

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERIA
SECCION INGENIERIA DE LAS TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE TELECOMUNICACIONES RURALES



# REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES

Segunda Edición

Grupo de Telecomunicaciones Rurales Pontificia Universidad Católica del Perú

Lima, Febrero 2011

#### Redes Inalámbricas para Zonas Rurales

Pontificia Universidad Católica del Perú Grupo de Telecomunicaciones Rurales GTR-PUCP, http://gtr.telecom.pucp.edu.pe

Compilación, Diseño y Edición General: César Córdova y Carlos Rey.

©2011, GTR-PUCP

Primera edición: Enero 2008 Segunda edición: Febrero 2011

**Autores:** Gerson Araujo, Luis Camacho, David Chávez, César Córdova, Jeffry Cornejo, David Espinoza, Leopoldo Liñán, Jesús Margarito, Andrés Martínez, Pablo Osuna, Yuri Pacheco, Juan Paco, Yvanna Quijandria, River Quispe, Carlos Rey, Sandra Salmerón, Arnau Sánchez, Paola Sanoni, Joaquín Seoane, Javier Simó y Jaime Vera.

La mayor parte de los contenidos de este libro han sido gestados gracias al trabajo conjunto del GTR-PUCP con diferentes instituciones enmarcadas dentro de los Programas EHAS y Willay, como la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos de España, la ONGD Ingeniería Sin Fronteras ApD y la Universidad del Cauca en Colombia.

La edición y publicación de este libro son financiados por la Universidad Politécnica de Madrid y la Junta de Comunidades Castilla la Mancha en el marco del Programa Willay.

http://www.willay.org.pe

Los editores de este libro no se responsabilizan de los incidentes o daños que pudiera ocasionar la utilización de la información contenida en él.



Este libro está publicado bajo la licencia Reconocimiento-Uso no Comercial-Compartir por Igual, versión 2.5, de Creative Commons Perú.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/legalcode

## Índice general

Sobre este libro Sobre la segunda edición Sobre GTR-PUCP Trabajo colaborativo con otras instituciones  1. Introducción 1.1. Contexto rural en los países en desarrollo 1.2. Características de las soluciones tecnológicas para este contexto	1
Sobre GTR-PUCP	7
Sobre GTR-PUCP	7
1. Introducción 1.1. Contexto rural en los países en desarrollo	8
<ol> <li>Contexto rural en los países en desarrollo</li> <li>Características de las soluciones tecnológicas para este contexto</li> </ol>	9
1.2. Características de las soluciones tecnológicas para este contexto	11
1.2. Características de las soluciones tecnológicas para este contexto	11
	12
1.3. Alternativas tecnológicas para este contexto	12
1.3.1. <i>WiFi</i>	12
1.3.2. VHF	14
1.3.3. HF	15
1.3.4. <i>WiMAX</i>	16
1.3.5. Conexión satelital (VSAT)	17
1.4. Estructura del libro	19
2. Redes VHF/HF	21
2.1. Comunicaciones de voz	23
2.2. Comunicaciones de Datos	24
2.3. Arquitectura de redes VHF/HF	25
2.4. Estación cliente	25
2.4.1. Equipos	26
2.4.1.1. Transceptor Radio	26
2.4.1.2. Cables y Conectores	26
2.4.1.3. Antenas	27
2.4.1.4. Interfaz de comunicaciones para la transmisión de datos	28
2.4.1.4.1. Computadora embebida	29
2.4.1.4.2. Conexión de los equipos para la comunicación de datos	29

	2.4.2. Configuraciones	31
	2.4.2.1. Configuración Radio VHF	31
	2.4.2.2. Configuración Radio HF	33
	2.4.2.3. Sistema operativo de la computadora embebida	35
	2.4.2.4. Configuraciones de red	35
	2.4.2.5. Aplicación para el envío de datos <i>ehas-station</i>	35
	2.5. Repetidor de voz	44
	2.5.1. Equipos	44
	2.5.1.1. Duplexor	44
	2.5.1.2. Cable RIC	45
	2.5.1.3. Antenas	45
	2.5.2. Configuraciones	46
	2.6. Repetidor de datos	47
	2.6.1. Equipos	47
	2.6.2. Configuraciones	48
	2.7. Estación pasarela	48
	2.7.1. Equipos	48
	2.7.1.1. Servidor	48
	2.7.1.2. Transceptor Radio	49
	2.7.1.3. Antenas	49
	2.7.1.4. ATA	49
	2.7.1.5. Interfaz para la transmisión de voz	49
	2.7.1.6. Interfaz para la transmisión de datos	50
	2.7.2. Configuraciones	52
	2.7.2.1. Instalación del Sistema Operativo	52
	2.7.2.2. asterisk-phonepatch	52
	2.7.2.3. Configuración del ATA	53
	2.7.2.4. Calibración del sonido	55
•	Dadas WiFi nana langas distancias	59
Э.	Redes WiFi para largas distancias 3.1. El estándar 802.11	<b>59</b>
		61
	<ul><li>3.2. Problemática del uso de <i>WiFi</i> para largas distancias</li><li>3.3. Topología de una red <i>WiFi</i> de larga distancia</li></ul>	64
	3.4. Equipamiento de una red inalámbrica de larga distancia	65
	3.5. Estación cliente	72
	3.5.1. Configuración del enrutador inalámbrico	73
	3.5.2. Configuración del ATA FXS	74
	3.6. Repetidor	76
	3.6.1. Configuración del enrutador inalámbrico	77
	3.7. Estación Pasarela	78
	3.7.1. Configuración del enrutador inalámbrico	78
	3.7.2. Configuración del Gateway de Voz Linksys SPA3102:	79
	3.8. Verificación del estado de la red utilizando enrutadores RouterBoard de Mikrotik	82
	3.8.1. Conectividad en enlaces Wi-Fi:	82
	3.8.2. Conectividad en la red troncal:	85
	3.9. Configuración del servicio de telefonía IP con el Asterisk	86

3.9.1. Configuración básica del Asterisk	87
4. Diseño de la red	91
4.1. Diseño del Subsistema de Telecomunicaciones	91
4.1.1. Elección de tecnologías para la red de distribución	92
4.1.2. Elección de tecnologías para el acceso a <i>Internet</i>	93
4.1.3. Preselección de equipos	94
4.1.4. Elección del modelo de propagación	94
4.1.5. Herramienta de simulación radioeléctrica	95
4.1.5.1. Requisitos mínimos que deben cumplir los radio enlaces de una red	99
	102
	103
4.1.8. Recomendaciones para instalaciones exteriores	103
	104
	104
4.1.8.3. Conexión de los cables coaxiales	105
	105
•	105
4.2. Diseño del Subsistema de Energía	106
4.2.1. Modelos de consumo de energía	107
	107
4.2.1.2. Estación Pasarela VHF/HF/WiFi	108
4.2.1.3. Repetidor de Voz VHF	108
4.2.1.4. Repetidor de datos VHF	108
<b>4.2.1.5.</b> <i>Wrap</i>	108
4.2.2. Dimensionamiento de la fuente de energía	108
4.2.3. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento	109
4.2.4. Especificaciones de equipos de energía fotovoltaica	110
4.2.4.1. Módulo fotovoltaico	110
<b>4.2.4.2.</b> Baterías	110
4.2.4.3. Controlador de Corriente	111
<b>4.2.4.4.</b> Inversor	112
<b>4.2.4.5.</b> Luminarias	112
4.2.5. Equipamiento necesario por modelo de consumo	112
4.3. Diseño del Subsistema de Protección Eléctrica	113
4.3.1. Sistema Integral de Protección Eléctrica	113
4.3.1.1. Capturar la descarga atmosférica	114
4.3.1.2. Derivar el rayo hacia tierra en forma segura	114
4.3.1.3. Disipar la energía a tierra	114
4.3.1.4. Proteger los equipos contra los transitorios de las líneas de comunicaciones	114
4.3.2. Recomendaciones para el Sistema Integral de Protección	114
1	115
4.3.4. Sistemas de puesta a tierra	116
4.3.4.1. Medición de la resistividad del terreno	117
4.3.5. Dimensionamiento de pozo a tierra horizontal	118
4 3 6 Materiales y cantidades a emplear	118

		119
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	120
		121
		122
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	123
		124
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	125
		126
	3.1	127
		128
		129
	$\mathcal{C}$	129
		130
	4.4.7. Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo C	131
	1	132
	4.4.9. Guardacabos	132
	4.4.10. Grilletes	132
	4.4.11. Templadores	132
	4.4.12. Cable de acero 1x7, de 1/4" EHS	132
	4.4.13. Cable de acero 1x7, de 5/16" EHS	132
	4.4.14. Cable de acero 1x7, de 3/8" EHS	133
	4.4.15. Línea de vida	133
	4.4.16. Consideraciones de seguridad	133
5.		135
5.	5.1. Introducción	135
5.	5.1. Introducción	135 136
5.	5.1. Introducción5.2. Definiciones5.2.1. Sistemas de Gestión	135 136 136
5.	5.1. Introducción5.2. Definiciones5.2.1. Sistemas de Gestión5.2.2. Sistemas de Monitoreo	135 136 136 137
5.	5.1. Introducción	135 136 136 137 137
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> </ul>	135 136 136 137 137
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138 139 139
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138 139 139
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> </ul>	135 136 137 137 138 138 139 139 139
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> </ul>	135 136 137 137 138 138 139 139 139 140
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138 139 139 139 140 141
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 139 139 139 140 141
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración)</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138 139 139 140 141 143 144
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración)</li> <li>5.3.3.2.1. Tipos de nodos:</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 139 139 139 140 141 143 144
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración)</li> <li>5.3.3.2.1. Tipos de nodos:</li> <li>5.3.3.2.2. Estructura:</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 138 139 139 140 141 143 144 144
5.	<ul> <li>5.1. Introducción</li> <li>5.2. Definiciones</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración)</li> <li>5.3.3.2.1. Tipos de nodos:</li> <li>5.3.3.2.2. Estructura:</li> <li>5.3.4. Características de las Herramientas de Gestión</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 139 139 139 140 141 143 144 145 146
5.	<ul> <li>5.1. Introducción .</li> <li>5.2. Definiciones .</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión .</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo .</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR) .</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización) .</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración .</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento .</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad .</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos .</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad .</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red .</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP .</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP .</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración) .</li> <li>5.3.3.2.1. Tipos de nodos: .</li> <li>5.3.3.2.2. Estructura: .</li> <li>5.3.4.1. Características de las Herramientas de Gestión .</li> <li>5.3.4.1. Características .</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 139 139 139 140 141 143 144 145 146 147
5.	<ul> <li>5.1. Introducción .</li> <li>5.2. Definiciones .</li> <li>5.2.1. Sistemas de Gestión .</li> <li>5.2.2. Sistemas de Monitoreo .</li> <li>5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR) .</li> <li>5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización) .</li> <li>5.3.1.1. Gestión de configuración .</li> <li>5.3.1.2. Gestión de rendimiento .</li> <li>5.3.1.3. Gestión de contabilidad .</li> <li>5.3.1.4. Gestión de fallos .</li> <li>5.3.1.5. Gestión de seguridad .</li> <li>5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red .</li> <li>5.3.3. Protocolo SNMP .</li> <li>5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP .</li> <li>5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración) .</li> <li>5.3.3.2.1. Tipos de nodos: .</li> <li>5.3.3.2.2. Estructura: .</li> <li>5.3.4. Características de las Herramientas de Gestión .</li> <li>5.3.4.1. Características .</li> </ul>	135 136 136 137 137 138 139 139 139 140 141 143 144 145 146

	5.3.4.4. Gestión de Rendimiento	148
	5.3.5. Ventajas y Desventajas de las Herramientas de Gestión	
	5.3.5.1. Ventajas y Desventajas del Nagios	149
	5.3.5.2. Ventajas y Desventajas del OpenNMS	149
	5.3.5.3. Ventajas y Desventajas del Zenoss	
6.	Sostenibilidad de Redes de Telecomunicaciones en Entornos Rurales y Aislados	151
	6.1. Problemática	
	6.1.1. Aspecto Económico	
	6.1.2. Aspecto Tecnológico	
	6.1.3. Aspecto Social y Organizativo	
	6.1.4. Aspecto Político	
	6.1.5. Aspecto Normativo	
	6.2. Alternativas y Estrategias	
	6.3. Conclusiones	163
7.	Ejemplo de redes desplegadas	165
	7.1. Red WILLAY, San Pablo	166
	7.1.1. Descripción general de la red	
	7.1.2. Servicios Implementados	
	7.1.3. Descripción de las estaciones	
	7.1.3.1. Estación Cliente	
	7.1.3.2. Repetidor Local	
	7.1.3.3. Repetidor Troncal	
	7.2. Red EHAS-@LIS	
	7.2.1. Descripción general de la red	
	7.2.2. Diseño de red	
	7.2.2.1. Direccionamiento IP	
	7.2.2.2. Características de los enlaces	
	7.2.3. Servicios de la red	
	7.2.4. Descripción de las estaciones	
	7.2.4.1. Estación cliente	
	7.2.4.1.1. Subsistema de Telecomunicaciones	
	7.2.4.1.2. Subsistema de Protección Eléctrica	
	7.2.4.1.3. Subsistema Informático	
	7.2.4.1.4. Subsistema de Infraestructura	
	7.2.4.2. Repetidor	
	7.2.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones	
	7.2.4.2.2. Subsistema de Energía	
	7.2.4.2.3. Subsistema de Protección Eléctrica	
	7.2.4.2.4. Subsistema de Infraestructura	
	7.2.4.3. Estación pasarela	
	7.2.4.3.1. Características de la conexión a <i>Internet</i>	
	7.2.4.3.1. Características de la conexión a <i>Internet</i>	
	7.2.4.3.3. Aplicación de la herramienta de gestión de red	
	7.2.4.5.3. Apricación de la nerralmenta de gestión de led	
	- 1.5. ING HILLIAMIA ING LIMAS	10/

7.3.1. Descripción de la red	187
7.3.2. Diseño de la red	189
	190
7.3.2.2. Características de los enlaces	191
7.3.3. Servicios de red	193
7.3.4. Descripción de las estaciones	193
7.3.4.1. Estación Cliente	193
7.3.4.1.1. Subsistema de Telecomunicación	193
7.3.4.1.2. Subsistema de Energía	194
7.3.4.1.3. Subsistema de Protección Eléctrica	196
7.3.4.1.4. Subsistema Informático	196
7.3.4.2. Repetidor	197
7.3.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones	197
$oldsymbol{arepsilon}$	201
	201
	202
	202
	202
	203
	204
	204
1	204
	205
	205
	205
	205
1	207
	207
	208
$oldsymbol{arepsilon}$	<ul><li>209</li><li>209</li></ul>
1	209
	210
$oldsymbol{c}$	210
	210
	211
	211
	211
	212
	212
Glosario	213

## Sobre este libro

Este libro es una iniciativa del Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (GTR-PUCP) para contribuir a la ampliación y difusión del conocimiento existente sobre tecnologías apropiadas para el acceso a la información y comunicación en zonas rurales.

En tal sentido, este libro tiene varios propósitos:

- Compartir el conocimiento generado y/o utilizado por GTR-PUCP.
- Incrementar la bibliografía en castellano sobre tecnologías apropiadas para zonas rurales.
- Servir como fuente para futuras actualizaciones conforme aumente la información disponible.

La mayor parte de los contenidos de este libro han sido gestados gracias al trabajo conjunto del GTR-PUCP con diferentes instituciones enmarcadas dentro de los Programas EHAS y Willay, como la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos de España, la ONGD Ingeniería Sin Fronteras APD y la Universidad del Cauca en Colombia.

Debe resaltarse que toda la tecnología que se describe en este libro ha sido desarrollada en laboratorio y posteriormente probada de manera exhaustiva en los distintos escenarios reales como la sierra y la selva peruanas, bajo distintas condiciones meteorológicas.

Pero no todo es tecnología, en este libro también se encuentra abundante información sobre mantenimiento y sostenibilidad, aspectos a tener en cuenta desde las primeras etapas del diseño de proyectos que hagan uso de este tipo de redes en entornos rurales. Ambos temas tienen un aspecto tecnológico, pero en su mayor parte contienen una componente social. Esta última incluye un factor humano en medio de un contexto específico que, al igual que la tecnología utilizada, es producto de la experiencia.

Este libro también se encuentra disponible en la red, en formatos *pdf* y *html*, en la siguiente dirección:

http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/publicaciones/tic4d.html

## Sobre la segunda edición

Para esta segunda edición, se ha modificado el capítulo tres, se emplea otro router inalámbrico para la configuración de la red y otros tipos de ATAs para la configuración del servicio de telefonía

de voz sobre IP. En el capítulo cinco se han introducido conceptos teóricos relativos a Gestión de red, además se han introducido cuadros comparativos de algunos sistemas de gestión de red más utilizados. En el capítulo seis se ha realizado una revisión y actualización de información, además se ha incluido procedimientos y lineamientos relativos al trabajo con instituciones públicas, no solo salud. En el capítulo siete se agregó como estudio de caso la red Willay San Pablo, como un ejemplo de TIC aplicado a la mejora de gestióm y gobernabilidad de instituciones públicas.

## Sobre GTR-PUCP

GTR-PUCP es un equipo multidisciplinario dedicado a la investigación, desarrollo, análisis, evaluación de impacto y difusión de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) apropiadas para contribuir a la mejora de la calidad de vida de comunidades marginales que carecen o tienen acceso limitado a medios de comunicación, con énfasis en aquellas ubicadas en entornos rurales.

Los objetivos de GTR-PUCP son:

- Contribuir a la reducción de la brecha digital en las zonas de intervención.
- Actuar como facilitadores de diversos actores sociales que contribuyan con la mejora de la calidad de vida de nuestro grupo objetivo.
- Contribuir al desarrollo humano a través de la implementación de TIC apropiadas.
- Identificar, formular, planificar, ejecutar, difundir y promover oportunidades y proyectos TIC para el desarrollo.

Para ello, GTR-PUCP desarrolla tres programas de trabajo: investigación y desarrollo de tecnología, responsabilidad social universitaria y docencia, enmarcados en el ámbito de las telecomunicaciones rurales.

GTR-PUCP (http://gtr.telecom.pucp.edu.pe) fue creado hace doce años en la Universidad Católica (PUCP http://www.pucp.edu.pe) con la finalidad de ejecutar las actividades tecnológicas del primer proyecto del Programa EHAS (Enlace Hispano Americano de Salud http://www.ehas.org) en Perú. Éste tiene como principal fin la mejora de la atención sanitaria en las zonas rurales latinoamericanas a través del uso apropiado de TIC. Desde entonces, la colaboración entre el GTR-PUCP y el Programa EHAS ha sido constante desarrollando conjuntamente muchos proyectos de investigación e implantación de tecnologías apropiadas en Perú.

A través del Programa Willay, GTR-PUCP ha desarrollado proyectos para la mejora de gestión y gobernabilidad democrática mediante el uso de las TIC's en instituciones públicas. (http://www.willay.org.pe)

La larga vida de un grupo de investigación como GTR-PUCP, en medio de una realidad como la de la región latinoamericana en la que se invierte poco en investigación e innovación, se ha debido fundamentalmente a proyectarse más allá de la investigación *per se*. Su misión y visión se han enfocado no sólo a buscar soluciones a la carencia de infraestructura de telecomunicaciones, sino a contribuir a un uso apropiado de ésta para mejorar los servicios esenciales para el desarrollo de la sociedad que le rodea como la atención sanitaria, la educación, mejora de procesos de las instituciones públicas. Para alcanzar estas metas es necesario investigar e innovar en el ámbito de este tipo de tecnologías para el entorno mencionado, dado que en su mayoría son diseñadas para otras realidades. Es por ello que se hace evidente la necesidad de contar con grupos de investigación como GTR-PUCP que dedican sus esfuerzos a este fin.

## Trabajo colaborativo con otras instituciones

Además de GTR-PUCP, en el primer proyecto del Programa EHAS en Perú participaron el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid (GBT-UPM http://www.gbt.tfo.upm.es), la ONGD Ingeniería Sin Fronteras (ISF http://www.isf.es) y la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH http://www.upch.edu.pe). A raíz de este programa en el año 2004 se creó la Fundación EHAS (http://www.ehas.org), cuyo objetivo es comprobar si un diseño y un uso adecuado de las TIC puede ayudar a mejorar el sistema público de asistencia de salud en las zonas rurales de los países de América Latina.

Desde su fundación, GTR-PUCP mantiene una estrecha sociedad con las instituciones españolas ISF, UPM, Universidad Rey Juan Carlos de España y Fundación EHAS. Ésta ha sido y es de gran importancia estratégica en dos frentes: el acceso a fondos para la financiación de sus actividades conjuntas, y el proceso de desarrollo tecnológico alcanzado dentro de un marco de trabajo colaborativo. En este último también ha sido participe el Grupo de Ingeniería Telemática (GIT) de la Universidad del Cauca de Colombia (http://git.unicauca.edu.co).

A través del programa Willay se realiza un trabajo conjunto de implementacion y desarrollo de proyectos entre GTR-PUCP, ISF ApD, Soluciones Prácticas, UNSAAC y las instituciones beneficiadas para mejora de la gobernabilidad democrática mediante el uso de las TIC's.

En líneas generales la investigación conjunta se ha articulado de la siguiente manera:

En Fundación EHAS se han investigado las bases teóricas y se han diseñado soluciones para la transmisión de datos en bandas VHF/HF y *WiFi* en largas distancias. Estos trabajos fueron validados y complementados con experiencias en campo en Perú y Colombia con la activa participación de GTR-PUCP y GIT, respectivamente.

La telefonía IP tuvo, desde un principio, un desarrollo conjunto entre Fundación EHAS y GTR-PUCP.

La implementación del sistema de gestión es un trabajo conjunto de la Fundación EHAS y GTR-PUCP.

GTR-PUCP ha contribuido con su trabajo en el diseño de los sistemas de protección eléctrica, energía, estructuras mecánicas, el diseño y planificación de redes. Asimismo, en aspectos menos técnicos, pero sumamente importantes, como la gestión del mantenimiento y la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones instaladas producto del trabajo conjunto, han sido contribución de GTR-PUCP.

Este trabajo colaborativo ha incluido la realización de varias pasantías entre miembros de las mencionadas instituciones, dando lugar a una mayor difusión del conocimiento de cada una de ellas.

GTR-PUCP tiene total apertura a participar en trabajos conjuntos con más instituciones, sin importar su experiencia en el sector. Como ejemplo de esta apertura puede mencionarse su contribución a la creación del grupo Centro de Investigación en Telecomunicaciones Rurales (CEDITER) dentro de la Universidad San Antonio de Abad de Cusco.

Lima, Febrero de 2011

1

## Introducción

## 1.1. Contexto rural en los países en desarrollo

Las zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo son el contexto vital de más de la mitad de la población mundial, pese a lo cual es generalizada su casi total carencia de infraestructuras de comunicación y acceso a la información. La pretensión de dotar a estas zonas de conectividad a redes de voz y datos ha sido en los últimos años una preocupación del mayor orden de los agentes internacionales multilaterales de desarrollo, ya que en algunos casos se puede considerar un servicio básico, y en todos es un sustrato de gran importancia para el desarrollo y la promoción humana. No obstante, todos los esfuerzos por generalizar el acceso a redes de comunicación en zonas aisladas de países en desarrollo suelen topar desde los primeros pasos con la ausencia de soluciones tecnológicas realmente apropiadas, realistas y sostenibles, debido en gran parte a las siguientes características específicas de estos contextos:

- No sólo se carece de infraestructuras de telecomunicación; también suele ser prácticamente inexistente o de mala calidad la infraestructura de electrificación y en muchos casos las vías de acceso. La necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicación de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo y su durabilidad los encarece y dificulta su mantenimiento, y la ausencia de vías de acceso también encarece y dificulta tanto el despliegue de redes como su mantenimiento.
- El personal técnico cualificado necesario para el mantenimiento y operación de estas tecnologías suele encontrarse en las ciudades, y resulta caro y difícil contar con él en estas zonas.
- La población es pobre y dispersa, por lo que no puede soportar los costes de infraestructuras caras de instalar, mantener y operar. Tampoco los estados de los países en vías de desarrollo están en condiciones de poder subvencionar la instalación de redes de comunicaciones rurales en pro de la cobertura total, tanto por su falta de recursos como por la enorme proporción que las poblaciones rurales no contributivas representan en el total.

# 1.2. Características de las soluciones tecnológicas para este contexto

Este contexto no sólo explica la causa de esa práctica incomunicación de la mitad del mundo habitado, sino que también determina las especificaciones de cualquier solución tecnológica que se pretenda aplicar de manera sostenible en entornos rurales de países en desarrollo:

- Tiene que ser robusta y sencilla de usar, ya que los usuarios van a ser poco cualificados y no van a contar con el apoyo continuado de asesores preparados.
- Tiene que requerir poco o ningún mantenimiento de técnicos especializados, ya que éstos van a estar lejos y va a resultar caro y difícil atraerlos para la resolución de los problemas. Con más razón debe ser mínima la necesidad de administración de las redes, ya que ésta genera costes fijos considerables.
- Debe ser de bajo consumo, ya que frecuentemente tendrá que depender de instalaciones de energías fotovoltaicas o eólicas que encarecen las instalaciones y aumentan las necesidades y costes de mantenimiento.
- Debe tener costes de despliegue y de operación muy bajos. Ésto excluye las redes cableadas, las de telefonía móvil y las redes satélite como soluciones únicas. En ocasiones se puede plantear el acceso al mundo de toda una red por estos medios, pero la distribución del acceso se tendrá que hacer con una tecnología complementaria más barata. Este criterio también desaconseja en muchos casos las redes radio en bandas de frecuencia licenciadas.

Con estos condicionantes, el GTR-PUCP ha trabajado desde 1999 en varias líneas de investigación que persiguen determinar cuales son las tecnologías inalámbricas más apropiadas a zonas rurales aisladas de países en desarrollo, mejorarlas y aplicarlas de forma óptima. A continuación se presentan algunas.

## 1.3. Alternativas tecnológicas para este contexto

Como hemos descrito anteriormente, en países en vías de desarrollo, es frecuente que zonas rurales de gran extensión carezcan por completo de infraestructuras de telecomunicación, lo cual supone un obstáculo para el desarrollo y la calidad de vida de las personas. El alto coste de las alternativas tecnológicas convencionales, las dificultades del entorno tales como la ausencia de alimentación eléctrica, las dificultades de acceso o la falta de seguridad física de las instalaciones en emplazamientos deshabitados suponen grandes condicionantes para estas tecnologías. Por lo tanto, resulta necesario el planteamiento de alternativas tecnológicas que tengan en cuenta estos requerimientos.

En esta sección se describen distintas tecnologías propuestas para la instalación de redes de telecomunicaciones en este contexto. Todas ellas son inalámbricas, ya que dadas las características descritas anteriormente, una red cableada sería muy costosa de instalar y mantener.

#### 1.3.1. WiFi

La familia de estándares IEEE 802.11 (802.11a, 802.11b, 802.11g 802.11n), más conocida como *WiFi*, tiene asignadas las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2.400-2.4835

GHz, 5.725-5.850 GHz para uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con objeto de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

*WiFi* comparte la mayoría de su funcionamiento interno con Ethernet, sin embargo difiere en la especificación de la capa física (PHY) utilizando señales radio en lugar cable y en su capa de control de acceso al medio (MAC), ya que para controlar el acceso al medio *Ethernet* usa CSMA/CD, mientras que *WiFi* usa CSMA/CA. El gran ancho de banda (entre 1 y 11 Mbps para 802.11b, hasta 54Mbps para 802.11a/g y hasta 300Mbps para 802.11n) a un precio reducido, lo presenta como una de las mejores opciones para la transmisión de datos y redes de telefonía empleando VoIP (voz sobre IP).

No obstante, pueden ser utilizadas (bajo ciertas restricciones legales de potencia) en exteriores, si se introducen antenas externas, amplificadores adecuados, etc. Las regulaciones vigentes en Hispanoamérica<sup>1</sup> permiten establecer enlaces de decenas de kilómetros a potencias muy bajas, con un ancho de banda mucho mayor que otras soluciones tecnológicas, lo que abre el camino a servicios como aplicaciones de tiempo real. Como la comunicación punto a punto sólo puede darse entre estaciones con perfecta línea de vista, en muchos contextos, no suelen lograrse alcances mayores de unos 40 Kms. No obstante, pueden salvarse obstáculos con el uso de emplazamientos aislados intermedios o las propias estaciones cliente utilizadas como repetidores, para interconectar dos estaciones que se encuentren a una mayor distancia.

Las ventajas e inconvenientes que presenta el uso de esta tecnología se indican a continuación:

#### Ventajas:

- Uso de frecuencias sin licencia de las bandas ISM 2.4 / 5.8 GHz con ciertas limitaciones de potencia.
- Velocidades desde 1 hasta 300 Mbps, siempre teniendo en cuenta que el *throughput* neto obtenido está alrededor de un 50-70 % de esos valores.
- Tecnología con estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, lo que favorece los bajos costes de los equipos.
- Bajo consumo de potencia, menor a 10 W por enrutador.
- Flexibilidad: un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos (las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central).
- *Hardware* fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.

#### **Inconvenientes:**

- Requiere línea de vista directa (esto podría elevar, en algunos casos, el número de repetidores necesarios aumentando demasiado el costo).
- Al ser una tecnología creada para redes de corto alcance, hay que solventar ciertos problemas relacionadas con su utilización para distancias de decenas de Km.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Para el caso de Perú, la normativa se puede consultar en http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/RM-777-2005-MTC(05-11-05).pdf

- El número de colisiones aumenta en relación con el número de usuarios.
- Tiene un número limitado de canales no interferentes, 3 en 2.4 GHz y 8 en 5.8 GHz.

#### 1.3.2. VHF

Las redes privadas de comunicación de voz en banda VHF utilizan la banda de frecuencia de 30-300 MHz. En ellos se alcanzan distancias de enlace en torno a los 70 Km, limitados por la potencia de transmisión y la altura de las antenas. Éstas deberán compensar la curvatura de la tierra y salvar los obstáculos que se presentan en el camino, aunque tiene bastante tolerancia a los mismos.

En la propagación directa desde la antena transmisora a la antena receptora es recomendable que exista "línea de vista" entre ellas, es decir, que exista visibilidad óptica entre ambas. Sin embargo, se soportan obstáculos vegetales o invasiones no muy profundas de la línea de vista por elevaciones del terreno.

El inconveniente de no lograr un enlace debido a obstrucción severa de la línea de vista puede superarse utilizando equipos intermedios o repetidores, usualmente ubicados en zonas elevadas, de forma que permitan la comunicación, a través de ellos, entre dos o más puntos que no tienen visibilidad directa. En Perú, por ejemplo, prácticamente toda la costa y toda la selva baja son apropiadas para la comunicación en VHF. Además, incluso en los valles serranos y/o corredores interandinos también es posible la comunicación en VHF, directamente o a través de repetidores.

Aunque esta banda está pensada solamente para la transmisión de voz y, por tanto, los equipos de radio se diseñan y fabrican para ese fin, mediante *software* se puede conseguir utilizar este medio para comunicaciones de datos. Existen diferentes tipos de herramientas *software* para la transmisión de datos. El más eficiente de ellos es el protocolo AX.25 que incluso permite instalar el protocolo TCP/IP sobre él. AX.25 es un protocolo de nivel de enlace habitualmente usado por radio aficionados para bandas VHF/UHF y HF. Aunque la velocidad que se consigue es muy baja, apenas comparable a la velocidad de un módem telefónico, puede aumentar con la compresión que incorpora el sistema de correo, permitiendo utilizar aplicaciones de correo electrónico, mensajería y navegación (restringida) en *Internet* a velocidades aceptables.

Para poder ofrecer ambos servicios, se eligen radios VHF convencionales que se utilizan normalmente para voz, pero que, intermitentemente, pasan a intercambiar datos entre un ordenador cliente y su servidor de referencia.

A continuación se presenta un listado de las ventajas y desventajas que presenta esta tecnología.

#### Ventajas:

- Enlaces a largas distancias. Aunque requiere línea de vista pueden salvarse algunos obstáculos vegetales o no muy profundos. Estos enlaces suelen implicar menor número de emplazamientos aislados necesarios para conectar establecimientos.
- Fácil reutilización de frecuencias.
- Tecnología radio muy conocida en los entornos rurales.
- La calidad de los enlaces es similar 24 horas al día al no verse especialmente afectada la propagación por los cambios climatológicos.

