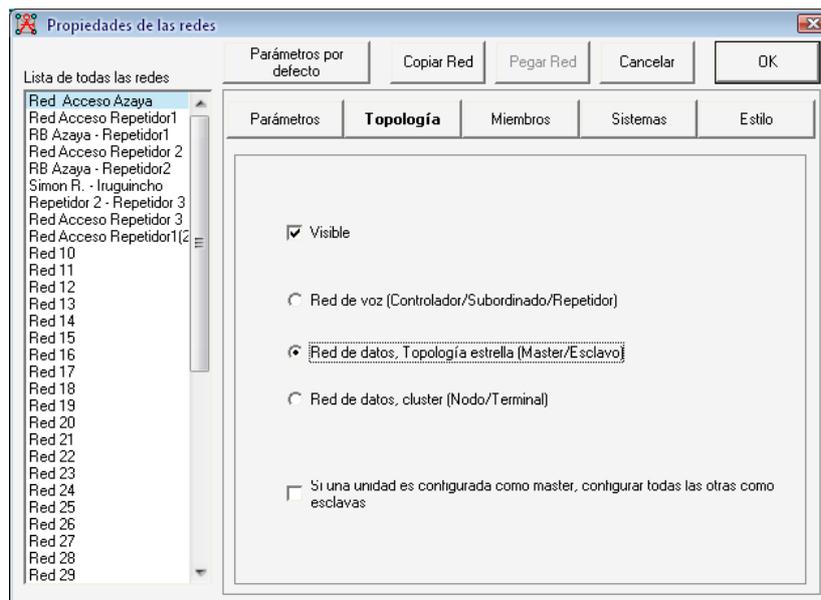


Figura. 4.60. Configuración de la Topología de la Red

Miembros

En la pestaña de miembros se pueden seleccionar cuales unidades van a formar la red señalada y para cada miembro se debe señalar que papel cumple en la red.

Ya que ha seleccionado una topología estrella (Maestro/Esclavo), se debe indicar que miembro de la red será el maestro y cual el esclavo. Para el caso de este ejemplo de simulación la Radio base Azaya será el maestro y todos los demás miembros serán esclavos.

Para el resto de topologías existen diferentes papeles que deberán cumplir cada miembro de la red, es así que para la topología Red de voz se tiene los papeles de Controlador, Subordinado, Repetidor; y para la topología Red de datos, cluster se tienen los papeles Nodo y Terminal.

Además en cada miembro se debe especificar a qué sistema pertenece y la orientación o azimut de la antena. Necesariamente cada miembro de la red debe estar orientado hacia la estación central, esto depende mucho del tipo de antena que se seleccione en el sistema.

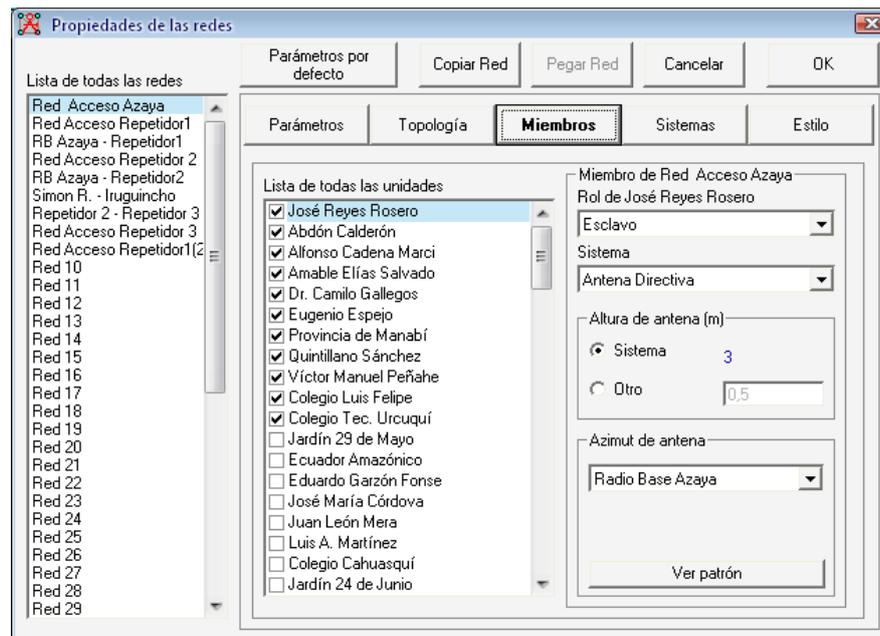


Figura. 4.61. Selección de los miembros de la Red

Sistemas

Dentro de las propiedades de las redes existen la pestaña de sistemas, en estos se pueden ingresar las características técnicas de los equipos y antenas que van a ser utilizados. Cada sistema que se cree se puede ir guardando en el archivo *Radiosys.dat* mediante el botón *Agregar a Radiosys.data* y de igual manera eliminar los sistemas guardados con ayuda de botón *Remove*.

Los valores que se pueden ingresar para cada sistema son: la potencia de transmisión (en Vatios o dBm), el umbral de recepción o sensibilidad del receptor, las pérdidas de línea (perdidas propias de los equipos), tipo de antena (parabólica, omnidireccional o cardio que equivale a una antena sectorial de 120°), ganancia de la antena en dBi o dBd, altura de la antena y pérdidas de los cables (cable o línea de transmisión).

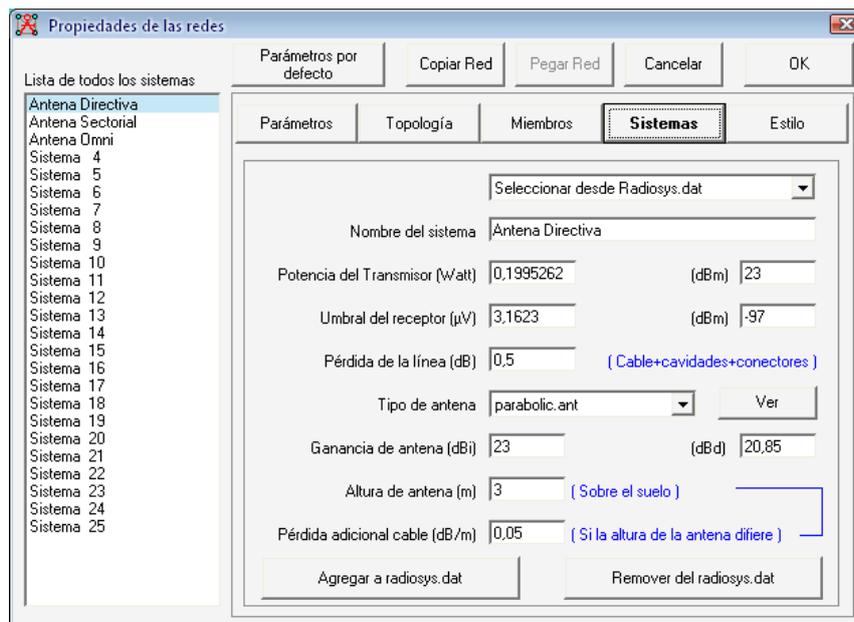


Figura. 4.62. Configuración de los parámetros de los sistemas

Estilo

El estilo sirve como una ayuda para determinar de forma gráfica si un enlace cumple con los requisitos de diseño que se hayan establecido, por ejemplo si se propone que todos los enlaces deben tener más de 20dB de margen de desvanecimiento, para tener una disponibilidad muy buena, entonces se debe configurar la pestaña de estilo para que muestre un línea de color verde en todos los enlaces que tengan más de 20dB, un punto intermedio sería 10dB así que se puede configurar para que se muestren con una línea amarilla todos los enlaces sobre los 10dB y bajo los 20dB, y en caso de que el margen de desvanecimiento sea menor que 10dB la línea será de color rojo. Además en esta pestaña, en la sección correspondiente a modo de propagación, se puede configurar para que muestre si existe alguna interferencia entre los enlaces.

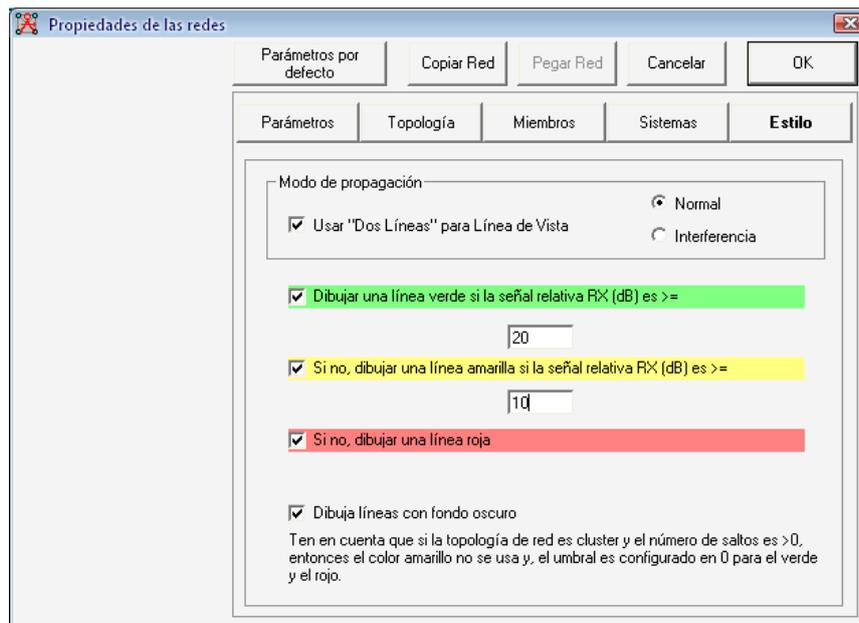


Figura. 4.63. Selección del estilo

Resultados

Luego de realizar todas las configuraciones necesarias para la simulación ya se puede visualizar la red creada en la pantalla principal. Aquí se mostraran los enlaces con el color de líneas correspondiente al margen de desvanecimiento, ejemplos de esto se pueden ver el capítulo de diseño de la red. Para analizar cada enlace con detenimiento se debe hacer clic sobre el botón llamado enlace de radio, como se muestra en la Figura. 4.64.



Figura. 4.64. Botón Enlace de Radio

Después de pulsar este botón aparecerá una ventana como la mostrada en la Figura. 4.65 en la cual nos da la posibilidad de seleccionar las dos unidades con las que se quiere determinar las características del enlace. Aquí se selecciona a la Radio Base Azaya y la Escuela Abdón Calderón y automáticamente se muestran todas las propiedades de la unidad como la potencia, ganancia de la antena, etc., estos son los parámetros del sistema

con el cual se haya configurado a la unidad. Además esta ventana muestra las características del enlace como el Azimut, Angulo de elevación (estos dos son características de la unidad que se encuentre a la izquierda), despeje (distancia a la cual se encuentra la mayor obstrucción del enlace), peor Fresnel, distancia, pérdidas, campo E, nivel Rx y Rx relativo que se refiere al margen de desvanecimiento.

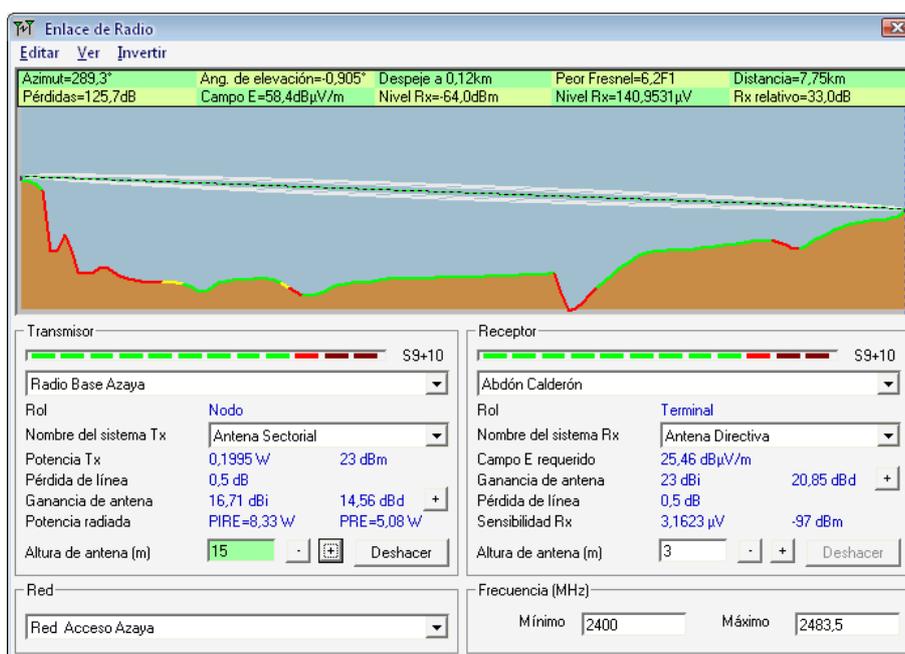


Figura. 4.65. Enlace de radio

4.6 EQUIPAMIENTO NECESARIO

Para la implantación de redes tan grandes como la de este proyecto es necesario una gran variedad de equipamiento para la interconexión de la red y para la infraestructura de la misma. A continuación se detallarán todos los materiales que serán necesarios para la construcción de Red Comunal.

4.6.1 Equipamiento para Redes WLAN

Una red inalámbrica está compuesta básicamente de un punto de acceso y estaciones finales, cada una posee sus respectivos equipos como antenas y *routers*, pero si existen clientes a distancias mayores que las que puede llegar un *Access Point*, es necesario colocar repetidores para hacer llegar la señal, en los repetidores es necesario colocar

equipamiento especializado para la tarea como son los puentes (*bridge*). Todos los equipos necesarios se detallan a continuación.

NIC (Tarjeta de Red)

Este es el dispositivo que se utiliza para conectar un terminal con la red, se habla de tarjeta en el caso de las computadoras ya que se presentan como una tarjeta de expansión de estas, en el caso de las tarjetas Ethernet por lo general se las vende en conjunto con la computadora de escritorio o ya vienen integradas en la placa base. Para el caso de las tarjetas inalámbricas WiFi se las debe comprar por separado y la gran mayoría utilizan los estándares 802.11b/g que trabajan en la banda de frecuencias de 2.4GHz.

CPE (Equipo Local del Cliente)

Su nombre proviene de las siglas en inglés para *Customer Premise Equipment*. Este equipo es el que permite al subscriber conectarse con la red del proveedor, generalmente mediante una interfaz Ethernet.

Por lo general los CPE están compuestos por un *Router* y un Modem que permite adecuar la señal al medio de transmisión que se esté utilizando. Los CPE son diferentes para cada tecnología algunos ejemplos son los cable modem, los modem ADSL y en el caso de las tecnologías inalámbricas los CPE están compuestos por un Modem RF que convierte la información en señales de radio frecuencias para ser enviadas a través del espacio libre mediante el uso de antenas.

Routers (Enrutador)

Es un equipo que sirve para la interconexión de redes mejorando el rendimiento de la transmisión, su funcionamiento es más lento que el de los *bridges* pero permite manejar capacidades de transmisión mayores. Su principal propósito es enlazar redes diferentes incluso si el protocolo con el que trabaja cada red es distinto.

Los *routers* trabajan a nivel de la capa tres del modelo OSI⁷, es decir trabaja con las direcciones IP de los usuarios. Existen varios tipos de *routers*, como por ejemplos los *routers* de borde utilizados por los ISP para conectarse con las grandes empresas proveedoras del servicio de Internet o enrutadores de menor tamaño como los usados para

⁷ Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos

conectar hogares u oficinas a un servicio de banda ancha, tales como IP sobre cable o xDSL. Estos últimos *routers* serán utilizados en cada institución beneficiaria para interconectarla hacia la red WAN y la sección que se conecta con la red LAN pueden ser de dos tipos inalámbrica o normal.

Para dar conexión a Internet toda la Red Comunitaria será necesario un tipo de *router* más poderoso capaz de manejar todo el tráfico de la red y debe ser capaz de soportar sistemas de seguridad de redes como por ejemplo filtrado de paquetes.

Bridge (Puentes)

Los puentes son equipo de red que trabajan en nivel dos del modelo OSI, es decir trabajan con las direcciones físicas de los usuarios. Se utilizan para segmentar las redes haciendo el pasaje de datos de una red hacia otra, pueden ser varias redes.

Utiliza una tabla de direcciones MAC (direcciones físicas) detectadas en cada segmento de la red que esté conectando y escucha los datos que circulan por los dos segmentos. Si son enviados datos desde un emisor hacia un destinatario que se encuentra en el mismo lado de la red entonces bridge no deja pasar estos datos hacia la otra red y los ignora, caso contrario cuando el emisor y el destinatario se encuentran en redes diferentes conmuta los datos hacia el otro segmento de la red evitando colisiones y mejorando la eficiencia del tráfico de la red.

Los puentes son utilizados en las estaciones repetidoras pero a diferencia de un equipo repetidor que solo trabaja en el nivel uno del modelo OSI o capa física, el bridge regenera la señal, elimina el ruido y filtra las tramas que no corresponden a la otra sección de la red. Cuando es necesario realizar el puenteo de más de dos redes se utilizan los *switch* que tiene básicamente el mismo funcionamiento pero posee más puertos.

Antena

Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas electromagnéticas por el espacio libre. Las antenas transmisoras convierten corriente eléctrica en ondas electromagnéticas y las antenas receptoras realizan la función inversa.

Existen gran variedad de antenas dependiendo de su forma, uso y longitud de onda a la que trabajan. La mayoría de antenas son directivas, es decir concentran la onda radiada

en una sola dirección, por ejemplo las antenas satelitales, con esto se evita causar interferencia a otros sistemas y hacer un mejor uso de la potencia de la señal. Existen otras antenas como las sectoriales que distribuyen la señal en un ángulo específico, dando cobertura a una zona determinada, por ejemplo las antenas de las radio bases celulares y también existen las antenas omnidireccionales que radian la señal en todas las direcciones, por ejemplo las que se utilizan en las emisoras de radio o televisión.

Hay varios parámetros que caracterizan a una antena, pero los más importantes para el diseño de un sistema son:

- **Ganancia:** es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la relación de potencia radiada por una antena de referencia. Cuando se utiliza como antena de referencia a un dipolo de media onda, es decir, dos ramales cada uno de $\frac{1}{2}$ longitud de onda, las unidades con las que se mide la ganancia son los dBd. Cuando se utiliza un dipolo de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda las unidades se denominan dBi.
- **Ancho de Banda:** es el rango de frecuencias sobre los cuales la operación de la antena es la más óptima. Por lo general es el rango comprendido entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones de impedancia de entrada.
- **Polarización:** se llama polarización de una antena a la orientación que tiene el campo eléctrico radiado desde esta. Una antena puede tener polarización lineal (horizontal o vertical), elíptica o circular (dextrógiras o levógiras). Es importante tomar en cuenta la polarización para un diseño ya que las condiciones climáticas afectan diferente a cada polarización, además cambiar la polarización de enlaces aledaños reduce las interferencias entre estos.

El resto de parámetros que se miden en una antena son: eficiencia, impedancia de entrada, campos cercanos y lejanos, patrón de radiación, ancho del haz.

Debido a la gran variedad de antenas que existen resultaría demasiado extenso explicar el funcionamiento de cada una ellas por lo que solo se enfocará en las antenas utilizadas para este proyecto y en general para redes WLAN.

Antenas Parabólicas

Es una antena compuesta por un reflector metálico de forma parabólica y un alimentador, típicamente una antena del tipo bocina, ubicado en el foco de la parábola. En el caso de que la antena esté recibiendo el principal objetivo del plato reflector es concentrar la potencia de las ondas que inciden en forma paralela y reflejarlas hacia el foco. Cuando la antena está transmitiendo las ondas salen del foco hacia el reflector y se reflejan de forma paralela al eje de la antena. Existen tres tipos de antenas parabólicas:

- **Foco primario:** La superficie de la antena es un paraboloides de revolución en la cual el foco se encuentra centrado, tienen un rendimiento del 60%, la anchura del haz es menor que la de *offset* por lo que debe alinearse con mayor precisión.
- **Offset:** el reflector parabólico tiene forma oval se encuentra desplazado del foco, por lo que se evita que las señales reflejadas se vean obstruidas por el propio foco de la antena, su eficiencia es del 70%.
- **Cassegrain:** Posee un segundo reflector hiperbólico ubicado en el foco del reflector parabólico y en el foco de la hipérbola se encuentra el alimentador de la antena. Este tipo de antena se utiliza para antenas que son muy grandes y requieren de amplificadores de gran tamaño, los cuales son muy complicados de colocar en el foco de una antena parabólica común.

Las dimensiones del reflector parabólico están en función de la frecuencia y especialmente de la ganancia que se desee obtener. Este tipo de antenas se utiliza para los subscriptores que están muy alejados y para los enlaces de la red de transporte.

Antenas Planas

Es un tipo de antena que obtiene su nombre del hecho de que esta básicamente consiste en una placa de metal suspendida sobre un plano de tierra, otra placa metálica que por lo general es un poco mayor que la placa activa, usualmente está cubierta por un plástico que protege a la antena de las condiciones climáticas, están muy relacionadas con las antenas de microcinta.

La longitud mínima de la placa activa es media longitud de onda, la ganancia de este tipo de antenas no es muy alta, aproximadamente de 7 a 9dBi, pero si se requieren mayores

ganancias se puede aumentar el tamaño de las placas. Además el ancho del haz es de aproximadamente 60°, por lo que no es una antena muy directiva.

Este tipo de antena se utiliza para los subscriptores que no se encuentran a mucha distancia del punto de acceso y para los puntos de acceso pero en este caso las antenas son de mucho mayor tamaño para obtener ganancias mayores.

Equipamiento de red necesario para la implementación

Como se pudo apreciar anteriormente en la sección 4.1.3 de cálculos de potencia y ganancia, las características que deben tener los equipos de telecomunicaciones de la red son los mostrados en la Tabla 4.8, la cantidad y el costo de estos equipos se detallan mejor en el capítulo cinco.

Tabla. 4.8. Equipamiento necesario para la Red

| Equipo | Características |
|-------------------------|---|
| Access Point | Banda de frecuencia: 2400-2483.5MHz Potencia de operación: 23dBm = 200mW Sensibilidad: -91dBm |
| Antena del Access Point | Banda de frecuencia: 2400-2483.5MHz Ancho del haz: 120° Ganancia: 17dBi |
| Equipo Backhaul | Banda de frecuencia: 5725-5850MHz Potencia de operación: 23dBm = 200mW Sensibilidad: -91dBm |
| Antena para Backhaul | Banda de frecuencia: 5725-5850MHz Ganancia: 27dBi |
| CPE | Banda de frecuencia: 2400-2483.5MHz Potencia de operación: 23dBm = 200mW Sensibilidad: -91dBm |
| Antena del CPE | Banda de frecuencia: 2400-2483.5MHz Ganancia: 24dBi |

Ejemplos de Equipos

Existen muchas marcas y modelos de antenas y equipos, cada uno presenta diferentes características y beneficios. A continuación se muestra una lista de algunos equipos que pueden ser usados para este proyecto.

Para la red de acceso (2.4GHz):

- Motorola CANOPY 2400, antena integrada
- Airspan Wipll
- Proxim Tsunami MP.11
- Senao 2611cb3 plus
- Trango Broadband M2400S 2.4 GHz
- Teletronics TT2400
- Antenas:
 - Hyperlink HG2417P-120 17dBi 0°
 - Laird SA4958-120-16 16dBi 120°
 - Hyperlink HG2424G 24dBi para subscritor

Para la red de transporte (5.8GHz):

- Tranzeo 5 series
- Airmux 200
- Ceragon Fiber-Air4800
- Motorola CANOPY 5800BH
- MTI BR5811B
- Teletronics TT5800
- Antenas:
 - Teletronics 15-211 5.8 26dBi
 - Canopy 27 RD reflector 5700BH
 - HYPERLINK HG5833 33dBi
 - SLAB5822 22dBi

La mayoría de estos equipos poseen antenas integradas pero en algunos casos la ganancia no es suficiente para cubrir las distancias de los enlaces de este proyecto porque

es necesario colocar antenas externas de mayor ganancia. Las hojas técnicas de algunos equipos se encuentran en el Anexo 14.

4.6.2 Equipamiento para Redes VSAT

En las redes de acceso VSAT se tiene equipamiento diferente para el HUB y para las estaciones VSAT. Explicar en detalle las características de los equipos que se utilizan en este tipo de redes y las marcas que están disponibles en el mercado no es necesario para este proyecto ya que será el proveedor de capacidad satelital el que se encargue de instalar y comprar el equipamiento necesario. Sin embargo se dará una breve explicación de los equipos necesarios.

En la Figura. 4.66 se muestra el equipamiento utilizado para una red VSAT

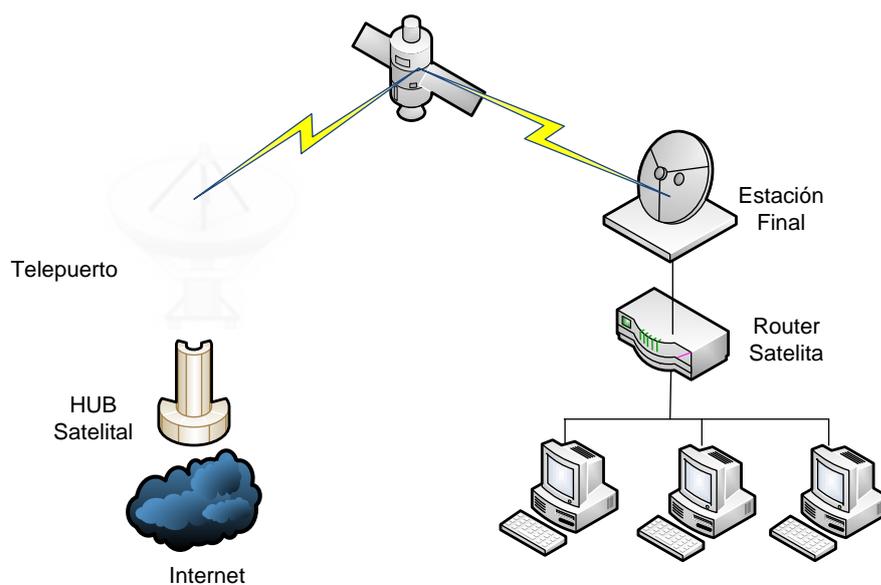


Figura. 4.66. Equipamiento VSAT

Estación Final VSAT

Esta estación tiene básicamente dos equipos en primer lugar el *router* satelital se encarga de realizar las mismas funciones de enrutamiento típicas de cualquier red e incluido a este se encuentra el MODEM satelital que se encarga de modular y demodular la señal que viene y que va hacia el satélite, en la frecuencia a la que esté operando, puede ser en la banda C o Ku.

En las para las estaciones VSAT se utilizan antenas parabólicas del tipo *Offset* debido a que son más fáciles de orientar y poseen una gran ganancia sin necesidad de tener gran tamaño (aproximadamente 1 metro de diámetro), esto es ideal para el subscritor.

Telepuerto HUB Satelital

En el telepuerto el equipo principal es el HUB, este se encarga de distribuir la señal a cada una de las estaciones VSAT por medio del satélite, utiliza TDMA (multiplexación por división de tiempo). Cabe mencionar que tanto en las estaciones terrenas como en el satélite se utilizan amplificadores de bajo ruido (LNA) y amplificadores de alta potencia (HPA) para la recepción y transmisión respectivamente.

Para el telepuerto o estación terrena se utilizan antenas satelitales *Cassegrain* debido a su gran ganancia y directividad.

4.6.3 Equipamiento para la Infraestructura de la Red

Para complementar la implementación de esta Red Comunal será necesario, además del equipamiento para redes, elementos para la construcción de la infraestructura como por ejemplo: torres, mástiles, cables UTP, cables coaxiales, abrazaderas, gabinetes para los equipos, entre otros.

Además es necesario equipamiento para la construcción de la red eléctrica, como por ejemplo un sistema de respaldo para los puntos de acceso, UPS para las instituciones beneficiadas y sistemas de tierra para cada una de las estaciones del proyecto.

4.7 ASPECTOS LEGALES Y REGULATORIOS

La implementación de redes WAN y redes comunales en el país se encuentra regida por varias normas y leyes, dependiendo del tipo de tecnología que se utilice. El ente encargado de crear estas normas es el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, la institución encargada de regular el uso de estas tecnologías y sus frecuencias de operación es la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL y la institución encargada de realizar la supervisión y control es la Superintendencia de

Telecomunicaciones SUPTEL. A continuación se describen las normas y reglamentos que rigen a este proyecto.

4.7.1 Norma Para La Implementación y Operación de Sistemas de Modulación

Digital de Banda Ancha MDBA

Esta norma fue creada para regular y controlar los sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de Espectro Ensanchado o Modulación Digital de Banda Ancha y cumplan con las características antes descritas para estos sistemas.

La atribución de permisos de operación de sistemas de MDBA es a título secundario, esto quiere decir que si causan interferencias perjudiciales a alguno de los sistemas que tengan un contrato de concesión de frecuencias, es decir que tengan título primario, los propietarios del sistema MDBA deberán retirarlos de operación inmediatamente y esperar que la SUPTEL envíe un informe técnico favorable indicando que se ha solucionado los problemas de interferencia.

En el plan Nacional de Frecuencias para los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha se atribuyen las siguientes bandas de frecuencias: 902-928MHz, 2400-2483.5MHz, 5150-5250MHz, 5250-5350MHz, 5470-5725MHz y 5725-5850MHz.

Estas bandas incluyen las bandas no licenciadas ICM y las bandas INI que son bandas atribuidas especialmente para MDBA, además los propietarios deben asegurar que las emisiones se encuentren dentro de la banda de frecuencias de operación. Si se desean utilizar bandas de frecuencias diferentes a las descritas se deberá presentar un estudio técnico a CONATEL quien decidirá su aprobación.

Los sistemas MDBA pueden operar en tres configuraciones diferentes: punto – punto, punto – multipunto o móviles y su potencia máxima de operación se establece para cada una de las bandas en el Anexo 1 de la Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, los anexos de esta norma se pueden encontrar en la página Web de CONATEL.

Los equipos que se utilicen para la implementación de sistemas MDBA deberán ser homologados por la SUPTEL. La homologación se realizará de acuerdo a las

características del equipo y a lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

Para solicitar el registro de operación de este tipo de sistemas se deberá presentar la información legal y técnica en los respectivos formularios que son:

- Formulario RC-1B. Formulario para información legal (Sistemas de MDBA).
- Formulario RC-2A. Formulario para la información de la infraestructura del sistema de radiocomunicaciones.
- Formulario RC-3A. Formulario para información de antenas.
- Formulario RC-4A. Formulario para información de equipamiento.
- Formulario RC-9A. Formulario para los Sistemas MDBA punto – punto.
- Formulario RC-9B. Formulario para los Sistemas MDBA punto – multipunto.
- Formulario RC-9C. Formulario para los Sistemas MDBA móviles.
- Formulario RC-14A. Esquema del Sistema
- Formulario RC-15A. Emisiones del RNI (Radiación no Ionizante)

Además de otros documentos que la SENATEL solicite.

Una vez otorgado el certificado de Registro de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha este tendrá una duración de cinco años y podrá ser renovado dentro de un plazo de 30 días anteriores a su vencimiento.