#### **Inconvenientes:**

- El uso de la banda VHF requiere de la obtención oficial de una licencia de servicio.
- Velocidades menores que para otras tecnologías como WiFi.
- Mayor consumo en torno a los 100 W en transmisión frente a los menos de 10 W requeridos para transmitir con una tecnología *WiFi* (considerando el consumo completo de un enrutador inalámbrico).
- Al requerirse potencias mayores, se tiene que proveer al sistema de paneles solares de superficie mucho mayor y baterías de mayor capacidad, lo que eleva su costo.
- Mayor costo: Una radio VHF tiene un precio en torno a 500 USD, frente a los 150 de una tarjeta WiFi.

#### 1.3.3. HF

La transmisión en banda HF tiene un rango de frecuencia de operación de 3 a 30 MHz y permite comunicaciones de centenares y hasta miles de kilómetros. El método de propagación para la banda HF es el conocido por "Onda Ionosférica", por el cual las ondas se transmiten y luego se reflejan hacia el punto de recepción. La propagación depende de las capas de la Ionosfera, que poseen un comportamiento aleatorio en cuanto a estructura y densidad, afectando directamente a las frecuencias de trabajo. Para tener en cuenta estas características y poder configurar los equipos a una frecuencia adecuada para las condiciones climatológicas, época, hora y lugar, se determinan frecuencias mínimas LUF y máximas MUF de trabajo. Por debajo de la LUF no se podría realizar propagación por la Ionosfera, debido a que hay gran absorción y la señal quedaría enmascarada por el ruido, a frecuencias mayores de la MUF, las ondas atraviesan la ionosfera y no son reflejadas a la tierra. Por el gran recorrido de las ondas, desde el punto de transmisión hasta el punto de reflexión (la Ionosfera está ubicada entre los 60 y los 500 Km sobre la superficie terrestre) y luego al punto de recepción, se producen considerables pérdidas en el espacio libre y además surge el desvanecimiento multitrayecto de la señal.

Por lo tanto, los sistemas de radio de onda corta HF habilitan comunicaciones a través de terrenos planos, elevados o montañosos, sin la necesidad de dispositivos de retransmisión, como los repetidores. Al igual que la banda VHF, la banda HF también está destinada a la transmisión de voz y por sus características no es recomendable para la transmisión de datos. El canal HF tiene características (ruido, bajo ancho de banda, etc.) que hacen difícil trabajar con él, por lo que los módems de HF hasta ahora han sido extraordinariamente caros o muy lentos (típicamente de 100 a 300 bps para los de radioaficionados). Para aprovechar el escaso espectro disponible, los canales suelen ser de 3 KHz y la modulación en banda lateral única, mucho menos robusta que la de FM y sometida además a desvanecimientos ocasionados por las incertidumbres de la propagación ionosférica. La investigación en esta materia se ha dirigido al desarrollo de nuevos tipos de modulación, como OFDM y nuevos protocolos que han permitido alcanzar velocidades alrededor de los 2.400 bps al precio de una tarjeta de sonido.

A continuación se indican las ventajas e inconvenientes que presenta el uso de esta tecnología:

#### Ventajas:

■ La distancia no es limitante, pueden obtenerse enlaces a distancias muy largas (miles de Km).

- Se pueden alcanzar lugares con ubicaciones complicadas sin necesidad de repetidores (ya que no es necesaria la visibilidad directa de las antenas).
- Es una solución viable para cualquier situación, ya que no requiere de estudios concretos de propagación.

#### **Inconvenientes:**

- Limitaciones técnicas por la baja velocidad obtenida.
- Enlaces de peor calidad con mucha variabilidad en cortos intervalos de tiempo. Además, sólo puede usarse a ciertas horas, dependiendo del canal, y con protocolos y modulaciones especiales.
- Entorno muy sensible a errores por los desvanecimientos ocasionados por las incertidumbres de la propagación ionosférica.
- Consumo de energía ligeramente mayor que VHF y mucho mayor que WiFi (normalmente se utilizan transceptores de 100 W)

#### 1.3.4. WiMAX

IEEE 802.16, más conocido como *WiMAX*, es el fruto del trabajo realizado entre 2002 y 2005 en el IEEE para la definición de nuevas propuestas tecnológicas que permiten cubrir las lagunas de las redes inalámbricas de banda ancha. Es decir, posibilitar redes inalámbricas de altas prestaciones en áreas metropolitanas sin línea de vista, viabilizar la distribución de conectividad por medios inalámbricos a distancias del orden de decenas de kilómetros en zonas semiurbanas y rurales, y soportar calidad de servicio (QoS) y usuarios con requerimientos de servicio heterogéneos.

El estándar IEEE 802.16d plantea dos rangos de frecuencia de funcionamiento de los equipos. Por un lado, las bandas licenciadas de 10 a 66 GHz proporcionan un entorno físico en el que, debido a la reducida longitud de onda, es imprescindible disponer de línea de vista. Se prevé su uso para proporcionar acceso en pequeñas oficinas y casas. Por otro lado, las bandas por debajo de los 11 GHz proporcionan un entorno físico en el que no es imprescindible disponer de línea de vista. El estándar proporciona soporte para escenarios con y sin línea de vista en dicha frecuencia. Se prevé su uso para proporcionar acceso en entornos metropolitanos así como en enlaces a gran distancia. De esta forma los proveedores de servicios podrán utilizar equipos que sigan este estándar (equipos *WiMAX*) para ofrecer acceso de banda ancha a redes IP con capacidades de hasta 120 Mbps a los abonados privados sin necesidad de llevar la red cableada hasta cada emplazamiento final.

IEEE 802.16-2004 se diseñó, al igual que el IEEE 802.11, de forma tal que su apariencia e interacción para con las capas superiores fuera la misma que la que presenta *Ethernet*; también al igual que toda la familia 802, define la capa PHY y la MAC. Por otra parte, su funcionamiento es similar al de una red GSM, en la que una malla de estaciones base permite el acceso a múltiples usuarios, pudiendo manejar múltiples sectores independientes de forma simultánea. Todas las comunicaciones tienen que pasar por una estación base, siendo imposible la comunicación directa entre dos estaciones suscriptoras. *WiMAX* es orientado a conexión, por lo que las estaciones subscriptoras deben solicitar servicio a la misma. Cuando la estación base recibe una solicitud de incorporación de una nueva estación subscriptora calcula si es posible garantizarle un servicio mínimo manteniendo los compromisos con otras estaciones subscriptoras. Sólo en el caso de cumplir ambas condiciones se le concede

el acceso, de forma que la estación base puede garantizar el servicio comprometido con todas las estación subscriptora (*throughput* mínimo, retardo máximo etc.).

A continuación se indican las ventajas e inconvenientes que presenta el uso de *WiMAX*:

#### Ventajas:

- Fue creado y diseñado como estándar para redes metropolitanas exteriores desde su concepción.
- Su rango normal de operación se encuentra entre los 7 y los 10 Km, pero puede llegar hasta 50 Km sin modificaciones.
- No sufre el problema del nodo oculto, ni aumentan las colisiones con el número de usuarios, ya que la estación base va asignando *slots* a cada estación, evitando así las colisiones que conllevan una importante pérdida de paquetes.
- No necesita línea de vista para realizar un enlace.
- Utiliza antenas inteligentes las cuales optimizan su patrón de radiación automáticamente en función de la demanda.
- Tiene la posibilidad de asignar diferente ancho de banda a cada canal de radio, desde 1.5 MHz a 20 MHz. Esto permite la posibilidad de reutilizar frecuencias y de una mejor planificación de la celdas y hace que el número de canales no interferentes entre sí dependa únicamente del ancho de banda disponible.
- En una red *WiMAX* se puede proporcionar *QoS*, lo cual es muy importante para algunas aplicaciones y para la gestión de las redes en general.

#### **Inconvenientes:**

- Los costes de las instalaciones están fuera del alcance de muchos entornos rurales (entre los 10000 y los 30000 USD por estación base), sin contar las antenas, las torres, etc.
- Necesitan un gran subsistema eléctrico para funcionar, muy costoso en zonas donde apenas hay energía eléctrica del orden de 1500 W en cada estación base.

#### 1.3.5. Conexión satelital (VSAT)

El mercado de las telecomunicaciones satelitales bidireccionales de voz y datos está prácticamente copado en Hispanoamérica por una única tecnología: VSAT (Very Small Aperture Terminals). Las redes VSAT son redes de comunicación de datos vía satélite para el intercambio de información punto-punto, o punto-multipunto (*broadcast* o interactiva).

El componente principal de este sistema es el *hub*, que es la estación central terrestre de la red. Éste permite realizar la comunicación entre dos terminales **VSAT**, es decir, que todo intercambio de información tiene que pasar por el *hub*. Esta estructura de red logra que las estaciones terminales sean simples, baratas y fáciles de instalar. Las antenas usadas tienen menor diámetro (menores de 2.4 m, típicamente 1.3 m) y los sistemas un bajo consumo de energía. Con esta tecnología se consiguen diseñar redes muy densas con altas velocidades de transmisión si hay pocos usuarios conectados simultáneamente, permitiendo la transferencia de voz, datos y vídeo. Normalmente se contratan enlaces asimétricos, con mayor capacidad en el enlace de bajada para el usuario. Últimamente, muchos

sistemas VSAT están utilizando el protocolo DVB-RCS como plataforma de soporte para el acceso bidireccional a *Internet* en emplazamientos aislados, con lo cual se consigue una mayor ancho de banda. Sus ventajas e inconvenientes se presentan a continuación:

#### **Ventajas:**

- Gestión centralizada de la red, lo cual simplifica los terminales de usuario.
- Servicio independiente de la distancia.
- Cobertura global e inmediata.
- Fácil y rápida implantación en lugares de difícil acceso.
- Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca información (si es que responden).
- Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura con lo que los receptores pueden cambiar de ubicación sin más cambio que la reorientación de su antena.
- Del mismo modo, la introducción de un nuevo terminal no afecta significativamente al funcionamiento de los demás.
- Se suele diseñar para tener una disponibilidad de la red del 99.5 % del tiempo y con una BER (Bit Error Rate) de 10-7.
- Estabilidad de los costos de operación de la red durante un largo periodo de tiempo. Una organización puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de la red. Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento del que la organización no puede ser propietario es el segmento espacial, pero sus precios son muy estables.
- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costos y puntos de acceso.

#### **Inconvenientes:**

- Las inversiones iniciales son elevadas y en algunos países no son claramente competitivas frente a redes basadas en recursos terrestres. Este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del *hub*. Esto sólo es viable para muchos usuarios, prácticamente de cobertura nacional, por lo que sólo puede ser asumido por una organización con gran capacidad económica.
- El punto más crítico de la red está en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del transpondedor. Si éste pierde la conexión, toda la red pierde la conexión con él. Aún así, el problema no es muy grave si la empresa proveedora del servicio dispone de más de uno (cambio de frecuencia de uso de los terminales). En caso de perder la conexión todo el satélite bastaría con reorientar las antenas a otro satélite.
- Como todo sistema basado en satélites, es sensible a interferencias provenientes tanto de la tierra como del espacio.

1.4 Estructura del libro

## 1.4. Estructura del libro

A lo largo de estos 11 años GTR-PUCP ha utilizado distintas de estas tecnologías en las redes de telecomunicaciones desplegadas, fundamentalmente se han desarrollado dos tipos de redes: las mixtas VHF/HF y las redes *WiFi*.

A continuación, en los capítulos 2 y 3, ambos tipos de redes serán descritos en profundidad destacando sus características, indicando los equipos y el *software* que puede ser utilizado. En algunos casos, este *software* ha sido diseñado o adaptado por GTR-PUCP u otras de las instituciones socias del Programa EHAS para las necesidades planteadas por los distintos tipos de redes, por lo que su proceso de instalación será explicado con detenimiento. En el ámbito del *hardware* también ha sido necesaria la creación de algunos componentes para la adaptación de equipos comerciales a las necesidades de los entornos rurales donde las redes son desplegadas. Tanto su diseño como sus diagramas serán presentados para ayudar a la fabricación de los mismos.

En el capítulo 4, se presenta la estrategia de diseño utilizada por GTR-PUCP para las redes descritas en los capítulos anteriores. Ésta se divide en cuatro partes: diseño del subsistema de telecomunicaciones, diseño del subsistema de energía, diseño del subsistema de protección eléctrica y diseño del subsistema de infraestructura. En la primera, se presenta la herramienta software Radio Mobile, que es el programa utilizado por GTR-PUCP para realizar las simulaciones del medio radioeléctrico, junto con algunas recomendaciones para su uso. En la segunda se describe el diseño del subsistema de energía necesario para alimentar los equipos elegidos en entornos rurales. En la tercera se indican las opciones para el diseño del subsistema de protección eléctrica necesario para reducir al máximo la posibilidad de que los equipos instalados, muy vulnerables a las variaciones en la corriente eléctrica, sufran una sobrecarga en sus componentes, por ejemplo, mediante un rayo, que podría provocar el cese de su funcionamiento. En la cuarta se indican las recomendaciones necesarias para el montaje de las torres, así como planos de las mismas.

Además, estas redes requieren de una observación continua tanto para prever fallos futuros, como para identificar los ya existentes, lo que ayudará a su corrección. Para ello, se introduce una parte teòrica relacionada a sistemas de gestión de red que GTR-PUCP utiliza. Esta herramienta es descrita en detalle en el capítulo 5, incluyendo cuadros comparativos de distintos tipos de software de gestión de red.

Sin embargo, un gran diseño de las redes y una instalación impecable de los equipos, no garantizan que la red desplegada vaya a utilizarse a pleno rendimiento durante el tiempo de vida estimado de la red. Hay una multitud de factores que influyen en este hecho, como por ejemplo, el nivel de compromiso de los beneficiarios en el proyecto. El correcto tratamiento de estos factores es crucial en la sostenibilidad de las redes desplegadas, y es descrito en el capítulo 6. Estas recomendaciones han de ser meticulosamente tenidas en cuenta cuando se diseñan proyectos en el entorno descrito, para, así, garantizar su éxito

En el último capítulo, el 7, se presentan algunas de las redes desplegadas por GTR-PUCP en los últimos años. En ella se detallan los equipos utilizados y la justificación de su elección, junto con ejemplos de sus configuraciones.

2

## **Redes VHF/HF**

El presente capítulo muestra los desarrollos alcanzados por el GTR-PUCP para la transmisión de datos usando las tecnologías de VHF y HF. En el año 1999 fueron estos sistemas los primeros en ser implementados por el GTR-PUCP en las microredes de salud de Alto Amazonas, Departamento de Loreto, con la finalidad de transmitir información epidemiológica, referencia contrarreferencia de pacientes, inventarios de farmacia, etc. a través del correo electrónico. El GTR-PUCP ha instalado un total de 70 estaciones VHF/HF en las provincias de Alto Amazonas y Datém del Marañón. En el año 2007 se instalaron los últimos desarrollos realizados con éstas tecnologías durante el montaje de las redes VHF de Morona, Pastaza y Andoas, y de la red HF de LimaEco, en el marco del Proyecto PAMAFRO.

Cabe mencionar que muchas de estas redes siguen operativas, tal es el caso de la redes de Pastaza y Morona, cuyos usuarios, personal de salud, continúan transmitiendo de manera restringida información sanitaria semanalmente. Pero dado el incremento del flujo de información que en la actualidad requieren los usuarios y el avance de nuevas tecnologías que permiten cubrir la demanda existente, el GTR-PUCP recomienda el empleo de estas soluciones sólo para la transmisión de voz. En el caso de transmisión de datos se recomienda optar por el despliegue de redes WiFi o WiMax.

Los sistemas VHF y HF son sistemas inalámbricos o de radio que hacen uso de las bandas de frecuencia de 3 a 30 MHz y de 30 a 300 MHz, respectivamente. Estos sistemas originalmente sólo diseñados para la transmisión de voz, también permiten la transmisión de datos. En las redes que se prensentan en este capítulo y en la sección 7.4 la mayor parte de los sistemas instalados se comunican mediante equipos de radio que usan la banda de frecuencias VHF, sin embargo, debido a su alejada ubicación, existen algunas estaciones que tienen instalados equipos radio que usan la banda de frecuencias HF, que cuentan con módems de 2500 bps de velocidad. Aunque las ventajas y desventajas de este tipo de redes fue descrita en 1.3.2 y en 1.3.3, respectivamente, a continuación presentaremos un resumen de sus características:

Sistemas HF: Estos sistemas tienen un alcance geográfico bastante amplio, pudiendo establecer comunicaciones con estaciones dentro y fuera de un mismo país. Estas comunicaciones son, por lo general, de menor calidad que las anteriores, por lo que, aunque existe la posibilidad, no merece la pena conectarla a la RTPC. Sin embargo, dado su largo alcance, se pueden utilizar para intercomunicar puntos que están a cientos kilómetros del resto de la red. Un esquema de esta red se presenta en la Figura 2.1.

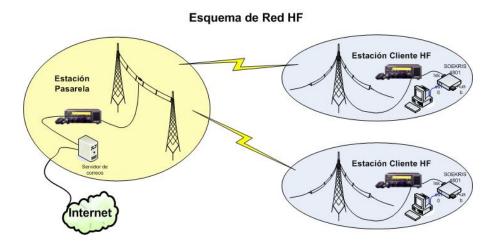


Figura 2.1: Esquema de red HF.

• Sistemas VHF: Estos sistemas tienen un alcance geográfico limitado (alrededor de 70 km) por lo que se agrupan en pequeñas redes locales. En ellas todas las radios se comunican en las mismas frecuencias, es decir, usan un canal común y pueden establecer conversaciones con todos las estaciones de la misma red. Mediante este servicio los usuarios podrán establecer comunicaciones de voz halfduplex (también fullduplex pero con equipos más caros) de alta calidad con las estaciones que forman parte de su red. Además permite la comunicación con cualquier abonado de la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC) para lo que se necesita una interfaz hacia esa red, por lo menos en un nodo; este proceso se describirá en la sección 2.7.2. Para la transmisión de datos debe instalarse una interfaz de comunicaciones entre la radio y la computadora, en cada una de las estaciones de la red. En VHF pueden alcanzarse velocidades alrededor de 9600 bps, que es poco para una óptima navegación en Internet, pero suficiente para el uso de correo electrónico. Para la gestión de este servicio se instala una computadora especialmente acondicionada, un servidor, en una de las estaciones de la red, que cuente con algún tipo de acceso a Internet. De esta forma, los correos enviados desde cualquier estación son transmitidos por la radio hacia el servidor local, el cual los reenviará hacia: otra estación VHF, una red LAN ó Internet. Hay que tener en cuenta que cada red local se comunica mediante una frecuencia propia, diferente a la usada por las redes vecinas. Un esquema de esta red se presenta en la Figura 2.2.

Para realizar la descripción del sistema, además de llevar a cabo la diferenciación necesaria entre *hardware* y *software*, tendremos en cuenta la distinción entre los dos subsistemas que caracterizan este sistema de comunicaciones, el de voz y el de datos. Se ha planteado este modelo ya que, aunque normalmente ambos subsistemas se suelen instalar de forma simultánea para aprovechar al máximo los recursos existentes, también se puede dar el caso en el que se quiera instalar únicamente uno de ellos.

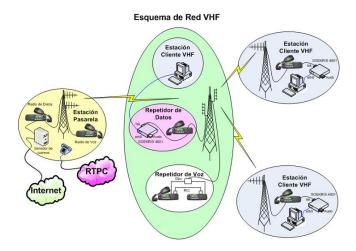


Figura 2.2: Esquema de Red VHF.

#### 2.1. Comunicaciones de voz

La comunicación de voz es el servicio natural de los sistemas VHF. Cada red utiliza un canal para la comunicación de voz entre sus miembros, como se aprecia en la Figura 2.3(a). En caso que existan estaciones bastante alejadas entre sí, se usan repetidores de voz, por lo que la red utiliza dos canales de voz, uno para transmisión y otro para recepción, como se muestra en la Figura 2.3(b).

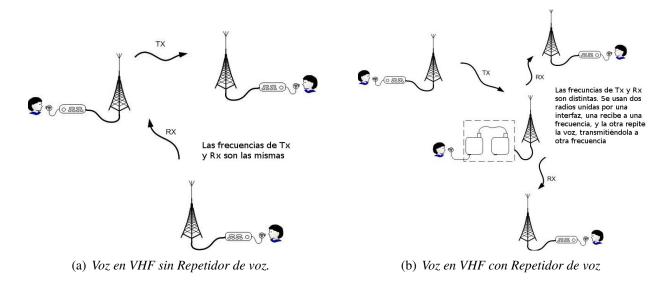


Figura 2.3: Voz en VHF.

Cuanto más aumente la cantidad de repetidores de voz , mayor será el número de canales usados. Todos estos canales han de ser configurados en la radio del repetidor de voz que de servicio a cada estación y a través del cual se retransmiten las comunicaciones hacía su destino, en particular, hacia la estación que cuente con salida a la RTPC. Esta estación será denominada estación pasarela.

Al igual que en la comunicación de datos, todas las estaciones tienen la posibilidad de establecer comunicaciones de voz hacia el exterior a través de una de ellas, que está conectada a la RTPC. Sin embargo, dada la baja calidad de las comunicaciones HF, únicamente las estaciones conectadas con enlaces VHF tienen la posibilidad de ofrecer de este servicio con una calidad aceptable.

Las estaciones conectadas mediante enlaces HF no se pueden comunicar con los sistemas VHF, que usan otra banda de frecuencia. Sin embargo, sí que podrá comunicarse con ellas mediante el subsistema de datos como se detalla en 2.2, a través de *Internet*. La tecnología HF está ampliamente difundida en los entornos rurales de países en desarrollo, por lo que habitualmente pueden encontrarse radios HF en algunas localidades del área donde se quiere instalar una nueva red. Esta característica servirá para que la estación donde se instale esta tecnología pueda conectarse con esas localidades, entre las cuales suelen estar capitales distritales y departamentales.

El medio seleccionado de entrada/salida hacia la RTPC y hacia *Internet*, depende de las ventajas y desventajas de cada sistema (VSAT, ADSL) debiendo valorar en cada caso particular cúal de ellos es el más conveniente. En el apartado 4.1.2 se presentan varias recomendaciones para tomar esta decisión.

## 2.2. Comunicaciones de Datos

Para VHF/UHF se usarán canalizaciones (ancho de banda de canal) estandár de 12.5KHz; en HF la canalización típica es de poco más de 2 KHz. La tarea de recepción/envío de audio se llevara a cabo, en ambos casos, con *soundmodem*, un paquete libre que proporciona la infraestructura para el acceso a tarjeta de sonido y que incluye un conjunto de módems *software* (5 implementados por el momento) para la transmisión de información, que se escogen en función de la banda de trabajo.

Para VHF/UHF el módem escogido es *FSK-G3RUH* una modificación libre de FSK que reduce considerablemente el ancho de banda final. Este módem permite llegar a una velocidad de señalización de 9600 bps para las canalizaciones estándar, una velocidad muy superior a la usada en anteriores proyectos (AFSK 1200bps).

En HF, se usa un módem especialmente diseñado para esta banda, *newqpsk*, originalmente desarrollado para la placa Motorola DSP560002, y posteriormente traducido a lenguaje C y distribuido en Linux bajo licencia GNU/GPL. *Newqpsk* es un módem con tecnología OFDM. Esta modulación de espectro extendido consta de una serie de portadoras espaciadas en frecuencia para distribuir los datos por todo el ancho de banda del canal. La ortogonalidad se asegura con una determinada distancia entre portadoras que evitan que los datos se mezclen en el proceso de demodulación. Los beneficios de OFDM son su alta eficiencia espectral, la fortaleza a las interferencias de radiofrecuencia y una baja distorsión por *multipath* (multicamino), precisamente las características más habituales en canales HF.

Newqpsk usa 15 portadoras separadas 125 Hz (con un ancho de banda total de 2KHz), y cada una de ellas porta una modulación DQPSK. La modulación diferencial implica que se trata de un módem no coherente, que aunque tiene una pérdida teórica de 3dB de relación señal-a-ruido en recepción respecto a los módems coherentes, permite mayor sencillez y menor carga de procesado de señal. La tasa de transferencia de cada portadoras es de 83.3bps (bits por segundo), lo que da una velocidad global de 2500bps. El modem incluye dos fases iniciales, de preámbulo y sincronización, tres niveles diferentes de FEC con el algoritmo BCH, y diversidad espacial y temporal (*interleaving*) para aumentar la resistencia al fenómeno del *fading* (desvanecimiento) temporal y frecuencial.

El sistema está basado en el uso de *software* libre (*Postfix*, SMTP por lotes, UUCP, *Soundmodem-Newqpsk*, *ALSA*, etc), que se explica en 2.4.2.5, y el protocolo AX.25 (mejorado con dos nuevas opciones: rechazo selectivo de paquetes -SREJ mejorado- y un sistema de asignación de turnos DAMA -denominado RRCONN, *Round Robin Connections*).

En cuanto al hardware, la interfaz entre la radio y la computadora de usuario está compuesta por 3

dispositivos: una tarjeta de sonido, una computadora embebida y una tarjeta de control de radio. Ver mas detalles en 2.4.1.4.

## 2.3. Arquitectura de redes VHF/HF

Las redes VHF/HF desplegadas por GTR-PUCP suelen estar formadas por agrupaciones de redes. Cada una de estas redes está formada por una estación pasarela (con conexión al exterior) a la que se conectan varias estaciones cliente. Suele ocurrir que la estación pasarela no se encuentre en el centro geográfico de la red y en tal caso estaría demasiado lejos de algunas estaciones cliente como para tener comunicaciones de voz ó datos de buena calidad. La solución a ese problema es el empleo de repetidores de voz ó repetidores de datos.

Como se ha observado, para lograr comunicaciones de voz y datos sobre redes que utilizan VHF se pueden distinguir distintos tipos de estaciones : las estaciones cliente, los repetidores de voz, los repetidores de datos y la estación pasarela. En sistemas HF, dado que la distancia entre estaciones puede ser del orden de cientos de kilometros, no son necesarios los repetidores de voz, ni de datos. Por lo tanto, estas redes están compuestas únicamente por estaciones clientes que se comunican con una estación pasarela que les permite conexión hacia el exterior.

Dado que las estaciones cliente prácticamente son la interfaz entre los usuarios y los servicios de la red, y que es deseable que los servicios estén disponibles en todas las estaciones de la red; suele ocurrir que allí donde se instalan los repetidores también se instalen estaciones cliente. Esto implica pequeños cambios, como:

- Donde coinciden repetidor de datos y estación cliente la comunicación entre ambas será a través de una red LAN. Cada estación tiene su propia radio.
- Donde coinciden repetidor de voz y estación cliente los usuarios hacen uso de las radios del repetidor para la comunicación de voz.
- Donde coinciden una estación pasarela y una estación cliente la comunicación de datos entre ambas, será a través de una red LAN. Cada estación tiene su propia radio.
- Donde coinciden repetidor de datos y repetidor de voz cada estación hace uso de sus respectivas radios.

Las características de los equipos de cada unas de las estaciones comentadas, junto con las configuraciones necesarias en cada uno de ellos, se presentan a continuación.

## 2.4. Estación cliente

Una estación cliente es un nodo final en el cual los usuarios pueden hacer uso de los servicios de la red. Si éstas no cuentan con un sistema que les proporciona la energía necesaria para su propio funcionamiento, este deberá ser diseñado. Algunas recomendaciones para tal diseño se describen en la sección 4.2.

## **2.4.1.** Equipos

#### 2.4.1.1. Transceptor Radio

El elemento principal de esta estación es el equipo radio, existiendo dos tipos diferentes instalados, según la banda de frecuencia en que se trabaje. Para VHF se pueden utilizar radios marca *Motorola* modelo *Pro3100*, que permite programar 4 canales (Figura 2.4(a)). En HF se pueden utilizar radios marca *Kenwood* modelo *TK-80*, en las que se pueden programar hasta 80 frecuencias diferentes para la comunicación (Figura 2.4(b)).



Figura 2.4: Modelos de Radios en las estaciones cliente.

Las características básicas necesarias para poder controlar la radio son el PTT (Push-to-talk) y el CSQ (Carrier Squelch), éste último sólo para VHF. El PTT se instala como un accesorio de la radio con un micrófono avanzado con DTMF (multifrecuencia de tono dual). El CSQ sirve para detectar la portadora, es decir, para controlar si se está usando el canal de voz.

Para la transmisión de datos las radios utilizadas son las mismas que las descritas. Sin embargo, sólo puede ser usadas para comunicarse por voz o datos, pero no ambas al mismo tiempo, por lo que, en las estaciones cliente hay que interrumpir la comunicación de voz para poder enviar datos.

#### 2.4.1.2. Cables y Conectores

Las radios se conectan a la antena mediante un cable coaxial que se encarga de transmitir la señal entre ambos elementos. Estos cables están hechos de cobre con una protección especial para soportar interferencias y las condiciones de intemperie a las que se enfrentan. Habitualmente se utilizan tres marcas de cables: *Belden, Andrews* y *Times Microwave*. Para conectar los sistemas VHF al protector de linea se utiliza un "latiguillo" en cuyos extremos hay un conector tipo N en el lado del protector de línea y un conector *Mini U* macho para el equipo radio. En los sistemas HF se usan los latiguillos con conectores tipo *PL* macho.

La presencia del protector de línea obliga a la utilización de dos cables coaxiales para unir la antena con su respectiva radio. El protector se encargará de derivar al pozo a tierra cualquier corriente nociva que pueda circular por el cable coaxial conectado a la antena, aunque esto se describirá en más detalle en el capítulo 4.3.

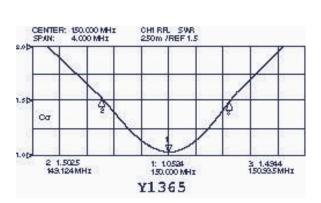
2.4 Estación cliente 27

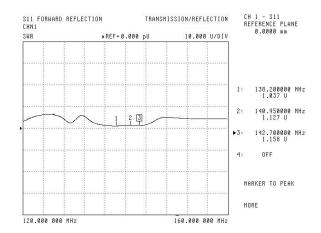
#### 2.4.1.3. Antenas

GPIO Las antenas son los elementos que reciben y emiten señales de radio por el aire. Debido a que las estaciones cliente VHF en la mayoría de los casos solamente deben apuntar a una estación pasarela o a un repetidor de voz, se suelen utilizar antenas directivas. Sin embargo, en algunos casos se emplean antenas direccionales en las estaciones cliente para que éstos se comuniquen entre ellos. En cualquier caso es conveniente que las antenas tengan un buen ancho de banda y alta ganancia. Se puede utilizar la misma antena para las comunicaciones de voz y datos.

En el caso de utilizar antenas directivas, las se pueden usar las antenas *Antenex Y1365*. Esto es debido sus buenas propiedades mecánicas, ya que al estar anodizada, no se oxida ni deja entrar el agua, y a que es sintonizable en la banda 136 -150 MHz con una ganancia de 9.2 dB.

Sin embargo, esta última característica no se cumple en toda la banda, ya que las antenas con las recomendaciones del fabricante nos dan un ancho de banda angosto (1MHz) alrededor de la frecuencia sintonizada como se aprecia en la Figura 2.5(a). Después de distintos experimentos y pruebas se comprobó que haciendo variaciones en las longitudes de los elementos se obtenían mejores prestaciones. De esta forma se consiguió un mayor ancho de banda de hasta 7MHz, como se aprecia en la Figura 2.5(b). Esto se comprueba verificando que la relación de onda estacionaria (ROE) cumple con ser menor a 1.3. Si la ROE está en este rango, se podrá utilizar esta antena para el nuevo ancho de banda obtenido.





- (a) Ancho de banda de fábrica Antenex Y1365.
- (b) Ancho de banda de GTR-PUCP Antenex Y1365.

Figura 2.5: Mejora ancho de banda Antenex Y1365.

En este caso la dimensiones de los elementos de la antena fueron las siguientes:

- Elemento reflector = 105.4 cm
- Dipolo = 98 cm
- Director 1 = 95 cm
- Director 2 = 95 cm
- Director 3 = 80.3 cm

Con respecto a su montaje basta con sujetarla mediante sus abrazaderas a alguno de los tubos que conforman la estructura de la torre. Deben vulcanizarse los puntos que podrían ser causa de filtración de agua, como:

- 1. Punto de conexión del conector N de chasis al cuerpo principal de la antena.
- 2. Unión del teflón con el conector.
- 3. Unión del elemento capacitivo con el teflón.

La antena se presenta en la Figura 2.6(a), y los puntos a vulcanizar en la Figura 2.6(b).

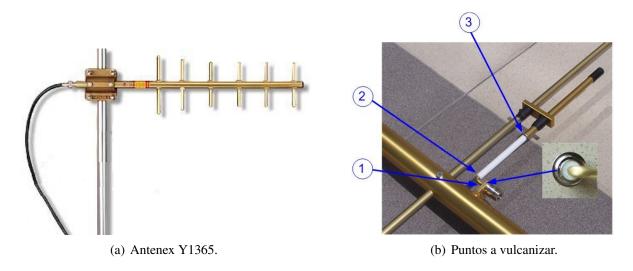


Figura 2.6: Antena Yagi VHF.

Para el caso de las estaciones cliente HF suelen utilizarse antenas dipolo de banda ancha como la *ICOM AH 710*. Estas antenas pueden colocarse en varias configuraciones; lo ideal es que estén completamente horizontales a una altura promedio de 10 m. Si no existe la infraestructura necesaria para conseguir este propósito, suelen colocarse en forma de V invertida, es decir, con el centro del dipolo ubicado lo más alto posible (deseable 15 m) y los brazos extendidos hacia el suelo. El ángulo entre los brazos debe ser el mayor posible. Un ejemplo de la colocación de esta antena se puede apreciar en la Figura 2.7.

#### 2.4.1.4. Interfaz de comunicaciones para la transmisión de datos

Para transmitir datos a través de las radios VHF o HF se hace uso de una interfaz de comunicaciones. Ésta consta de una computadora embebida, una tarjeta para control de radio y una tarjeta de sonido genérica que cuente con conector *USB*, como aparece en la Figura 2.8.

En esta interfaz es necesaria la utilización de una computadora embebida, para poder almacenar y tratar dichos datos. La computadora del usuario tiene que conectarse físicamente con la interfaz por medio de un cable de red y esta, mediante un cable fabricado para tal efecto, a la radio. La computadora del usuario podría cumplir las funciones que se encargan a la computadora embebidas, sin embargo, utilizar otra computadora para este fin tiene las siguientes ventajas:

■ La computadora de usuario podría trabajar con cualquier sistema operativo y no necesariamente Linux.

2.4 Estación cliente

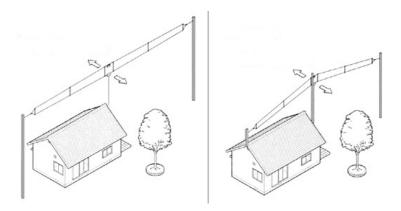


Figura 2.7: Instalación antena HF.

■ Dado que la computadora embebida es de bajo consumo (menos de 5w) puede permanecer siempre encendida y automática y periódicamente brindar reportes de su estado.



Figura 2.8: Imagen de la Interfaz de comunicaciones.

#### 2.4.1.4.1. Computadora embebida

La computadora embebida que se puede utilizar es una placa *Soekris* modelo 4801 que consta de 3 puertos *Ethernet*, 1 puerto serial, 1 puerto Compact Flash (CF), 1 *socket PCI*, 1 conector de alimentación y un conector *USB*. Ninguna de las demás computadoras probadas tenían la opción de conectar la tarjeta de sonido en dos sitios distintos como son el puerto *USB* y el *socket PCI*. Además, ésta presenta una mejor capacidad de procesamiento. El equipo se alimenta directamente con 12 V por el conector de alimentación de la *Soekris*.

#### 2.4.1.4.2. Conexión de los equipos para la comunicación de datos

Para posibilitar la transmisión de datos se requiere conectar la radio a la computadora embebida. Este proceso se realiza mediante una tarjeta de sonido y la tarjeta de control de radio. La tarjeta de sonido se encarga de intercambiar los datos, modulados en banda de audio (de 20Hz a 20KHz), entre la radio y la computadora embebida; realiza el procesamiento digital de las señales de audio, por ejemplo las conversiones A/D y D/A.

Las funciones mínimas indispensables de la tarjeta de control de radio son: la activación del PTT de la radio y la adaptación de impedancias entre la tarjeta de sonido y la radio. Adicionalmente controla el encendido, el cambio de canal y el silenciador. La tarjeta de control esta diseñada para ejecutar todas las funciones descritas, pero no posee la inteligencia para decidir cuando deben realizarse esas tareas, de eso se encarga la computadora embebida.

La interfaz de comunicaciones se conecta a la *Soekris* mediante un cable *flat* con conectores de 2x10 GPIO (puerto de E/S digital). El conector es el mismo para los dos extremos, y sólo encaja de un modo, por lo que no se le debe forzar. Mientras tanto, la tarjeta de sonido se conecta mediante el puerto *USB* de la computadora empotrada. Esta conexión no se realiza directamente, sino a través de un cable extensor que está soldado por debajo de la placa, como se aprecia en la Figura 2.8.

Además la tarjeta de sonido no se conecta directamente a la radio, sino que atraviesa por un proceso de reducción de potencia de señal a través de un circuito incluido en la tarjeta interfaz. Para ello se usa un cable de sonido de dos líneas, una para el *SPK* (speaker o altavoz) y otro para el *MIC* (micrófono).

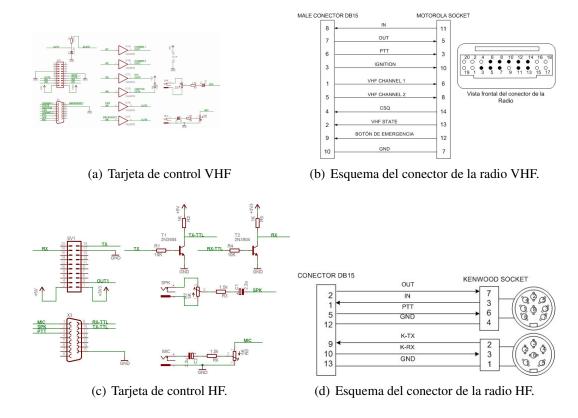


Figura 2.9: Conexión Placa Interfaz - Radio

Todas las líneas de control de radio y de la tarjeta de sonido van hacia la radio a través de un solo cable. El conector del lado de la tarjeta interfaz es un DB15. El conector del lado de la radio en la banda VHF es una adaptación del conector original, y debe coincidir según la muesca que se encuentra en esta adaptación. En cuanto a la radio de banda HF, se utiliza un conector estándar. Las Figuras 2.9 y 2.10 se muestran con mayor detalle las conexiones realizadas. La computadora del

2.4 Estación cliente 31

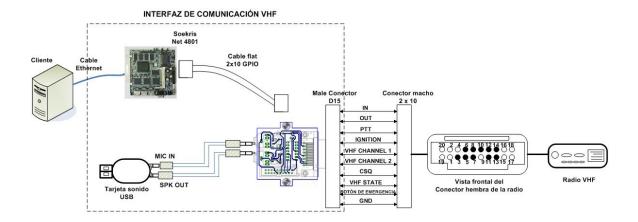


Figura 2.10: Esquema de conexión para transmisión de datos en estación cliente

usuario se conectará vía cable *Ethernet* cruzado al conector RJ45.

## 2.4.2. Configuraciones

En esta sección se describe la configuración de las dos radios utilizadas para las estaciones cliente VHF y HF, la *Motorola Pro3100* y la *Kenwood TK 80*, respectivamente. Además, se indica el proceso para el envío de datos, se detalla la instalación del sistema operativo (S.O.) y se detalla en profundidad la aplicación utilizada para el envío de datos.

#### 2.4.2.1. Configuración Radio VHF

Las radios *Motorola Pro3100* se configuran a través del programa *Professional Radio CPS*, el cual sólo se ejecuta bajo el S.O *Windows*. Para leer y escribir en la radio, es necesario un programador que consta de un conector serial hembra para conectarlo a la computadora, conocido como conector DB9, y un conector RJ45 para conectarlo a la radio a través de un cable directo.

El programa *Professional Radio CPS* permite configurar todas las características que tiene la radio. A continuación se explica como configurar el puerto de control de la radio, que se encuentra en su parte posterior, y las frecuencias de los canales con que cuenta.

Como se puede apreciar en la Figura 2.11, el primer botón permite leer la configuración que se encuentra en la radio a la que se está conectado. Si el programador está mal conectado a la computadora o a la radio, saldrá un mensaje de error, por lo que habrá que asegurar las conexiones.

Para poder configurar el dispositivo, hace falta un archivo pre-existente de configuración, o bien leer la configuración del dispositivo directamente y, en base a ello, realizar las modificaciones pertinentes. En la Figura 2.12 se muestran las principales características para la configuración de las radios usadas en la transmisión de voz y datos.

La ventana de configuración se muestra tal y como aparece si se ha abierto un archivo o bien este ha sido leído desde la radio. En la opción de *Radio Configuration*, se configuran los pines que están en el puerto de la parte posterior de la radio, los cuales cumplen distintas funciones como, por ejemplo, PTT, CSQ, cambio de canal, etc. Para configurar los canales con que cuenta la radio, hay que acceder a la opción *Conventional Personality*  $\Rightarrow$  *Conventional-Personality* - x, donde x indica el número de canal. Por lo general se habilitan exclusivamente los canales 1 y 2 para uso de voz, y el

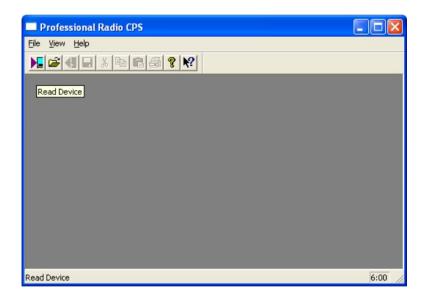


Figura 2.11: Configuración Radio cliente VHF Paso 1.



Figura 2.12: Configuración Radio cliente VHF Paso 2.

canal 3 o 4 para transmisión de datos, asegurando que los canales de datos no sean interrumpidos para uso de voz. Los canales se configuran con las frecuencias asignadas a los canales de voz y datos, con un ancho de banda de canal de 25 KHz y con la potencia de transmisión al nivel más alto (esta opción se encuentra en *Conventional Personality*  $\Rightarrow$  *Options*). Además, hay que asegurarse que las potencias mínimas y máximas estén bien configuradas, esto se encuentra en *Radio Configuration*  $\Rightarrow$  *Tx Power*, que por lo general ofrece 20 W como mínimo y 45 W como máximo. La Figura 2.13 muestra como quedaría esta configuración.

2.4 Estación cliente 33

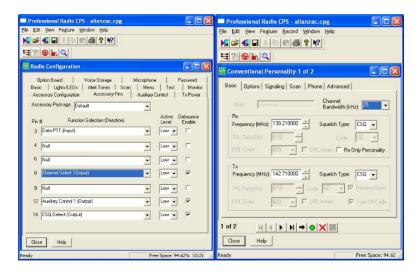


Figura 2.13: Configuración Radio cliente VHF Paso 3.

### 2.4.2.2. Configuración Radio HF

La configuración de la radio HF se realiza manualmente utilizando los botones que se indican en la Figura 2.14. Para ello deben ejecutarse los siguientes pasos:



Figura 2.14: Configuración Radio HF.

- 1. Apagar el equipo antes de entrar al modo de configuración de canales.
- 2. Presionar al mismo tiempo los botones *Menu* y *Mode* y, sin soltarlos, encender el equipo.
- 3. En la pantalla LCD aparecerá el canal 1 parpadeando. Con el selector de canal giratorio se selecciona el canal que se desea configurar.
- 4. Una vez seleccionado el canal, se procede a configurar los parámetros de un determinado canal presionando el botón *Mode*. Los parámetros configurables son la **potencia de transmisión**, la **etiqueta** del canal, el *modo* de comunicación, y **las frecuencias de transmisión** y **recepción**. Para pasar a los siguientes parámetros se presiona el botón *Mode* (desplazamiento hacia delante), y para regresar a un parámetro se presiona el botón *Data* (desplazamiento hacia atrás).

- 5. La **potencia de transmisión** se configura con el selector de canal, las opciones son: *maximum* (100W), *high* (50W), *medium* (25W), y *low* (12W). La **etiqueta** es una breve descripción del canal, ejemplo: COM1, CANAL10, etc. Una vez configurada la potencia de transmisión, el equipo espera que se ingrese el primer carácter, para ello se hace uso del selector de canal, el cual sirve para escoger el carácter que se debe de ingresar, pudiendo ser un número o una letra. Una vez seleccionado el primer carácter se procede a pasar al segundo carácter de la etiqueta, para ello se hace uso del botón *Scan*. Este proceso se repite hasta completar la etiqueta con un máximo de 7 caracteres. Si se desea terminar la asignación de la etiqueta o no tener etiqueta, simplemente se pasa al siguiente parámetro con el botón *Mode*. A continuación, se selecciona el **Modo**. Lo común es seleccionar el modo *USB*. Los dos últimos parámetros son las **frecuencias de transmisión y recepción**. Al seleccionarlos, en la parte izquierda de la pantalla LCD se visualizara un parpadeo de los símbolos *Rx* o *Tx*. Para modificar la frecuencia, el procedimiento es similar a la configuración de la etiqueta, esto es, usar el botón *Scan* para avanzar en las posiciones de la frecuencia, y la perilla del selector de canales para escoger el número que irá en una determinada posición del valor de la frecuencia (enteros y decimales).
- 6. Una vez finalizada la configuración, regresar a la posición final con los botones *Mode* (hacia delante) o *Data* (hacia atrás), hasta que el símbolo del canal (el símbolo CH) y el número abajo correspondiente al canal seleccionado esté parpadeando. En esa posición se podrá cambiar a otro canal que se desee configurar con el selector de canal.
- 7. Una vez terminada la configuración, apagar el equipo y encenderlo nuevamente para su normal operación.

2.4 Estación cliente 35

### 2.4.2.3. Sistema operativo de la computadora embebida

La instalación de un S.O GNU/Linux estándar es posible, pero no es apropiado porque consume muchos recursos en acciones innecesarias, requiere una memoria Compact Flash (CF) demasiado grande y hace un tratamiento inapropiado de este tipo de dispositivo de almacenamiento. Por otra parte, un S.O GNU/Linux es básicamente la mejor opción porque asegura todas las funcionalidades que se persiguen, es estable, de fuente abierta y hay experiencia previa de integración en plataformas Soekris.

El S.O utilizado es una versión propia de *Voyage*, que se trata, básicamente, de un *Debian* al que ha sido reducido al mínimo número de paquetes razonable y al que se han "extirpado" la documentación. También se ha instalado el *kernel* versión 2.6.17 con parches para AX.25 (rechazo selectivo de paquetes) y GPIO y se ha modificado la partición /var quedando en read-write, dado que las también servirá para estaciones que deban guardar correo. Para ello contiene las aplicaciones necesarias para correo electrónico, además cuenta con el paquete ehas-station que se encarga de la gestión del tráfico de datos de la red y que se detalla en 2.4.2.5 y de los paquetes asterisk y asterisk-phonepatch que se encargan de la telefonía.

### 2.4.2.4. Configuraciones de red

Adicionalmente, hay que configurar la interfaz *Ethernet* de la *Soekris*, para establecer una red con la computadora de la estación final o con la salida a *Internet*. Para ello hay que modificar el archivo /etc/network/interfaces/ e introducir los valores deseados. Para ello:

```
Soekris-1:/# remountrw
vi /etc/network/interfaces/
```

El editor vi muestra el archivo en modo lectura, si se desea modificar el archivo se debe pasar a modo escritura presionado la tecla *Insert* y para regresar al modo lectura se presiona la tecla *ESC*. Para guardar los cambios se debe estar en modo lectura y escribir w, si se desea guardar y salir se escribe wq, para salir simplemente se escribe q, y si se desea salir forzadamente se escribe q!.

### 2.4.2.5. Aplicación para el envío de datos ehas-station

Como se ha indicado, la distribución *Voyage* que utiliza GTR-PUCP, cuenta con el paquete *ehas-station*, que reúne todas las aplicaciones y ficheros de configuración necesarios, además de servicios añadidos como el envío de *logs* y un sistema de gestión remota.

El programa de configuración se inicia con el comando:

```
Soekris-1:/# config-ehas
```

Donde aparece un menú de opciones como el siguiente:

A continuación se describen en detalle cada una de las opciones que se presentan en el menú anterior:

#### 1. Conectividad

El sistema de configuración contempla dos tipos distintos de conexión:

- *Radio*: Conexiones en las que usemos transceptores HF ó VHF.
- *Ethernet*: Cualquier otro tipo de conexión que permita el uso de TCP/IP directamente, y que normalmente tendrán velocidades de transmisión mayor (LAN, *WiFi*, módem telefónico, etc).

Como ambas presentan grandes diferencias a la hora de la configuración, serán explicadas por separado.

### 1.1 Conectividad Radio HF/VHF

En esta sección se configuran los parámetros necesarios para las estaciones radio:

- *Crear nueva conexión*. Se selecciona la clase de estación: radio, por lo que se puede entrar a configurar la estación creada.
- Estado conexión: ON ó OFF.
- *Tipo de estación*: HF ó VHF.
- *Modelo de radio*: Descripción de la radio conectada (modelo y número de serie), útil para el mantenimiento de la red. Debe ser lo más detallada posible.
- Configuración correo
  - *Intercambio de correo*: Estado del sistema de correo (activado / desactivado)

2.4 Estación cliente 37

• *Lista de estaciones*: Se indica el nombre de *host* del servidor al que se conecta la radio. Si hay repetidores se debe usar la forma server/cliente. En primer lugar, el servidor al que se conecta la radio, y todas las demás estaciones que dependen de ese servidor.

- *Contraseña local*: Contraseña UUCP de la estación local (por si recibe llamadas).
- *Contraseñas remotas*: Se indica la contraseña UUCP del servidor.
- Servidor a conectar: Nombre de host del servidor al que se conecta.
  - Horas de conexión (HC). Si se quiere que la conexión con el servidor se haga de forma automática por temporizador, se debe indicar las horas en las que el cliente intenta una conexión. El minuto se elige de forma pseudoaleatoria a partir del nombre de la estación (para evitar que todas las estaciones lo hagan a la vez).
  - *Llamar al servidor en HC*. Una vez configuradas las horas de conexión, se indica si se quiere que se hagan las llamadas o no.
- *Conexión dinámica*: Si existen caminos alternativos al servidor (una conexión *Ethernet*, por ejemplo), se pueden indicar las preferencias para la conexión. Ejemplo:

```
conn1/conn2(queue<100K,old>1d)/conn3/conn2(old>1m)
```

Primero intenta conectar usando la conexión conn1, si falla intentará conn2 sólo si el tamaño de la cola es menor a 100 Kbytes y al menos de un día de antigüedad, después conn3, y finalmente conn2 si la cola tiene tiene más de un mes.

- Restricción de correo de la conexión.
  - o Restricción. Se indica si la estación tiene restricciones en la cola de correos de radio.
  - o *Tamaño máximo de mensaje*. Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido) de un mensaje a enviar.
  - o *Tamaño máximo de la cola*. Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido) del conjunto de mensajes de enviar (cola de salida).

Si se supera el tamaño máximo permitido del mensaje, el sistema devuelve un correo de advertencia al usuario que envió el correo, indicando que éste ha sido borrado y por qué razón se ha hecho.

• *RelayHost TCP*: Si se necesita usar otra estación de *Relay* (esto es, para que envíe los correos que la máquina tiene en la cola), se indica aquí el *host*. Esta opción es especialmente útil para servidores en una *Intranet* que no tengan salida directa a *Internet*, y que deban usar un servidor principal para este fin.

### ■ Configuración proxy

- Estado del Proxy Cliente: Se activa o desactiva el uso del proxy en el cliente.
- *Proxy remoto*: Se indicar el nombre de *host* del servidor radio que servirá de pasarela a *Internet*.
- Navegador (puerto proxy): Puerto que usará el navegador para la navegación.
- Proxy remoto: Puerto configurado en la maquina remota para el proxy (3128 para Squid).
- Estado del Proxy servidor: Para los clientes se mantiene está opción desactivada.

#### ■ Soundmodem

- Tarjeta de sonido
  - o Dispositivo: Tarjeta de sonido usada en esta conexión.
  - Detectar tarjetas de sonido: Analiza los dispositivos conectados para encontrar tarjetas de sonido a usar.
  - o Guardar valores actuales del mezclador: Hay que ejecutar esta opción una vez finalizado el proceso de ajuste de volúmenes, que se describirá en mayor detalle en 2.7.2.4.
  - o Frecuencia de muestreo: Se indica un valor de frecuencia de muestreo fija. Hay algunas tarjetas de sonido que sólo funcionan a la frecuencia fija de muestreo estádar (48000, normalmente). Si existen problemas en la transmisión que no son atribuibles al nivel del señal, se puede probar a asignar este valor y ver si se produce alguna mejoría.
- Dispositivo PTT. Nombre del dispositivo a usar para activar el PTT de la radio./dev/ttySX son los puertos series y /dev/parportX son los puertos paralelo. Se debe configurar el serie cuando se usa una placa sencilla conectada al puerto RS-232 o paralelo, mientras que será un puerto USB (board0 / board1...) cuando se usa la placa de interfaz descrita en 2.4.1.4. Si se está haciendo pruebas con conexión directa entre tarjetas de sonido, se puede dejar desactivado.
- Parámetros de enlace AX.25.
  - TxDelay: Tiempo que AX.25 espera desde que activa el PTT hasta que realmente empieza a enviar datos. El valor depende del tipo de transceptor. Los valores típicos suelen estar entre 100 y 300 msegs (parámetro sólo usado en VHF).
  - o *TxTail*. Tiempo que **AX.25** espera desde que ha enviado el último bit de datos hasta que desactiva el **PTT**. Al igual que *TxDelay*, este valor también depende del tipo de transceptor. Típicamente entre 10 y 50 msegs (parámetro sólo usado en VHF)
  - Slottime. Tiempo de espera entre colisiones de paquete. Normalmente se pone el valor
     10
  - o *Ppersist*. Valor de reintento de envío de paquete. Valor de 0 (poco agresivo) a 255 (muy agresivo).
  - *RRCONN*: Desactivar para los clientes.
- *Tipo de modulación a usar:* En este caso se tiene 2 opciones fsk y newfsk. En los enlaces de las estaciones *EHAS* usamos newfsk.
- Tasa de transferencia:

```
0 \text{ Rate} = 1 (9600 \text{ bps}).
```

1 Rate = 7/8.

2 Rate = 5/6.

3 Rate = 3/4.

4 Rate = 2/3.

5 Rate = 1/2.

6 Auto para los servidores.

• *Velocidad del Modem:* Se fija la velocidad a la que se realizará la transferencia de datos. En el caso de VHF se trabaja a 9600 bps y en el caso de HF se transmite a 2500 bps.

2.4 Estación cliente 39

• Limite de conexion: tiempo máximo de duración de transmisión de datos por enlace establecido.

- *IP*:
- Netmask:
- Autoarranca Soundmodem. Esta opción permite que cada cierto tiempo se compruebe que Soundmodem (el daemon que controla las conexiones radio) está activo. Es útil en caso de que otro proceso este usando la tarjeta de sonido, así Soundmodem puede recuperarlo. En las estaciones radio deberá estar normalmente en ON.

### ■ Placa de interfaz

- Placa de Interfaz: ON /OFF
- Dispositivo: Indica la placa que se usa (board0 / board1 ...)
- Control de radio desde PC. Activa o desactiva el control remoto de la radio por CAT (Computer Aided Tuning). Para poder usar esta opción debemos tener la placa de interfaz descrita en 2.4.1.4, y un transceptor soportado por ésta.
  - o *Modelo de Radio* (sólo HF): Están soportadas las radios *Kenwood* (pruebas hechas con el *modelo TK-80*) e *ICOM* (pruebas con el modelo *IC-78*)
  - o *Canal de datos* (sólo HF): Antes de empezar una conexión de datos se cambiará a este canal.
  - Canal proxy de datos (sólo HF): Antes de empezar una conexión de proxy se cambiará a este canal.
  - o *Canal de Voz* (sólo HF): Una vez finalizada la comunicación digital, se debe volver al canal de voz por defecto del transceptor. Aquí se indica el número de este canal.
  - Potencia de transmisión (sólo HF): Establece la potencia de transmisión del transceptor para las comunicaciones digitales (sólo disponible para Kenwood)
  - Espera en cambio de Voz ⇒ Datos (sólo HF): Introduce el tiempo durante el que se comprueba el estado del PTT de usuario. Si pasado este tiempo, en segundos, el PTT no ha sido activado, el canal se considerará libre y podrá empezar una comunicación de datos. En caso contrario, se aborta la conexión.
- Daemon de temperatura: Cada placa de interfaz tiene un sensor de temperatura y un ventilador para asegurar la disipación de calor. Se indica la temperatura de activación y desactivación del ventilador.
- Daemon de ROE: Se controla el valor de potencia que la antena devuelve y así se puede avisar al usuario si hay algún problema.
- Control de botón de placa. Si se activa esta opción, la pulsación del botón de placa parará la transmisión radio.

### 1.2 Conectividad Ethernet

Bajo este apartado se configura la salida de correo electrónico de la estación cuando queremos usar un canal UUCP sobre TCP/IP (y no sobre AX.25, como en el enlace radio). Esta opción se usa en las estaciones que dispongan de módem para acceso a la línea telefónica o de *Internet* de baja velocidad (por ejemplo, VSAT) e incluso para enlaces *WiFi*.

- *Crear nueva conexión*. Se selecciona la clase de estación: *Ethernet*. Dentro del menú de configuración existen varias opciones:
  - *Intercambio de correo*: Estado del sistema de correo (activado / desactivado).
  - Lista de estaciones: Se indica el nombre de host del servidor al que se conecta.
  - *Contraseña local*: Contraseña UUCP de la estación local.
  - Restricción de correo de la conexión
    - o Restricción. Se indica si la estación tiene restricciones en la cola de correos de radio.
    - o *Tamaño máximo de mensaje*. Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido) de un mensaje a enviar.
    - o *Tamaño máximo de la cola*. Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido del conjunto de mensajes de enviar (cola de salida).
  - *Contraseñas remotas*: Se indica la contraseña **UUCP** del servidor.
  - Servidor: Nombre de host del servidor al que se conecta.
  - Automatización por hora: Conexiones automáticas (por crontab) al servidor
    - Horas de conexión (HC). Si se quiere que la conexión con el servidor se haga de forma automática por temporizador, se debe indicar las horas en las que el cliente intentará una conexión. El minuto se elige de forma pseudoaleatoria a partir del nombre de la estación (para evitar que todas las estaciones lo prueben a la vez).
    - *Llamar al servidor en HC*. Una vez configuradas las horas de conexión, Se indica si se quiere que se hagan las llamadas o no.
  - *Conexión dinámica*: Si existen caminos alternativos al servidor (una conexión radio, por ejemplo), se puede indicar las preferencias para la conexión.
- *Usar módem*: Si la conexión usa un módem telefónica hay que activar esta opción, para configurar los siguientes paquetes:
  - *Diald*: Llama automáticamente al proveedor de acceso, usando la conexión telefónica, cuando se detecta un intento de acceso a *Internet*. De igual forma, al detectar un tiempo de inactividad, el canal se cierra automáticamente.
  - PPP: Configuración del proveedor de acceso a Internet.

## 2. Automatización por hora

Horas de arranque. Esta entrada y la siguiente (parada) son útiles para servidores que deban funcionar durante parte del día y apagarse por las noches para ahorrar energía. En esta opción se indica la hora (formato HH:MM), en el que se enciende de forma diaria.
Este sistema de arranque automático usa el programa nvram-wakeup. Dicho programa, que sólo

funciona en determinadas placas base, es capaz de modificar la hora de arranque de la *BIOS*. Si el configurador ve que la placa en uso no está soportada, usará entonces un programa propio llamado *faketimer*. Este programa es menos elegante pues cambia manualmente la hora en los procesos de arranque y parada. La hora de la *BIOS*, si finalmente se usa *faketimer*, debe estar configurada de esta forma:

2.4 Estación cliente 41

- RTC Alarm: ON
- *Day (RTC Alarm)*: 0
- Hour (RTC Alarm): 12:00
   Si sólo se va a configurar una hora de arranque al día (caso común), no es recomendable hacer uso de esta opción, pues complica innecesariamente el arranque. Simplemente, se debe activar la opción correspondiente (RTC Alarm) de la que gran parte de las BIOS disponen.

■ *Horas de parada*. Horas en que la computadora se debe apagar. Se añade una entrada de poweroff en el crontab (/etc/cron.d/ehas)

#### 3. Placa de interfaz

La placa de interfaz permite controlar los transceptores radio y comunicarse con los sensores con los que se monitorea el óptimo funcionamiento de la estación (temperatura, voltaje batería, etc).

- *Dispositivo*. Número de placa *USB* donde está conectado el interfaz (board0 / board1/...).
- *Control del nivel de batería*. El ordenador prueba de forma periódica el nivel de batería e informa, a través un *applet* para *Gnome*, si llega a niveles no adecuados.
  - *Tensión de advertencia*. Cuando la batería baja de este valor, da un mensaje visual al usuario avisándole que debe apagar el ordenador lo antes posible.
  - *Tensión de apagado*. Si la batería es inferior a este valor se asume que tiene un valor crítico, y se inicia el proceso de apagado de forma automática.
- Control de botón de placa. La placa de interfaz dispone de un botón con el que el usuario puede interrumpir cualquier comunicación radio, de tal forma que el canal queda libre para voz. Si queremos que el usuario tenga esta posibilidad, se debe activar esta opción; en caso contrario, la pulsación del botón se ignorará.
- Control externo de voltaje. Se fijan los valores mínimos y máximos del ciclo de histéresis de carga de la batería. Impide el arranque del ordenador hasta que el nivel de carga sea el óptimo.

NOTA: El script /etc/init.d/edaemon se encarga de la gestión de la placa de interfaz.

### 4. Envío de logs

Las estaciones cliente y servidor tienen la posibilidad de informar al servidor central sobre su estado y actividad. La información, si la opción está activada, se envía de forma diaria. Esta información es recogida por el sistema de gestión de redes descrito en ?? para un correcto mantenimiento de las mismas.

- *Dirección de correo*. Destino de los reportes de *logs*.
- Enviar logs fijos: El sistema centralizado de información de las redes desplegadas por GTR-PUCP utiliza los logs que se envía de cada una de las estaciones para conocer su configuración. Siempre que se actualice un sistema por primera vez o se haga una modificación importante, se tiene que usar este comando para actualizar la información en el servidor central.

- Modelo de ordenador. Información sobre el modelo de ordenador y otras características destacables.
- *Postfix*. Indica si se quiere enviar los *logs* relativos a *Postfix* (agente de correo).
- *Placa de Interfaz. Logs* de la placa de interfaz.
- *Radio. Logs* de las aplicaciones que usen los transceptores radio.
- *Módem. Logs* de las aplicaciones que usan el módem telefónico para conectarse.

## 5. Ejecución remota segura

Dado que gran parte de las estaciones de las redes desplegadas por GTR-PUCP están aisladas físicamente y su acceso por ssh -además de tedioso- no es siempre posible, es muy útil tener algún método alternativo para enviar ficheros y comandos por correo electrónico a una o más estaciones. Entre otros usos, serviría para la actualización de paquetes, modificación de ficheros, tareas de mantenimiento, etc. Un punto clave a la hora de implementar un sistema de estas características es la seguridad. Si bien el acceso al correo o a la navegación en *Internet* tiene un nivel de seguridad muy bajo, en este caso se debe garantizar que ninguna persona no autorizada pueda ejecutar comandos en las estaciones, pues esto les permitiría ganar privilegios de administrador en las mismas. El sistema está basado en GPG, una herramienta de claves públicas y privadas, que permite el envío seguro de correo electrónico. Las peticiones de ejecución remota sólo se deberían hacer desde los servidores centrales, para evitar que la clave privada GPG se distribuya en en muchas máquinas. Todo el sistema está automatizado en las estaciones en las que esté instalada el paquete *ehas-station*. La ejecución, en el servidor, se hace con el comando:

```
Soekris-1:/# gruntrun grunt@estacion.dominio 'comando'
```

La clave privada GPG se encuentra en el servidor central de las redes desplegadas por GTR-PUCP.

#### 6. Escritorio Gnome

La descripción de este apartado no influye en la configuración del *ehas-station*, por lo que no detallará en este libro.

### 7. Configuración de red

Llama al configurador externo de red netconf (incluido en el paquete ehas-station):

- *Configuración*. Se puede elegir entre una configuración automática (si se tiene acceso a un servidor DHCP) o manual (estática).
- *Daemons*. Estado de algunos servicios de red.
  - *Servidor DHCP*. La estación actúa de servidor DHCP (asigna direcciones IP automáticamente a otras estaciones).
  - Servidor DNS. La estación actúa de servidor DNS (sirve de servidor de resolución de nombres).

2.4 Estación cliente 43

- Cliente NTP. La estación tiene el cliente NTP activado (sincroniza la hora por red).
- *Servidor NTP*. La estación actúa de servidor NTP (otras estaciones pueden usarla para sincronizar la hora).
- En caso de configuración estática, se debe indicar:
  - Hostname
  - Dirección IP
  - Máscara de red
  - Pasarela a Internet (gateway)
  - DNS primario y secundario

### 8. Establecer hora y fecha

El cambio de fecha y hora se hace en S.O GNU/Linux con *date*. Este programa no tiene una sintaxis demasiado intuitiva, así que se ha añadido esta opción al configurador para poder modificar estos datos de forma sencilla. En este mismo menú se puede configurar el huso horario en el que se encuentra la estación.