Los sistemas de MDBA podrán ser utilizados como sistemas de explotación (con fines de lucro) o como sistemas privados (sin fines de lucro) para lo cual se deberá adquirir el título habilitante correspondiente.

Cuando se requiera modificar alguna característica técnica como frecuencia, potencia, ganancia o la ubicación de los sitios de transmisión se deberá realizar una solicitud de la modificación a la SENATEL para que sea autorizada por dicha entidad.

4.7.2 Reglamento de Derechos de Concesión y tarifas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico

Este reglamento fue creado para establecer las tarifas del uso de frecuencias y derechos de concesión en base a los avances tecnológicos y los nuevos servicios de

radiocomunicaciones existentes y además establecer estos valores en función de las tasa de inflación y valoración del espectro radioeléctrico.

La última reforma a este artículo se aprobó el 10 de noviembre de 2008 y los artículos que rigen a los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son los siguientes:

“**Art. 19.-** Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha que operen en configuración punto-punto, en las bandas que el CONATEL determine, pagarán una tarifa mensual por uso de frecuencias, según la ecuación 6:

$$T (\text{US\$}) = K_a * \alpha_6 * \beta_6 * B * NTE \text{ (Ec.6)}$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α₆ = Coeficiente de valoración del espectro para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (De acuerdo a la Tabla 1, Anexo 5).

β₆ = Coeficiente de corrección para los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.

B = Constante de servicio para los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (De acuerdo a la Tabla 2, Anexo 5).

NTE = Es el número total de estaciones fijas y móviles de acuerdo al sistema.

El valor del coeficiente α₆ se detalla en la Tabla 1, Anexo 5 y el valor de la constante B para los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha se detalla en la Tabla 2, Anexo 5.”

Los valores de K_a y β₆ son iguales a 1, el valor de α₆ es 0.5333 y el valor de B es igual a 12, por lo que se tiene:

$$T (\text{US\$}) = 1 * 0.5333 * 1 * 12 * NTE$$

$$T (\text{US\$}) = 6.4 * NTE$$

Para sistemas punto – punto se tiene dos estaciones por enlace por lo que NTE=2 entonces TA (US\$) = 2*6.4 = \$12.80

Para los sistemas punto – multipunto se aplican las Tarifas A y C según lo definido en el artículo 10.

La Tarifa A dice que para los sistemas punto – multipunto que utilicen MDBA se considerará como ancho de banda a la correspondiente sub-banda asignada por el CONATEL. La ecuación para la tarifa A es la siguiente:

$$T (\text{US\$}) = K_a * \alpha_4 * \beta_4 * A * D^2$$

“Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α₄ = Coeficiente de valoración del espectro para el servicio fijo y móvil (multiacceso)(de acuerdo a tabla 1, anexo 4).

β₄ = Coeficiente de corrección para la tarifa por estación de base o estación central fija.

A = Anchura de banda del bloque de frecuencias en MHz concesionado en transmisión y recepción.

D = Radio de cobertura de la estación de base o estación central fija, en Km (De acuerdo a la tabla 1, anexo 4).”⁸

El valor del factor K_a es 1 y resumiendo la Tabla 1 del Anexo 4 del Reglamento de Tarifas se obtiene que los valores de la tarifa A para cada una de las bandas de frecuencia de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son los que se muestran en la Tabla. 4.8.

Tabla. 4.9. Coeficientes y Valor de la Tarifa A

| Bandas de Frecuencias(MHz) | Ancho de Banda | α₄ | D | Valor Tarifa A |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------|-----------------------|
| 902-928 | 28 | 0,0036731 | 16,5 | 28 |
| 2400-2483,5 | 83,5 | 0,0020828 | 11,5 | 23 |
| 5150-5250 | 100 | 0,0015625 | 8 | 10 |
| 5250-5350 | 100 | 0,0015625 | 8 | 10 |
| 5470-5725 | 255 | 0,0015625 | 8 | 25,5 |
| 5725-5850 | 125 | 0,0015625 | 8 | 12,5 |

⁸ Art. 11. del Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico

La Tarifa C está en función del número total de estaciones fijas y móviles de un sistema multiacceso. La ecuación para esta tarifa es la siguiente:

$$T (\text{US\$}) = K_a * \alpha_5 * F_d$$

“Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α₅ = Coeficiente de valoración del espectro por estaciones de abonado móviles y fijas para el Servicio Fijo y Móvil (multiacceso) (De acuerdo a la tabla 2, anexo 4).

F_d = Factor de capacidad (De acuerdo al Servicio Fijo y Móvil (multiacceso), refiérase a las tablas 3 hasta la 8, anexo 4).”⁹

El valor del factor K_a y α₅ es igual a 1 por lo tanto el valor de la tarifa C es igual a F_d. Los valores de F_d son los que se muestran en la Tabla. 4.9.

Tabla. 4.10. Valor de F_d para Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

| Número de estaciones | F _d |
|----------------------|----------------|
| 3 < N ≤ 10 | 3 |
| 10 < N ≤ 20 | 7 |
| 20 < N ≤ 30 | 10 |
| 30 < N ≤ 40 | 15 |
| 40 < N ≤ 50 | 19 |
| N > 50 | 25 |

El costo de la tarifa mensual total para sistemas punto – multipunto es la suma del valores de la Tarifa A más el valor de la tarifa C, por lo que queda en función de la banda de frecuencias y el número total de estaciones de cada sistema.

⁹ Art. 13. del Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico

4.7.3 Reglamento del Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales

Este reglamento es la Resolución No. 394-18-CONATEL-2000 y su propósito es administrar, financiar y fiscalizar proyectos que contribuyan con el desarrollo de las telecomunicaciones en áreas rurales y urbano marginales.

En este reglamento se establece que los principales objetivos del FODETEL son los siguientes:

- a) Financiar proyectos, estudios y la fiscalización de estos que estén destinados a mejorar el acceso a las telecomunicaciones en zonas rurales y urbano marginales a fin de cumplir con el Plan de Servicio Universal.
- b) Aumentar el acceso de la población a los servicios de telecomunicaciones a fin de mejorar el acceso a conocimientos e información y contribuir con los servicios de educación, salud y emergencias.
- c) Dar prioridad a las áreas que no cuenten con ningún servicio de telecomunicaciones.
- d) Promover la participación de empresas privadas en los proyectos.

Las principales fuentes de recursos del FODETEL son los aportes de proveedores de servicios de telecomunicaciones y operadores que cuenten con un permiso de concesión de frecuencias, además los recursos pueden provenir de donaciones, convenios internacionales o de los mismos beneficios resultantes de la gestión de recursos.

Los programas y proyectos financiados por FODETEL deberán estar contenidos dentro de un plan operativo que será elaborado en base a investigaciones propias del FODETEL e iniciativas de ministerios, gobiernos seccionales, organismos no gubernamentales y otros sectores que demuestren interés en tales proyectos. Estos programas se establecerán en base a estudios de la mejor relación costo beneficio y se tomarán en cuenta la atención a los sectores de educación, salud y producción, provisión de servicios en áreas no servidas, incremento del servicio en áreas con bajo índice de penetración y atención a zonas fronterizas.

Para realizar la contratación de proyectos se llamará a un concurso público mediante publicaciones de prensa realizadas por el CONATEL y esta convocatoria estará sujeta al

Reglamento de Ejecución de Proyectos y Contratación de Servicios del FODETEL, en el cual se determinará si los proyectos requieren o no de un concurso público y establecerá los mecanismos para su contratación y ejecución.

Al ganador del concurso público se le otorgará la concesión del proyecto y recibirá los fondos necesarios que deberán ser utilizados exclusivamente para el financiamiento total o parcial del proyecto, estos recursos podrán abarcar la adquisición de equipos, materiales, accesorios, obras civiles, instalación, pruebas, seguros y transporte

La fiscalización de los proyecto será realizada por FODETEL o mediante la contratación de terceros y comprenderá la supervisión de equipos, materiales, instalación y pruebas de operación, condiciones de conexión e interconexión, fiscalización financiera y legal.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se realizará el análisis de los costos de implementación y mantenimiento para la Red Comunal por un periodo de 5 años que es lo que durará el contrato de concesión entre FODETEL y el Municipio de cantón Urcuquí. Este análisis se realizará con el fin de determinar la factibilidad económica del proyecto, además se propondrán planes de sostenibilidad para que la red se pueda sustentar después del periodo de 5 años.

Se eligió un escenario inalámbrico para la implementación de esta Red Comunal y el aspecto más crítico de esta tecnología es la necesidad de construir radio bases en lugares remotos ya que existe el problema de que no exista suministro energético y además es complicado transportar los equipos has lugares remotos, sin embargo para este proyecto se eligieron sitios con estructuras existentes por lo que ya no será necesario la construcción de torres sino que se puede llegar a un acuerdo para alquilar espacio en estas para colocar las antenas de los puntos de acceso.

Para este estudio se utilizarán precios referenciales basados en propuestas económicas de proveedores de equipos y datos proporcionados por FODETEL.

5.1 Costos de Inversión

5.1.1 Costos del Escenario Inalámbrico

La red de acceso consta de 38 estaciones finales (CPE y antenas exteriores) y 2 puntos de acceso para los cuales son necesarias una antena sectorial de 120° en la radio base Azaya y dos antenas sectoriales de 120° en el Repetidor 1. En las estaciones finales se colocará antenas de 15bBi para distancias menores a 3Km y para el resto antenas de 24dBi.

Además para la red de la ciudad de Buenos Aires es necesaria otra antena sectorial y 3 equipos para estaciones finales.

También son necesarios equipos para la red de transporte entre la radio base Azaya y el Repetidor 1 y para el enlace adicional entre la Escuela Simón Rodríguez y el Jardín de Infantes Irugincho se requiere de un bridge y otro juego de equipo CPE con antena exterior.

Para determinar los costos del equipamiento de redes se analizará los dos escenarios más adecuados para esta red, WiFi y WiMAX. En la Tabla. 5.1 se detalla el costo de este equipamiento con tecnología WiFi.

Tabla. 5.1. Costo de la Red Inalámbrica con Tecnología WiFi

| Equipo | Cantidad | Precio Unitario US\$ | Precio Total US\$ |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Access Point 2,4GHz Ptx 23dBm | 3 | 661,00 | 1983,00 |
| Antena sectorial 120° 17dBi | 4 | 250,00 | 1000,00 |
| Backhaul 5,8GHz | 2 | 683,20 | 1366,40 |
| Antena parabólica 5,8GHz 27dBi | 2 | 300,00 | 600,00 |
| CPE 2,4GHz Ptx 23dBm | 41 | 661,00 | 27101,00 |
| Antena parabólica 2,4GHz 24dBi | 31 | 90,00 | 2790,00 |
| Antena parabólica 2,4GHz 15dBi | 11 | 70,00 | 770,00 |
| Bridge 5,8GHz antena integrada 22dBi | 2 | 482,00 | 964,00 |
| Router | 2 | 60,00 | 120,00 |
| TOTAL | | | 36694,40 |

Para la tecnología WiMAX no es necesario las antenas de 15dBi y 24dBi ya que los equipos poseen antenas integradas de 17dBi y como tienen mayor sensibilidad estas antenas son suficientes para cubrir las distancias requeridas por la red. En la Tabla. 5.2 se detallan los costos con WiMAX.

Tabla. 5.2. Costo de la Red Inalámbrica con Tecnología WiMAX

| Equipo | Cantidad | Precio Unitario US\$ | Precio Total US\$ |
|--------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Acces Point 2,4GHz Ptx 23dBm | 4 | 4586,00 | 18344,00 |
| Antena sectorial 120° 17dBi | 4 | 250,00 | 1000,00 |
| Backhaul 5,8GHz | 2 | 1790,00 | 3580,00 |
| Antena parabólica 5,8GHz 27dBi | 2 | 300,00 | 600,00 |
| CPE 2,4GHz Ptx 23dBm | 41 | 722,30 | 29614,30 |
| Bridge 5,8GHz antena integrada 22dBi | 2 | 482,00 | 964,00 |
| Router | 2 | 60,00 | 120,00 |
| TOTAL | | | 49636,30 |

Si se compara el costo de ambas tecnologías se puede ver que existe incremento de \$13003.20 si se utiliza WiMAX lo que representa un monto significativo en el costo total del equipamiento y ya que WiFi cumple con los requisitos de velocidad y calidad mínimos para esta red, esta será la tecnología definitiva a utilizar.

5.1.2 Costos de la Infraestructura

El Municipio del cantón Urcuquí es propietario de una torre de 9m de altura en la loma de San Pedro, sin embargo esta torre no cumple con los requerimientos de altura ya es necesario que las antenas del punto de acceso se encuentren a una altura de 15m para poder llegar a todas las instituciones beneficiarias, por lo que se deberá realizar las adecuaciones necesarias con el fin de que la torre alcance los 15m. Por otro lado en la loma de Azaya existen tres torres de 30m aproximadamente pero el inconveniente es que primero se debe llegar a un acuerdo con los propietarios de las estructuras, también es necesario una torre de 15m en la Junta Parroquial de Buenos Aires.

Debido a los inconvenientes mencionados anteriormente se incluirá en el presupuesto el costo de la construcción de las tres torres de 15m necesarias para el proyecto. La altura de las torres y mástiles necesarios para este proyecto se mostraron en la Tabla. 4.2.

Además se detallaran los costos de materiales para la instalación, materiales para la red eléctrica y las antenas para las estaciones VSAT.

Tabla. 5.3. Costo de la Infraestructura de la Red

| Equipo | Cantidad | Precio Unitario US\$ | Precio Total US\$ |
|--|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Torre Triangular 15m | 3 | 806,40 | 2419,20 |
| Base de hormigón (base del torre y pilotes de anclaje) | 3 | 300,00 | 900,00 |
| Gabinetes para exteriores | 3 | 1687,00 | 5061,00 |
| Mástil 3m | 40 | 90,72 | 3628,80 |
| Mástil 9m | 2 | 373,00 | 746,00 |
| Materiales de Instalación | 45 | 156,80 | 7056,00 |
| Instalación y Configuración | 45 | 134,40 | 6048,00 |
| Sistema de respaldo de energía en Radio Base | 3 | 1885,00 | 5655,00 |
| UPS | 42 | 132,00 | 5544,00 |
| Sistemas de tierra Radio Bases | 3 | 500,00 | 1500,00 |
| Sistemas de tierra CPE | 42 | 200,00 | 8400,00 |
| Antena VSAT | 8 | 1950,00 | 15600,00 |
| TOTAL | | | 62558,00 |

5.1.3 Costos del equipamiento Informático

Este equipamiento será proporcionado a las 44 instituciones educativas de este proyecto, se excluye a las instituciones gubernamentales porque estas ya poseen el equipamiento necesario para el acceso a Internet con computadores conectados con una red LAN.

Como se calculó en las Tablas 4.5 y 4.6 son necesarias 188 computadoras para todas las instituciones educativas, entre la solución inalámbrica y la solución satelital, pero a esto hay que restar las 56 computadoras que ya poseen las instituciones educativas por lo que en total son necesarias 132 computadoras.

Algunas instituciones educativas ya tienen su respectiva red LAN pero estas no son inalámbricas por lo que sería complicado añadir nuevas computadoras a la red. Por esto se dará un *router* inalámbrico a cada institución que posea más de una computadora ya que estos dan la capacidad de añadir fácilmente nuevos equipos con las respectivas tarjetas inalámbricas y se acoplan fácilmente a las redes LAN ya instaladas. Pero a esto se debe excluir a las instituciones educativas que requieran solo un computador.

Para administrar la red será necesario comprar un servidor con sistema operativo Linux, ya que este será el que distribuya todo el ancho de banda contratado a cada una de las instituciones beneficiarias.