- Fecha. Cambia fecha con formato DD/MM/AAAA.
- *Hora*. Cambia la hora, con formato: HH:MM.
- Zona horaria. Cambia el huso horario local.

# 2.5. Repetidor de voz

El repetidor de voz es una estación que permite recibir señales de radio por una frecuencia y retransmitirlas al mismo tiempo por otra. Estas estaciones se usan cuando dos o más clientes de una red de VHF están muy alejados entre sí y, por lo tanto, no se garantiza la calidad de voz en enlaces directos. Para retransmitir simultáneamente son necesarias dos radios como las de las estaciones cliente (una para recibir y otra para transmitir), conectadas por medio de una interfaz llamada RIC (*Repeater Interface Controller*) y un duplexor de señal. Las dos radios mencionadas reciben el nombre de receptor y transmisor respectivamente. El esquema de esta estación se muestra en la Figura 2.15.

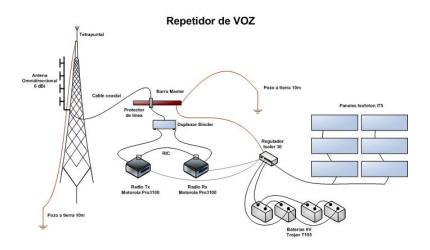


Figura 2.15: Esquema de un Repetidor de voz.

# **2.5.1.** Equipos

### **2.5.1.1. Duplexor**

Es un dispositivo pasivo de radio frecuencia que permite que un emisor y un receptor funcionen simultaneamente acoplados a una misma antena, de esta forma, mediante un duplexor sólo se usa un único cable coaxial y una sola antena a pesar que se emplean dos radios. El duplexor que se suele usar es el *Sinclair MR256-DM*, que se muestra en la Figura 2.16(a), por sus mejores prestaciones a la hora de la supresión de interferencias.

El repetidor podría funcionar sin el duplexor pero esto implicaría el uso de dos antenas, dos cable coaxiales y elevar la altura de la torre, el duplexor evita todo esto y brinda mayor comodidad en la instalación.

Con este dispositivo, en un repetidor de voz se usan dos frecuencias, una para transmisión y otra para recepción, separadas una con otra al menos 5 MHz debido a que el duplexor requiere esa separación mínima para su funcionamiento, como muestra su diagrama de radiación de la Figura 2.16(b). La separación de 5 MHz en frecuencia garantiza que las señales de transmisión y recepción no se interferirán mutuamente y además elimina la posibilidad que la señal de radiofrecuencia del transmisor se introduzca en el receptor, lo cual podría dañar irreparablemente a este último.

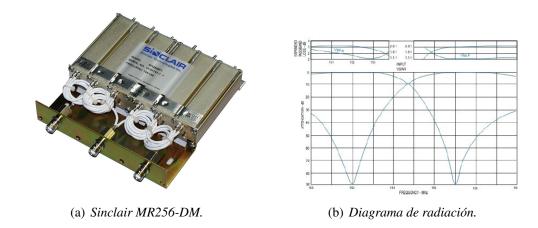


Figura 2.16: Características Duplexor Sinclair MR256-DM.

#### **2.5.1.2.** Cable RIC

El cable RIC sirve para enviar las señales recibidas por el receptor al transmisor (en esa única dirección), y para activar el PTT del transmisor. La comunicación de receptor a transmisor es a nivel de banda de audio. La activación del PTT se realiza mediante el CSQ de la radio que sirve para detectar la portadora en el medio radioeléctrico, es decir, controlar si se está usando el canal de voz.

Este cable puede ser adquirido ya que es ofrecido por diversos fabricantes. Sin embargo, dada la facilidad de su diseño, también puede fabricarse en casa. A continuación se muestra el esquemático del circuito de conexión, Figura 2.17(a), y el diseño de la placa donde tiene que ser conectado, Figura 2.17(b), por si se quiere optar por la opción de fabricarlo.

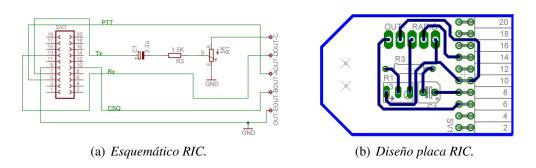


Figura 2.17: Diseño Interfaz Radio-Radio RIC.

#### 2.5.1.3. Antenas

Como ya se mencionó, dadas las características de transmisión y recepción de un nodo repetidor de voz, es necesaria la utilización de una antena omnidireccional ya que los clientes con los que se comunica pueden estar en cualquier punto. El modelo que se puede utilizar es la antena *Decibel DB224-E* de ganancia de 9 dB en toda la banda de 138 a 150 MHz, es decir mantiene la ganancia en un ancho de banda de 12 MHz. Para que ésta trabaje como una antena omnidireccional debe colocarse manteniendo una separación de 1 m aproximadamente entre la estructura de la torre y un tubo sobre el cual se instalan los dipolos que conforman la antena. Estos dipolos deben apuntar a los cuatro puntos

cardinales y deben tener la misma polarización que las antenas con los cuáles vayan a comunicarse. En el ejemplo de la Figura 2.18 las antenas tienen polarización vertical.

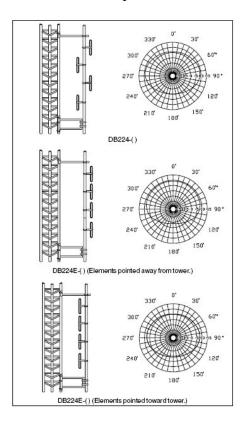


Figura 2.18: Antena Decibel DB224-E.

# 2.5.2. Configuraciones

Cada una de las radios que conforman el repetidor de voz tiene una configuración distinta.

En la radio que se utiliza para transmisión únicamente se debe configurar la misma frecuencia tanto para transmisión como para recepción.

En la radio receptora se debe activar la opción de *Rx Only Personality*. La cantidad de canales configurados en ella dependerá de las características de cada repetidor de voz, ya que éste puede pertenecer a una red de repetidores, como en el caso que se describe en el apartado 7.4.3.1.

En caso de ser necesario, se ha de configurar la opción de escaneo de canales, para lo cual se debe tener en cuenta el tiempo de escaneo.

En la Figura 2.19 se muestra el resultado de la configuración de una radio receptora.

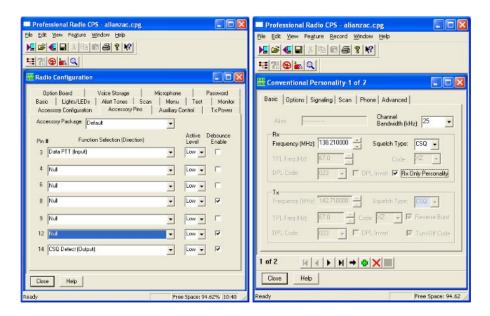


Figura 2.19: Configuración Radio Repetidor Voz.

# 2.6. Repetidor de datos

Se utiliza el término repetidor de datos por analogía al repetidor de voz. Sin embargo, la repetición de datos es un proceso completamente distinto a la de voz. Ésta última se trata de una simple transferencia de una señal analógica, por lo que no se necesita mayor procesamiento; mientras que la repetición de datos implica el uso de una computadora que gestione un protocolo de transmisión de datos. Además, mientras la repetición de voz es instantánea, la de datos es diferida.

El repetidor de datos además de servir como servidor de datos al usuario local, permite recibir y retransmitir tráfico que proviene de usuarios remotos. Dado que algunas estaciones cliente no lográn conectarse a la estación pasarela por las distancias grandes que hay entre ellos, puede suceder que se necesite usar uno ó varios repetidores de datos en cascada para poder transmitir los datos entre ambos.

# **2.6.1.** Equipos

Los equipos necesarios para los repetidores de datos son los mismos que los usados en las estaciones cliente, es decir, una computadora embebida con una tarjeta de sonido *USB* y una pequeña interfaz conectada al puerto GPIO para controlar la radio. En esta estación no es necesaria una computadora de sobremesa, dado que su única función es almacenar los datos y reenviarlos más tarde.

Si en un mismo nodo se instalarán repetidores de voz y datos, cada uno de ellos tendrá su propio juego de equipos (radios, antenas, etc). La compartición es posible pero complicada y además arriesgaría una característica básica de ambos repetidores: deben estar siempre disponibles para recibir y retrasmitir la información que se les envía, dado que si no, esta se perdería

Al igual que en el caso del repetidor de voz suele ser necesario instalar una antena omnidireccional dado que puede recibir datos desde cualquier dirección. Por lo que se puede utilizar la descrita para ellos, es decir, las *Decibel DB224-E* por sus prestaciones ya mencionadas en 2.5.1.3. Sin embargo, si forma parte de una cadena de repetidores, como en el ejemplo que se describe en 7.4, se puede utilizar un par de antenas directivas (unidas por un distribuidor de potencia) como las descritas en 2.4.1.3.

## 2.6.2. Configuraciones

Las configuraciones de este equipo son similares a las detalladas para la estación cliente en la sección 2.4.2, por lo que si se tiene alguna duda se aconseja revisarlas.

# 2.7. Estación pasarela

La estación pasarela actúa como gestor de las comunicaciones desde y hacia el exterior. Para la comunicación de voz cuenta con un *software* de edición propia llamado *asterisk-phonepatch* que actúa como interfaz entre las siguientes redes: la RTPC, la red local de VoIP, y la red VHF, con el objetivo de realizar llamadas telefónicas entre ellos.

El servicio de conectar una red de radio VHF con la RTPC es llamado *phonepatch*. Para contar con este servicio debe tenerse una interfaz que permita unir una red *half-duplex* (la red de radio) con otra *full-duplex* (la red de telefonía). Para ello esta interfaz debe poder:

- Activar el PTT de radio del servidor
- Enviar la señalización (marcación de número)recibida por radio a la línea telefónica.
- Controlar los tiempos de silencio.

El servicio *phonepatch* se recomienda únicamente para las redes con sistemas VHF. Técnicamente sería posible implementar conexiones de voz hacia la RTPC para HF, al igual que para el caso de VHF, pero debido a la baja calidad de las comunicaciones, esto no se lleva cabo.

Además de comunicarse vía radio VHF con sus estaciones cliente. Es usual que las estaciones pasarelas se comuniquen entre ellas también via radio VHF. Para ello sus radios de voz tienen muchos canales en los cuales se graba la frecuencia de otras redes.

El servidor de esta estación se comunica con *Internet* a través de un *router* (instalado por la empresa proveedora del servicio de acceso), con la RTPC a través de un ATA (Analog Telephone Adapter) y con la red VHF a través de una interfaz de control de radio diseñada por GTR-PUCP.

Como se ha indicado, esta estación proporciona una interfaz hacia *Internet* a los clientes VHF para el uso de correo electrónico. En ella, a partir de un enlace VHF, se reciben las peticiones de los clientes, ya sea de manera directa o a través de un repetidor de datos. Para el caso de HF, estas peticiones llegan de forma directa desde el cliente.

# **2.7.1.** Equipos

### **2.7.1.1.** Servidor

El servidor de la estación pasarela ha de instalarse en una computadora con mediana capacidad de procesamiento, dado que aplicaciones como el *asterisk-phonepatch* requieren eso para no introducir retardo en las comunicaciones con la RTPC. Esto descarta a la computadora *Soekris net 4801* usada en las estaciones cliente y en los repetidores de datos. GTR-PUCP ha utilizado para este fin placas *mini-ITX EPIA VIA M10000*, dado su bajo consumo (30 W, casi la mitad de lo que consume una placa ATX convencional y menos aún de lo que consume una placa *Intel Core Duo*), ideal para entornos rurales donde no hay suministro eléctrico y se tiene que suministrar energía mediante paneles solares. Si se dispone de energía el requerimiento mínimo de estos procesadores es el de un *Pentium 3* de 1 GHz con 512 Mb de memoria RAM.

### 2.7.1.2. Transceptor Radio

Para la comunicación de voz, la radio utilizada será distinta. Dado que esta radio sirve, no sólo para la conexión con la RTPC, sino también para establecer comunicaciones con otras redes vecinas será necesario un mayor número de canales. Es por ello que se puede utilizar una *Motorola Pro5100* que permite sintonizar hasta 64 canales.

Para la comunicación de datos se pueden utilizar las mismas radios que en el resto de estaciones tanto para VHF como para HF, es decir, *Motorola Pro3100* y *Kenwood TK80*, respectivamente.

Por lo tanto en el caso de que se instale un servidor en la estación pasarela que proporcione comunicaciones de voz y datos en VHF, ésta contará con dos radios.

#### 2.7.1.3. Antenas

En esta estación se instala una radio para datos y otra para voz, por lo que se hace necesaria la instalación de dos antenas, una para la comunicación de cada tipo de tráfico. El tipo de las antenas utilizadas en este caso dependen del tipo de conexión que se requiera (direccional u omnidireccional) y de la tecnología (VHF o HF). Para cada uno de esos casos se usan las mismas antenas que se han descrito anteriormente para otras estaciones.

### 2.7.1.4. ATA

Como se ha indicado, para el acceso al servicio telefónico de los usuarios de radio VHF se utiliza un ATA. El modelo que se utiliza es el *Linksys Sipura SPA3102* que está ampliamente disponible en el mercado, y que además cuenta con un puerto FXO, necesario para poder conectarse a la red telefónica. Este modelo de ATA se trata de la evolución del modelo *Sipura SPA3100*, descrito en profundidad en ??. También puede usarse una tarjeta *PCI Digium*, que cuenta con puertos FXS y FXO, sin embargo, no supera la confiabilidad obtenida con el ATA.

### 2.7.1.5. Interfaz para la transmisión de voz

Como se mencionó anteriormente, para realizar la pasarela entre la red VHF y la RTPC es necesario el uso de una interfaz que administre algunas funciones de la radio, como el PTT y el CSQ. Además, este dispositivo, al que llamaremos tarjeta *phonepatch*, actúa como adaptador de impedancias entre la tarjeta de sonido del servidor y la radio VHF, ya que no se puede conectar directamente debido a la diferencia de niveles de voltaje y corriente. La comunicación con la radio se puede dar de dos formas: por el puerto serial, o por el puerto paralelo. Para ambos casos, los circuitos necesarios para controlar la radio se muestran en la Figura 2.20.

Para enviar y recibir audio de la radio se necesita una tarjeta de sonido compatible con el S.O. que se tiene instalado, por ejemplo *GNU/Linux*. Las versiones del *kernel 2.6.x* incluyen los *drivers* del proyecto *ALSA*, un *software* potente que controla prácticamente cualquier tarjeta de sonido.

En la Figura 2.21, se puede apreciar como se conecta la tarjeta de sonido con la tarjeta *phonepatch*, a través de dos canales de audio, uno de salida *SPEAKER* (SPK) y otro de entrada *MICROPHONE* (MIC). La tarjeta *phonepath* es una versión reducida (solamente controla PTT, CSQ, SPK y MIC) de la tarjeta de control de radio de las estaciones cliente. También se diferencia por los conectores que usa y por estar compuesta de 2 pequeñas tarjetas, como se ve en la Figura 2.20.

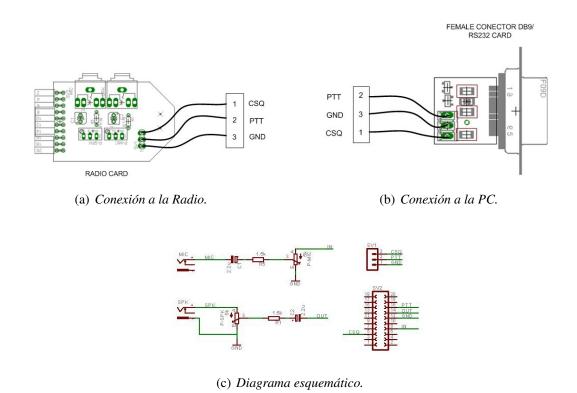


Figura 2.20: Conexiones sistema phonepatch.

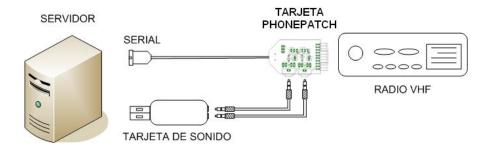


Figura 2.21: Esquema de conexión para el servicio phonepatch.

### 2.7.1.6. Interfaz para la transmisión de datos

Al igual que en las estaciones cliente, las estaciones pasarela también necesitan una interfaz de comunicaciones para la transmisión de datos por VHF. Como ya se mencionó, en las estaciones pasarela no se usa computadoras embebidas sino computadoras convencionales (trabajando como servidores). Esa diferencia, hace que la interfaz de comunicaciones de la estación pasarela sea diferente a la interfaz de la estación cliente. La principal diferencia es que esta nueva interfaz se reduce a solo dos componentes: tarjeta de sonido y tarjeta de control de radio. Se emplea la misma tarjeta de sonido y la tarjeta de control cumple las mismas funciones pero cambia en su forma por el uso de distintos conectores, en este caso se emplea el puerto paralelo del servidor. El circuito controlador y su respectiva fabricación para la radio *Motorola Pro3100* se muestra en la Figura 2.23.

Un mismo servidor puede controlar los servicios de *phonepatch* y de transmisión de datos (correo electrónico), pero cada servicio debe disponer de su propia radio e interfaz.

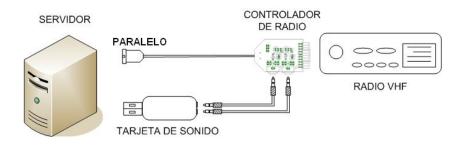
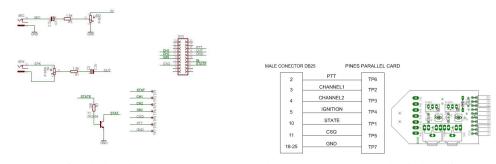


Figura 2.22: Esquema de conexión del Servidor.



- (a) Esquemático de la tarjeta VHF para PC
- (b) Conectores que van hacia la radio VHF

Figura 2.23: Conexión Servidor - Radio VHF

En el caso de la interfaz HF, la instalación implica realizar las mismas conexiones vistas en el caso de la estación cliente, pero en este caso la tarjeta de control de radio es diferente, tal como se muestra en la Figura 2.24.

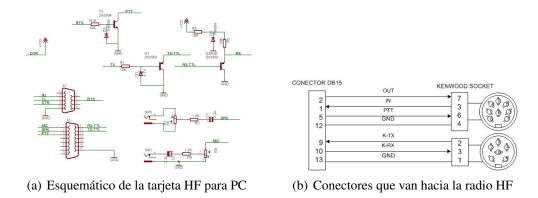


Figura 2.24: Conexión Servidor - Radio HF

Además la estación pasarela se conecta a internet. Para ello, el servidor posee una tarjeta de red que se conecta al router instalado por la empresa proveedora del servicio.

# 2.7.2. Configuraciones

### 2.7.2.1. Instalación del Sistema Operativo

El servidor de la estación pasarela se puede utilizar el mismo S.O descrito para las estaciones cliente, es decir, *Voyage* con algunas modificaciones a su versión original.

Su proceso de instalación es muy similar al del caso de estar utilizando una *Soekris*, explicado en 2.4.2.3, salvo por el caso de utilizarse un adaptador IDE-USB para conectar a la computadora el disco duro de la *mini-ITX* en vez de un lector de tarjetas CF. Además, a la hora de ejecutar el *script* write-voyage.sh, hay que hacerlo de la siguiente forma:

```
Soekris-1:/#./write-voyage.sh voyage-radio-VERSION.tgz /dev/sda pc
```

Además de configurar las interfaces como se indicó en 2.4.2.4, es necesario configurar el DNS (Domain Name System) para la salida a *Internet*. Esto se consigue editando el archivo /etc/resolv.conf:

```
Soekris-1:/# vi /etc/resolv.conf

#nameserver 216.231.41.2

#these are the cs.berkeley.edu nameservers
#nameserver 128.32.37.23

#nameserver 128.32.37.21

#nameserver 128.32.206.12

nameserver 200.4.255.3
```

En éste ejemplo el servidor DNS activado es el 200.4.255.3, los demás se encuentran deshabilitados por estar escritos luego del símbolo #, éste símbolo se utiliza también para introducir comentarios sin que estos participen en la ejecución del archivo respectivo.

### 2.7.2.2. asterisk-phonepatch

El paquete *asterisk-phonepatch* es un *software* que se encarga de la gestión de las comunicaciones de voz hacia el exterior, es decir, hacia la RTPC. Este *software* ha sido creado por Arnau Sánchez y probado por River Quispe, ingenieros de Fundación EHAS y GTR-PUCP, respectivamente.

Cabe mencionar que pese a que este software ha sido probado, éste no funciona bajo determinadas condiciones. Se ha comprobado que cuando la conexión a la RTPC es del tipo VSAT o cuando existen repetidores de voz en la red su funcionamiento no es el adecuado, debido al alto retardo que estas configuraciones introducen.

Para su instalación se recomienda que primero se configure el Soundmodem, cuya instalación se detalló en 2.4.2.5 y se identifiquen los dispositivos de sonido y de PTT para cada servicio, ya que Soundmodem y asterisk-phonepatch no deben compartir el sonido ni el dispositivo de PTT. Además, los dispositivos ya deben estar ubicados en la computadora antes de encenderlo para que, una vez encendido, el S.O. GNU/Linux los identifique en orden. Si se pusieran después, podría reconocer el audio en /dev/dsp1 y al arrancar de nuevo la computadora el S.O. GNU/Linux reconocer al mismo dispositivo como /dev/dsp.

El S.O. utilizado por GTR-PUCP para estas estaciones ya contiene el paquete asterisk-phonepatch. Para una configuración particular solamente sería necesario modificar los siguientes archivos de con-

figuración: confs-asterisk, sounds-phonepatch, sounds-asterisk, asterisk-phonepatch. Estos archivos hacen referencia a la configuración del *hardware* que se utiliza para conectar la interfaz a la computadora (serie, paralelo o *USB*), a la personalización de los archivos de sonido a utilizar y a la especificación de la numeración de las estaciones cliente que hacen uso de esta aplicación.

Para mayor información acceder a la página web propia de este sistema:

http://www.nongnu.org/asterisk-phpatch/

### 2.7.2.3. Configuración del ATA

Para configurar el ATA que se utiliza para conectar la estación a la RTPC, se recomienda seguir los siguiente pasos:

1. Para ingresar al ATA se conecta éste a la computadora mediante un cable directo de red utilizando su puerto *Ethernet*, y se obtiene una dirección IP por *dhcp*. Si se usa S.O. *GNU/Linux* se haría así:

```
Soekris-1:/# dhclient eth0
```

- 2. Ingresar la dirección IP del ATA en un navegador. Una vez ingresado, en la parte superior derecha acceder a *Admin Login*, hacer clic en *Advanced*.
- 3. Ingresar en *ATA*  $\Rightarrow$  *Wan Setup* e indicar la dirección IP del puerto *Internet* (el que se usará en la conexión LAN con el enrutador que hará de servidor para *asterisk-phonepatch*) del ATA.
- 4. Entrar en *Static IP Settings* e insertar los parámetros de red, es decir, la dirección IP, la máscara de red y el *gateway*.
- 5. Activar Remote Management  $\Rightarrow$  Enable Wan Web Server
- 6. Comprobar que en  $Voice \Rightarrow Regional$  están los siguiente valores:

```
Control Timer Values (sec) \Rightarrow Interdigit Long Timer: 4
Control Timer Values (sec) \Rightarrow Interdigit Short Timer: 3
```

7. Configurar en  $Voice \Rightarrow Line 1$  los siguientes parámetros:

```
Proxy and Registration \Rightarrow Pproxy: Dirección IP servidor asterisk-phonepatch Subscriber Information \Rightarrow Display Name: 10 Subscriber Information \Rightarrow User ID: 10 Subscriber Information \Rightarrow Password: passwd10 Audio Configuration \Rightarrow Preferred Codec: G711u Audio Configuration \Rightarrow DTMF Tx Method: AVT
```

8. Configurar en  $Voice \Rightarrow PSTN \ Line$  lo siguiente:

```
Proxy and Registration \Rightarrow Pproxy: Dirección IP servidor asterisk-phonepatch.
Subscriber Information \Rightarrow Display Name: El que se desee.
Subscriber Information \Rightarrow User ID: el mismo el anterior.
```

```
Subscriber Information \Rightarrow Password: El password que se desee.

Audio Configuration \Rightarrow Preferred Codec: G711u

Audio Configuration \Rightarrow DTMF Tx Method: AVT

Dial Plans \Rightarrow Dial Plan 2 \Rightarrow Poner (S0 <: 30 >)

VoIP-To-PSTN Gateway Setup \Rightarrow VoIP-To-PSTN Gateway Enable: yes

PSTN-To-VoIP Gateway Setup \Rightarrow PSTN-To-VoIP Gateway Enable: yes

PSTN-To-VoIP Gateway Setup \Rightarrow PSTN Ring Thru Line 1: no

PSTN-To-VoIP Gateway Setup \Rightarrow PSTN CID For VoIP CID: yes

PSTN-To-VoIP Gateway Setup \Rightarrow PSTN Caller Default DP: 2

FXO Timer Values (sec) \Rightarrow VoIP Answer Delay: 0
```

- 9. Guardar los cambios haciendo clic en Submit All Changes.
- 10. En la computadora comprobar que el registro se ha realizado de forma correcta. Para ello ejecutar:

```
yuri:/# asterisk -vvvvvr
```

### Debe aparecer lo siguiente:

```
== Parsing '/etc/asterisk/asterisk.conf': Found

== Parsing '/etc/asterisk/extconfig.conf': Found

Asterisk 1.0.7-BRIstuffed-0.2.0-RC7k,

Copyright (C) 1999-2004 Digium.

Written by Mark Spencer <markster@digium.com>

Connected to Asterisk 1.0.7-BRIstuffed-0.2.0-RC7k

currently running on yuri (pid = 3705)

Verbosity was 0 and is now 5

yuri*CLI>
```

NOTA: En este punto el servidor está esperando a recibir una orden, escribir sip show peers y debe salir *OK* en el campo *Status* de las las dos lineas para confirmar que el ATA está registrado a asterisk.

11. Para salir escriba exit.

NOTA: Si hay problemas en el registro, apagar y encender el ATA o verifique los datos ingresados. Para probar la comunicación puede llamar desde el teléfono del ATA al 100 y se escuchará una música.

#### 2.7.2.4. Calibración del sonido

Lo que se envía realmente durante la comunicación es una señal de audio en banda base, por lo que se deben calibrar correctamente los niveles de audio, tanto de forma *hardware*, como *software*.

En el plano *hardware*, los niveles de señal se calibran a través de unos potenciómetros ubicados en la tarjeta de control de radio. Estos potenciómetros se ubican en los conectores de audio que corresponden a *SPEAKER* o a *MICRÓFONO*, dependiendo si se quiere regular la señal de entrada (*MIC*) o salida (*SPEAKER*), como se muestra en la Figura 2.25. El potenciómetro sirve como divisor del voltaje de la señal, es decir que reduce el nivel de señal. Como regla, en la banda VHF la señal suele ser bastante buena, por lo que el potenciómetro estará calibrado a la mitad de su valor, es decir, al ser un potenciómetro de  $5K\Omega$ , se calibra el divisor para ser de  $2.5K\Omega$  a  $2.5K\Omega$ , una relación de 1:1. Sin embargo, para el caso de la banda HF, en la cual la señal suele llegar muy débil, el potenciómetro estará calibrado para que la reducción de señal sea lo menos posible, incluso hasta nula.

A nivel de *software*, la calibración de señal de audio se realiza configurando la tarjeta de sonido, a través de diversas herramientas proporcionadas en el S.O. *GNU/Linux*.



Figura 2.25: Potenciometros de calibración.

Para calibrar el sonido, se usa la herramienta *alsamixer*, que es una herramienta de configuración de nivel de señal. En la línea de comandos de una consola en un S.O. *GNU/Linux*, se ejecuta lo siguiente:

Soekris-1:/# alsamixer

Aparecerá una imagen como la Figura 2.26.

En este caso, el gráfico corresponde a la calibración de la tarjeta de sonido *USB*. Como se puede apreciar, existen tres parámetros que se pueden variar para la calibración:

- 1. *Mic*. Sirve para variar el nivel de señal que se recibe por el micrófono. Según la configuración, aparentemente se encuentra desactivada, sin embargo, está activado de manera automática. En el caso de que se quiera activar, se logra presionando la tecla "m", y activar el parámetro *Auto Gain*.
- Auto Gain. Este parámetro sirve para que surtan efecto los cambios en los niveles de los otros dos parámetros.

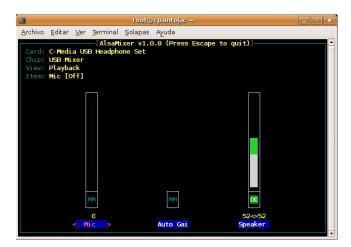


Figura 2.26: Calibración de sonido 1.

3. *Speaker*. Sirve para variar el nivel de señal de salida, y será el primer parámetro a variar durante la calibración.

En esta pantalla sólo se cambiará el nivel de SPEAKER. Este nivel permite variar la señal de audio que se envía por el radio. Si se presiona la tecla < TAB >, se cambiará de pantalla tal como se muestra en la Figura 2.27. En este caso, se tiene la opción  $MIC\ Capture$ , el cual permite variar el nivel de señal recibido.

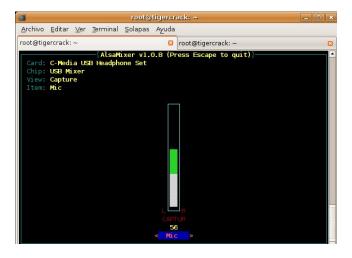


Figura 2.27: Calibración de sonido 2.

NOTA: Al reiniciar el proceso de Soundmodem, la configuración del sonido vuelve a los valores por defecto. Para guardar posteriormente los cambios realizados se debe ejecutar el siguiente comando:

```
Soekris-1:/# alsactl store
```

Para salir de la configuración, presionar < ESC >.

Para comprobar el nivel de recepción, se usará la herramienta dsplevel.

Soekris-1:/# dsplevel

Verificar que los símbolos que representan el nivel de señal lleguen a completar al menos el  $80\,\%$  de la pantalla.

Si se desea tener mayor rango en la calibración, se debe acceder al archivo phonepatch. conf y editar:

telephony\_audio\_gain: La ganancia de audio recibido de la línea telefónica y enviado por la radio.

radio\_audio\_gain: La ganancia de audio recibido por la radio y enviado por la línea telefónica.

Se recomiendan valores de 7.0 para ambos.

Después de cualquier cambio en *phonepatch.conf* hacer:

Soekris-1:/# /etc/init.d/asterisk-phonepatch restart

Hay que esperar un minuto más o menos, ya que asterisk tarda en levantar.

# Redes WiFi para largas distancias

Desde 2001, una de las tecnologías que se ha tomado en consideración muy seriamente para las comunicaciones de largas distancias es la IEEE802.11, popularmente llamada WiFi; si bien este estándar no se concibió para redes extensas, sus indudables ventajas de costo, uso de frecuencias libres de licencia y gran ancho de banda, han despertado el interés de diversos agentes tecnológicos de países en desarrollo. Incluso en los núcleos urbanos de muchos países se han dado experiencias de aplicación de WiFi para distribuir el acceso a Internet con la mayor cobertura posible en exteriores. Además, el enorme éxito de WiFi en todos los ámbitos ha dado lugar a una gran cantidad de productos en el mercado, casi todos ellos de bajo consumo, a precios bajos y mucha flexibilidad de uso, especialmente en combinación con desarrollos de software abierto. Respecto al uso de frecuencias en los casos en que no hay un vacío legal, la mayor parte de los estados adoptan las restricciones de la FCC (Federal Communications Commission) en el uso de las bandas ISM 2.4GHz y 5.8GHz usadas por esta tecnología. Estas normas son mucho más permisivas que las europeas y permiten realizar en las zonas rurales enlaces tanto punto a punto (PtP) como punto a multipunto (PtMP) de varias decenas de kilómetros.

## 3.1. El estándar 802.11

El estándar 802.11 fue aprobado por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en 1997, permitiendo trabajar con velocidades de transmisión de 1Mbps y 2Mbps. El estándar IEEE802.11b primero, y luego los estándares IEEE802.11a y IEEE802.11g, añadieron nuevas técnicas de modulación en la capa física logrando mayores velocidades de transmisión y una mayor robustez en la conectividad. Aquí se muestran los grupos de trabajo del 802.11.

- 802.11: WLAN a 2.4 GHz y 2 Mbps (1997).
- 802.11a: WLAN a 5 GHz y 54 Mbps (1999, venta de productos 2001).
- 802.11b: WLAN a 2.4 GHz y 11 Mbps.
- 802.11e: Soporte de QoS.
- 802.11g: WLAN a 2.4 GHz, 54 Mbps, compatible con 802.11b (2003).

- 802.11h: Gestión del espectro radio a 5 GHz en Europa.
- 802.11i: Seguridad.
- 802.11j: Regulación de 5 GHz en Japón.
- 802.11k: Medidas sobre WLANs.
- 802.11n: WLAN a 300-600 Mbps, MIMO (2009).
- 802.11s: Redes mesh.

El estándar IEEE802.11a trabaja en la banda de frecuencia de los 5GHz utilizando la técnica de transmisión OFDM. Da soporte a velocidades de transmisión de 6Mbps a 54Mbps y ocho canales no interferentes de 20MHz. Esta banda de frecuencia está menos saturada que la de 2.4GHz, lo cual es una ventaja, porque que la banda de 2.4GHz también es utilizada por algunos teléfonos inalámbricos, hornos microondas y equipos Bluetooth.

El estándar IEEE802.11b trabaja en la banda de frecuencia de 2.4GHz utilizando el sistema de transmisión HR/DSSS; el uso de este estándar ahora es muy poco. Mediante el uso de la modulación CCK se da soporte a las velocidades de transmisión de 5.5Mbps y 11Mbps. Se cuenta con catorce canales (que pueden estar limitados a once o trece según el país) de 22MHz, de los cuales se pueden utilizar simultáneamente hasta tres de forma no interferente.

El estándar IEEE802.11g fue desarrollado a raíz del importante problema de incompatibilidad entre los equipos de IEEE802.11a y IEEE802.11b. Además, la creación de este estándar atendía al interés en incrementar la capacidad de los equipos y redes Wi-Fi. IEEE802.11g trabaja en la banda de frecuencia de 2.4GHz, manteniendo además los mismos canales y modulaciones de IEEE802.11b, y añade el sistema OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) mediante el cual se soportan velocidades de transmisión de hasta 54Mbps.

El estándar IEEE 802.11n-2009 es una enmienda del IEEE 802.11-2007 para proveer con velocidades superiores a los estándares previos (802.11a and 802.11g) con un aumento significativo de 54 Mbit/s hasta 600 Mbit/s utilizando 4 flujos espaciales con un ancho de canal de 40MHz. Actualmente la capa física soporta una velocidad de 300Mbps, con el uso de 2 flujos espaciales en un canal de 40MHz. Dependiendo del entorno, esto puede transformarse a un desempeño visto por el usuario de 100Mbps. Los flujos se refieren al uso de MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), un flujo de 2 se refiere a un MIMO de 2x2; muchas Interfaces 802.11n en el mercado ya permite hacer MIMO 2x2.

El Espectro a 2.4GHz se divide la banda en 14 bloques de 25MHz de ancho de banda y separados a una frecuencia de 5MHz; el ancho de banda dependerá de la modulación a usar en 8021.11abgn. No todos los países tienen aceptados todos los bloques. Tener en cuenta que canales continuos están solapados. Abajo se muestra los 11 canales permitidos en Norte América y en muchos países en desarrollo; además en estos canales se permite un EIRP o PIRE de 4000mW en PtMP (normativa FCC 15.247).

- Canal 1: 2412 MHz
- Canal 2: 2417 MHz
- Canal 3: 2422 MHz

- Canal 4: 2427 MHz
- Canal 5: 2432 MHz
- Canal 6: 2437 MHz
- Canal 7: 2442 MHz
- Canal 8: 2447 MHz
- Canal 9: 2452 MHz
- Canal 10: 2457 MHz
- Canal 11: 2462 MHz

El Espectro a 5GHz tiene frecuencias en 5.150 a 5.250GHz (UNII 1, Unlicensed National Information Infrastructure) con un EIRP de 160mW en PtMP (FCC 15.247); 5.250 a 5.350GHz (UNII 2) con un EIRP de 800mW en PtMP (FCC 15.247) y 5.725 a 5.875GHz (UNII 3) con un EIRP de 3200mW en PtMP (FCC 15.247); se tiene 12 canales sin superposición; el ancho de cada canal es de 20MHz. Abajo se muestra los canales del UNII-3.

- Canal 149: 5745 MHz
- Canal 153: 5765 MHz
- Canal 157: 5785 MHz
- Canal 161: 5805 MHz

# 3.2. Problemática del uso de WiFi para largas distancias

Dado que la que la tecnología WiFi fue en su inicio diseñada para redes locales, la mayor dificultad reside en su aplicación para largas distancias. Sin embargo, una cuidadosa revisión del estándar no deja entrever ningún elemento de la capa física que limite el alcance de las comunicaciones WiFi en términos de distancia si no es el balance del enlace. Los límites físicos de distancia alcanzable con WiFi dependerán, por lo tanto, de los siguientes parámetros:

- La máxima potencia que podamos transmitir (EIRP o PIRE).
- Las pérdidas de propagación.
- La sensibilidad de recepción.
- La mínima relación señal a ruido que estemos dispuestos a aceptar como suficiente.

El propio estándar determina que los límites de potencia que se puede transmitir dependen de la legislación que atañe a la banda de frecuencias ISM para cada región geográfica.

El protocolo IEEE802.11 recoge distintas velocidades según el modo de funcionamiento: 1, 2, 5.5 y 11 Mbps para 802.11b; 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps para 802.11a, y el conjunto de todas las anteriores para el modo 802.11g. Estos modos usan diferentes tipos de modulación y codificación, de forma que cuanto mayor sea la velocidad, mayor es la potencia necesaria en recepción para mantener un enlace con una BER baja. Esta potencia, llamada sensibilidad, obliga a usar velocidades bajas si se quiere lograr enlaces de larga distancia con una cierta estabilidad. La diferencia en la sensibilidad de recepción entre 1 y 11Mbps, aunque depende de equipos, suele ser de más de 10 dB, lo cual equivale prácticamente a cuadruplicar con 1Mbps el alcance que se tiene con 11Mbps. Si además se tiene en cuenta que la banda ISM 2.4 GHz impone limitaciones en cuanto al nivel de potencia que es legal transmitir, es fácil comprobar que para enlaces muy largos normalmente deben usarse las velocidades más bajas de 802.11b para tener estabilidad y buena calidad. La aparición de tarjetas con mejores sensibilidades o la tecnología 802.11g pueden ayudar a lograr velocidades mayores. Así, por ejemplo en el modelo de tarjeta Ubiquity SR2 802.11b/g de 400mW, la diferencia de sensibilidad entre el modo b en 1 Mbps y el modo g en 6 Mbps es de sólo 3dB.

Para tener mayor estabilidad y prestaciones resulta mejor configurar la velocidad del canal a un valor fijo. La experiencia recomienda ser conservadores para soportar una cierta pérdida de prestaciones que sin duda se va a dar con el tiempo por pérdida de alineación de las antenas, cambios climáticos y otros factores.

En las zonas rurales es frecuente encontrar condiciones meteorológicas adversas. Aunque tradicionalmente se suele decir que las lluvias influyen "de forma sensible" a partir de los 10GHz, cuando los enlaces son muy largos una pequeña atenuación en dB/Km acaba siendo importante. Los estudios consultados no parecen conceder mucho peso a la atenuación de nubes y nieblas, pero todo depende de la distancia.

El mejor comportamiento se da con polarización vertical, pero las condiciones atmosféricas y el terreno pueden producir una cierta despolarización, con lo que la recepción de la señal empeora y su atenuación aumenta. Interferencias. Si bien en las zonas rurales aisladas esto no suele suceder, los enlaces que conectan zonas aisladas con zonas urbanas se pueden ver afectados por este problema.

Asimismo, a parte de las restricciones que impone el balance de enlace, es patente que existen restricciones explícitas de distancia porque que los resultados lo demuestran y, además, porque la capa MAC tiene multitud de tiempos constantes definidos que tienen diferente efecto en función de la distancia que haya entre estaciones. Estos tiempos se pueden apreciar en siguiente figura. Tras una revisión cuidadosa del estándar base IEEE 802.11 realizada por Javier Simó, director técnico de la Fundación EHAS, se pueden extraer tres tipos de limitaciones: el temporizador de espera de los ACKs, la definición de tiempos relacionados con el Slottime, y el cálculo del vector que se encarga de controlar el tiempo que se debe esperar cuando el canal está reservado para la detección de portadora virtual (NAV - Network Allocation Vector). Este estudio está disponible en: http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/TesisJSimo.pdf

ACKtimeout: Este parámetro se define en el texto del estándar como el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete. Así pues, para que una comunicación WiFi funcione a una determinada distancia se tiene que cumplir que el ACKtimeout sea mayor que el tiempo de propagación de ida y vuelta más el SIFS, un tiempo fijo

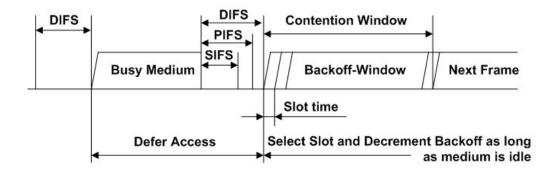


Figura 3.1: Esquema temporal de funcionamiento en el nivel MAC.

que define la separación entre la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor. No obstante, el estándar no da un valor claro a este parámetro, y los equipos WiFi del mercado varían mucho en su implementación del ACKtimeout; algunos sistemas tienen un valor por defecto de aproximadamente DIFS+SIFS pero que se puede modificar (configuración de la distancia), y otras tienen valores no modificables pero más grandes. DIFS es el tiempo que cada estación espera una vez que detecta que el canal ha quedado libre. Cuando una estación intenta enviar un paquete a otra que está demasiado distante como para recibir de ella el ACK antes de que transcurra el ACKtimeout, se interpretará que la transmisión falló y se retransmitirá; como lo mismo le sucede a cada retransmisión, cada paquete se retransmitirá el máximo número de retransmisiones antes de descartarse y dejar paso al siguiente. La capa WiFi de la estación transmisora creerá que no logró mandar el paquete, pero de hecho lo probable es que hayan llegado correctamente varias copias de éste, de las que la primera se pasará a la capa superior en el receptor. El resultado es que el enlace funciona, pero con un rendimiento ínfimo debido a que todo se retransmite varias veces, por defecto 7.

Slottime. Los valores de Slottime, SIFS y DIFS imponen restricciones al funcionamiento del MAC de WiFi a partir de ciertas distancias. El estándar prevé que las estaciones que transmiten son oídas por las otras dentro del mismo slot en que se ha producido la transmisión, lo cual impone un límite de unos 3 Km. Más allá de esa distancia, las prestaciones de los enlaces empeoran con la distancia, aunque aún resultan utilizables si el número de nodos activos es suficientemente bajo.

La vulnerabilidad con nodos ocultos. En IEEE 802.11 se emplea el mecanismo RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) para evitar colisiones entre nodos ocultos; no obstante, ese mecanismo funciona si el cómputo del NAV se corresponde con el tiempo que verdaderamente el canal va a permanecer ocupado; puesto que el NAV no se calcula teniendo en cuenta el tiempo de propagación, a medida que la distancia aumenta su efectividad empeora; en enlaces PtMP con distancias del orden de kilómetros, el RTS/CTS es prácticamente inservible, y no hay un mecanismo alternativo.

Como consecuencia de lo anterior, y dependiendo del tipo de enlace que define la arquitectura de red 802.11, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

■ PtP. Cuando la distancia es mayor de 3 Km, se incrementa proporcionalmente con la distancia, en saltos de 3 Km, el número de slots en que una estación puede empezar a transmitir y colisionar con un paquete cuya transmisión se inició en un slot determinado; esto tiene relativamente poco impacto cuando la carga ofrecida es baja, pero es importante cuando el enlace está próximo a la saturación, ya que en ese caso casi siempre hay un paquete listo para ser transmitido tan pronto como se considere libre el canal, y para ventanas de contención pequeñas la proba-

bilidad de colisión será significativa. También será necesario cuidar el ajuste del ACKTimeout fijándolo a un valor ligeramente superior a dos veces el tiempo de propagación.

■ PtMP. Además de darse las mismas anomalías de comportamiento del MAC entre la estación transmisora y receptora de un paquete que se han comentado para PtP, las otras estaciones que observan pasivamente el canal esperando que se desocupe tomarán decisiones equivocadas al considerar el canal libre cuando no lo está. Por ejemplo, si la distancia hace que los ACK se reciban más tarde que DIFS, la estación transmisora todavía podrá esperar por el ACK si el ACKTimeout es lo suficientemente grande, pero las otras estaciones cercanas a ésta que esperan a que el canal se libere optarán a ocupar el canal de inmediato, pudiendo colisionar con cierta probabilidad con el ACK que está en camino. Por lo que hay que fijar el ACKtimeout para el enlace más largo que conforme ese PtMP.

En definitiva, WiFi puede servir, aunque con cierta pérdida de prestaciones, para enlaces PtP de larga distancia si los equipos terminales permiten configurar el ACKtimeout y el Slottime; en cambio, para PtMP, aún modificando esos parámetros, el funcionamiento es notablemente peor a menos que la carga ofrecida y el número de nodos sean muy bajos.

# 3.3. Topología de una red WiFi de larga distancia

La topología de red IEEE802.11 más usada es el modo infraestructura. En ella todas las estaciones que forman parte de la red se comunican entre sí a través de un punto de acceso. De esta forma, las estaciones que se encuentran a demasiada distancia una de la otra pueden comunicarse a través de él. El punto de acceso puede además proporcionar acceso a redes exteriores.

Abajo se muestra un esquema de la topología; se muestran los nodos involucrados y los enlaces que forman. Los enlace de la red troncal formar la red principal para la conexión de todos los clientes, está formado por los nodos repetidores. Los enlaces de la troncal generalmente son de largas distancias que puede ir desde 15km hasta unos 50Km; por lo que son enlaces punto a punto. Los enlaces de distribución son los enlaces para la conexión entre los clientes y la red troncal. Los enlaces de distribución pueden ser enlaces punto a punto; pero generalmente son enlaces punto a multipunto; se recomienda que la estación más alejada de un enlace punto a multipunto debe ser menor a 15Km, sino se tendría que considerar un enlace punto a punto.

El rendimiento en los enlaces de distribución puede llegar hasta los 36Mbps; el rendimiento en cada enlace troncal puede llegar hasta los 18Mbps, y de extremo a extremo de la troncal se puede obtener entre 6Mbps y 9Mbps; el rendimiento dependerá de la distancia de los enlaces como de los equipos utilizados.

Esto permite establecer una diferenciación funcional de tres tipos de nodos:

- **Repetidor**: Los distintos repetidores se unen formando la red troncal que se encarga de conmutar las comunicaciones con otras estaciones.
- Estación Cliente: Se encuentra en los puntos de servicio a usuarios. Suele tener conectado una computadora y un teléfono IP.

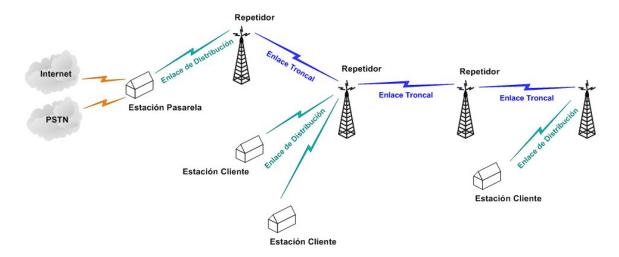


Figura 3.2: Topología de una red WiFi de larga distancia.

■ Estación Pasarela: Es una estación dotada de conectividad final a Internet y a la PSTN (Public Switched Telephone Network), permitiendo al resto de estaciones de la red inalámbrica acceder a través de ella a esas redes externas. Puede haber una o varias de estas estaciones en una red inalámbrica. El uso de más de una implica el uso de encaminamiento dinámico. Estas estaciones frecuentemente tendrán que desempeñar funciones como NAT (Network Address Translation ) o cortafuegos.

# 3.4. Equipamiento de una red inalámbrica de larga distancia

**Enrutador WiFi:** Todo enrutador WiFi es una computadora (que incluye memoria, procesador, unidad de almacenamiento) con una interfaz de radio WiFi y el sistema operativo que permita configurar enlaces de larga distancia. En este caso se usa la solución de Mikrotik; se requiere de una placa madre RouterBoard que trae el sistema operativo RouterOS y de interfaces de radio WiFi.

La placa de la serie RB433 y la RB433AH de Mikrotik, son dispositivos para desarrollar redes de alto rendimiento. Vienen con sistema operativo RouterOS de Mikrotik. Sus especificaciones técnicas son:

- CPU: Atheros AR7130 300MHz network processor / Atheros AR7161 680MHz
- Memoria: 64MB DDR SDRAM onboard memory / 128MB DDR SDRAM onboard memory
- Almacenamiento: 64MB onboard NAND memory chip
- 3 puertos Ethernet 10/100
- 3 puertos miniPCI para expansión
- Puerto serial DB9 RS232C asynchronous serial port
- Alimentación general de 10-28V DC y POE 12-28V DC.

- Consumo máximo de 3W sin interfaces inalámbricas.
- Sistema operativo MikroTik RouterOS v3, licencia Level4.



Figura 3.3: *Placa Mikrotik RB433AH*.

La interfaz miniPCI R52N permite crear redes 802.11abgn, para corta distancia. Sus especificaciones son:

- Chipset: Atheros AR9220
- Estándar: IEEE 802.11 a/b/g/n
- Potencia de 25dBm@6Mbps 802.11g, 21dBm@6Mbps 802.11a, 23dBm@MCS0 802.11gn, 21dbm@MCS0 802.11an, todos a 20MHz de ancho de canal.
- Soporte MIMO 2x2.
- 2 conectores para antena UFL.
- Modulaciones: OFMD:BPSK,QPSK, 16QAM, 64QAM en DSSS:DBPSK, DQPSK, CCK
- Temperatura de operación entre -20° y 70°
- Consumo máximo de 2.4W

La interfaz miniPCI R52H permite crear redes 802.11abg, para corta distancia. Sus especificaciones son:

- Chipset: Atheros AR5414A B2B
- Estándar: IEEE 802.11a

- Potencia de 25dBm@6Mbps 802.11g, 24dBm@6Mbps 802.11a, todos a 20MHz de ancho de canal.
- 2 conectores para antena UFL.
- Modulaciones: OFMD:BPSK,QPSK, 16QAM, 64QAM en DSSS:DBPSK, DQPSK, CCK
- Temperatura de operación entre -20° y 70°
- Consumo máximo de 2.6W



Figura 3.4: Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52N y R52H.

**Antenas:** Existen distintos tipos de antenas, las principales son las directivas (pueden ser plato, grilla o panel) para cubrir largas distancias; las omnidireccionales para cubrir un área de 360° de de cortas distancias; y las sectoriales para abracar sectores de área de 90° o 120°. Abajo se muestran las más utilizadas en las estaciones clientes y repetidores.

Especificaciones de la antena directiva tipo panel:

■ Frecuencia: 5725 - 5850 Mhz (Banda de 5.8 Ghz)

■ Ganancia de 19 dBi

■ Sistemas punto a punto y sistemas punto multipunto, generalmente usados en los enlace de distribución, tanto en la estación cliente como el punto de acceso.

Puede ser instalado en polarización: horizontal y vertical

Apertura del haz horizontal: 16°

Apertura del haz vertical: 16°

■ Impedancia: 50 Ohm

■ Polarización: horizontal y vertical

■ Potencia máxima de entrada: 200 Watts

■ Conector: N-Female

Especificaciones de la antena directiva tipo grilla:

- Frecuencia: 5725 5850 Mhz (Banda de 5.8 Ghz)
- Ganancia de de 27 dBi
- Antena directiva para sistemas punto a punto, generalmente usados en los enlaces de la troncal; también se puede usar en las estaciones de cliente que estén muy alejados (15Km).
- Apertura del haz horizontal: 6°
- Apertura del haz vertical: 9°
- Impedancia: 50 Ohm
- Polarización: horizontal y vertical
- Potencia máxima de entrada: 100 Watts
- Conector: N-Female

Especificaciones de una antena sectorial:

- Frecuencia: 5725 5850 Mhz (Banda de 5.8 Ghz)
- Ganancia de 17 dBi Antena sectorial para sistemas punto a multipunto, generalmente usados en los enlaces de distribución en el lado del punto de acceso.
- Apertura del haz horizontal: 90°
- Apertura del haz vertical: 8°
- Impedancia: 50 Ohm
- Polarización: vertical
- Potencia máxima de entrada: 100 Watts
- Conector: N-Female

Especificaciones de la antena directiva tipo plato:

- Frecuencia: 5725 5875 MHz (Banda de 5.8 Ghz)
- Ganancia: 29 dBi
- Antena directiva para sistemas punto a punto, generalmente usados en los enlaces de la troncal.
- Apertura del haz horizontal: 6°

• Apertura del haz vertical: 6°

■ Impedancia: 50 Ohm

Polarización: horizontal y vertical

■ Potencia máxima de entrada: 100 Watts

■ Conector: N-Female



Figura 3.5: Antena panel de 19dBi, antena grilla de 27dBi, antena sectorial 17dBi de 90°, antena tipo plato de 29dBi.

Cables para conexiones de radiofrecuencia: El pigtail es un latiguillo que lleva en cada uno de sus extremos un conector diferente, este elemento es necesario para poder unir dispositivos inalambricos por lo general las tarjetas inalámbricas con otros accesorios como protectores de línea o antenas. Dependiendo del conector que tenga la tarjeta inalámbrica y el dispositivo al que se desea conectar, se tendrá que optar entre los distintos tipos de pigtail dependiendo de sus conectores. Por lo general los pigtails son de longitudes cortas (alrededor de 30cm). En la siguiente figura se muestra pigtails con conectores hembra, sin embargo, también pueden tener conector Macho. Para las conexione entre el extremo del pigtail y la antena se utilizan los cables coaxiales LMR-400; estas conexiones son para el exterior.



Figura 3.6: Pigtail UFL N Hembra y Pigtail MMCX N Hembra y cable coaxial LMR-400.

**Protectores de rayos:** Los protectores son utilizados para impedir que los rayos causen daños en los enrutadores. Las especificaciones del protector contra rayos Altelicon / HyperGain para 5.8 GHz son:

- Máxima corriente de descarga 5.000A, 5 KVca y 103 Vcc de ruptura
- Rango de frecuencia: 0 6 GHz
- Conector N (hembra) a N (macho)



Figura 3.7: Protector de rayos.

■ Impedancia: 50 Ohm

**ATA FXS:** El ATA junto al teléfono analógico per permiten la comunicación de voz. Se ha utilizado el GrandStream HT502. Este equipo brinda dos puertos telefónicos, ambos para conectar a teléfonos analógicos (puertos FXS). Sus especificaciones son:

- 2 puertos FXS para 2 cuentas SIP
- 2 puertos Ethernet 10/100Mbps
- Características avanzadas: llamada en espera, conferencia para 3, transferencias, voicemail, llamada IP directa
- Codecs soportados: G711(a-law/u-law), G.723.1, G.729A/B, G.729E, G.726-40/32/24/16, AAL2-G726-32 e iLBC.
- Conectividad para teléfono y fax
- Interfaz Web para fácil configuración.
- Alimentación 12VDC.



Figura 3.8: ATA Grandstream HT502.

**Gateway de Voz:** Este equipo permite la conexión de una red de telefonía IP con la PSTN. Abajo se muestra las especificaciones son del ATA Linksys SPA3102, posee un puerto FXO y un puerto FXS.

- 1 puerto FXS y 1 puerto FXO
- 2 puertos Ethernet 10/100 Mbps (RJ45); uno de ellos es llamado Internet para conectar una PC o una LAN; el puerto llamado Internet se utiliza para conectar a otra red.
- Características avanzadas: llamada en espera, conferencia para 3, transferencias, voicemail, llamada IP directa
- Codecs soportados: G.711 (a-law y mu-law), G.726, G.729a, G.723.1
- Alimentación 5VDC.



Figura 3.9: ATA Linksys SPA3102.

**Teléfono analógico:** Se utiliza un teléfono analógico marca Panasonic dada su amplia disponibilidad y su precio en el mercado. En algunas estaciones la conexión entre el teléfono y el ATA no es directa debido a la ubicación de los equipos; en estos casos se utilizan tramos de cables telefónico.



Figura 3.10: Teléfono analógico Panasonic KX-TS500.

**Servidor de telefonía:** Como servidor se ha utilizado la placa Alix de PC Engines junto a una Compact Flash donde se instalara el sistema operativo Linux Voyage. Las palcas Alix son placas para desarrollar dispositivos de redes de propósito especial o particular (OEM). Sus especificaciones de la tarjeta alix2d0 son:

■ CPU: 433 MHz AMD Geode LX700

■ Memoria: 128 MB DDR DRAM

- Almacenamiento: CompactFlash socket
- 2 puertos Ethernet 10/100
- 2 puerto miniPCI para expansión
- Puerto serial DB9 RS232C asynchronous serial port
- Alimentación general de 7-20V DC, acepta POE



Figura 3.11: Placa Alix 2d0.

### 3.5. Estación cliente

Desde las estaciones clientes se acceden a los servicios que la red pone al servicio. En el esquema se muestra los equipos y las conexiones que conforman una estación cliente.

En la estación cliente se utiliza como enrutador inalámbrico a la placa RB433 con la interfaz inalámbrica R52N, con una antena panel de 19dbi, si está muy alejado (alrededor de 15Km) se puede usar una grilla de 27dBi. El rendimiento puede llegar hasta los 24Mbps o 36Mbps; esto dependerá de la distancia y de los equipos utilizados; se recomienda tener distancias menores a 15km para enlaces punto a multipunto; generalmente las distancias de las estaciones clientes son menores a 3km.

Como dispositivo telefónico se usa el HT502 con un teléfono analógico; este equipo debe estar registrado en el servidor de telefonía IP de su zona. Para implementar el servidor se utiliza la placa Alix 2d0 y la aplicación Asterisk; este servidor puede estar instalado en una estación cliente específico para registrar los clientes telefónicos de una zona.

3.5 Estación cliente 73

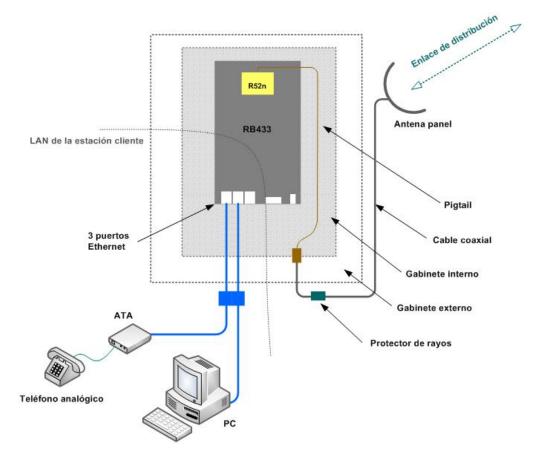


Figura 3.12: Esquema de una Estación Cliente.

### 3.5.1. Configuración del enrutador inalámbrico

Para la interface WiFi se configura como cliente (STA), con seguridad WPA-PSK, inicialmente se limita la velocidad a 24Mbps, después se puede aumentar si las condiciones lo permiten. Se crean dos subredes; una red que es para la parte inalámbrica para ser parte del enlace de distribución y la otra red será la red interna de la estación cliente, esta red LAN estará formado por las interfaces Ethernet del enrutador inalámbrico y los dispositivos del cliente como computadora, ATA, etc..

#### Cambio de nombre de identidad y de contraseña:

- > interface bridge add name=br1
- > interface bridge port add interface=ether1 bridge=br1
- > interface bridge port add interface=ether2 bridge=br1
- > interface bridge port add interface=ether3 bridge=br1
- > interface bridge port print
- > ip address add address=12.1.2.1/24 interface=br1

#### Configuración de la interface inalámbrica con seguridad wpa-psk:

- > interface wireless security-profiles set psk2-ica authentication-types=wpa2-psk
  group-ciphers=aes-ccm unicast-ciphers=aes-ccm wpa2-pre-shared-key=gtr0pucp0ica
  mode=dynamic-keys
- > interface wireless set wlan1 ack-timeout=dynamic antenna-mode=ant-a band=5ghz

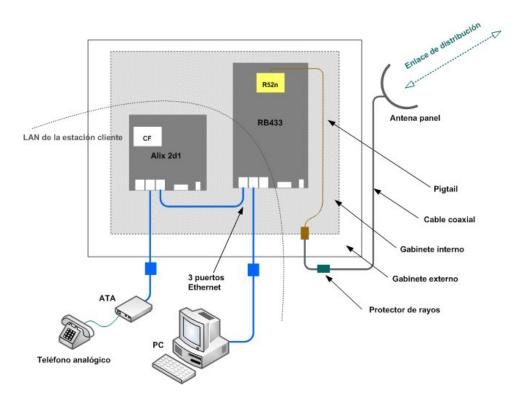


Figura 3.13: Esquema de una Estación Cliente con el servidor de telefonía IP.

frequency=5745 mode=station ssid=ICAD2 disable-running-check=yes basic-rates-a/g=6Mbps
supported-rates-a/g=6Mbps,9Mbps,12Mbps,18Mbps,24Mbps
rate-set=configured tx-power=25 tx-power-mode=card-rates disabled=no
security-profile=psk2-ica
> ip address add address=11.1.2.2/24 interface=wlan1

### Configuración de la ruta por defecto:

> ip route add gateway=11.1.2.1

### 3.5.2. Configuración del ATA FXS

Este equipo tiene una la IP 192.168.2.1 en el Puerto LAN; se puede usar esta dirección para acceder a su Web para poder empezar la configuración. Se ingresará a la página Web por medio de ésta IP y se pedirá el ingreso la clave que es *admin*. Para conectar el ATA a la red de trabajo se usará el puerto WAN, y es a este al que se pondrá la IP de la red de trabajo.

#### **BASIC SETTINGS**

- IP Address: Poner como sea requerido, además indicar si es estático o dinámico.
- Reply to ICMP on WAN port Debe de estar habilitado

Presionar el botón inferior UPDATE para establecer los cambios

3.5 Estación cliente 75

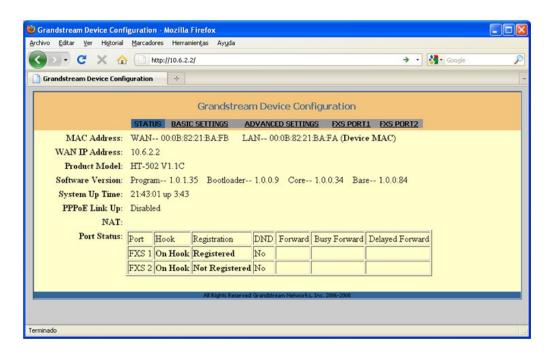


Figura 3.14: Interfaz Web del HT502.

#### **ADVANCED SETTINGS**

- Admin Password: Establecer clave de administrador
- Automatic Upgrade: asegurase de que este en No
- NTP Server: Poner dirección de servidor

Presionar el botón inferior UPDATE para establecer los cambios

#### FXS PORT1

- Account Active: Debe de activarse
- Primary SIP Server: Poner la dirección del Servidor Asterisk
- SIP User ID: Poner el identificador del teléfono (Por ejm. 210)
- Authenticate ID: Por ejemplo lo mismo que SIP User ID
- Authenticate Password: Poner el password del cliente SIP
- User ID is phone number: Poner en Yes
- SIP Registration: Poner en Yes
- Unregister On Reboot: Poner en yes

- Outgoing Call without Registration: Poner en No
- Preferred DTMF method: (in listed order) Priority 1: Por ejemplo RFC2833
- Preferred Vocoder: (in listed order) choice 1: por ejemplo elegir AAL2-G726-32
- AAL2-G726-32 payload type: si se ha usado este codec poner a 112

Presionar el botón inferior Update para establecer los cambios y después Reset para actualizarlos. Si hubiera una 2da línea proceder de modo similar en pestaña FXS PORT2.

# 3.6. Repetidor

Los equipos de los repetidores forman la red troncal; forman los enlaces de larga distancia, y además forma el punto de acceso para los estaciones clientes.

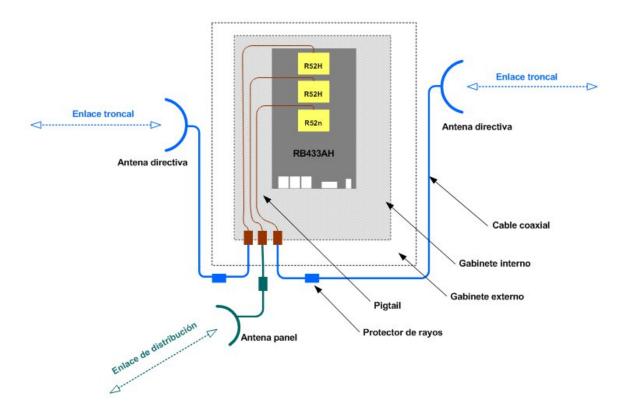


Figura 3.15: Esquema de un Repetidor.