El FODETEL junto con el Fondo de Solidaridad han dispuesto que es necesario proveer a cada institución educativa con pizarras electrónicas y proyectores con el fin de facilitar la capacitación a alumnos y docentes en el uso de Internet, además de proporcionar herramientas de última tecnología para facilitar la enseñanza en las escuelas y colegios del Ecuador. Por esto se dará a cada institución educativa de este proyecto los dos equipos mencionados.

El costo del equipamiento de las instituciones educativas se muestra en la Tabla. 5.4.

Tabla. 5.4. Costo del Equipamiento Informático

| Equipo | Cantidad | Precio Unitario US\$ | Precio Total US\$ |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Computador | 132 | 442,75 | 58443,00 |
| Tarjeta de Red WiFi | 132 | 25,00 | 3300,00 |
| <i>Router</i> Inalámbrico | 42 | 80,00 | 3360,00 |
| Impresora Multifunción | 44 | 90,00 | 3960,00 |
| Mesa Modular y Silla | 44 | 48,16 | 2119,04 |
| Servidor de Red con OS Linux | 1 | 1740,00 | 1740,00 |
| Pizarra Electrónica 60" | 44 | 1502,88 | 66126,72 |
| Proyector | 44 | 919,49 | 40457,56 |
| TOTAL | | | 179506,32 |

El costo total de la inversión es la suma de los costos del equipamiento, los costos de infraestructura y los costos del equipamiento informático.

Tabla. 5.5. Costo Total de Inversión

| Elemento | Precio Total US\$ |
|--------------------------|--------------------------|
| Equipamiento | 36694,40 |
| Infraestructura | 62558,00 |
| Equipamiento Informático | 179506,32 |
| TOTAL | 278758,72 |

5.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Este tipo de costos son los que pagan mensualmente durante el tiempo de vida la red, estos costos están compuestos por el pago mensual del servicio de Internet, pagos por el uso del espectro radioeléctrico y costos de mantenimiento.

Para el acceso a Internet de la solución inalámbrica se contratará a un proveedor que este en capacidad de brindar el ancho de banda requerido (2048Kbps canal dedicado) y tenga la infraestructura necesaria para llegar con su red de acceso hasta el Municipio del cantón Urcuquí. El precio mensual de 2048Kbps está estimado en US\$ 1500 mensuales¹⁰ más los costos de instalación y para el presupuesto se deben tomar en cuenta los 5 años que durará la concesión del proyecto.

$$\text{Costo de Internet} = \$1500 \times 60 \text{ meses} = \$90000,00$$

$$\text{Costo de Instalación} = \$500,00$$

$$\text{Costo Total de Internet} = \$90500,00$$

Como se sabe el costo de Internet mediante acceso satelital es mayor que por cualquier otro medio, pero este tipo de acceso es necesario para 12 instituciones de este proyecto. En la Tabla. 5.6 se detalla el costo mensual de Internet mediante satélite.

¹⁰ Fuente: FODETEL

Tabla. 5.6. Costo mensual de Internet satelital.

| Ancho de Banda | Cantidad | Precio Unitario US\$ | Precio Total US\$ |
|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| 64Kbps | 7 | 280,00 | 1960,00 |
| 256Kbps | 1 | 450,00 | 450,00 |
| TOTAL | | | 2410,00 |

El costo total de este servicio para 5 años es:

$$\text{Costo Total de Internet Satelital} = \$2410.00 \times 60 \text{ meses} = \$144600.00$$

Para el cálculo de los costos por uso del espectro radioeléctrico se hará uso de las ecuaciones y tablas descritas en el Reglamento de Derechos de Concesión y tarifas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. Los sistemas punto – punto tienen un costo mensual de US\$ 12.80 cada uno, en la red existen dos enlaces punto – punto.

$$\text{Costo de sistemas punto – punto} = \$12.80 \times 2 \times 60 \text{ meses} = \$1536.00$$

En la red existen tres sistemas punto – multipunto, el de la Radio Base Azaya, el del Repetidor 1 y la red de Buenos Aires, con un total de 21, 19 y 4 estaciones respectivamente. Para el cálculo del costo mensual de los sistemas punto multipunto se utilizarán las Tablas 4.8 y 4.9. Para la banda de frecuencia de 2400-2483.5 el valor de la tarifa A es 23, y los valores de la Tarifa C en función del número de estaciones son los mostrados en la Tabla. 5.7. El costo total de la tarifa mensual para sistemas punto – multipunto es la suma de las Tarifas A y C.

Tabla. 5.7. Costo de Sistemas Punto - Multipunto

| Sistema P-MP | Número de Estaciones | Tarifa A | Tarifa C | Tarifa Mensual US\$ | Tarifa 5 Años US\$ |
|-------------------------|----------------------|----------|----------|---------------------|--------------------|
| Radio Base Azaya | 21 | 23 | 7,00 | 30,00 | 1800,00 |
| Repetidor 1 | 19 | 23 | 10,00 | 33,00 | 1980,00 |
| Radio Base Buenos Aires | 4 | 23 | 3,00 | 26,00 | 1560,00 |
| TOTAL | | | | | 5340,00 |

El costo total del uso del espectro radioeléctrico es la suma de los costos de los dos sistemas punto – punto y los dos sistemas punto – multipunto.

Costo Total por uso del Espectro Radioeléctrico = Sistemas P-P + Sistemas P-MP

Costo Total por uso del Espectro Radioeléctrico = \$5340 + \$1536 = \$5316,00

Los costos de mantenimiento anual de la red se estima que son el 1% del costo total de la inversión, esto es:

Costos de Mantenimiento = \$278857,72x 0.01 x 5 años = \$13942,89

El costo total de operación y mantenimiento es la suma de los costos de Internet, los costos de uso del espectro y los costos del equipamiento informático.

Tabla. 5.8. Costo Total de Operación y Mantenimiento

| Servicio | Precio Total US\$ |
|---------------------------------|--------------------------|
| Internet | 90500,00 |
| Internet Satelital | 144600,00 |
| Uso del Espectro Radioeléctrico | 6876,00 |
| Mantenimiento | 13942,89 |
| TOTAL | 255918,89 |

5.3 Costo Total del Proyecto

El costo total del proyecto es la suma los costos del escenario inalámbrico, costos de la infraestructura, equipamiento informático y costos de operación y mantenimiento. En la Tabla. 5.9 se resume el costo total.

Tabla. 5.9. Costo total del proyecto

| | Costo Parcial US\$ |
|---------------------------|-------------------------------|
| Escenario inalámbrico | 36694,40 |
| Infraestructura | 62558,00 |
| Equipamiento informático | 179506,32 |
| Operación y mantenimiento | 255913,94 |
| TOTAL | 534672,66 |

El presupuesto total para este proyecto es de US\$ 534672 (quinientos treinta y cuatro mil seiscientos setenta y dos dólares).

5.4 Planes de Sostenibilidad

Como se indico anteriormente el financiamiento de este proyecto está planificado para un periodo de 5 años y después de este tiempo los costos de operación y mantenimiento corren por parte del Municipio de dicho cantón, de aquí surge la necesidad de crear planes de negocios con el fin de crear ingresos y sustentar estos costos de operación por otros 5 años ya que se espera que la red tenga una vida útil de 10 años.

Algunas alternativas de negocios que generen los ingresos suficientes para sustentar los costos de la red pueden ser:

- Crear un impuesto para el uso de Internet y añadirlo en la factura de agua potable o energía eléctrica en las zonas que sean beneficiadas directamente por este proyecto o cobrar una cuota anual de \$10 a cada uno de los alumnos de las escuelas beneficiadas, un dólar por cada mes de clases.
- Establecer centros de impresiones y copiado en cada una de las escuelas, colegios e instituciones gubernamentales que vendan estos servicios a la comunidad. Para esto se debe realizar un análisis de los costos de los materiales y de los ingresos netos que se van a obtener para financiar la red,

además se debe pagar un salario al personal o buscar personas que estén dispuestas a atender en el centro fuera de las horas de clase.

- Buscar instituciones privadas como hosterías o balnearios del sector que deseen ayudar a cubrir los costos de Internet y a cambio brindarles acceso a Internet, tomando en cuenta que esto no es un negocio sino una ayuda social. Sin embargo se debería aumentar el ancho de banda contratado con el fin de cubrir la nueva demanda creada.

5.5 Flujo de Efectivo

A continuación se realizará el análisis económico del proyecto comparando los egresos con los ingresos. Los egresos están son principalmente los costos de operación y mantenimiento y los ingresos pueden ser proporcionados por algunos de los planes de sostenibilidad. La inversión inicial para este proyecto será financiada por FODETEL. Sin embargo al ser este un proyecto de carácter social no se espera obtener ninguna retribución económica, simplemente hacer un balance entre los egresos de la red y los ingresos.

Para el análisis económico se utilizarán las variables VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) para determinar la rentabilidad del proyecto y mientras estas sean mayor a cero el proyecto será autosustentable. Este análisis se realiza para cada año de operación de la red por lo que primero se deben calcular los egresos anuales correspondientes a los costos de operación.

Tabla. 5.10. Egresos Anuales

| Egresos | Costo Mensual US\$ | Costo Anual US\$ |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Internet | 1500,00 | 18000,00 |
| Internet Satelital | 2410,00 | 28920,00 |
| Uso del Espectro Radioeléctrico | 114,60 | 1375,20 |
| Mantenimiento | 232,38 | 2788,58 |
| Salario del personal | 8800,00 | 105600,00 |
| TOTAL | 13056,98 | 156683,78 |

El salario del personal es el correspondiente a las personas encargadas de administrar los centros de impresiones y copias en cada una de las instituciones educativas, el pago mensual será de \$200 y a esto se debe multiplicar por los 44 centros educativos.

Si en el mejor de los casos se logran aplicar cada uno de los planes de sostenibilidad, se tendrían los siguientes ingresos:

Pago anual de los alumnos = \$10 → Total = \$10 x 3194alumnos = \$31940,00

Contribución anual de Empresas Privadas = \$1200,00

Centros de Impresiones y Copiado = \$220 mensuales x 12 meses x 44 centros educativos = \$116160,00

En el flujo de caja del proyecto, mostrado en el Anexo 15, sirve para poder comparar los ingresos con los egresos de la red y como se puede observar que los egresos son mayores a los ingresos hasta el cuarto año, esto se debe a que se espera que los costos de Internet disminuyan y a partir de este año el excedente de los ingresos servirá para la renovación del equipamiento ya que todos los equipos tienen un tiempo de vida útil limitado.

Las variables TIR y VAN muestran el porcentaje de rentabilidad del proyecto, entre mayores sean este será más rentable. Para realizar los cálculos de las variables TIR y VAN se utiliza la tasa pasiva de los bancos ya que se la toma como un punto de referencia para el cálculo de la rentabilidad. La tasa pasiva es el porcentaje de ganancia que se obtiene por retener capital en un banco, por esto si la variable TIR es mayor a la tasa pasiva entonces el proyecto es rentable.

Para los cálculos de estas variables se utiliza la diferencia de los egresos con los ingresos calculados en la Tabla. 5.11 y con una tasa pasiva del 16% se obtienen los siguientes valores:

Tasa Interna de Retorno (TIR) = 84.0%

Valor Actual Neto (VAN) (US\$) = \$142.93

Como se puede observar en los resultados, el proyecto es altamente rentable y sostenible, sin embargo se debe tomar en cuenta que los gastos de inversión y los costos de mantenimiento y operación por cinco años son subsidiados por el estado mediante el

FODETEL, caso contrario una red de este tipo nunca podría ser financiada por los alumnos de zonas rurales y urbano marginales. Es por esto que es importante que el estado financie estos proyectos sociales para el desarrollo de la educación y del país.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Fue posible realizar el diseño de una Red Comunal para brindar acceso a Internet a los centros educativos y unidades públicas del cantón San Miguel de Urcuquí de la provincia de Imbabura.

El gobierno ha realizando un buen trabaja en suministrar equipamiento para telecomunicaciones en el cantón Urcuquí ya que varias instituciones educativas cuentan con equipos audiovisuales y computadores, sin embargo la mayoría carecen de acceso a Internet.

Se eligió la tecnología WiFi para este proyecto ya que es la que tiene la mejor relación costo beneficio, y presenta características que son suficientes para satisfacer los requerimientos de la red, además los costos de implementación son los menores comparados con otras tecnologías.

Las velocidades de transmisión requeridas por una institución educativa de nivel primario o secundario son muy inferiores a las velocidades mínimas de los equipos seleccionados por lo que se puede utilizar las potencias máximas permitidas para cubrir las distancias máximas sin comprometer el desempeño de la red.

No es factible realizar un proyecto de este tipo a menos que el estado subsidie la inversión inicial de la red, solo en este caso la red puede ser autosustentable por un periodo mayor a cinco años.

Brindar acceso a Internet en centros educativos de nivel primario y medio es un gran aporte para la educación en el país ya que los niños y jóvenes obtienen acceso inmediato al mayor medio de comunicación y fuente de información del mundo, adquiriendo

conocimientos que serán de gran ayuda para su desarrollo profesional y el desarrollo del país.

Un proyecto de carácter social como el presente no genera ingresos suficientes para recuperar la inversión inicial, pero las ganancias reales se pueden ver a futuro en el conocimiento y capacitación adquirida por los niños y jóvenes beneficiados por este proyecto.

6.2 Recomendaciones

La solución más apropiada para la implementación de redes comunales es la tecnología CDMA 450 ya que los equipos son más baratos y logran mayores distancias de cobertura, y aunque no presentan características de tan avanzadas para la transmisión de datos como WiFi y WiMAX, posee las características necesarias para cumplir con los requerimientos de este tipo de redes. Por lo que se recomienda llegar a acuerdos con los entes regulatorios nacionales y con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones para que se autorice el uso de esta banda de frecuencias para este tipo de proyectos.

Se espera que los costos de Internet disminuyan a futuro por lo que los municipios de cada uno de los cantones beneficiados con estos proyectos sociales deberán tomar en cuenta esto para contratar mayores velocidades de acceso a Internet con el fin de mejorar la calidad del servicio en las instituciones educativas.

Se debería buscar la colaboración de empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones para la construcción de caminos hacia nuevos sitios que sean apropiados para la construcción de estructuras de telecomunicaciones, con el fin de extender estos servicios en todo el territorio nacional facilitando la construcción de nuevas redes comunales.

Se debe tomar en cuenta que a futuro se podrán utilizar servicios como las videoconferencias u otro tipo de aplicaciones interactivas pero estas requieren mayores velocidades de transmisión por lo se recomienda que para futuros proyectos se contrate mayores anchos de banda para cada unas de las instituciones educativas.

El Estado debe realizar una mayor inversión en la educación del país, no solo en el sector de las telecomunicaciones sino también en infraestructura, materiales didácticos,

salud, alimentación, etc., para asegurar las óptimas condiciones de estudio de los futuros profesionales del Ecuador.