En la estación repetidora se utiliza como enrutador inalámbrico a la placa RB433AH con 2 interfaces inalámbrica R52H, con una antena directiva de 27 o 29dBi, o más para formar la red troncal. Las distancia de un enlace de la red troncal son alrededor de más de 15Km hasta 50Km; además son enlaces punto a punto. Para el enlace formar el enlace distribución se utiliza una interfaces inalámbrica R52N, con una antena panel de 11 o 19dBi, o una sectorial de 17dBi; dependerá de distancia y de la distribución de los clientes. El rendimiento en la troncal dependerá de la distancia y de los equipos utilizados; se puede obtener hasta los 18Mbps, generalmente son menores a 12Mbps

3.6 Repetidor 77

### 3.6.1. Configuración del enrutador inalámbrico

Para la interface WiFi se configura en modo infraestructura, con seguridad WPA-PSK. Se crean tres subredes; una para cada enlace de la troncal y la otra para el enlace de distribución. Inicialmente se limita las velocidades a 18Mbps, después se puede ajustar a menor velocidad dependiendo de las condiciones del medio.

#### Configuración de los puertos Ethernet como bridge:

- > interface bridge add name=br1
- > interface bridge port add interface=ether1 bridge=br1
- > interface bridge port add interface=ether2 bridge=br1
- > interface bridge port add interface=ether3 bridge=br1
- > ip address add address=13.1.2.1/24 interface=br1

#### Configuración de los enlaces WiFi:

- > interface wireless security-profiles set psk2-ica authentication-types=wpa2-psk
  group-ciphers=aes-ccm unicast-ciphers=aes-ccm wpa2-pre-shared-key=gtr0pucp0ica
  mode=dynamic-keys
- > interface wireless set wlan1 ack-timeout=dynamic antenna-mode=ant-a band=5ghz
  frequency=5765 mode= station ssid=ICAT1 disable-running-check=yes
  basic-rates-a/g=6Mbps supported-rates-a/g=6Mbps,9Mbps,12Mbps,18Mbps,24Mbps
  rate-set=configured tx-power=25 tx-power-mode=card-rates disabled=no
  security-profile=psk2-ica
- > interface wireless set wlan2 ack-timeout=dynamic antenna-mode=ant-a band=5ghz
  frequency=5785 mode=ap-bridge ssid=ICAT2 disable-running-check=yes
  basic-rates-a/g=6Mbps supported-rates-a/g=6Mbps,9Mbps,12Mbps,18Mbps,24Mbps
  rate-set=configured tx-power=25 tx-power-mode=card-rates disabled=no
  security-profile=psk2-ica
- > interface wireless set wlan3 ack-timeout=dynamic antenna-mode=ant-a
  band=5ghz frequency=5785 mode=ap-bridge ssid=ICAD2 disable-running-check=yes
  basic- rates-a/g=6Mbps supported-rates-a/g=6Mbps,9Mbps,12Mbps,18Mbps,24Mbps
  rate-set=configured tx-power=25 tx-power-mode=card-rates disabled=no
  security-profile=psk2-ica
- > ip address add address=10.1.1.2/24 interface=wlan1
- > ip address add address=10.1.2.1/24 interface=wlan2
- > ip address add address=11.1.2.1/24 interface=wlan3

#### **Enrutamiento OSPF:**

> routing ospf instance set router-id=0.0.2.0 metric-default=10
metric-connected=10 metric-static=10 metric-rip=0 metric-bgp=0
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=as-type-1
distribute-default=never

#### Adición de las interfaces al ospf:

- > routing ospf interface add interface=wlan1 cost=10
- > routing ospf interface add interface=wlan2 cost=10

#### Adición de las redes al ospf y al área respectiva:

- > routing ospf network add network=10.1.1.0/24 area=backbone
- > routing ospf network add network=10.1.2.0/24 area=backbone

### 3.7. Estación Pasarela

Es este punto se encuentra las conexiones a los servicios como Internet y acceso a la Telefonía IP. Es idéntica a una estación cliente, pero se utiliza una placa RB433AH con un R52N, y se hace uso del ATA SPA3102 para la conexión con la PSTN y se conecta a un enrutador ADSL. Además se configura el OSPF como punto desde donde se distribuirá el default Gateway para toda la red troncal y por tanto para toda la red.

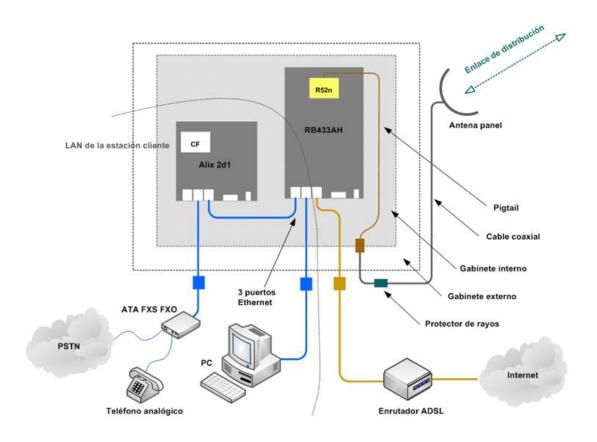


Figura 3.16: Esquema de una Estación Pasarela.

# 3.7.1. Configuración del enrutador inalámbrico

#### Configuración de la LAN (se realiza un bridge entre las interfaces Ethernet):

- > interface bridge add name=br1
- > interface bridge port add interface=ether1 bridge=br1
- > interface bridge port add interface=ether2 bridge=br1

3.7 Estación Pasarela 79

> ip address add address=12.1.1.1/24 interface=br1

#### Configuración de la interface inalámbrica con seguridad wpa-psk:

> interface wireless security-profiles set psk2-ica authentication-types=wpa2-psk
group-ciphers=aes-ccm unicast-ciphers=aes-ccm wpa2-pre-shared-key=gtr0pucp0ica
mode=dynamic-keys

> interface wireless set wlan1 ack-timeout=dynamic antenna-mode=ant-a band=5ghz
frequency=5745 mode=station ssid=ICADF disable-running-check=yes
basic-rates-a/g=6Mbps supported-rates-a/g=6Mbps,9Mbps,12Mbps,18Mbps,24Mbps
rate-set=configured tx-power=25 tx-power-mode=card-rates disabled=no
security-profile=psk2-ica

> ip address add address=11.1.1.2/24 interface=wlan1

#### **Enrutamiento OSPF:**

#### Se publican el gateway y las redes conectadas al equipos:

> routing ospf instance set router-id=0.0.1.0 metric-default=10
metric-connected=10 metric-static=10 metric-rip=0 metric-bgp=0
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=as-type-1
distribute-default=if-installed-as-type-1

#### Adición de las interfaces al ospf:

> routing ospf interface add interface=wlan1 cost=10

#### Adición de las redes al ospf y al área respectiva:

> routing ospf network add network=11.1.1.0/24 area=backbone

#### Conexión con el enrutador ADSL

> ip address add address=192.168.1.12/24 interface=ether3

#### Configuración de NAT

> ip firewall nat add chain=srcnat action=masquerade out-interface=ether3

#### Configuración de la ruta por defecto

> ip route add gateway=192.168.1.1

### 3.7.2. Configuración del Gateway de Voz Linksys SPA3102:

Este equipo brinda dos puertos telefónicos, uno es para conectar a un teléfono analógico (puerto FXS) y el otro es para una línea telefónica (puerto FXO) para la conexión con la PSTN. La IP del puerto Ethernet es el 192.168.0.1 por defecto; se ingresará a la página Web por medio de ésta IP y no pedirá el ingreso de usuario y clave. Para conectar el ATA a la red de trabajo se usará el puerto Internet, y es a este al que se pondrá la IP de la red de trabajo.

Una vez ingresado a la página Web en la parte superior izquierda se observa las opciones Admin Login basic advanced hacer clic en Admin Login y después en advanced. Además se observa dos

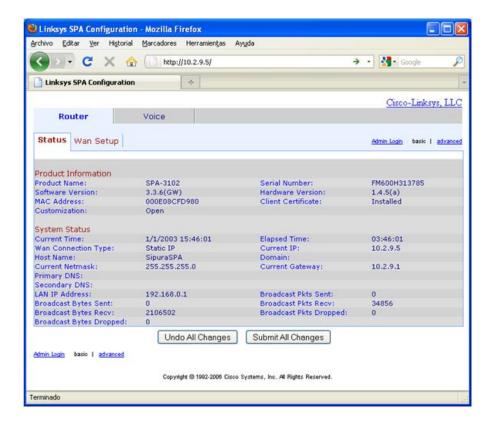


Figura 3.17: Interfaz Web del SPA3102.

opciones el Router y el Voice; en el primero se configura los parámetros de red y en el segundo los de VoIP. Ingresar a Router y de ahí a Wan Setup y configurar los parámetros de red del puerto Internet, que es el puerto que se usará en la conexión con la red de trabajo:

#### Wan Setup:

En Internet Connection Setting:

■ Connection Type: Colocar en Static IP

#### Static IP Settings:

• Configuramos los parámetros de red (Dirección IP, máscara y gateway).

#### Remote Management:

■ Enable WAN Web Server: Poner en on

En seguida guardar los cambios haciendo clic en Submit All Changes. Luego ingresar a Voice; aquí se configurará el puerto telefónico (Line1) y la conexión a la línea telefónica (PSTN Line).

#### **System:**

System Configuration:

- Enable Web Admin Access: Debe estar en yes
- User Password: Colocar una contraseña

3.7 Estación Pasarela 81

Admin Password: Colocar una contraseña

Aquí se le puede dar una clave de acceso a la configuración Web de este equipo; se puede dar acceso como usuario (user) o como administrador (admin); si se va a poner una clave se recomienda dar a ambos y que sean los mismos; tenga mucho cuidado en esto porque no hay confirmación de la clave que se esta ingresando.

### **Regional:**

- Control Timer Values (sec):
- Interdigit Long Timer: Verificar que esté en 4
- Interdigit Short Timer: Verificar que esté en 3

#### Line1:

Proxy and Registration:

■ Proxy: 10.10.10.1

**Subscriber Information:** 

■ Display Name: 210

■ User ID: 210

Password: passwd

#### Audio Configuration:

■ Preferred Codec: Poner el G726-32

■ DTMF Tx Method: Poner en AVT

#### **PSTN Line**

Proxy and Registration:

■ Proxy: 10.10.10.1

**Subscriber Information:** 

■ Display Name: 10

■ User ID: 10

■ Password: 10

Audio Configuration:

■ Preferred Codec: Poner el G711u

■ DTMF Tx Method: Poner en AVT

#### Dial Plans:

■ Dial Plan 2 Poner (S0<:11>)

VoIP-To-PSTN Gateway Setup:

- VoIP-To-PSTN Gateway Enable: Debe estar en yes
- One Stage Dialing: Debe estar en yes

PSTN-To-VoIP Gateway Setup:

- PSTN-To-VoIP Gateway Enable: Debe estar en yes
- PSTN Ring Thru Line 1: Poner en no
- PSTN CID For VoIP CID: Debe estar en yes
- PSTN Caller Default DP: Debe estar en 2

FXO Timer Values (sec):

- VoIP Answer Delay: Poner en 0
- PSTN Answer Delay: Poner en 1

Guardar los cambios haciendo clic en Submit All Changes. Después de esto el equipo debe estar intentando registrase con el servidor respectivo.

# 3.8. Verificación del estado de la red utilizando enrutadores Router-Board de Mikrotik

#### 3.8.1. Conectividad en enlaces Wi-Fi:

En esta verificación se toma como referencia un enlace como el que se muestra en la siguiente figura; donde existe un AP y un STA, o varios STA; sin importar si este enlace pertenece a la troncal o a la distribución. La verificación se realiza en cada uno de los equipos involucrados en el enlace.

Se debe identificar las interfaces involucradas, quien es Master (AP) y Managed (STA) y si es necesario verificar su configuración; essid, canal, potencia, velocidad, diversidad, etc. Si se tiene una interfaz STA (Managed) se puede escanear los AP (Master) de sus alrededores y observar el AP al que debería conectarse el STA. En largas distancias se puede asumir que se debe lograr un nivel entre -65dBm y -75dBm con un SNR a partir de 20dB; si se tiene un nivel entre -78dBm hasta -80dBm el enlace estará muy inestable y tendrá un rendimiento bajo. En el siguiente cuadro se observa que el STA está conectado al AP correspondiente (ver MAC). Se observa un nivel aceptable de -73dBm con SNR de 33dB.

> interface wireless monitor wlan2

status: connected-to-ess

band: 5ghz

frequency: 5825MHz

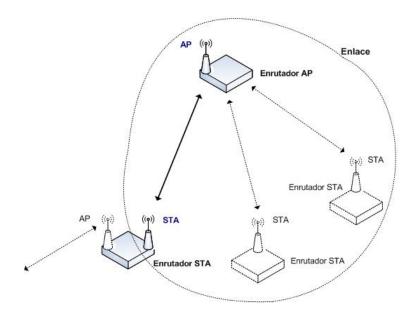


Figura 3.18: Esquema de un enlace Wi-Fi.

```
tx-rate: "18Mbps"
rx-rate: "18Mbps"
ssid: "WILLAY2"
bssid: 00:0C:42:1F:72:36
radio-name: "000C421F7236"
signal-strength: -73dBm
tx-signal-strength: -72dBm
noise-floor: -106dBm
signal-to-noise: 33dB
tx-ccq: 96rx-ccq: 100p-throughput: 14142
overall-tx-ccq: 96authenticated-clients: 1
current-ack-timeout: 315
wds-link: no
nstreme: no
framing-mode: none
routeros-version: "3.20"
last-ip: 10.11.2.70
802.1x-port-enabled: yes
authentication-type: wpa2-psk
encryption: aes-ccm
group-encryption: aes-ccm
compression: no
current-tx-powers: 6Mbps:24(24),9Mbps:24(24),12Mbps:24(24),18Mbps:24(24),24Mbps:24(24),
36Mbps:22(22),48Mbps:20(20),54Mbps:19(19)
current-ofdm-errors: 779
notify-external-fdb: no
```

La conectividad se puede comprobar con el comando ping; se debe hacer ping a la otra interfaz

del enlace. Además de observar si la otra interfaz responde al ping se debe observar la regularidad de los ping, generalmente pueden oscilar entre 2 y 9 ms en un enlace aceptable; además no se debe observar la pérdida de paquetes.

Los tiempos que se observan en el resultado de la prueba del ping, están relacionados con la distancia del enlace y con el SNR; se debe tener en cuenta de éstos en la prueba; quizás se tenga valor altos respecto a los referenciales. Se puede aumentar el tamaño de bytes de los ping para tener un mejor resultado.

Si se ha verificado el nivel de señal y la poca pérdida de paquetes en el enlace; el rendimiento dependerá de la configuración correcta de la distancia y la velocidad máxima configurada. En enlace largos debe tener un rendimiento de entre 3 a 9Mbps; si se logra más en buena hora; si se tiene un enlace de entre 1 a 2 Mbps en un buen tiempo (ausencia de lluvia y neblina) se debe revisar el enlace buscando posibles fallas o mejorar el enlace. Un valor menor a 1Mbps es un enlace malo y debe mejorarse, un diseño menor a 1Mbps no está contemplado por las aplicaciones que se implementarán. Se recomienda realizar la prueba por unos 60s a más y por cada AP-STA del enlace.

```
> tool bandwidth-test 10.10.2.1 user=admin password=gtrehasisf duration=60
status: running
duration: 1m
rx-current: 4.0Mbps
rx-10-second-average: 3.8Mbps
rx-total-average: 4.2Mbps
```

Para verificar el enrutamiento se debe revisar que estén todas las redes al que debería acceder esté en la tabla de rutas. Verificar esto en ambos equipos del enlace. Recuerde que en la tabla se observa las redes accesibles y no los equipos accesibles.

```
> ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic, C - connect, S - static, r - rip, b
- bgp, o - ospf, m - mme, B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
# DST-ADDRESS PREF-SRC GATEWAY-STATE GATEWAY DISTANCE INTERFACE
0 A S 0.0.0.0/0 reachable 192.168.2.1 1 ether2
1 A S 0.0.0.0/0 reachable 192.168.3.1 1 ether3
2 A S 0.0.0.0/0 reachable 192.168.1.1 1 ether1
3 A S 0.0.0.0/0 reachable 192.168.1.1 1 ether1
```

```
...
6 ADC 10.9.1.0/28 10.9.1.1 0 ether9
7 ADO 10.9.3.0/28 reachable 10.10.1.1 110 wlan1
```

En la tabla superior se muestra el enrutamiento; no es error que aparezca dos gateways iguales porque se está empleando uno de ellos para el marcado de paquetes y el otro por defecto (se puede ver con mas detalle). Si una red no es mostrada en esta tabla; se debe comprobar si se tiene acceso o quizás cierto enlaces están caídos. Se puede usar los comandos de traceroute.

Una vez revisado las rutas, se debe hacer ping (con una cantidad de 30 paquetes) desde cada equipo del enlace hacia el resto de las interfaces de la red.

#### 3.8.2. Conectividad en la red troncal:

Dependiendo de la distribución de la red, se debe identificar la troncal de la red; es posible que la troncal este ramificado. Se debe ubicar en ambos los extremos de una red troncal para realizar las pruebas. Al hacer las pruebas es probable que existan demasiadas pérdidas de paquetes; se debe tener en cuenta el tiempo (lluvias, neblinas en la zona alejadas) y la gran distancia de la troncal, es recomendable realizar la prueba en tiempos buenos en todo el tramo de la red. El grafico de abajo muestra una red troncal típica.

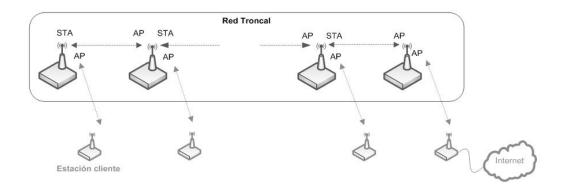


Figura 3.19: Esquema de una red troncal Wi-Fi.

Desde uno de los extremos de la troncal realizar la prueba del ping hacia el otro extremo. Se debe anotar además posibles retardos o pérdidas de paquetes hacia una interfaz en particular para su revisión posterior cuando se esté en ese nodo.

Se espera tener un rendimiento de 2Mpbs a más; dependerá del número de enlaces que exista en la troncal; pero aunque se tenga muchos enlaces conectados un rendimiento menor a 2Mpbs sería muy bajo para el funcionamiento correcto de los servicios de la red. Se recomienda realizar la prueba del rendimiento con un tiempo total de un 1 minuto a más.

# 3.9. Configuración del servicio de telefonía IP con el Asterisk

Para la implementación de un servidor de telefonía IP se va utilizar la placa Alix 2d0 y el Sistema Operativo Linux voyage-gtr (adaptado a las necesidades del Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la PUCP). Para instalar la voyage-gtr en una Compact Flash se necesita de una PC con Linux y de una lector/grabadora USB para CF; se debe obtener la voyage-gtr junto al script que permite el grabado.

```
root@gtrdesktop: # ls
write-voyage-gtr voyage-gtr-0.6.tar.gz
root@gtrdesktop: # bash write-voyage-gtr.sh
```

Para acceder a la Alix con el Voyage instalado se usará una PC con Linux y un cable serial nulo; quizás sea necesario un adaptador serial-USB si la PC carece de puerto serial. Se procede a conectar el cable serial a la PC y a la placa y ejecutar los siguientes comandos:

```
# chmod 777 /dev/ttyS0
# cu -l /dev/ttyS0 -s 38400
```

Una vez dentro de la Voyage se debe activar el servicio Asterisk para arrancar desde el arranque del sistema y habilitar la carga del módulo ztdummy.

```
voyage: # vim /etc/default/asterisk
# This file allows you to alter the configuration of the Asterisk
# init.d script
#
RUNASTERISK=yes

voyage: # cat /etc/modules
...
ledtrig-heartbeat
ledtrig-timer
zaptel
ztdummy
```

Para editar los archivos y carpetas se debe pasar el sistema al modo escritura; cuando acabe se debe regresar el sistema al modo escritura.

```
voyage: # remountrw
...
...editar archivos
...
voyage: # remountro
```

Ahora se debe configurar los parámetros IP y del DNS:

```
voyage: # vim /etc/network/interfaces
auto eth0
iface eth0 inet static
address 10.10.10.2
netmask 255.255.255.240
gateway 10.10.10.1

voyage: # cat /etc/resolv.conf
nameserver 216.244.191.36
nameserver 216.244.191.38
```

### 3.9.1. Configuración básica del Asterisk

Se ha desarrollado una configuración básica para realizar la comunicación entre clientes SIP de un mismo Asterisk y con clientes SIP administrados por otros Asterisk y además permitir la comunicación con la red de telefonía pública; esta configuración involucra a los archivos sip.conf, extensions.conf, y iax.conf, todos éstos ubicados en /etc/asterisk/. Se puede tomar ésta configuración como plantilla para una configuración particular. Recuerde que los comentarios en estos archivos de configuración empiezan con ; al inicio de la línea.

Configuración de los clientes SIP: El archivo /etc/asterisk/sip.conf tiene una configuración inicial para clientes SIP; donde se puede especificar los identificadores del cliente y los codecs a usar.

```
[general]
bindport=5060
disallow=all
allow=ulaw
allow=q726aal2
allow=qsm
allow=ilbc
allow=g726
[210]
type=friend
host=dynamic
language=es
context=center
secret=passwd
username=210
callerid=210
dtmfmode=rfc2833
qualify=yes
```

Para configurar clientes SIP con puerto FXO, se puede usar la identificación 10; cambiado sólo lo

necesario. Cuando un equipo posee dos clientes SIP cada uno tendrá un puerto distinto puede ser el 5060 y el 5061.

```
[10]

type=friend

port=5061

host=dynamic

language=es

context=center

secret=passwd

username=10

callerid=10

dtmfmode=rfc2833

qualify=yes
```

Programación de las llamadas telefónica: En /etc/asterisk/extensions.conf es donde se configura la comunicación telefónica. En la parte [globals] se especifica las variables usadas, aquí se muestra variables que representan la IP de los otros Asterisk de la red. Si un Asterisk tiene que establecer comunicación con otro Asterisk que está en un equipo que posee varias IP, se debe elegir la IP de la interfaz que está más próxima entre la comunicación de ambos Asterisk.

```
[globals]
;
IP-SERVER200=
IP-SERVER300=20.20.20.13
IP-SERVER400=
;
IP-SERVER-PSTN=
;
PHONE-DEFAULT=
;
```

En la parte *[center]* se especifica con que equipos se tendrá comunicación; está divido: comunicación con equipos locales, con equipos de otros Asterisk y con la telefonía pública.

Aquí se especifica los números telefónicos locales.

```
;llamar area local
exten => 210,1,Macro(dial-svlocal,SIP,${EXTEN})
exten => 211,1,Macro(dial-svlocal,SIP,${EXTEN})
;exten => _21[0-9],1,Macro(dial-svlocal,SIP,${EXTEN})
```

Para comunicarse con otros servidores se especifica la numeración telefónica de estos; se puede usar rangos como en este caso; además debe poner la IP del Asterisk que administra éste rango de números telefónicos; como se observa esto se hace en base a variables por ejemplo IP-SERVER300 donde su valor estará en la sección de variables.

```
;llamar a clientes de otros servidores
exten =>_3[0-5]X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVER300},${EXTEN})
exten =>_4XX,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVER400},${EXTEN})
```

Para la comunicación con la telefonía pública se especifica los números permitidos. En la primera parte se muestra los números permitidos para llamar a la telefonía pública (llamar solo al 147 o llamar a cualquier número, vea que en ambos se debe anteponer el 0 para llamar) y la segunda parte se muestra al identificador 11 que se usará para identificar todas llamadas entrantes de la telefonía pública; como se observa, están redirigidas al IVR.

```
;llamar a la PSTN
;exten =>0147,1,Macro(dial-pstn,${EXTEN:1},10)
exten =>_0.,1,Macro(dial-pstn,${EXTEN:1},10)
;
;llamadas provenientes de la PSTN
exten =>11,1,Goto(ivr,s,1)
;
```

En el cuadro de abajo se muestran los comandos para un Asterisk que no registre al equipo que une a la telefonía IP con la telefonía pública; en este caso el Asterisk deberá comunicarse con el Asterisk que registre a este equipos que une ambas redes.

```
;exten =>0147,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVER-PSTN},${EXTEN})
exten =>_0.,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVER-PSTN},${EXTEN})
```

El IVR se utiliza para contestar y direccionar las llamadas entrantes provenientes de la telefonía pública. Se debe especificar los archivos de sonido para los saludos correspondientes. Abajo muestra que si se llama al IVR se ejecutara mensajes de voz y esperará a que se ingrese un numero, si no se ingresa se llama a PHONE-DEFAULT, si se equivoca en el marcado de nuevo se procederá a escuchar los mensajes, si marca una alternativa correcta se redirigirá la llamada.

```
;ivr basico
[ivr]
;
exten => s,1,Set(CHANNEL(language)=es)
exten => s,2,Background(xivr_bienvenido_pucp)
exten => s,3,Background(xivr_opciones_pucp)
exten => s,4,Set(TIMEOUT(digit)=3)
exten => s,5,Set(TIMEOUT(response)=9)
exten => t,1,Goto(center,${PHONE-DEFAULT},1)
exten => i,1,Set(CHANNEL(language)=es)
exten => i,2,Playback(xnumero_incorrecto)
exten => i,3,Goto(s,3)
;
exten => _2XX,1,Goto(center,${EXTEN},1)
```

```
exten => _3XX,1,Goto(center,${EXTEN},1)
exten => _4XX,1,Goto(center,${EXTEN},1)
```

El archivo /etc/asterisk/iax.conf se utiliza para la comunicación con otros Asterisk aquí se muestra una configuración general; si se hace cambios en este se debe tener en cuenta que estos cambios deben estar reflejados en /etc/asterisk/extensions.conf.

```
[general]
;
bindport=4569
language=es
disallow=all
allow=ulaw
allow=g726aal2
allow=gsm
allow=ilbc
allow=g726
;
[iaxuser]
type=user
username=iaxuser
callerid=iaxuser
secret=passwd
context=center
.
```

Una vez configurado se debe arrancar el Asterisk o reiniciar la Alix. Una vez que el Asterisk esté activo se debe verificar el registro de lo dispositivos SIP. El tiempo de registro de los equipos telefónicos deberá ser menor a 50ms; si se tiene un tiempo mayor se debe evaluar instalar un servidor en la misma red del equipo cliente. Para comprobar que los clientes estén registrados se usa el siguiente comando:

```
voyage: # asterisk -vvvvr
voyage *CLI> sip show peers
name/username Host Dyn Nat ACL Port Status
10/10 10.1.52.4 D 5061 OK (12 ms)
211/211 (Unspecified) D 0 UNKNOWN
210/210 10.1.52.3 D 5060 OK (13 ms)
3 sip peers [2 online , 1 offline]
```

4

### Diseño de la red

La etapa de diseño es un parte imprescindible cuando se quiere desplegar una red de telecomunicaciones. Un buen diseño es crítico para que la red instalada funcione según lo esperado. Para ello, es fundamental una buena selección de los equipos, una exhaustiva prueba de los mismos, y una simulación de las condiciones y el entorno en que se implementará la red. En la sección 4.1 de este capítulo se describe estas etapas, los criterios seguidos para la realización de los diseños de las redes implementadas por GTR-PUCP, así como el *software* utilizado para tal fin.

Además, dada la necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicación de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo y su durabilidad, es necesario realizar un diseño del subsistema de energía. Las características de este diseño se describe en la sección 4.2 de este capítulo.

Adicionalmente, la gran diversidad de fenómenos eléctricos de origen atmosférico que se pueden producir en las zonas rurales puede afectar al buen funcionamiento de los equipos electrónicos y a la salud de las personas que están en contacto con ellos. Por ello, es necesaria la implementación de un subsistema de protección eléctrica que garantice la seguridad física tanto de los equipos como de las personas. El diseño de este subsistema de detalla en la sección 4.3 de este capítulo.

Para la realizar la instalación de los equipos citados de una forma cómoda y segura es necesario tener en cuenta algunos criterios para diseñar las torres o elementos que cumplen con la finalidad de colocar estos dispositivos a una altura determinada tales como: la robustez para soportar unas determinadas condiciones meteorológicas. Las características generales de las torres y los pasos a seguir en el proceso de montaje de las mismas. Así mismos describe el proceso de instalación del pararrayos y de las antenas son descritos en en la sección 4.4.

Las redes desplegadas están conformadas por distintos subsistemas: telecomunicaciones, energía, protección eléctrica e infraestructura. A éstos hay que añadir el subsistema informático, fundamental para que el usuario final puede hacer uso de la red, que no será descrito en el capítulo de diseño dada su amplia difusión.

Esta división en subsistemas se utilizará a partir de este punto en el presente libro para describir las redes desplegadas por GTR-PUCP.

### 4.1. Diseño del Subsistema de Telecomunicaciones

El primer paso del trabajo de diseño de la red de telecomunicaciones consiste en determinar si los puestos que se quieren interconectar a la red de telecomunicaciones pueden hacerlo a un coste razonable, con una calidad de servicio adecuada y de forma coherente con las prioridades exigidas. Por lo tanto, habrá que determinar cuál es la mejor tecnología (la más apropiada) para la transmisión de la información en las redes troncales y de distribución. Asimismo, habrá que determinar cuantas salidas hacia *Internet* se instalarán, en que estaciones irán las mismas y que tecnología se utilizará para ello.

### 4.1.1. Elección de tecnologías para la red de distribución

Como se ha indicado en los capítulos precedentes, las tecnologías que se evalúan para estas redes son *WiFi*, VHF y HF. Siempre se preferirá tener redes homogéneas, es decir, que todos los enlaces dentro de una misma red se realicen con una misma tecnología, debido a la eficiencia del mantenimiento y la gestión de la red. Es mucho más fácil comprar repuestos y reutilizar los mismos para una red en la todos los puestos utilizan la misma tecnología. Sin embargo, se podría proponer una red heterogénea VHF/*WiFi* si hay al menos 4 estaciones accesibles por cada una de las tecnologías, ya que es un número suficientemente grande para manejar el tema de los repuestos. Conforme a este criterio es preferible que algunas estaciones queden fuera del diseño antes que mezclar tecnologías. En este caso, se recomienda adjuntar una justificación individualizada de las razones técnicas y/o económicas que sostienen tal decisión, para así poder valorar la importancia estratégica de la inclusión de esa determinada estación en función de su costo (hay que recordar que un sistema HF puede instalarse en cualquier estación pero con bajas prestaciones).

A la hora de analizar la tecnología a utilizar en una determinada zona, también se considera la homogeneidad en otro ámbito: el externo. Hay que tener en cuenta el entorno en el que se instala la red. Si, por ejemplo, el resto de estaciones de la región donde se instalará la red hacen uso de la tecnología VHF, se optará por esta tecnología para permitir la comunicación con otras estaciones ajenas a la red. No obstante, el criterio que suele regir la elección de una tecnología u otra suele ser la mejor relación calidad/precio.

Como se ha comentado en 1.3.1, la tecnología *WiFi* es la que presenta las mejores prestaciones, por lo que ésta será la primera opción a evaluar como alternativa para el diseño. Sin embargo, el hecho de que necesite línea de vista hace necesario el uso de torres de altura considerable en los escenarios en los que no existan puntos geográficamente más elevados, lo que aumenta considerablemente el presupuesto de un proyecto. Además, pese a que técnicamente es posible hacerlo, en escenarios donde la distancia entre puestos sea muy elevada, superior a 40 Km, aún el día de hoy supone un riesgo en la estabilidad realizar estos enlaces con tecnología *WiFi* (no debe perderse de vista que *WiFi* fue diseñado para redes locales). Es por ello, que, en estos casos, sería conveniente el uso de otras tecnologías como VHF, o HF, para las cuales las distancias mencionadas no representan tal desafío.

Es cierto, que la limitación de la distancia en *WiFi* también puede solucionarse con la inclusión de repetidores para reducir la distancia de cada enlace. Sin embargo, se recomienda que si alguna estación final sólo pudiera ser accedido mediante la instalación de uno o varios repetidores sin más uso que darle servicio a ella, se considerará excluido de la propuesta final, dado el alto costo que supone la instalación de los mismos.

Dada las características de los servicios ofrecidos por la tecnología VHF en 1.3.2, se priorizará esta tecnología sobre HF, dada la baja calidad de ésta. También existe la posibilidad de incluir un enlace satelital en cada una de las estaciones, sin embargo, esto no es viable ya que, aunque no presenta un costo elevado de infraestructura (diseño e instalación), los costos fijos de operación que implica, son inviables para un número de estaciones tan elevado y para grupos humanos poco densos y con bajo poder adquisitivo.

Si se eligiera VHF, sería ideal que la estación pasarela estuviera en el centro de la red, si esto no fuera posible (por ejemplo, debido a la jerarquía administrativa de la red) habría que instalar repetidores de datos, aunque esto suponga un aumento en los costos del proyecto. Mientras tanto, la utilización de repetidores de voz es perfectamente válida, ya que el precio de su instalación no incrementa tanto al presupuesto final, en comparación con el beneficio en la calidad de la señal que éstos proporcionan.

### 4.1.2. Elección de tecnologías para el acceso a Internet

Asimismo, se realiza una selección de la tecnología que se utilizará para la salida a *Internet*. En cada zona de trabajo se dotará a una o más estaciones, según las necesidades, de acceso directo a *Internet* y a la red telefónica, ya sea a través de ADSL o por enlace satelital directo. Por ejemplo, si se dispone de una conexión de 256 kbps para el *downlink*, ésta puede dar cobertura a alrededor de 10 estaciones finales con usuario. Si exceden de 10, se introducirán salidas a *Internet* adicionales.

Cuando se pueda tener salida a *Internet* por ADSL, se considerará ésta como la opción preferida, ya que su precio es mucho menor y aporta una gran fiabilidad y estabilidad al sistema. Sin embargo, muchas de las redes se van a desplegar en zonas rurales donde suele resultar difícil contar con un punto que cuente con conexión a la linea telefónica, y aún más improbable que ésta tenga la posibilidad de conexión ADSL. Es por ello, que, pese a sus grandes costos de operación, se haga necesaria la contratación de enlaces satelitales para la salida a *Internet*. En este último caso, estas salidas se ubicarán de tal forma que se minimice el número de saltos promedio desde las estaciones finales.

Cualquiera que sea la tecnología de conexión a *Internet* que se elija, el servicio que a través de ella se contrate habrá de cumplir con unos requisitos mínimos para que la navegación y el uso de los servicios de VoIP tengan una calidad aceptable. Esta calidad se basa fundamentalmente en un parámetro del contrato llamado *overbooking*. Éste indica hasta cuanto puede disminuir la capacidad contratada sin previo aviso. Por ejemplo, con un factor de 2:1, y 128Kbps de conexión *download*, ésta puede estar funcionando a 64 Kbps, sin que se le pueda reclamar nada a la empresa contratada. Para las conexiones satelitales se suele contratar un *overbooking* de 4:1 ó 5:1, mientras que el ADSL, en el caso de Perú, tiene un factor de 10:1. Sería recomendable tener un factor que permitiera una mayor estabilidad en la calidad de la conexión, del tipo 2:1, pero actualmente, esto es muy difícil de conseguir. Con esta recomendación, valores de 256/128 Kbps (*downlink/uplink*) son los recomendados para poder utilizar aplicaciones en tiempo real, como VoIP, con una calidad aceptable. Sin embargo, si únicamente se quiere utilizar la transmisión de datos o correos electrónicos y la navegación *Web*, bastaría con 128 kbps para el *downlink*.

Para averiguar si alguna de las estaciones propuestas tiene conexión a *Internet*, o si alguna población cercana a alguno de los puestos cuenta con ella, debe buscarse la información oficial (en Perú, consultar FITEL, http://www.fitel.gob.pe). Sin embargo, esa información se verificará al realizar un estudio de campo. En él, además, se podrán comprobar las condiciones de acceso a la zona para coordinar mejor el proceso de instalación, así como obtener la posición exacta de los estaciones y la posible ubicación de los repetidores con un GPS de alta calidad. El estudio de campo debe realizarse siempre que se pueda, pero, si no fuera posible realizar dicha evaluación *in situ*, sería recomendable tener una posición lo más exacta posible de las estaciones finales. Para ello, se pueden utilizar herramientas tales como *Google Earth*, que actualmente aportan una gran exactitud en la localización de las estaciones. Estos datos serán utilizados posteriormente en la simulación *software* de la red.

### 4.1.3. Preselección de equipos

A parte de la tecnología a utilizar, se ha de llevar a cabo una selección preliminar de los equipos que podrían ser instalados para utilizarlos en la simulación *software*. Estos equipos, y el uso que de ellos se haga han de cumplir, en el caso de Perú, con las normas legales vigentes establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), dentro del ámbito de su competencia. Además, se ha de garantizar que se dispondrá de respuestos, suministro, accesorios y, en general, de cualquiera elemento usado por estos equipos en el mercado nacional por un período no menor de 5 años. Asimismo, estos equipos han de cumplir con los estándares internacionales (ITU, ETSI, ANSI, IEEE) para cuyo propósito serían adquiridos.

En el caso de GTR-PUCP, los equipos preseleccionados coinciden con las recomendaciones realizadas en la descripción de los equipos de cada una de las tecnologías detalladas en los capítulos 2 y 3.

Así, en la sección referente a las antenas, se recomienda el uso de las descritas para cada una de las estaciones que conforman las redes *WiFi* y VHF/HF, respectivamente, que varían en ganancia, ancho de haz, etc.

Las tarjetas inalámbricas a utilizar en las redes *WiFi* han sido descritas en 3.4, y como ya se ha indicado sus potencias varían entre 80mW y 600mW y sus sensibilidades oscilan entres -93 y -96dBm. Para VHF, las radios descritas en 2.4.1.1 tienen potencias de transmisión de 40W y una sensibilidad de recepción de -120dBm.

También es necesario comprobar que las placas embebidas que se utilizarán sean capaces de alimentar correctamente la combinación de tarjetas inalámbricas seleccionadas. Dado el fino grosor de las pistas de las placas *MikroTik*, descritas en 3.4, se sospecha que no podrían soportar mas de 800mW en total.

# 4.1.4. Elección del modelo de propagación

Una vez elegido el tipo de tecnología que, *a priori*, se va a utilizar, los equipos que podrían ser instalados, y ubicados los puntos geográficos donde se instalarán las estaciones cliente, hay que elegir el modelo de propagación que permita simular el entorno donde se instalará la red y, de esta forma, aproximar las pérdidas de propagación, interferencias, etc. La elección del modelo ha de tener en cuenta el tipo de medio (urbano, semiurbano o rural), las distancias, elevaciones de las antenas, frecuencias de trabajo, etc., entre otros muchos factores.

Para la planificación de redes a las frecuencias de 1 a 2 GHz en medio urbano son habituales los modelos de *Okumura-Hata* y *COST231*, que tienen en cuenta, entre otros, los efectos del multitrayecto, *fadding*, etc. de forma estadística, pero que no serían muy útiles para el entorno rural descrito en el capítulo 1.

Sin embargo, cuando la propagación es en el espacio libre, como es el caso, las pérdidas de propagación se pueden calcular en función de la distancia y de la frecuencia, utilizando el modelo de propagación del espacio libre. Éste se puede usar siempre que se tenga asegurada la línea de vista "despejada" (primera zona de *Fresnel* libre en un 60 % en todo el trayecto) y que no se tengan que aproximar efectos tales como el multitrayecto. La experiencia demuestra que los efectos del entorno geográfico y las condiciones climáticas pueden causar un resultado real sensiblemente peor que el teórico, teniéndose en enlaces muy largos pérdidas de propagación muy superiores a las calculadas. El modelo *Longley-Rice* combinado con mapas digitales de elevaciones y con un cuidadoso ajuste de sus parámetros permite una mejor aproximación a la realidad ya que tiene en cuenta los factores

comentados.

Los parámetros del modelo han sido ajustados de forma empírica a través de las medidas de señal de enlaces *WiFi* que están trabajando en redes desplegadas por GTR-PUCP:

- Modo estadístico Accidental: 90 % del tiempo, 70 % de situaciones.
- Clima ecuatorial (para zona amazónica) y continental (para zona andina).
- 10 % pérdidas por vegetación.
- Parámetros por defecto de refractividad, conductividad y permitividad.

Esta parametrización es bastante conservadora, por lo que los enlaces reales siempre tendrán un margen mayor que el obtenido al aplicar el modelo en el simulador *software*.

#### 4.1.5. Herramienta de simulación radioeléctrica

Para realizar las simulaciones, se recomienda el programa *Radio Mobile*. Éste es un *software* de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren simularse.

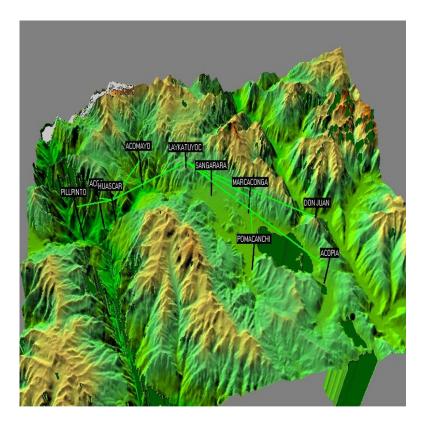


Figura 4.1: Mapas SRTM para Radio Mobile.

Este *software* implementa con buenas prestaciones el modelo *Longley-Rice*, y además tiene múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones.

Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED. Se escogió trabajar con los mapas de tipo SRTM, por ser los que ofrecen mayor resolución en la información del relieve de los terrenos bajo estudio. Se muestra un ejemplo de estos en la Figura 4.1.

Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

En la página de *Radio Mobile*, http://www.cplus.org/rmw/, existe un enlace directo a la página de descargas de *Internet*, donde se puede bajar un paquete de archivos para instalar el *software* en S.O. *Windows*. Esta página además incluye un guión de instalación rápida. La instalación es sencilla y la guía es bastante claro por lo que no se considera necesario incluir una descripción adicional en el presente texto. La página contiene, además, una sección de *Preguntas Frecuentes* con respuestas para las dudas más habituales y explicaciones de uso.

A continuación se van a describir algunas de sus utilidades.

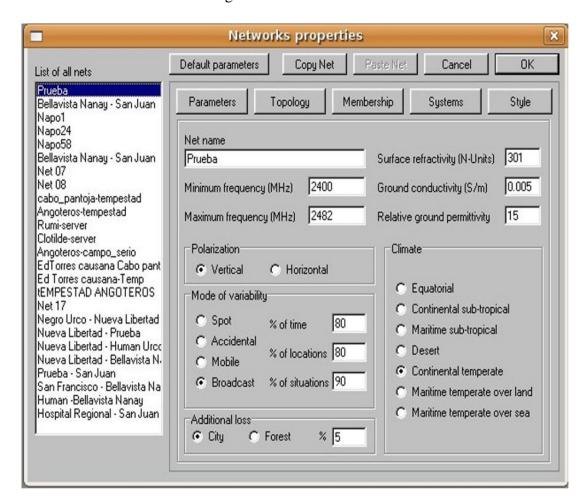


Figura 4.2: Configuración Variabilidad en Radio Mobile.

**Modo de Variabilidad**: Se cuenta con cuatro opciones: *Broadcast*, *Mobile*, *Accidental* y *Spot*. Se recomienda elegir la opción *Broadcast*, que permite seleccionar porcentajes de tres opciones: tiempo,

localización, situación (parámetros definidos por el modelo Longley-Rice). Elevar los porcentajes de estos parámetros implica aumentar las pérdidas añadidas al enlace. La pantalla donde se introducen estos parámetros se muestra en la Figura 4.2, a la que se accede en  $File \Rightarrow Network \ Properties \Rightarrow Parameters$ .

Implementación de los sistemas: Se determinarán los equipos a utilizar en la etapa del diseño, sus características se obtendrán de las hojas técnicas de características de los dispositivos utilizados en cada enlace simulado. Éstas se introducen en una pantalla similar a la que se presenta en la Figura 4.3. Esta configuración se encuentra en  $File \Rightarrow Network\ Properties \Rightarrow Parameters$ .

En enlaces *WiFi* es importante la altura de las torres para calcular la atenuación introducida por los coaxiales que conectan la antena con el enrutador, aunque ésta suele ser baja. Se considerarán, además, unas pérdidas fijas por conexiones de 1dB por sistema. En enlaces VHF se considerará en principio una atenuación por cableado de 0.06 dB/m, y en casos extremos en que el enlace dependa de ello, de 0.03 dB/m (estos valores corresponden a distintas calidades de cable coaxial para VHF).

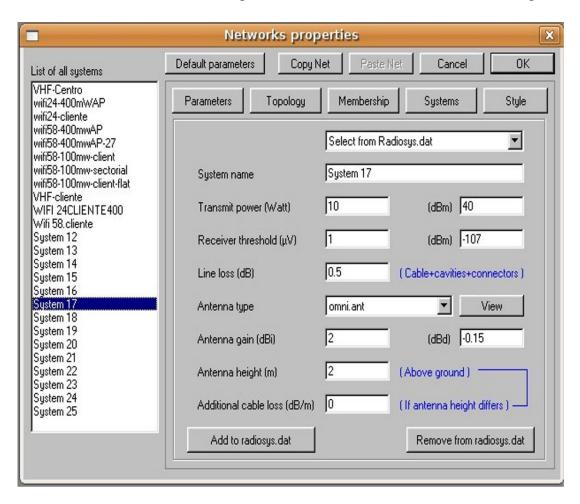


Figura 4.3: Introducción de las características de los equipos en Radio Mobile.

**Ubicación de las estaciones**: *Radio Mobile* permite introducir las coordenadas de las estaciones finales propuestas. Para ello hay que dirigirse a  $File \Rightarrow Unit \ Propoerties \Rightarrow Enter \ LAT \ LON \ or \ MGRS$  e introducir las coordenadas adquiridas anteriormente en el recuadro que se muestra en la Figura 4.4.

**Definir las Características del enlace**: Para ello hay que configurar en  $File \Rightarrow Network Properties$  distintas opciones, siendo la fundamental Membership, que es donde se indica que estaciones confor-

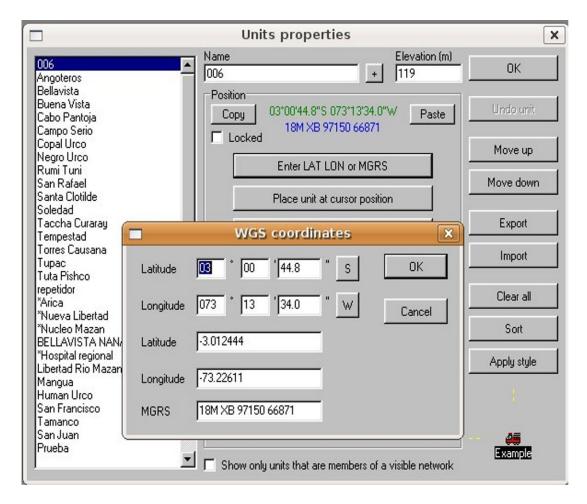


Figura 4.4: Introducción de las coordenadas de las estaciones en Radio Mobile.

marán ese enlace. Sin embargo, también se deben especificar parámetros como el tipo de topología o los equipos que se usan en cada estación. Esta pantalla se muestra en la Figura 4.5

Una vez incluidas todas estas variables, *Radio Mobile* permite saber de manera aproximada la viabilidad de la implementación de un enlace devolviendo diversos resultados.

Perfiles de los enlaces: Con la utilidad para dibujar enlaces de *Radio Mobile* se obtiene la imagen del perfil entre dos o más estaciones a enlazar, como se muestra en la Figura 4.6. Esta facilidad estudia el enlace en modo punto a punto. Este perfil además de recoger los parámetros relacionados con las características de propagación, muestra los puntos críticos en el trayecto y los puntos de obstrucción de la señal si existieran. Además, muestra algunos de los resultados para describir cada enlace como el margen relativo de señal recibida, el *azimut* respecto del Norte con que la antena de una estación apunta hacia la del otro y viceversa, distancia entre ambas estaciones, etc.

Estos perfiles además cuentan con varias facilidades para el usuario, ya que se pueden modificar diversos parámetros como la frecuencia o la altura de las antenas para comprobar el efecto de estas variaciones sobre el resultado de cálculo del enlace.

**Zonas de probabilidad de cobertura**: además del estudio del enlace punto a punto, *Radio Mobile* permite la caracterización del enlace en modo *punto a área*. Con ella, para un punto seleccionado, se dibuja, según las opciones la zona de visibilidad para éste, la zona de cobertura radioeléctrica para la frecuencia y sistemas estudiados. Esta facilidad será muy útil para la ubicación de repetidores.

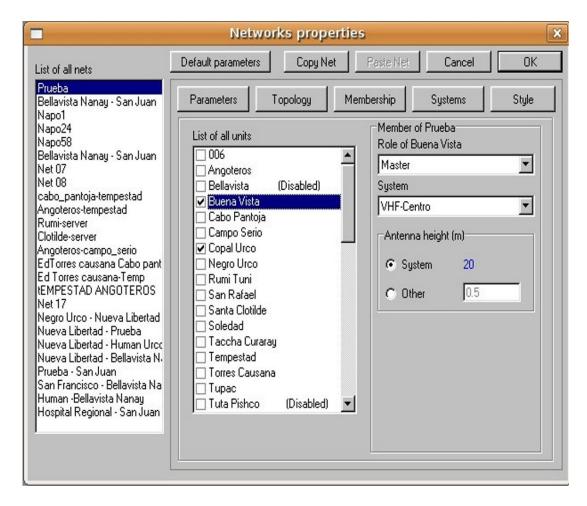


Figura 4.5: Introducción de las características de los enlaces en Radio Mobile.

Las áreas comunes para las zonas de cobertura de varias estaciones, amplían de una a varias, las posibilidades para su ubicación final. En el ejemplo de la Figura 4.7 en amarillo se puede ver el área de cobertura de una estación, en azul la de otra, y si se observa con atención, aparecen las áreas de intersección en verde, que es donde ambas áreas se cruzan, será ahí donde se colocaría un repetidor que diera acceso a ambos. Este factor es relevante debido a la imposibilidad de acceso en el terreno a ubicaciones aisladas desconocidas.

#### 4.1.5.1. Requisitos mínimos que deben cumplir los radio enlaces de una red

En GTR-PUCP, un enlace se da por bueno, si presenta un nivel de señal en recepción de entre 20 y 25 dB por encima de la sensibilidad del receptor. Además, los enlaces que se vayan a hacer con *WiFi* deberán tener, además de visión directa, un despejamiento mayor al 60 % del radio de la primera zona de *Fresnel*. Asimismo, se evitará que los enlaces *WiFi* atraviesen vegetación, aunque en el momento de la instalación se obtenga en recepción un nivel de señal suficiente. En caso de que se tenga constancia de que lo están haciendo, se tiene que comprobar que en el punto más crítico que la claridad mínima del enlace será de 20 m, que corresponde con altura estimada de los árboles. La claridad es la distancia entre el terreno y el haz radioeléctrico. En la Figura 4.6 se aprecia como en el punto má critico existen 21.94 metros, por lo que cumpliría con esta especificación.

Los enlaces en VHF serán con línea de vista siempre que sea posible, pero se considerarán acept-

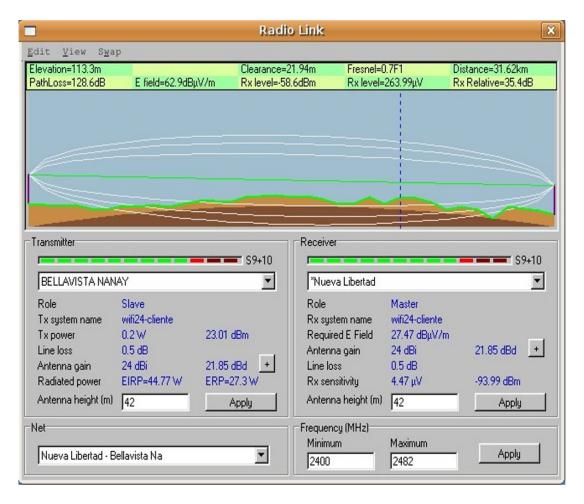


Figura 4.6: Características de los enlaces en Radio Mobile.

ables obstáculos vegetales o incluso pequeñas obstrucciones del terreno, siempre que el modelo de propagación muestre que la señal recibida es suficiente (20 dB de margen se señal por encima de la sensibilidad).

La altura mínima sobre el nivel del suelo recomendable a la que debe colocarse cualquier antena debe ser 15m excepto en el caso en que una estación final esté apuntando a un repetidor colocado en un cerro y se tenga la certeza de que la línea de vista está despejada (en ese caso las alturas mínimas en estaciones finales y repetidores será de 6m). En general, la altura máxima de una torre está en función de la relación costo/beneficio. Mientras mayor sea su altura mucho mayores serán tanto su costo, como la dificultad en su instalación. Sin embargo, si el beneficio de colocar una torre muy alta (por ejemplo, reduce significativamente los tamaños de otras torres), entonces dicha instalación se justificaría.

Se evitará el posicionamiento de repetidores en lugares aislados siempre que haya otras alternativas. Y es que, siempre que sea posible, se debe tratar de no colocar repetidores en lugares alejados de cualquier núcleo habitado; de no poderse evitar, se preferirán ubicaciones en que ya existen otros repetidores. Este criterio se plantea para evitar problemas tanto de accesibilidad, ya que será necesario transportar material pesado hasta el lugar, como de seguridad física de los equipos (posibles robos).

Las estaciones aisladas que resulten inevitables para el diseño de la red se visitarán para ser validadas o rechazadas en base a su seguridad física y accesibilidad percibidas *in situ*, y si esto no fuera

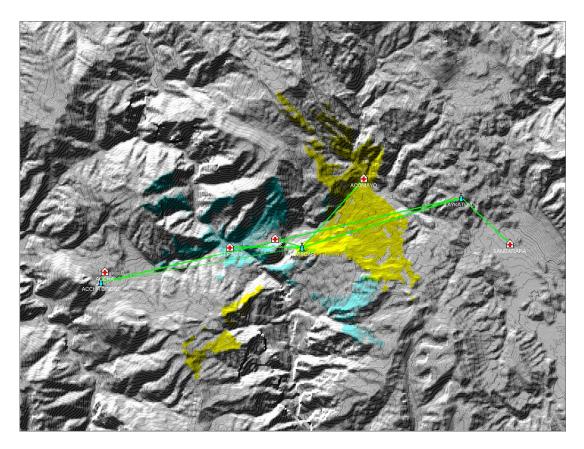


Figura 4.7: Áreas de cobertura de dos estaciones en Radio Mobile.

posible se validarán sus posiciones con mapas cartográficos a escala 1:25000 y el uso del *software Google Earth*. Para reducir la probabilidad de que un repetidor aislado sea rechazado tras la visita al lugar, sólo se propondrán repetidores de este tipo si hay una zona de probabilidad para su instalación (varios posibles emplazamientos cercanos) y no un sólo punto de colocación posible.

Como ya se mencionó en las sección 3.6, los repetidores forma la red troncal de las redes. La cantidad de estos enlaces troncales en cadena no se considerará limitante; no obstante, la minimización del número de saltos será un criterio de diseño.

Además si es que se decide incluirlos, se considerará limitado a 3 el número de estaciones finales conectados a un repetidor con un enlace punto a multipunto si uno o varios de éstos distan del repetidor más de 6 Km. Si no se cumple lo anterior, se reducirá ese número aumentando el número de interfaces operando en canales no interferentes en la misma estación, de forma que cada una atienda a un menor número de estaciones finales.

En una estación con *WiFi* se podrán tener varios sistemas en cascada (conectados por *Ethertnet*), para poder disponer de un mayor número de interfaces que permitan un mayor número de enlaces, siempre que todas las interfaces radio de una mismo estación operen en canales no interferentes. Se asume que se pueden emplear hasta 3 canales no interferentes en *WiFi* en la banda de 2.4GHz, y al menos 8 más en 5.8GHz.

El uso de una banda de frecuencias u otra depende de varios factores.

■ En aquellos entornos urbanos donde pueda haber más redes en 2.4GHz, se recomienda el uso de la banda de 5.8 GHz.

■ Resulta más recomendable usar la banda de frecuencias de 2.4GHz para la red de acceso y la de 5.8GHz para la red troncal, ya que esta última ofrece un mayor ancho de banda. Sin embargo, al usar un rango de frecuencias superior, está expuesta a mayores pérdidas por atenuación. Aunque, esto se puede compensar aumentando la altura de las torres, incrementa el costo de la estación. Por lo que hay que valorar para cada caso las ventajas queintroduce el uso de una banda u otra.

#### 4.1.6. Software de simulación de tráfico

La simulación de los enlaces a nivel radioeléctrico ha sido de gran ayuda para el diseño de las redes que GTR-PUCP ha desplegado en los últimos años, dada la gran similitud entre los resultados arrojados por *Radio Mobile* y los que se obtienen en la realidad, una vez instalados los equipos.

Es por ello que recientemente se ha estudiado la posibilidad de llevar a cabo un análisis de las prestaciones de la red a nivel de tráfico antes de que los equipos sean comprados y la red desplegada. De esta forma se podrían estudiar las variaciones de las prestaciones de la red, tales como *throughput*, *jitter*, retardo, paquetes perdidos, etc, en función de la utilización que los distintos usuarios estén haciendo de la red y así poder detectar los posibles cuellos de botella o problemas de nodo oculto, cuando se utiliza *WiFi*. También permitiría conocer el número máximo de comunicaciones que se pueden mantener simultáneamente con una calidad aceptable, o cual sería el ancho de banda del que dispondrán para navegación *Web* cuando hubiera otros usuarios navegando.

De entre las distintas opciones que se barajaron, se optó por la utilización de la segunda versión del *Network Simulator*, más conocido como *Ns2*. Esta herramienta es muy versátil, ya que permite simular el envío de tráfico según distintos protocolos, como TCP o UDP, y en distintos medios físicos tanto cableados como inalámbricos, de una manera muy fiel. Además, el hecho de ser un programa de *software libre* permite añadir las características de los protocolos que no hayan sido añadidos en la versión original de la herramienta, lo que representa una mayor versatilidad. Estas características han convertido a *Ns2* en la herramienta de simulación de tráfico más utilizada en trabajos científicos de amplia difusión de la actualidad.

Pese a que esta herramienta está aún en fase de pruebas, GTR-PUCP está utilizando la versión del *Ns2* realizada por Marco Resta, realizada dentro de su investigación para la Fundación EHAS, que incorpora algunas funcionalidades que permiten la simulación de redes inalámbricas de largo alcance, ya que la parte *WiFi* de *Ns2* al estar pensada para enlaces de cortas distancias y de un sólo salto, adolece de encaminamiento multisalto, y de la posibilidad de que las estaciones dispusieran de varias interfaces, entre otras.

Además, se ha creado una interfaz que sirve para aprovechar la información de la que se dispone en *Radio Mobile*, y la de otros archivos auxiliares para crear el archivo necesario para la simulación con *Ns2*, y así evitar realización manual cada vez que se quiere realizar una simulación. La aplicación está escrita en *Java*, sin embargo, el usuario final no necesita conocer ningún comando de este lenguaje de programación para hacer uso de la herramienta. Esto es debido a que está programada de tal forma que el usuario interactúa con el programa por medio de la línea de comandos, por lo que no es necesario conocer el funcionamiento interno del mismo.

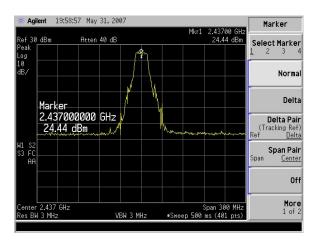
#### **4.1.7. Pruebas**

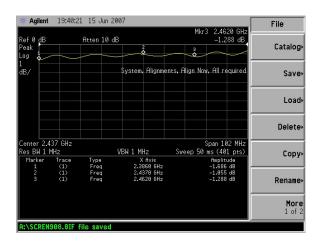
Una vez que se ha llevado a cabo la simulación de las redes, y se ha decidido la posición de los repetidores y los equipos a utilizar en cada caso, estos son adquiridos y probados. Las pruebas realizadas se llevan a cabo en dos frentes, el *software* y el *hardware*.

En la parte *software* se configuran los ATA y los enrutadores, y se conectan entre ellos tal como lo harían en el escenario final. Una vez conectados, se prueban determinadas herramientas que servirán para su mantenimiento remoto en el futuro. Estos paquetes son las herramientas:

- ping y ssh para probar la interconexión.
- *traceroute* para comprobar el correcto funcionamiento.
- bandwidth test, para medir el ancho de banda, navegación y descargas para comprobar la salida a Internet y el comportamiento de la telefonía.

También se prueban las prestaciones *hardware* de los equipos para afinar aún más el diseño, es decir, mediante el uso de un analizador de espectros, por ejemplo el *Agilent ESA-4404*, se miden las pérdidas en los cables y conectores, las potencias reales de transmisión de las tarjetas en los canales seleccionados y las pérdidas de retorno y el ROE de cada una de las antenas que se instalarán. Esto se lleva a acabo para poder comprobar con exactitud si los enlaces cumplen los requisitos establecidos, ya que los datos obtenidos de estas mediciones *hardware* se introducen de nuevo en el *Radio Mobile* para realizar una última simulación de comprobación de los enlaces dado que en muchos casos el comportamiento de los equipos dista mucho de lo indicado en sus hojas de técnicas como valores medios. En la Figura 4.8(a) se aprecia que la potencia de transmisión de una tarjeta *SR2* es de 24.44 dBm, cuando en su hoja técnica indica que debería ser de 26 dBm. En la Figura 4.8(b) se puede ver que las pérdidas de un cable coaxial *wbc400* de 16 metros son de 1.288 dBm.





(a) Potencia de transmisión tarjeta inalámbrica.

(b) Pérdidas en cable coaxial

Figura 4.8: *Mediciones con el analizador de espectros*.

# 4.1.8. Recomendaciones para instalaciones exteriores

A continuación se presentan algunas buenas prácticas de montaje de equipos en exteriores, típicamente instaladas en torres. Las recomendaciones tratan de evitar que la humedad, el polvo, el viento o el calor dañen los equipos.

#### 4.1.8.1. Distribuciones de equipos en la torre

Las antenas deben ser instaladas en el último tramo o en los últimos tramos de la torre, seguidamente vendrán los equipos de enrutamiento que van dentro de una caja metálica. Estos estarán instalados a una distancia entre 1.0 m y 1.5 m por debajo de las antenas. 1.5 m debajo vendrá la caja de la batería o los soportes de los módulos solares de modo tal que cuando se realizase un mantenimiento no se tenga problemas para desplazarse a través de la torre. Como se puede observar en el ejemplo de la Figura 4.9



Figura 4.9: Distribuciones de equipos en la torre.

#### 4.1.8.2. Instalación de antenas Yagi y de grilla

Las antenas ha de instalarse de tal forma que no sufran ningún daño, para ello se deben sellar todas las posibles perforaciones que contenga los dipolos de las mismas. De esa forma se evitan posibles filtraciones de agua debido a la lluvia.

Los cables de los dipolos deben estar libres, es decir, sueltos, y por ningún motivo deben ser doblados con ángulos mayores a 90 grados. De ser así, generaría que el cable del dipolo se quiebre o produzca una mala señal por un mal contacto.

Como ejemplo de esta recomendación se muestra la Figura 4.10.



Figura 4.10: Instalación de antena de grilla.

#### 4.1.8.3. Conexión de los cables coaxiales

Estos cables deben conectarse con bastante paciencia y siguiendo lentamente los hilos de la rosca del conector N-hembra. Éste es el conector estático, mientras que el N-Macho será el móvil. Estos deben apretarse manualmente de modo que haya un buen contacto.

## 4.1.8.4. Vulcanización de los dispositivos

Para llevar a cabo la vulcanización de los dispositivos es necesario limpiar los extremos de los cables coaxiales de cualquier impureza. A continuación, se corta un trozo de cinta vulcanizante *Scotch* #23, y, sin retirar de la cinta el plástico protector, ya que la grasa de las manos impediría un buen vulcanizado, estirar progresivamente la cinta siguiendo una trayectoria armoniosa hasta el punto deseado. Es recomendable comenzar a vulcanizar desde unos 3 cm antes de la unión del final del conector N-macho hasta 3 cm después del final del conector N-hembra. La vulcanización es necesario distribuirla de modo que no permita filtraciones de agua y posteriormente reforzarla con cinta aislante *Scotch* #33. En el caso de conexiones exteriores se debe emplear silicona *Sikaflex* #221 para garantizar el no filtrado de agua. En la Figura 4.11 se muestra un ejemplo de vulcanizado de dispositivos.



Figura 4.11: Vulcanización de los dispositivos.

#### 4.1.8.5. Recomendaciones para el alineamiento de las antenas

La alineación y sujeción de las antenas es fundamental a la hora de construir un enlace *WiFi* de larga distancia. Un buen apuntamiento y una buena sujeción de las antenas proporciona un enlace óptimo, perdurable en el tiempo y estable ante el efecto de las condiciones climatológicas y el propio peso de las antenas.