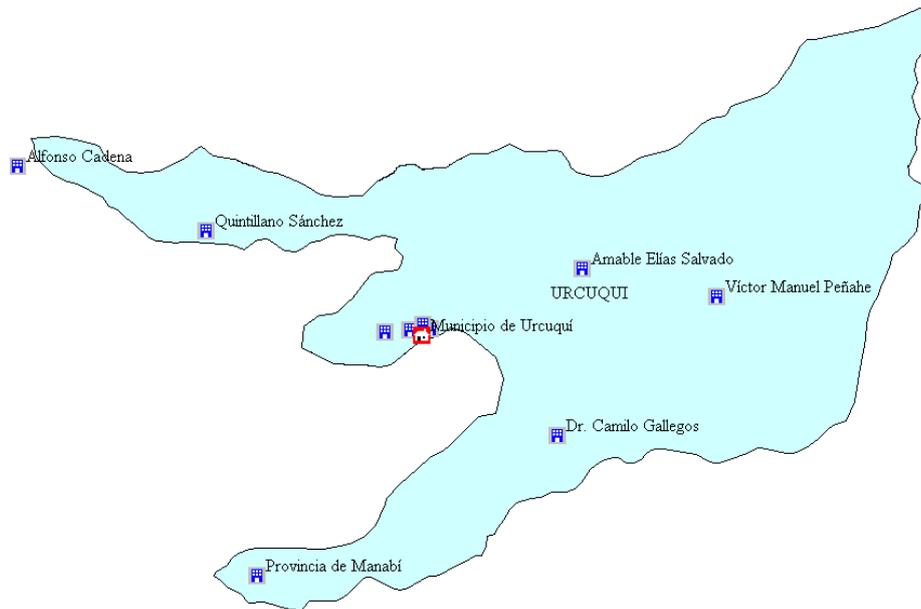
Es importante para el verdadero desarrollo del proyecto, que el equipamiento suministrado, así como del acceso al Internet, se acompañen con planes de capacitación, formación y desarrollo comunitario, los mismos que pueden ser logrados creando telecentros escolares con la utilización de las instituciones educativas fuera de las horas de clase.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Grupo de Telecomunicaciones Rurales, Pontificia Universidad Católica del Perú**, *Redes Inalámbricas Para Zonas Rurales*, Primera Edición, Lima, Enero 2008.
- **Haykin, Simon**, *Modern Wireless Communication*, Pearson Education, 2005.
- Wikipedia. [En línea], WiMAX, <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, 14 de agosto de 2008, [Citado el: 11 de octubre de 2008.]
- Wikipedia. [En línea], CDMA2000, <http://es.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>, 3 de octubre de 2008, [Citado el: 11 de octubre de 2008.]
- Monografias.com. [En línea], CDMA2000, <http://www.monografias.com/trabajos11/cdma/cdma.shtml>, 26 de septiembre de 2008. [Citado el: 11 de octubre de 2008.]
- Wikipedia. [En línea], OFDM, <http://es.wikipedia.org/wiki/OFDM>, 26 de septiembre de 2008. [Citado el: 15 de octubre de 2008.]
- Kioskea.net. [En línea], Técnicas de transmisión de datos en redes inalámbricas Wi-Fi, <http://es.kioskea.net/contents/wifi/wifitech.php3>, 16 de octubre de 2008. [Citado el: 17 de octubre de 2008.]
- Fabila. [En línea], Redes PON: Redes ópticas pasivas, <http://www.fabila.com/noticia.asp?id=674>, 20 de enero de 2008. [Citado el: 28 de octubre de 2008.]
- Hispasat, Redes VSAT, <http://www.hispasat.com/Detail.aspx?SectionsId=37&lang=es>, [Citado el: 29 de octubre de 2008.]
- Pronet - Informatica. [En línea], Firewalls y seguridad en Internet, <http://www.pronet-informatica.com/seguridad/inicio.php>, [Citado el: 15 de noviembre de 2008.]

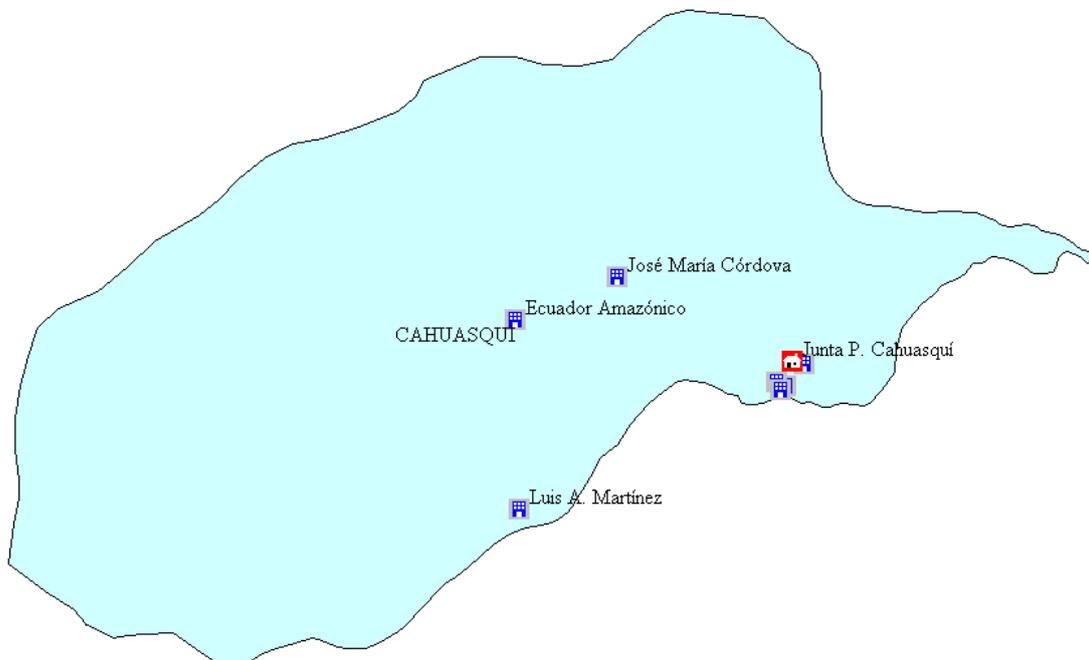
ANEXOS

8.1 Anexo 1. Mapa de la parroquia de Urcuquí con las instituciones referenciadas geográficamente



Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.2 Anexo 2. Mapa de la parroquia de Cahuasquí con las instituciones referenciadas geográficamente



Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.3 Anexo 3. Mapa de la parroquia de Buenos Aires con las instituciones referenciadas geográficamente



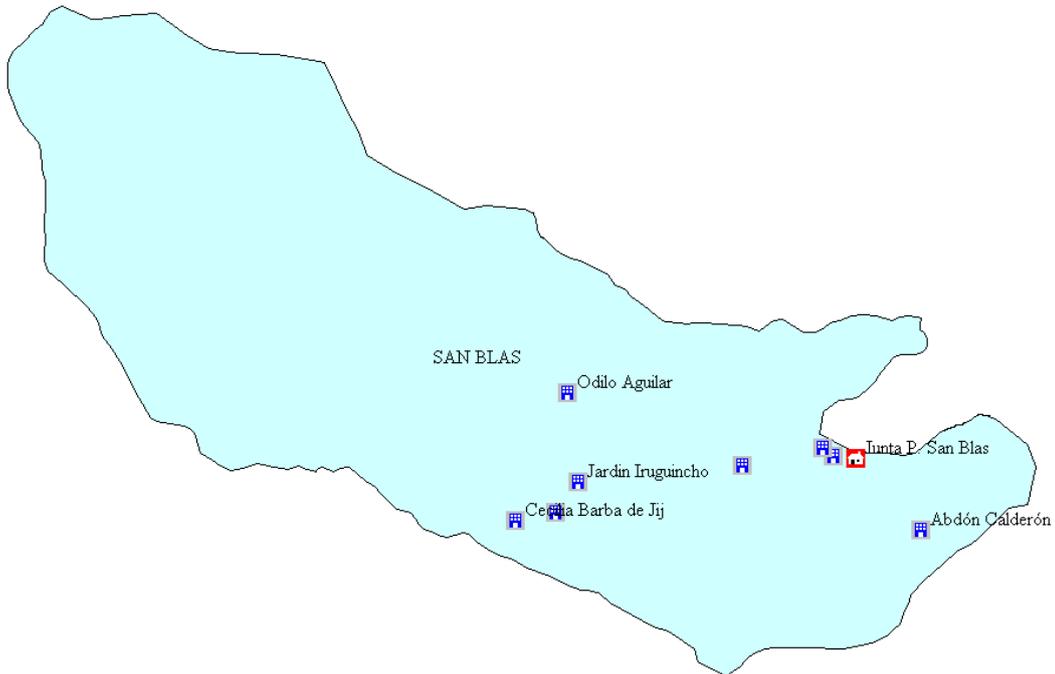
Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.4 Anexo 4. Mapa de la parroquia de Pablo Arenas con las instituciones referenciadas geográficamente



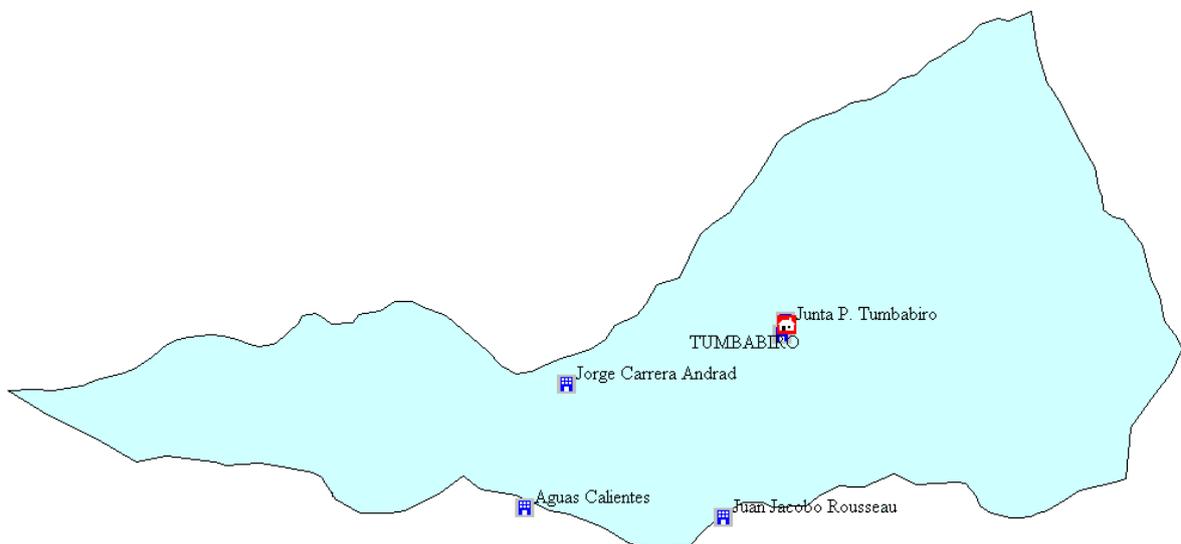
Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.5 Anexo 5. Mapa de la parroquia de San Blas con las instituciones referenciadas geográficamente



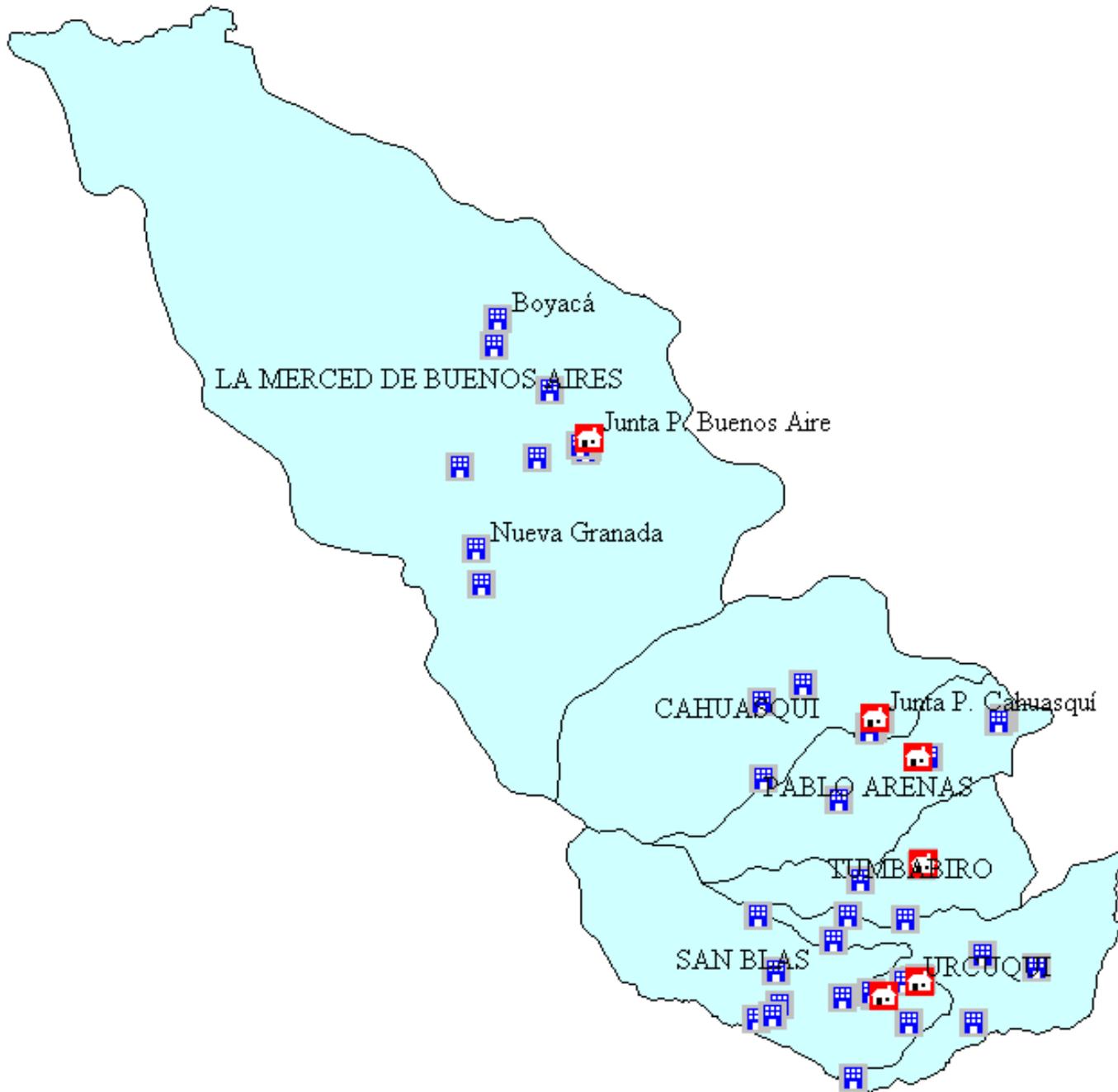
Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.6 Anexo 6. Mapa de la parroquia de Tumbabiro con las instituciones referenciadas geográficamente



Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.7 Anexo 7. Mapa del cantón de San Miguel de Urcoquí con las instituciones referenciadas geográficamente



Fuente: Mapas digitales de FODETEL

8.8 Anexo 8. Fotografías de Instituciones Beneficiarias



Título: Escuela Vicente Rocafuerte - Parroquia Tumbabiro
Autor: Andrés Cervantes

Título: Escuela Vicente Rocafuerte - Parroquia Tumbabiro (2)
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Jorge Carrera Andrade - Parroquia Tumbabiro
Autor: Andrés Cervantes

Título: Escuela Jorge Carrera Andrade - Parroquia Tumbabiro (2)
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Quintillano Sanchez - Parroquia Urcuquí
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Simón Rodríguez - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Colegio Técnico Urcuquí - Parroquia Urcuquí
Autor: Andrés Cervantes



Título: Colegio Luis Felipe Borja - Parroquia Urcuquí
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Odilo Aguilar - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Aguas Calientes - Parroquia Tumbabiro
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Eugenio Espejo - Parroquia Urcuquí
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Cecilia Barba de Jijón - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Jardín de Infantes Iruguincho - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Jardín de Infantes Iruguincho (2) - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Juan León Mera – Parroquia
Autor: Andrés Cervantes



Título: Colegio Nacional Cahuasquí - Parroquia Cahuasquí
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Provincia de Manabí - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes



Título: Escuela Provincia de Manabí (2) - Parroquia San Blas
Autor: Andrés Cervantes

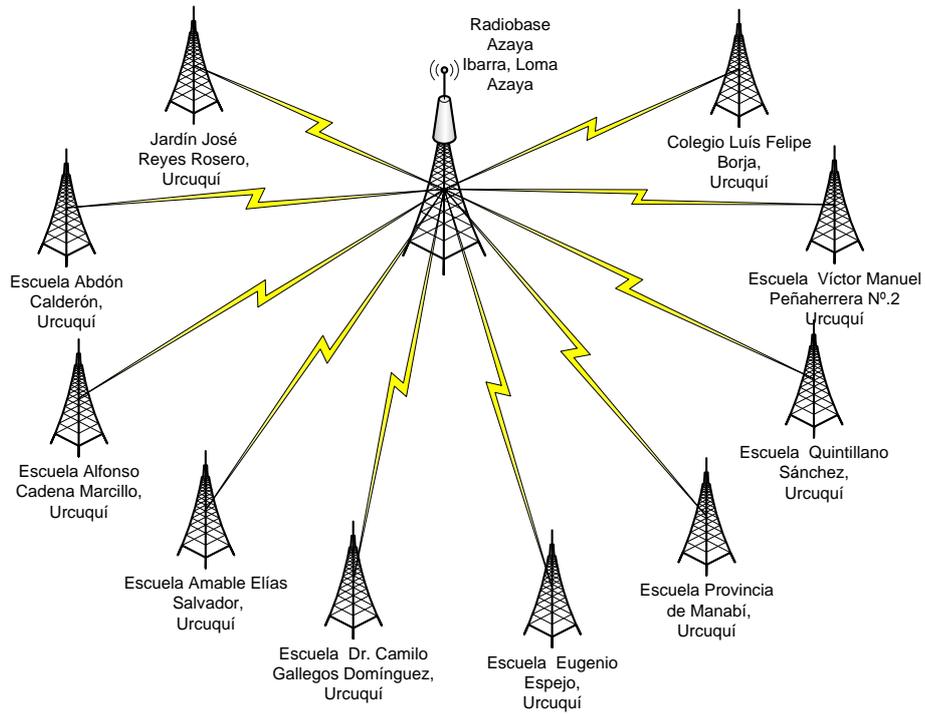


Título: Escuela Luis Alfredo Martínez - Parroquia Cahuasquí
Autor: Andrés Cervantes

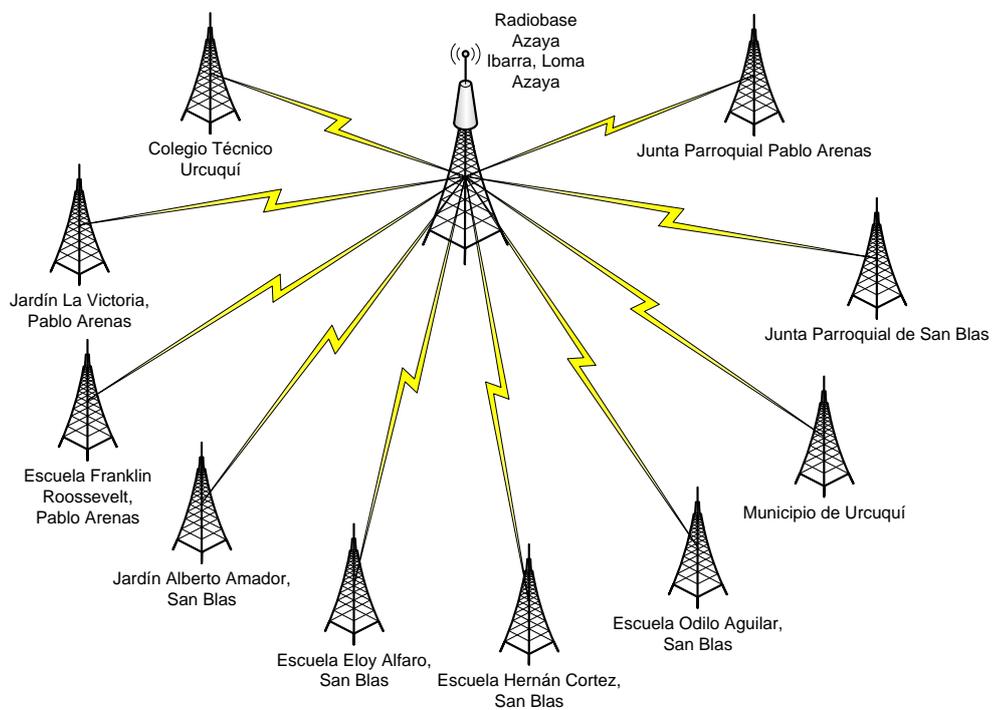


Título: Escuela Dr. Camilo Gallegos - Parroquia Urcuquí
Autor: Andrés Cervantes

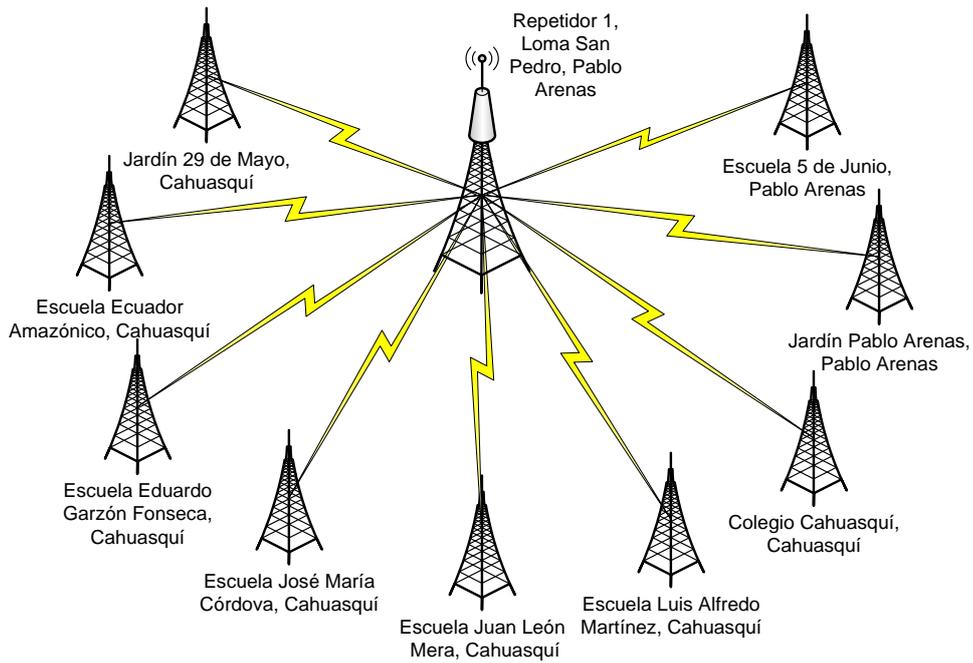
8.9 Anexo 9. Esquema de la Red de Acceso de la Radio base Azaya (Parte 1 de 2)



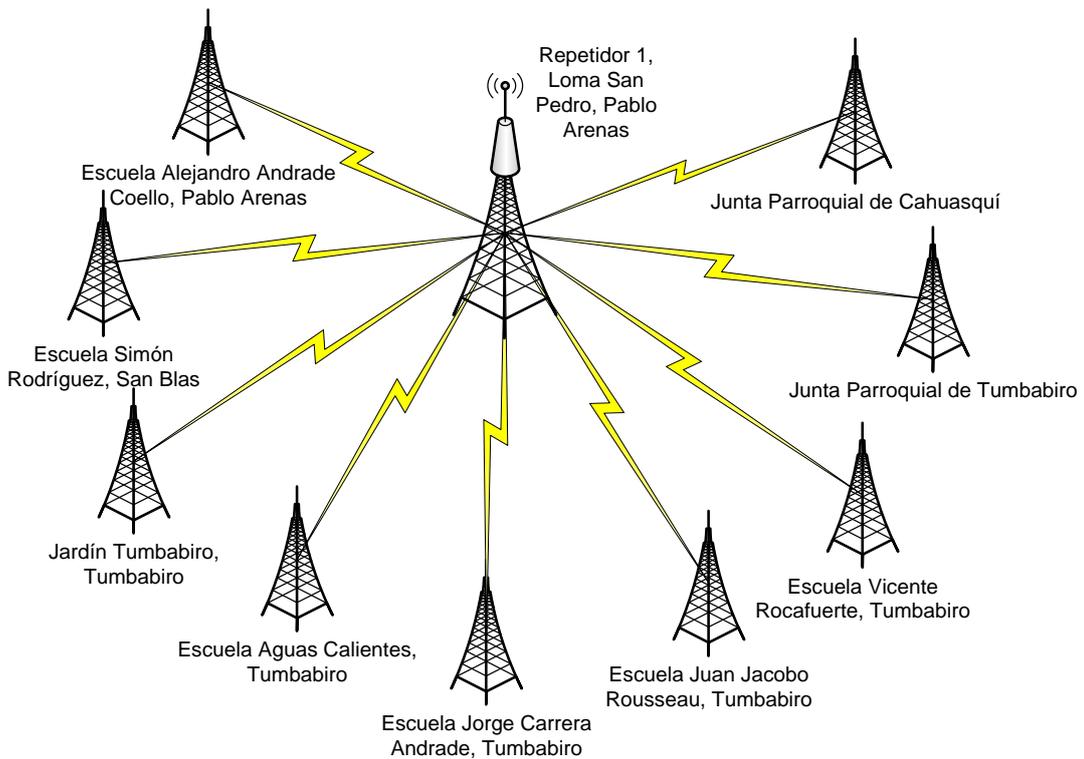
8.10 Anexo 10. Esquema de la Red de Acceso de la Radio base Azaya (Parte 2 de 2)



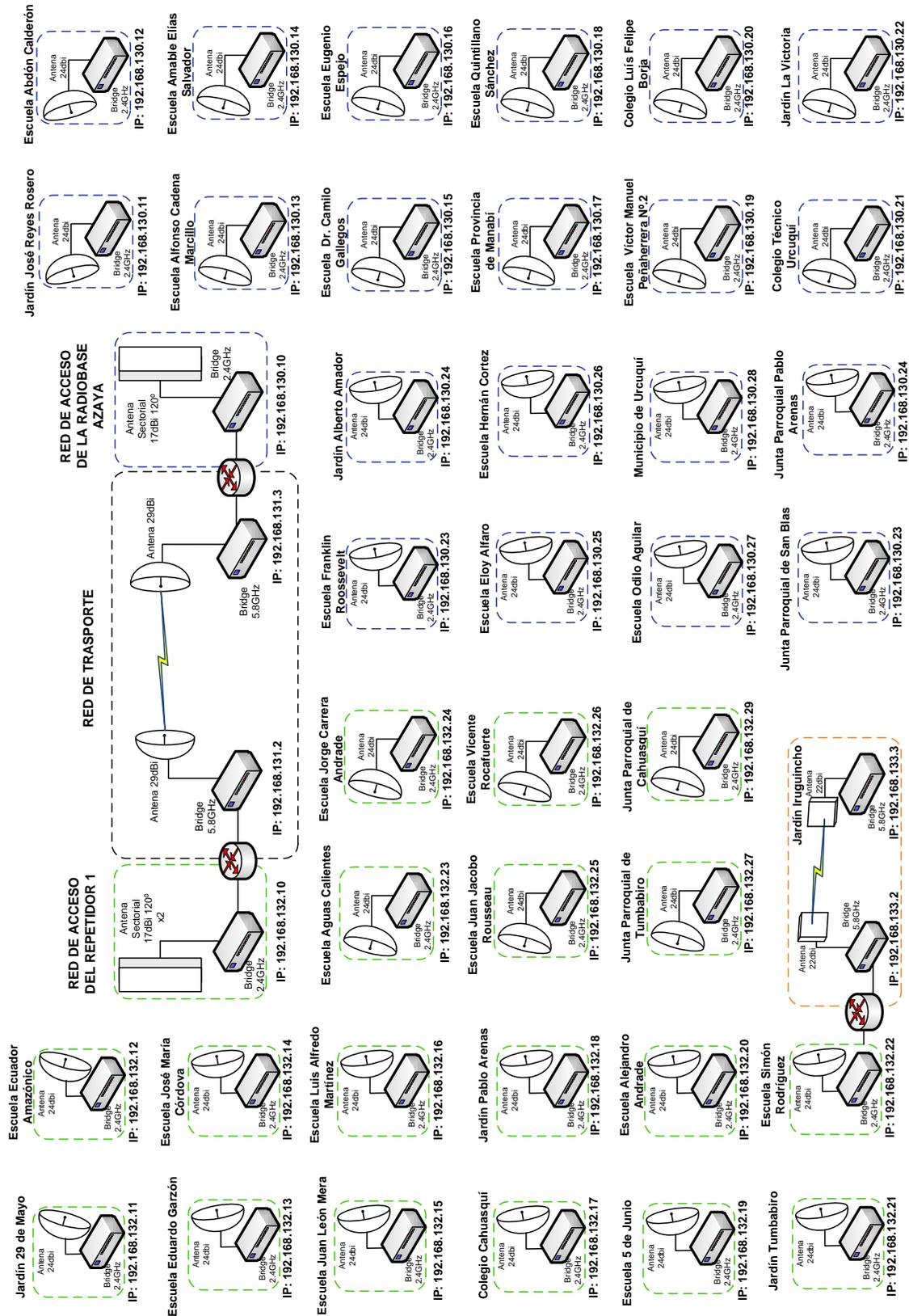
8.11 Anexo 11. Esquema de la Red de Acceso del Repetidor 1 (Parte 1 de 2)



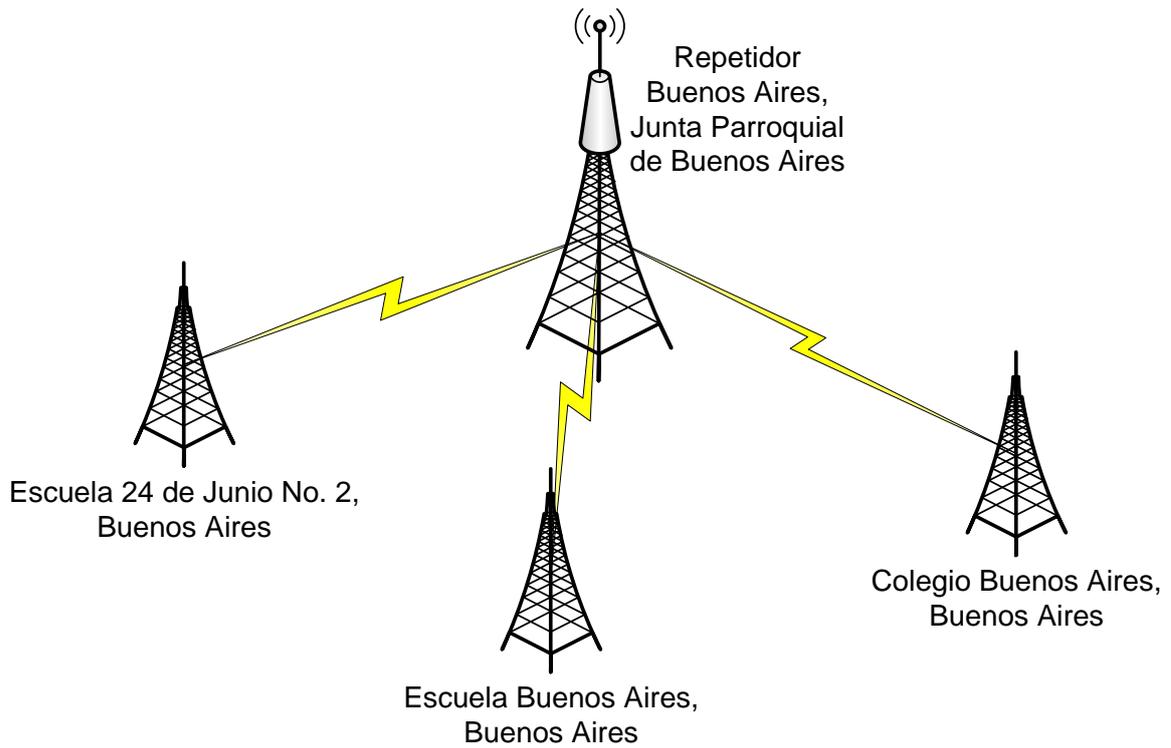
8.12 Anexo 12. Esquema de la Red de Acceso del Repetidor 1 (Parte 2 de 2)



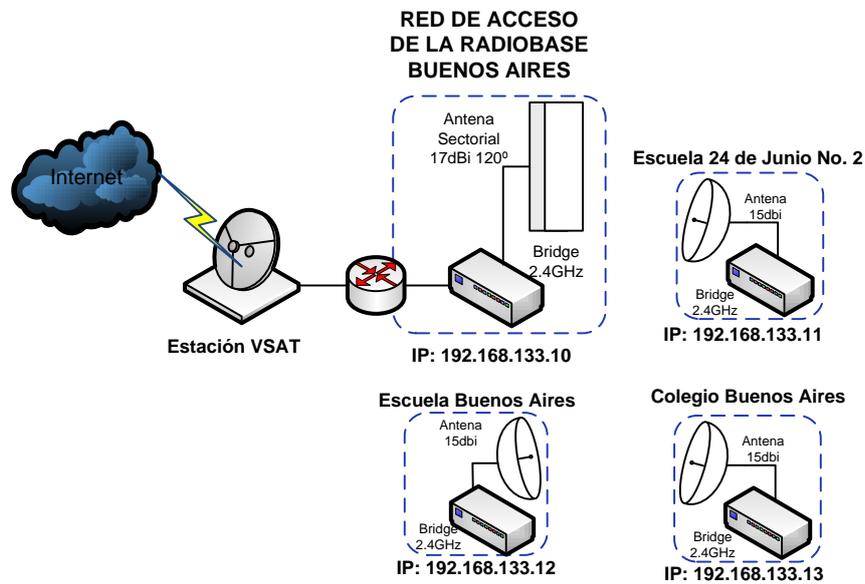
8.13 Anexo 13. Configuración de la red WAN



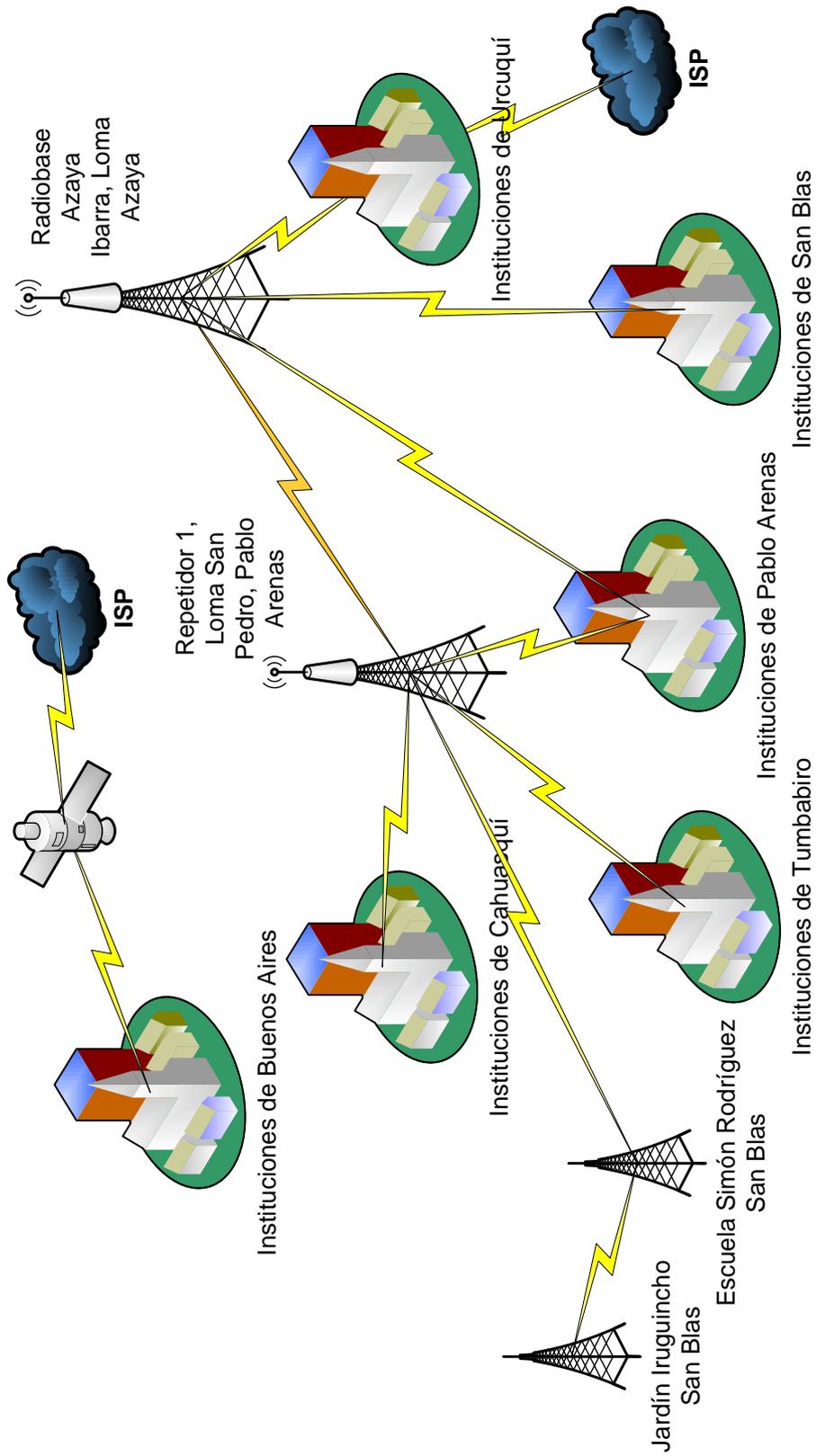
8.14 Anexo 14. Esquema de la red de acceso de Buenos Aires



8.15 Anexo 15. Configuración de la red de acceso de Buenos Aires



8.16 Anexo 16. Esquema total de la red



8.17 Anexo 17. Hojas técnicas de los equipos utilizados



TELETRONICS
INTERNATIONAL INC.

www.teletronics.com

Introducing Teletronics' TT™ Series



TT™5800

High Power 802.11a Bridge

Item# 11-144i (AP Mode)
Item# 11-146i (Bridge Mode)
FCC ID: MFMTT5800

Features

- Ultra High 500mW Output power in OFDM modulation (w/optional M58 amp)
- Web & SNMP based Management EZManager
- Adjustable Transmit (TX) Power
- VLAN Transparent Support
- Intra-BSS Traffic Blocking (Layer 2 Isolation)
- Configurable ACK timeout for long distance
- Turbo-mode for high data rate (Optional)
- Ruggedized waterproof and all weather enclosure
- WDS available in AP Mode

Specifications

| | |
|--|--|
| <p>Standard Compliance: IEEE 802.11a</p> <p>Modulation: OFDM w/BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM Modulation</p> <p>Frequency Band: 5.725 - 5.850 GHz (US FCC) 5.15 - 5.825 (Available ONLY for OEM, Military & Export Version)</p> <p>Data Rate: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, and 6Mbps</p> <p>Output Power: 23 dBm (+/- 1.5dB) @ 6/9/12 /18/24 Mbps, 22 dBm @ 36 Mbps, 21 dBm @ 48 Mbps, 18 dBm @ 54 Mbps</p> <p>Mounting: For both wall and pole mount</p> <p>Enclosure: Silver Powder Coated Cast Aluminum</p> <p>Fully Transparent Bridge: Bridge Layer 2 in AP + WDS mode only, Bridge Layer 2.5 in SU mode</p> <p>Connector: N-Type Female</p> | <p>Receive Sensitivity: -90 dBm ≤ 6 Mbps -72 dBm ≤ 54 Mbps</p> <p>RF Channels: Total of 12 Non-Overlapping Ch. (5 Channels: 5.725 ~ 5.850 GHz)</p> <p>Data Security: WPA, WPA2 & 64/128 bit WEP Data Security, MAC Address Filter, Intra-BSS Traffic Blocking (Layer 2 Isolation)</p> <p>Management: Web and SNMP based Management EZManager</p> <p>Ethernet Connection: 10/100 Base T Auto MDI/MDX</p> <p>DC Power Input: Includes 48VDC Adapter & PoE Injector with surge protection IEEE 802.3af compliant</p> <p>Operating Temperature: -40 °C to + 70 °C</p> <p>Weight: 5.5 lbs</p> |
|--|--|



TT™2400

High Power 250mW 802.11b/g Bridge

Item# 11-152i (AP Mode)
Item# 11-153i (Bridge Mode)
FCC ID: MFMTT-2400

Features

- Web & SNMP based Management EZManager
- Adjustable Transmit (TX) Power
- VLAN Transparent Support
- Intra-BSS Traffic Blocking (Layer 2 Isolation)
- Configurable ACK timeout for long distance
- Turbo-mode for high data rate (Optional)
- Ruggedized waterproof and all weather enclosure
- WDS available in AP Mode

Specifications

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|--|------------------|--|-----------------|--|-----------------|--|
| <p>Standard Compliance: IEEE 802.11b/g (54Mbps)</p> <p>Modulation: OFDM w/BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM Modulation</p> <p>Frequency Band: 2.4GHz IEEE 802.11b/g ISM Band</p> <p>Data Rate: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 11, 9, 6, 5.5, and 1 Mbps</p> <p>Output Power: IEEE 802.11b: 23dBm (+/- 1.5dB) @ 1/2/5.5/11Mbps, IEEE 802.11g: 20dBm (+/- 1.5dB) @ 54 Mbps 21dBm (+/- 1.5dB) @ 48 Mbps 22dBm (+/- 1.5dB) @ 36 Mbps 23dBm (+/- 1.5dB) @ 6 Mbps</p> <p>Mounting: For both wall and pole mount</p> <p>Enclosure: Silver Powder Coated Cast Aluminum</p> <p>Connector: N-Type Female</p> | <p>Receive Sensitivity:</p> <table style="width: 100%; font-size: 0.7em;"> <tr> <td>IEEE 802.11g</td> <td>IEEE 802.11b</td> </tr> <tr> <td>54Mbps: ≤ -72dBm</td> <td>11Mbps: ≤ -88dBm</td> </tr> <tr> <td>48Mbps: ≤ -73dBm</td> <td>5.5Mbps: ≤ -90dBm</td> </tr> <tr> <td>36Mbps: ≤ -77dBm</td> <td>2Mbps: ≤ -92dBm</td> </tr> <tr> <td>24Mbps: ≤ -81dBm</td> <td>1Mbps: ≤ -95dBm</td> </tr> <tr> <td>18Mbps: ≤ -84dBm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12Mbps: ≤ -86dBm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9Mbps: ≤ -88dBm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6Mbps: ≤ -89dBm</td> <td></td> </tr> </table> <p>Management: Web and SNMP based Management EZManager</p> <p>Fully Transparent Bridge: Bridge Layer 2 in AP + WDS mode only, Bridge Layer 2.5 in SU mode</p> <p>RF Channels: Total of 3 Non-Overlapping Channels</p> <p>Data Security: WPA, WPA2 & 64/128 bit WEP Data Security, MAC Address Filter, Intra-BSS Traffic Blocking (Layer 2 Isolation)</p> <p>Ethernet Connection: 10/100 Base T Auto MDI/MDX</p> <p>DC Power Input: Includes 48VDC Adapter & PoE Injector with surge protection IEEE 802.3af compliant</p> <p>Operating Temperature: -40 °C to + 70 °C</p> <p>Weight: 5.5 lbs</p> | IEEE 802.11g | IEEE 802.11b | 54Mbps: ≤ -72dBm | 11Mbps: ≤ -88dBm | 48Mbps: ≤ -73dBm | 5.5Mbps: ≤ -90dBm | 36Mbps: ≤ -77dBm | 2Mbps: ≤ -92dBm | 24Mbps: ≤ -81dBm | 1Mbps: ≤ -95dBm | 18Mbps: ≤ -84dBm | | 12Mbps: ≤ -86dBm | | 9Mbps: ≤ -88dBm | | 6Mbps: ≤ -89dBm | |
| IEEE 802.11g | IEEE 802.11b | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54Mbps: ≤ -72dBm | 11Mbps: ≤ -88dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48Mbps: ≤ -73dBm | 5.5Mbps: ≤ -90dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36Mbps: ≤ -77dBm | 2Mbps: ≤ -92dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24Mbps: ≤ -81dBm | 1Mbps: ≤ -95dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18Mbps: ≤ -84dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12Mbps: ≤ -86dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9Mbps: ≤ -88dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6Mbps: ≤ -89dBm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Accessories

- P/N# 2100-0607**
50 Meter PoE Cable / Standard
- P/N# 2100-0601**
70 Meter PoE Cable / Optional
- P/N# 2100-0602**
90 Meter PoE Cable / Optional
- P/N# 2104-0083**
AC Power Cord for PoE Injector-US
- P/N# 2110-0111**
AC Power Cord for PoE Injector-EU
- P/N# 2110-0112**
AC Power Cord for PoE Injector-UK
- P/N# 2110-0100**
AC Power Cord for PoE Injector-China
- P/N# MK001**
2"-5" Pole Mounting Kit
- P/N# MK002**
8"-10" Pole Mounting Kit
- P/N# 0640-0086**
AC/DC PoE Injector
- P/N# MT-RSSI Meter**
WiFi Bridge RSSI Voltage Meter
- P/N# MK003**
Wall Mounting Kit

Antenna Options

- P/N# WC-725**
5.725-5.875GHz
Omni Antenna (8dB)
H: 300 degree, V: 12 degree
N Type Female
- P/N# WC-726**
5.725-5.875GHz, 9 degree
Panel Antenna (23dB)
H: 9 degree, V: 9 degree
N Type Female
- P/N# WC-733**
5.725-5.875GHz, 9 degree
Panel Antenna (23dB)
H: 300 degree, V: 9 degree
N Type Female
- P/N# WS-727**
2.4-2.5GHz Omni Antenna (8dB)
H: 300 degree, V: 12 degree
N Type Female
- P/N# WC-728**
5.15-5.875GHz, 120 degree
Sector Antenna (13.5dB)
H: 120 degree, V: 6 degree
N Type Female
- P/N# WC-729**
5.15-5.875GHz, 60 degree
Sector Antenna (16.5dB)
H: 60 degree, V: 6 degree
N Type Female
- P/N# WS-731**
2.4-2.5GHz, 90 degree
Sector Antenna (12dB)
H: 90 degree, V: 15 degree
N Type Female
- P/N# WC-734**
5.725-5.85GHz, 6 degree
Dish Antenna (20dB)
H: 6 degree, V: 6 degree
N Type Female

Extend your freedom of Wi-Fi Access

Wireless LAN Series

MTI AP5822/BR5811b

The MTI AP5822 & BR5811b offer you a new high-performance solution. The MTI AP5822 & BR5811b provide you an easy installation and flexible deployment architecture for the wide area networking. The 802.11a technology is used as the wireless backbone for the high-throughput data transmission, and the 802.11b/g technology is used for the local wireless LAN access service.

The BR5811b is based on the 802.11a standards for point-to-point communication as well as the point-to-multipoint communication.

The AP5822 is based on the 802.11a+b/g standards including all 802.11b features and applications, and also providing access point application based on 802.11b/g compliant standards.

Product Feature Highlight

- IEEE 802.11a & IEEE 802.11b support
- Support PTP and PMP bridging communication
- Up to 28km bridging communication distance
- Light weight & built-in lightning protection
- Built-in High-Gain Antenna
- Support DFS, NAT, STP and more advanced features
- Hardware Encryption for Wi-Fi Protected Access (WPA), Advanced Encryption Standard (AES)

802.11 Drive Demand for Broadband Wireless

Product appearance and specifications are subject to change without prior notice.

Product Information

| Standard | Model | Bridge-802.11a / 802.11b/g | Access Point-AP5822 / AP5822D |
|------------------------------------|--|---|--|
| General Standard | Ethernet Standard | IEEE802.3 / IEEE802.3u | IEEE802.3 / IEEE802.3u |
| | Wireless Standard | IEEE802.11a | IEEE802.11a / IEEE802.11b / IEEE802.11g |
| | Ethernet interface | Full Half duplex mode 10/100 Base-T Compliant | Full Half duplex mode 10/100 Base-T Compliant |
| Performance Features | Associated Max Client Mode - Bridge | 4/8 | 4/8 |
| | Associated Max Client Mode - AP | • | 10 |
| | DFS | • | • |
| | VLAN with Multiple SSID | • | • |
| Network | STP | • | • |
| | RST | • | • |
| | PPPoE | • | • |
| | DHCP Client | • | • |
| | DHCP Server | • | • |
| Security | WEP security (41/128/152 bit) | • | • |
| | WPA (TKIP / AES / L2L) | • | • |
| | MAC filtering | • | • |
| | 802.1x authentication control | • | • |
| Management | Remote Support | • | • |
| | HTTP Management / HTTPS Management | • | • |
| | User Management | • | • |
| | Web Firmware Upgrade | • | • |
| | FTP Firmware Upgrade | • | • |
| | New RSSI / RSSD Auto Detect | • | • |
| | SNMP | • | • |
| | LED | • | • |
| Hardware Specification | Dimension | 210.5 x 210.5 x 37.3 mm | 210.5 x 210.5 x 37.3 mm |
| | Weight | 1.22kg (without Accessories) | 1.22kg (without Accessories) |
| | Power Consumption (At the PoE Connector) | 48 VDC - 4.8W (Typical) / 1.35 W (Max) | 48 VDC - 4.8W (Typical) / 1.35W (Max) |
| | Ethernet interface | 10 / 100 Ethernet Port | 10 / 100 Ethernet Port |
| Environmental Specification | Waterproof & Anti-Dust | IP-40 Compliant | • |
| | Operating Temperature Ambient | -30 ~ +55 | • |
| | Storage Temperature | -40 ~ +55 | • |
| | Humidity | 0% to 100% Non-condensing | • |
| | Operating Altitude | 15,000 ft (4,572 m) | • |
| RF Specification | | Bridge-BR5811b / BR5811b/g | Access Point-AP5822 / AP5822D |
| RF Channel | 5 GHz | • | • |
| | US / Canada / China | 5.15 - 5.35 GHz / 5.75 - 5.85 GHz | • |
| | Europe | 5.15 - 5.35 GHz / 5.47 - 5.725 GHz | • |
| | Japan | 4.9 - 5.0 GHz / 5.15 - 5.35 GHz | • |
| | 2.4 GHz | 2.412 - 2.485 GHz | • |
| RF Modulation | QPSK / BPSK / QPSK / 16QAM / 64QAM | • | • |
| | QPSK / BPSK / QPSK / 16QAM / 64QAM | • | • |
| | QPSK / BPSK / QPSK / 16QAM / 64QAM | • | • |
| Data Rate | 802.11a/g | 54Mbps / 48Mbps / 36Mbps / 24Mbps / 18Mbps / 12Mbps / 9Mbps / 6Mbps | 54Mbps / 48Mbps / 36Mbps / 24Mbps / 18Mbps / 12Mbps / 9Mbps / 6Mbps |
| | 802.11b | N/A | 11Mbps / 5.5Mbps / 2Mbps / 1Mbps |
| | 802.11g Turbo | 120Mbps / 108Mbps / 72Mbps / 48Mbps / 36Mbps / 24Mbps / 18Mbps / 12Mbps | 108Mbps / 96Mbps / 72Mbps / 48Mbps / 36Mbps / 24Mbps / 18Mbps / 12Mbps |
| Receiver Sensitivity | 802.11a/g | -90dBm @ 54Mbps / -77dBm @ 6Mbps | -90dBm @ 54Mbps / -77dBm @ 6Mbps |
| | 802.11b | -100dBm @ 11Mbps / -87dBm @ 1Mbps | -100dBm @ 11Mbps / -87dBm @ 1Mbps |
| | 802.11g | -90dBm @ 11Mbps / -87dBm @ 6Mbps | -90dBm @ 11Mbps / -87dBm @ 6Mbps |
| Transmit Output Power | 5 GHz-802.11a | 17dBm @ 54Mbps / 16dBm @ 6Mbps / 20dBm @ 18Mbps - 6Mbps | 17dBm @ 54Mbps / 16dBm @ 6Mbps / 20dBm @ 18Mbps - 6Mbps |
| | 2.4 GHz-802.11b | N/A | 20dBm @ 11Mbps - 1Mbps |
| | 2.4 GHz-802.11g | N/A | 16dBm @ 11Mbps / 15dBm @ 6Mbps / 20dBm @ 18Mbps - 6Mbps |

Product Model

- BR5811b: Built-in 802.11a, 17 dBi Patch Antenna
- BR5811bEO: One External 802.11a Antenna Port
- AP5822: Built-in 802.11a, 17 dBi Patch Antenna
- AP5822D: Two External 802.11b/g Antenna Ports
- AP5822D: One External 802.11a Antenna Port
- AP5822D: One External 802.11b/g Antenna Port

Note: Customize product packet from the following accessories list with these models.

Antenna

- WC-725: 5.725MHz - 5.875MHz, 8dB / Omni Antenna
- WC-726: 5.725MHz - 5.875MHz, 23dB / 9" Flat Panel Antenna
- WC-728: 5.150MHz - 5.875MHz, 13.5dB / 120" Sector Antenna
- WC-729: 5.150MHz - 5.875MHz, 16.5dB / 60" Sector Antenna
- WC-733: 5.150MHz - 5.875MHz, 23dB / 9" Panel Antenna
- WC-734: 5.725MHz - 5.850MHz, 20dB / 6" Dish Antenna
- WS-727: 2400MHz - 2500MHz, 8dB / Dipole Antenna
- WS-730: 2400MHz - 2500MHz, 15dB / 90" Sector Antenna
- WS-731: 2400MHz - 2500MHz, 12dB / 90" Sector Antenna
- WS-732: 2400MHz - 2500MHz, 17dB / 65" Sector Antenna

Accessories

- 2106-0050: N Type, 70 cm, 50dBi RF Cable
- MT-RSSI Meter: Long Distance Antenna Alignment / Optional
- 2100-0607: 50 Meter PoE Cable / Standard
- 2100-0601: 70 Meter PoE Cable / Optional
- 2100-0602: 90 Meter PoE Cable / Optional
- 0640-0086: AC/DC PoE Injector
- 2104-0083: Power Cord for AC/DC PoE Injector - US
- 2110-0111: Power Cord for AC/DC PoE Injector - EU
- 2110-0112: Power Cord for AC/DC PoE Injector - UK
- 2110-0100: Power Cord for AC/DC PoE Injector - China
- MK001: 2"-5" Pole Mounting Kit
- MK002: 8"-10" Pole Mounting Kit
- MK003: Wall Mounting Kit

Product Certification

FC CE RoHS

FCC: Part 15
CE: EN301893 (2003-08) / EN300220 (2003-04) / EN60950 (2001-01)
DGT: LP 0002 - 982 / 08

Information

Taiwan: TEL: +886-3-577-3335 E-Mail Address: sales@mti.com.tw
FAX: +886-3-577-2636 Our Website: www.mti.com.tw

USA: TEL: +1-408-202-8235 E-Mail Address: sales_usa@mti.com.tw

Extend your freedom of WiFi Access

MTI Wireless Dual-Band Access Point / Building-to-Building Bridge

Making essential links in wireless communication industry

Wireless LAN



ProST

Rapid and Simple External Deployment

Main Features

- Suitable for full outdoor Non-LOS deployment
 - Based on field-proven mechanics
- ProST and ProST-WiFi are available in a wide range of frequencies including:
 - 3.3GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.1GHz, 5.4GHz, 5.8GHz, 5.9GHz
- Comprehensive range of indoor Subscriber Data Adaptors (SDA)
 - 1-4 port Switch
 - Up to 4 ports with VLAN switching
 - Indoor and Outdoor IEEE 802.11b/g Wi-Fi and VoIP support
 - AC or DC powering options
- Outdoor and indoor units connected using CAT5e cable
- Built-in antenna gain of 17dBi
 - Industrial strength Wi-Fi AP
 - Tx power – 16dBm
 - Antenna gain – 2dBi
 - 16 SSIDs
 - Transparent Layer 2 bridge
 - IEEE 802.1q VLAN support

ProST-2 and ProST-Wi-Fi-2

ProST is a customer premises equipment designed for outdoor deployment. It is designed for rapid and simple external deployment, to be fitted by trained personnel in less than one hour. The operator would deploy the ProST when a specific service level needs to be guaranteed to the end customer. The ProST ensures high service availability at enhanced ranges, operating in both LOS and NLOS propagation environments.

ProST product family has two models:

- **ProST** which delivers WiMAX access
- **ProST-WiFi** which delivers WiMAX access together with integrated Wi-Fi capability.

To obtain a basic service capability, the ProST would not require programming with any initial configuration data. However, to deliver service to the ProST will require the management system to authenticate the customer's equipment using the internal X.509 certificate. This may be achieved automatically (through a web based registration service) or via a telephone call to a central administration centre.

ProST supports a two piece design comprising of the outdoor unit (ODU) which contains the radio, the antenna and the baseband processor in an environmentally robust enclosure, and a family of indoor adapters called Subscriber Data Adapter (SDA) designed to support the delivery of a range of end-user services. Service interface options include:

- 1 to 4 Port Switch
- 4 port with VLAN Port Switching
- Integral 802.11b/g WiFi Access Point (SDA-WiFi)
- Integral VoIP IAD (SDA-MSG)

Pro-ST users can benefit from VoIP services and indoor WiFi coverage by deploying the SDA-MSG and SDA-WiFi units respectively.



SDA-MSG

SDA-WiFi

SDA-MSG comprises of the EasyVoice unit plus a Power Supply Adaptor (PSA). The SDA-WiFi consists of the EasyWiFi unit plus PSA.

The latest generation ProST called ProST-2 is based on the Rosedale 2 chipset from Intel and is capable of supporting both Mobile WiMAX and Fixed WiMAX profiles. Simply through software the device can be configured to support one or the other profile.

ProST-WiFi, in addition to the WiMAX access also supports an outdoor integrated IEEE 802.11b/g Access Point inside of the same ProST ODU enclosure. This solution enables ProST-WiFi to provide outdoor Wi-Fi coverage with WiMAX backhaul thus ensuring the rapid rollout of Wi-Fi Hotzones. ProST-WiFi operates over the full ProST temperature range and includes industrial strength IEEE 802.11b/g technology that supports 16 SSIDs per CPE and SSID to VLAN and VLAN to IEEE 802.16 Service Flow mapping.

ProST and ProST-WiFi can be managed by Airspan's Web-based management system using a standard Web browser. Alternatively, it can be managed using an SNMP-based network management system such as Airspan's Netspan element manager through standard and proprietary MIBs.

ProST-2 Technical Summary

| | ProST-2 |
|-------------------------------------|--|
| Mobile WMAX | Yes |
| Fixed WMAX | Yes |
| Standards Compliance | IEEE 802.16e-2005 |
| | IEEE 802.16-2004 |
| Form Factor | Outdoor |
| Frequency Bands | 1.5GHz, 3.3GHz, 3.9GHz, 3.7GHz, 4.9GHz, 5.1GHz, 5.4GHz, 5.8GHz, 5.9GHz |
| Channel Size | 10MHz, 7MHz, 5MHz, 3.5MHz, 1.75MHz |
| FFT | 1024, 512, 256 |
| Duplex Method | TDD, FDD |
| Tx Power (Frequency band dependant) | +24dBm |
| Rx Sensitivity | -103dBm |
| STC | Yes |
| MIMO | No |
| MIMO Matrix Type | No |
| CSM | Yes |
| Beamforming | No |
| UpLink Sub-Channelization | Yes |
| RUSC | NO |
| Fractional Frequency Reuse | NO |
| Ethernet CS | Yes |
| IP CS | Yes |
| IP version support | IPv6, IPv4 |
| User Interface | 10/100bT Ethernet, WFL, POTS with integrated RGW |
| Eid to Eid VLAN (802.1q) | Yes |
| Supported Usage Scenarios | Fixed |
| Handover Supported | No |
| Encryption | DES, AES |
| Authentication | PIR, PKMv2, EAP-TLS, EAP-AKA, EAP-SM |

Note: Specifications are subject to change without notice and are for information purposes only.



Worldwide Headquarters:
Airspan Networks Inc.
777 Yamato Road, Suite 105,
Boca Raton, FL 33431-4408, USA
Tel: +1 561 893 8670 Fax: +1 561 893 8671

Main Operations:
Airspan Communications Limited
Cambridge House, Oxford Road,
Uxbridge, Middlesex, UB8 1UN, UK
Tel: +44 (0) 1895 467 100 Fax: +44 (0) 1895 467 101

www.airspan.com

8.18 Anexo 18. Flujo de caja de la Red Comunal para el cantón Urcuquí

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| 1 Ingresos | | 684076,61 | 149300,00 | 149300,00 | 149300,00 | 149300,00 |
| Pago anual de los alumnos | | 31940,00 | 31940,00 | 31940,00 | 31940,00 | 31940,00 |
| Aporte solidario de empresas privadas | | 1200,00 | 1200,00 | 1200,00 | 1200,00 | 1200,00 |
| Ingreso neto de centro de copiado | | 116160,00 | 116160,00 | 116160,00 | 116160,00 | 116160,00 |
| Aporte FODETEL | | 534672,66 | | | | |
| 2 Costos | | -156683,78 | -156683,78 | -148822,20 | -145422,20 | -139422,20 |
| Internet | | -18000,00 | -18000,00 | -12000,00 | -12000,00 | -10000,00 |
| Internet Satelital | | -28920,00 | -28920,00 | -27400,00 | -24000,00 | -20000,00 |
| Uso del Espectro Radioeléctrico | | -1375,20 | -1375,20 | -1063,20 | -1063,20 | -1063,20 |
| Mantenimiento | | -2788,58 | -2788,58 | -2759,00 | -2759,00 | -2759,00 |
| Salario del Personal | | -105600,00 | -105600,00 | -105600,00 | -105600,00 | -105600,00 |
| MARGEN OPERACIONAL BRUTO | | 527392,83 | -7383,78 | 477,80 | 3877,80 | 9877,80 |
| 3 Gastos no desembolsables | | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 |
| Depreciación equipos | | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 | -11228,68 |
| MARGEN OPERACIONAL FINAL | | 516164,15 | -18612,45 | -10750,88 | -7350,88 | -1350,88 |
| 4 Ajuste por Gastos no desembolsables | | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 |
| Depreciación por equipamiento | | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 | 11228,68 |
| 5 Inversión | -275942,36 | | | -58443,00 | | |
| | 275942,36 | | | | | |
| Equipamiento para red WiFi | 33689,40 | | | | | |
| Infraestructura | 62746,64 | | | | | |
| Equipamiento Informático | 179506,32 | | | -58443,00 | | |
| Total US\$ | -275942,36 | 527392,83 | -7383,78 | -57965,20 | 3877,80 | 9877,80 |

FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, 13 de febrero de 2009.

MSC. Ing. Gonzalo Olmedo.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Andrés Eduardo Cervantes Rivadeneira

Autor