La alineación de las antenas se lleva a cabo después de haber instalado las antenas, cables, protectores de línea y los enrutadores. Para ello se recomienda utilizar dispositivos de alineamiento como el Teletronics. Estos dispositivos son, básicamente, transmisores/receptores de onda portadora en la frecuencia necesaria. Además, poseen una pantalla en la que puede medirse el nivel de señal que se recibe del otro extremo. Si no se dispusiera de esa herramienta pueden usarse las opciones *software* del enrutador.

El alineamiento inicial se realiza orientando las antenas según el diseño que se detalla en la sección 4.1.5, usando para ello una brújula. Las antenas se ajustan parcialmente, es decir, no se ajustan de manera definitiva.

Luego se procede a realizar un alineamiento fino, para ello se asume que con el alineamiento inicial se ha conseguido enlazar ambas estaciones repetidoras y lo que se quiere es mejorar en la medida de lo posible el enlace establecido. Se procede de la siguiente manera:

Desde la computadora de la estación cliente se accede de manera remota a su enrutador por medio del comando ssh. A continuación se prueba la conectividad con el enrutador del otro extremo mediante el comando ping.

Una vez comprobada la conectividad entre ambos repetidores, se ha de conectar de manera remota al enrutador del repetidor, para ello usar de nuevo el comando ssh. Y una vez que se ha accedido se ejecuta el comando interfaces wireless wlanX print.

En ella, el parámetro importante para realizar el alineamiento es: signal level, en este caso, con valor -69 dBm.

El objetivo de realizar el alineamiento es conseguir que la señal irradiada por cada una de las antenas concentre la mayor parte de su energía hacia la otra antena, por ello tendremos que alinear ambas antenas, primero una, luego la otra y así sucesivamente al menos 2 veces. Manteniendo establecida la conexión remota con el enrutador del repetidor, se observa el parámetro signal Level mientras se mueve la antena. La secuencia de alineamiento es la siguiente:

Primero se mueve la antena de la estación cliente lentamente haciendo un barrido en el eje horizontal, de izquierda a derecha y viceversa hasta encontrar su mejor nivel de señal recibido. Luego se procede a hacer otro barrido en el eje vertical. Los movimientos deber ser suaves, tratando de procurar que no se pierda el enlace. Si se llegara a perder el enlace se deberá colocar la antena en una posición similar a la original y volver a establecer la conexión remota.

Luego se mueve de la misma manera la antena del enrutador del otro extremo hasta conseguir el mejor nivel de señal posible, este nivel se observa en la consola de acceso remoto al enrutador.

Las lecturas correspondientes al nivel de señal recibido deben transmitirse usando un medio de comunicación alternativo, por ejemplo, radios VHF o teléfonos móviles. Si se llega a perder la conexión se deberá realizar el mismo proceso explicado anteriormente. El proceso se repetirá nuevamente para afinar el alineamiento.

Finalmente se ajustarán las abrazaderas de las antenas teniendo cuidado de no perder la alineación conseguida. El ajuste final de los cables coaxiales y las antenas debe ser manual, sin uso de herramientas como llaves hexagonales o llaves autoajustables. El uso de estas herramientas en el ajuste de los conectores lleva a que el conector N macho del cable coaxial y el N hembra de la antena estén extremadamente ajustados, lo cual es perjudicial cuando el calor hace que los metales se dilaten y por tanto al no tener un margen para expansión se producirá un quiebre en el metal. En conclusión los conectores deben estar ajustados pero no extremadamente ajustados.

Si a pesar de haber realizado todos los pasos anteriores se sigue sin poder establecer un enlace merece la pena comprobar todos los dispositivos uno por uno: ¿están todos los elementos encendidos? ¿están todos los *pigtails* correctamente conectados? ¿todos los equipos funcionan correctamente?

# 4.2. Diseño del Subsistema de Energía

En las zonas rurales se encuentran identificadas diferentes realidades que condicionan el diseño de los sistemas de abastecimiento eléctrico. La mayoría de comunidades no cuenta con sistema alguno de abastecimiento eléctrico y el resto utiliza motores cuyo funcionamiento está sujeto a un suministro de combustible externo y muy variable. Además, estos motores suelen estar normalmente fuera de control (variaciones de voltaje sumamente extremas).

Por estas razones, la principal recomendación es que todo nuevo dispositivo sea provisto de su propio sistema de energía eléctrica. La solución más popular es el uso de paneles solares, baterías y accesorios.

## 4.2.1. Modelos de consumo de energía

Atendiendo al consumo de energía, se pueden identificar cinco modelos:

- Estación cliente VHF/HF/WiFi
- Estación pasarela VHF/HF/WiFi
- Repetidor de datos VHF
- Repetidor de voz VHF
- WRAPx

debe tenerse en cuenta que en una misma estación puede necesitarse una combinación de sistemas, por ejemplo, es típico y deseable (para que los usuarios tengan acceso a los servicios de la red) que haya sistemas cliente en todas las estaciones. También suele ocurrir que coexistan sistemas VHF de voz y datos.

La concurrencia de estos sistemas en una misma locación sugiere el uso de un sistema común de energía. Sin embargo, esto implicaría un diseño nodo por nodo lo cual resultaría poco práctico para proyectos de gran escala (decenas, cientos o miles de nodos). Por otro lado, un sistema común puede resultar imposible, como en el caso de un repetidor *WiFi* y una estación cliente; estos pueden encontrarse dentro de una misma localidad separados centenas de metros, en ese caso es preferible independizar su suministro de energía. Otra ventaja de la independización de sistemas es que las fallas de unos, no impliquen fallas de servicios en otras.

A continuación se describen los modelos propuestos.

#### 4.2.1.1. Estación Cliente VHF/HF/WiFi

Las cargas consideradas en los establecimientos de este tipo son: Un transceptor de radio VHF para voz y para datos con las siguientes necesidades de consumo:

- 100 W en transmisión (0.5 h para datos y 0.5 h para voz), 5.3 W en recepción (0.5 h para datos y 3 h para voz), y 5.5 h encendido con un consumo de 3.2 W. Todo esto a 13.6 V DC.
- Una interfaz PC-radio (placa Soekris net4801), con un consumo aproximado de 4 W siempre encendida.
- Una computadora con placa alimentada con 13.6 V DC, con un consumo máximo de 30 W, considerando una utilización media diaria de 3.5 h. Una computadora convencional con un inversor consume 60 W.
- Un monitor LCD TFT de 25 W encendido 3.5 h diarias.
- Una impresora de 22 W máximo, encendida 0.5 h diaria.
- La impresora y el monitor, necesitan un inversor de voltaje DC/AC. Los inversores tienen una eficiencia típica de 85 %.
- Dos luminarias de 13 W considerando una utilización media de 4 h diarias (2 h cada una).

La estación cliente HF es prácticamente igual a la anterior con la modificación del tipo de radio, que tiene prácticamente el mismo consumo.

La estación cliente *WiFi* es exactamente igual a la estación cliente *VHF*, con la única diferencia que no tiene radio *VHF* y en su lugar tiene un enrutador *WiFi* (*Linksys WRT54GL*, *Soekris net4511* o *ALIX.2C0*) de un consumo medio de 5 W, pero que debe estar encendido las 24 h del día.

#### 4.2.1.2. Estación Pasarela VHF/HF/WiFi

Las cargas consideradas en este modelo son:

- Una computadora que posee una placa EPIA VIA M10000 alimentada con un transformador DC-DC EPIA VIA M1-ATX, que debe estar encendida 12 h.
- Un transceptor de radio igual a la de la estación cliente, encendida 12 h, de las cuales 4 h transmite y 4 h recibe.

## 4.2.1.3. Repetidor de Voz VHF

En este caso, la carga la constituyen las dos radios que conforman el repetidor. El repetidor estará disponible las 24 horas al día.

#### 4.2.1.4. Repetidor de datos VHF

Consta de una placa de computadora embebida (la misma que usa la estación cliente) y una radio VHF; disponible las 24 horas al día.

## 4.2.1.5. Wrap

La denominación *Wrap* se refiere a un enrutador inalámbrico. Este sistema se emplea en las redes WiFi y básicamente consta de una placa de computadora de propósito específico (*Soekris net4521*, *PC Engines WRAP.1E1*, *PC Engines Alix.2C0*, *Mikrotik RouterBoard 333*), que debe funcionar las 24 horas del día para proceder al encaminamiento de todo el tráfico IP tanto de voz como de datos. No confundir a este equipo con el enrutador inalámbrico del cliente *WiFi*.

Debe tenerse en cuenta que un repetidor *WiFi* puede requerir más de un modelo de consumo Wrap.

## 4.2.2. Dimensionamiento de la fuente de energía

Dado que se trata de estaciones sin ningún tipo de energía estable, y considerando la carga que deberá soportar cada tipo de ellos, se dimensiona el número de paneles solares. La carga viene dada por los equipos que deberán colocarse en cada estación y el tiempo de uso para los diferentes estados (en transmisión, en recepción, en reposo, etc.).

Para el dimensionamiento de los sistemas de generación de energía se tendrá en cuenta una relación carga/descarga (también llamada factor de corrección) mayor a 1.2 en el caso de estaciones cliente, repetidoras y pasarela. En las estaciones con enrutadores inalámbricos, la relación carga/descarga será mayor a 1.3. La relación carga/descarga es la relación entre la generación y el consumo diarios de energía, idealmente si fuera 1 sería suficiente para que las baterías siempre estuvieran al 100 % de su carga, pero debe ser mayor considernado ineficiencias de los equipos y pérdidas en el cableado.

En función del consumo descrito anteriormente y de los tiempos de uso que se detallan a continuación, se dimensiona el número de paneles solares a instalar, la capacidad del banco de baterías y la corriente máxima que deberá soportar el regulador. La potencia máxima que puede suministrar un módulo se denomina potencia pico.

Para realizar el cálculo del generador en Watios pico  $(E_{GFV})$ :

- Se asumirá un factor de corrección ( $f_c$ ) de 1.2 o 1.3 de acuerdo al sistema (generar al menos un 20 % o 30 % más de lo que se consumiría).
- Se tendrá en cuenta la radiación diaria media del peor mes en la zona, que, por ejemplo, en Loreto (Perú) es 4270  $Wh/m^2$ :  $(G_{dm} (10^\circ) = 4270 Wh/m^2)$ .
- Se consideran unas pérdidas del 10 % adicionales sobre el consumo de las cargas ( $\eta_G = 0, 1$ ).
- Se considera que la potencia nominal generada por los paneles a usarse se ha medido con una radiación en condiciones estándar de 1000 W/m².
- Se considera la energía (L) que necesita la carga en un día.
- Se ha de tener en cuenta la potencia nominal del panel  $(P_{nom})$ .

Se utiliza el criterio de que la energía necesaria debe ser igual al consumo de las cargas (afectada por el % de pérdidas) multiplicado por el factor de corrección:

$$E_{GFV} = L \cdot (1 + \eta_G) \cdot f_c \tag{4.1}$$

La energía necesaria del generador fotovoltaico es igual al producto de la cantidad de paneles por la potencia de cada panel por la radiación media diaria:

$$\sharp \ paneles = \frac{E_{GFV}}{P_{nom} \cdot G_{dm}} \tag{4.2}$$

De acuerdo a lo anterior, se concluye que se necesita:

Un arreglo de 150  $W_p$  para el modelo de consumo repetidor de datos VHF.

Un arreglo de 225  $W_p$  para el modelo de consumo cliente VHF/HF/WiFi.

Un arreglo de 150  $W_p$  para el modelo de consumo de estación pasarela VHF/HF/WiFi.

Un arreglo de 450  $W_p$  para el modelo de consumo repetidor de voz VHF.

Un arreglo de 75  $W_p$  para el modelo de consumo Wrap.

#### 4.2.3. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

Para realizar el cálculo de la capacidad del banco de baterías (en Wh), se utilizan los siguientes criterios:

La energía (L) que necesita la carga en un día. Tener al menos 3 días de autonomía para modelos cliente, repetidor y pasarela, y al menos 2 días de autonomía para modelos Wrap ( $N_{da}$  = 3 ó 2 días). No descargar las baterías por encima del 80 % ( $Pd_{max}$  = 0.8).

La capacidad ( $C_{nom}$  en Wh) de las baterías debe ser suficiente como para entregar a la carga la energía necesaria cada día, por el número de días de autonomía deseado, y teniendo en cuenta que las baterías sólo se descargarían al 80 % de su capacidad total:

$$C_{nom}(Wh) = L \cdot (1 + \eta_G) \frac{N_{da}}{Pd_{max}}$$

$$\tag{4.3}$$

Para calcular la cantidad de baterías necesarias debe conocerse la capacidad de cada una de ellas (C en Ah) y el voltaje (V en Voltios) nominales del modelo elegido. Entonces:

$$\sharp \ bateras = \frac{C_{nom}}{C \cdot V} \tag{4.4}$$

# 4.2.4. Especificaciones de equipos de energía fotovoltaica

#### 4.2.4.1. Módulo fotovoltaico

Son dispositivos que están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que transforman la energía solar en electricidad. Se recomienda que estos cumplan las siguientes características:

- Deben estar formadas por celdas policristalinas o monocristalinas y no amorfas. Aptos para clima tropical.
- Debe solicitarse al proveedor y verificarse la siguiente información (bajo condiciones de ensayo estándar):
  - Potencia Nominal (Valores típicos de 50, 75, 100 y 150 W).
  - Porcentaje de Variación de Potencia Nominal
  - Curva Característica Corriente-Voltaje, que se muestra en la Figura 4.12. En esta curva deben verificarse los siguientes valores:
    - $\circ$  Voltaje de Máxima Potencia ( $V_{mp}$ ).
    - $\circ$  Voltaje de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ).
    - $\circ$  Corriente de Corto Circuito ( $I_{sc}$ ).
    - $\circ$  Corriente de máxima potencia  $(I_{mp})$ .

Debe cumplirse que la potencia nominal del panel sea menor o igual al producto de  $V_{mp} \cdot I_{mp}$ . Algunas marcas que GTR-PUCP ha utilizado son: *BP Solar, Total Energie, Isofoton, PhotoWatt* y *Solarex*. Todas ellas de buenas prestaciones.

#### **4.2.4.2.** Baterías

Es un dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos. Para pequeños sistemas fotovoltaicos, éstas deben ser abiertas o de libre mantenimiento, de descarga profunda y aptas para el clima en que se usen (seguramente deberán soportar frío o calor extremos). Además, debe solicitarse al proveedor y verificarse la siguiente información:

- Capacidad a 100 h de descarga ( $C_{100}$ ).
- Número de ciclos de carga y descarga que soporta. Mientras mayor sea este valor, mayor será la duración de la batería.
- Profundidad de descarga. Cuanto mayor sea, mayor será la autonomía de la batería. Si se excede su valor, se reduce la vida útil de la batería.

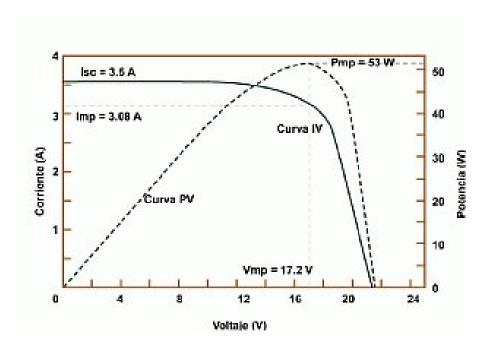


Figura 4.12: Curva típica de corriente – voltaje de un panel solar.

- Temperatura de operación y corrección de capacidad para 30°C.
- Umbrales de alto y bajo voltaje.

GTR-PUCP ha utilizado las baterías *Trojan T-105*, *Varta V170* y *Sprinter PV120*. Las baterías *Trojan* son abiertas y necesitan mantenimiento (reposición de agua destilada semanalmente) por lo que solamente deben colocarse donde haya personal que pueda realizar esta tarea. Las baterías *Varta* y *Sprinter* son de libre mantenimiento ideales para colocar en nodos aislados.

NOTA: Son indispensables certificados nacionales ó internacionales, emitidos por instituciones de reconocido prestigio, que confirmen las características de paneles y baterías a utilizar en la implementación de la red.

#### 4.2.4.3. Controlador de Corriente

Este es una dispositivo que se instala entre paneles baterías y cargas y que cumple dos funciones: controlar la carga de las baterías de una manera adecuada y, porotro lado, proteger las cargas de sobrecorrientes y sobrevoltajes. Estos deben ser apropiados para trabajar con las baterías antes descritas. Sus componentes de estado sólido han de cumplir las siguiente características:

■ Voltaje Nominal: 12 V

■ Corriente soportada: 20 A mínimo

Se requiere que indique los valores de voltaje, de corte y reconexión. Estos valores deben estar en conformidad con los requerimientos de las cargas, típicamente entre 11 y 12 V. Un modelo apropiado es el *Isofoton Isoler 20*.

#### 4.2.4.4. Inversor

Es un dispositivo que transforma la energía eléctrica continua en alterna. Estos son útiles para equipos que sólo pueden alimentarse con esta última. Para estos casos debe cumplir con las siguientes características:

- Potencia: se recomienda utilizar un dispositivo que tenga una potencia nominal del doble de la necesaria, ya que la mayoría de estos dispositivos utilizan tecnología *PWM* que para efectos prácticos tiene una eficiencia del 50 %. Un inversor de 150 W es suficiente para alimentar una impresora y un monitor como los mencionados en 4.2.1.1.
- Voltaje nominal de entrada: 12 V dc.
- Voltaje nominal de salida: 110 ó 220 V ac.
- Voltajes de corte (alto y bajo).
- Forma de onda de voltaje de salida: sinusoidal ó sinusoidal modificada.

#### 4.2.4.5. Luminarias

Existen en el mercado luminarias que funcionan con corriente continua. Se sugiere adquirir aquellas que cumplan las siguientes características:

■ Voltaje nominal: 12 V.

■ Potencia de consumo: 15 W máximo.

Un modelo apropiado es el Steca Solsum.

# 4.2.5. Equipamiento necesario por modelo de consumo

A continuación se detalla la relación de equipos de suministro de energía necesarios para dar soporte al consumo de cada modelo.

Energía	Repetidor	Cliente	Repetidor	Pasarela	Wrap
	Datos VHF		Voz VHF		
Modulo fotovoltaico 75Wp	2	3	6	2	1
Soporte de módulos	1	1	1	1	1
fotovoltaicos					
Batería 06 Vdc 225Ah	2	2	6	2	1
Controlador de Corriente 20A	1	1		1	1
Controlador de Corriente 30A			1		
Lámpara 12 Vdc 11 W		2			

## 4.3. Diseño del Subsistema de Protección Eléctrica

En las zonas rurales hay gran diversidad de fenómenos eléctricos de origen atmosférico que pueden afectar a la salud de las personas y al buen funcionamiento de los equipos electrónicos. Por ello, es necesaria la implementación de un sistema de protección eléctrica que garantice la seguridad de las personas y la funcionalidad de los equipos.

El sistema de protección eléctrica debe cumplir los siguientes objetivos:

- Protección y seguridad para la vida humana.
- Protección y seguridad en la operación electrónica.
- Continuidad de operación.
- Compatibilidad electromagnética (mínimos niveles de interferencia y contaminación entre equipos, aparatos, componentes, accesorios y seres humanos).

El principal problema que se presenta en zonas de selva (alta y baja) y en zonas de alta montaña es la caída de rayos. La descarga de rayos directos, los mismos que impactan en las cercanías o que caen sobre las líneas de suministro de energía que alimentan a los establecimientos, pueden producir efectos transitorios de alto voltaje y alta corriente. Las estaciones de radio son particularmente vulnerables a las descargas de rayos y transitorios, pues están situadas en lugares elevados para la mejor propagación de la señal.

Existe diversa normativa acerca de la protección eléctrica, destacando especialmente las siguientes normas:

- ITU, serie K Protection against interferences: En particular la norma ITU K.56, Protection of radio base stations against lightning discharges.
- IEEE 81, IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system.
- IEEE 81.2, IEEE guide to measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding systems.
- NFPA 780, Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.

Todo el planteamiento que se presenta a continuación está conforme a estas normativas. También se recomienda revisar las normativas nacionales.

# 4.3.1. Sistema Integral de Protección Eléctrica

No hay ninguna tecnología que por sí sola pueda eliminar el riesgo de los rayos y sus transitorios. Es necesario un sistema integral, que se encargue de:

- Capturar la descarga atmosférica.
- Derivar el rayo hacia tierra en forma segura.
- Disipar la energía a tierra.
- Proteger los equipos contra los efectos transitorios (sobrevoltajes y sobrecorrientes).

A continuación se describirá cada una de estas acciones.

## 4.3.1.1. Capturar la descarga atmosférica

Como se ha mencionado, el rayo es el principal y más peligroso de los fenómenos eléctricos transitorios que causa daños impredecibles en instalaciones eléctricas por la magnitud de las cargas que acumula. En general, el punto más vulnerable en una descarga directa del rayo se encuentra en la parte superior de una estructura. La torre metálica o las antenas que sobresalen de la estructura son las más susceptibles de recibir la descarga. La forma de capturar la descarga atmosférica es utilizando un pararrayos. Los hay de diversos tipos:

- Pararrayos ionizantes pasivos (ejemplo: puntas simple *Franklin*).
- Pararrayos ionizantes semiactivos (ejemplo: pararrayos de cebado).
- Pararrayos desionizantes pasivos (ejemplo: pararrayos con sistema de transferencia de carga).
- Pararrayos desionizantes activos.

Hasta el momento, y pese a su simplicidad, las prestaciones de los pararrayos ionizantes pasivos no han sido superadas por los otros modelos, técnicamente más sofisticados, por lo que siguen siendo los más usados.

## 4.3.1.2. Derivar el rayo hacia tierra en forma segura

Una vez que el rayo es capturado, es necesario trasladar la corriente de descarga sin peligro hacia tierra. La solución es emplear cables de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup>, que bajan aislados de la estructura de la torre mediante separadores laterales.

#### 4.3.1.3. Disipar la energía a tierra

Cuando la carga del rayo se transfiere repentinamente a tierra o a una estructura puesta a tierra, se neutraliza. La tierra es, así, el medio que disipa la energía eléctrica sin cambiar su potencial. La capacidad de la tierra de aceptar la energía depende de la resistencia del suelo en la localización particular donde la descarga del relámpago entra en la misma.

## 4.3.1.4. Proteger los equipos contra los transitorios de las líneas de comunicaciones

Cuando se produce una descarga eléctrica ocasionada por un rayo, se crean campos electromagnéticos que inducen corrientes en las superficies conductoras próximas. En el caso de los sistemas radiantes que se han diseñado, las corrientes se pueden generar en el cable coaxial y de esta forma dañar los equipos electrónicos. La solución es emplear protectores de línea, que van ubicados entre el cable coaxial y los equipos electrónicos del sistema de radio. Cuando el protector de línea detecta un cambio de voltaje importante, deriva la corriente a tierra, mediante uno de sus terminales que se encuentra conectado al sistema de puesta a tierra.

# 4.3.2. Recomendaciones para el Sistema Integral de Protección

En base a la normativa antes mencionada, se redactan las siguientes recomendaciones de protección eléctrica para satisfacer los requisitos antes descritos:

- 1. Sistema de prevención de descargas atmosféricas por medio de pararrayos tetrapuntal tipo *Franklin*: se ha escogido por ser la solución que mejor se adapta a las necesidades de estos lugares: el área a cubrir no es muy grande este tipo de pararrayos es más económico en comparación con los pararrayos de cebado y los no ionizantes.
- 2. Dos sistemas de puesta a tierra PAT: Sistema PAT del pararrayos y sistema PAT de comunicaciones unidos mediante un cable de cobre de baja resistencia (de 50 mm² por ejemplo). En el caso de los cerros, donde es sumamente difícil conseguir dos puestas a tierra de baja resistencia, se sugiere fabricar un único pozo a tierra que rodee a toda la instalación.
- Protector de línea: ubicado en el cable coaxial de la antena para proteger los equipos de comunicación ante la inducción de corrientes en el cable coaxial, producidas por descargas atmosféricas.

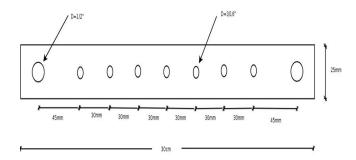


Figura 4.13: Barra máster.

4. Barra máster: barra de cobre que sirve para poner al mismo potencial los equipos de comunicación, energía y sistema PAT de comunicaciones. Un ejemplo de este dispositivo se presenta en la Figura 4.13

# 4.3.3. Consideraciones para la instalación

Otras consideraciones a tener en cuenta a la hora de realizar la instalación son:

- Aislar la punta pararrayos *Franklin* de la estructura mediante una base aislante entre la estructura de la torre y el pararrayos.
- Aislar el cable de bajada del pararrayos de la estructura de la torre mediante separadores laterales y aisladores de carrete como se muestra en la 4.14.
- Emplear soldadura exotérmica para asegurar un buen contacto entre los cables de puesta a tierra y el pozo de puesta a tierra. Como ejemplo observar la Figura 4.15
- Instalar la barra máster lo más próxima posible a los equipos de comunicaciones y cómputo. A esta barra deben estar conectadas las tomas de tierra del inversor, el chasis de la CPU y el terminal del protector de línea. Además, esta barra debe estar conectada al sistema de puesta a tierra de comunicaciones.
- Los cables que van conectados a la barra máster deben ser aislados para evitar falso contacto con las estructuras que se encuentran alrededor.



Figura 4.14: Vista del cable de bajada del pararrayos aislado de la estructura.



Figura 4.15: Molde para la aplicación de soldadura exotérmica entre el fleje y el cable de cobre.

■ La separación entre los sistemas de puesta a tierra debe ser de, por lo menos, 6 metros (cuanto mas separados, mejor).

# 4.3.4. Sistemas de puesta a tierra

El procedimiento de diseño de un pozo horizontal consiste en:

- Decidir la resistencia deseada del pozo. Por lo general, para sistemas de comunicación se recomiendan resistencias de puesta a tierra por debajo de  $10\Omega$ .
- Medir la resistividad del terreno mediante el uso de un telurómetro y la fórmula de *Wenner*.
- Determinar las dimensiones requeridas del pozo en base a la fórmula de *C.L. Hallmark*.

A continuación se explican detalladamente cada uno de estos pasos.

#### 4.3.4.1. Medición de la resistividad del terreno

Para calcular la instalación de puesta a tierra, es importante conocer la resistividad media del terreno. El método usual de medición es el conocido como *Wenner*. En este método, como se describe en la Figura 4.16 y en la siguiente fórmula, es necesario precisar la distancia entre sondas y la profundidad del terreno alcanzada por las mismas. El telurómetro determina el valor R (en  $\Omega$ , que sustituido en la fórmula de *Wenner* nos da la resistividad del terreno para la profundidad alcanzada por las sondas.

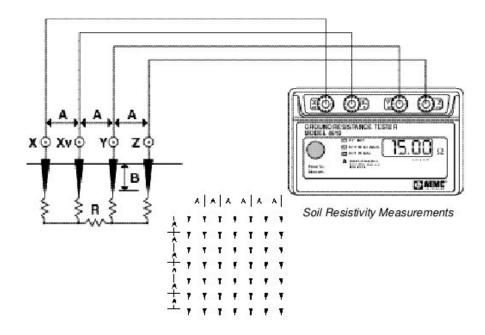


Figura 4.16: Medición de la resistividad del suelo..

Fórmula de Wenner:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}} \tag{4.5}$$

Si A>20B, entonces se aplica la fórmula simplificada de *Wenner*:

$$\rho = 2\pi AR \tag{4.6}$$

donde:

 $\rho$  = resistividad del suelo ( $\Omega \cdot m$ )

A = distancia entre electrodos (m)

B = profundidad del electrodo (m)

R = resistencia medida con el Telurómetro  $(\Omega)$ 

# 4.3.5. Dimensionamiento de pozo a tierra horizontal

La Figura 4.17 presenta el diagrama y medidas para el dimensionado del pozo horizontal:

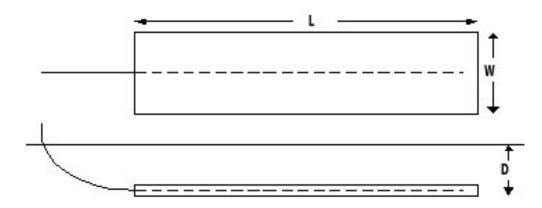


Figura 4.17: Diagrama de la disposición del pozo horizontal.

donde:

D = Profundidad del fleje (m)

W = Ancho de la zanja del pozo de puesta a tierra (m)

L = Longitud del fleje (m)

Cálculo de la resistencia del pozo

De acuerdo a C. L. Hallmark:

$$R_p = \frac{\rho}{2,73L} \cdot \log\{\frac{2L^2}{WD}\}\tag{4.7}$$

 $R_p$  = Resistencia del pozo  $(\Omega)$ 

 $\rho$  = resistividad del suelo ( $\Omega \cdot m$ )

Se varían las dimensiones del fleje (especialmente la longitud L) hasta conseguir la resistencia de pozo deseada. Típicamente el espesor del fleje es inferior a 1 mm, y el ancho es de 7 ú 8 cm. Si bien la bentonita y la sal (o cualquier otro producto comercial) contribuyen a reducir la resistividad del pozo, es preferible dimensionarlo sin contar con esa contribución. La Bentonita contribuye indirectamente a tener una baja resistencia, se encarga de mantener la humedad del pozo.

# 4.3.6. Materiales y cantidades a emplear

Material	Cantidad	Descripción
Pararrayos	1	Del tipo <i>Franklin</i> tetrapuntal.
Base aisladora del	1	Base aisladora con tuerca para el pararrayos,
pararrayos		ubicado entre el pararrayos
		y la estructura de la torre.
Separadores	(h/3)+1	Para separar el cable de cobre desnudo
laterales		1/0 AWG de la estructura de la torre.

Aislador de carrete (	(h/3)+1	Va insertado en el separador lateral. Sirve
		para aislarlo de la estructura de la torre.
Cable de cobre	n+6	Cable de cobre desnudo 1/0 AWG
		o de 50 mm <sup>2</sup> de sección.
	10	Para unir la estructura de la torre con el pozo
desnudo 8AWG		de comunicaciones.
Cable de cobre	20	Para unir el pozo de comunicaciones con la
aislado 8AWG		barra máster de comunicaciones.
Bentonita 2	20 kg	Se usan 20 kg de bentonita por cada m lineal
		de pozo a tierra (depende de la resistividad
		del terreno, la cantidad podría aumentar
		si las longitudes de los pozos son mayores).
Fleje de cobre	20	Se necesitan 2 flejes de 10 metros cada uno,
0.8mm x 7cm.		para cada PAT.
Saco de sal, 50 kg.	2	Se usa 1 saco de sal por cada 10 m de fleje.
Soldadura 2	2	Empleado para la unir el cable de cobre al
exotérmica 65gr.		fleje de la PAT.
Molde para soldadura	1	Para unir cable de cobre 1/0 AWG
exotérmica.		con fleje de cobre.
Masilla para		Sirve para hacer un buen soldado y evitar.
soldadura		fugas de oxígeno durante la operación de
exotérmica.		soldado.
Barra máster de	1	Barra de cobre electrolítico de gran pureza.
25x5x300mm		
Cable GPT 12	10	Para conectar los terminales de puesta a tierra
AWG verde		de los equipos de comunicaciones y energía a
		la barra máster.
Protector de línea.	1	Preferentemente de tipo "látigo de cuarto de
		onda".
Terminales tipo "0"	3	Para conectar los cables de puesta a tierra a la
		barra máster. El diámetro debe ser
		ligeramente mayor a 3/16'.
Tornillos de 3/16" de 3	3	Tonillos de bronce para fijar los terminales de
diámetro x 1/2".		puesta a tierra a la barra máster.
Aislador para barra	2	Para aislar y montar la barra máster en la
máster.		pared.

# 4.4. Diseño del subsistema de Infraestructura

En esta sección se describen las características generales de las torres y los pasos a seguir en el proceso de montaje de las mismas. Asimismo se detalla el proceso de instalación del pararrayos.

# 4.4.1. Especificaciones de Montaje

Para el montaje de cada una de las torres se deben tener en cuenta las siguientes especificaciones de montaje:

- 1. Los tramos de torre están fijados con pernos y su correspondiente tuerca (6 a 9 por unión). Se debe respetar siempre la elección de dos tramos blancos y dos rojos colocados sucesivamente.
- 2. Los vientos se fijan y se tensan cada dos tramos, para las torres menores de 45 m, y cada tres tramos para las torres mayores o iguales a 45 m. Estos vientos se fijan y tensan adecuadamente antes de instalar los siguientes tramos.
- 3. La fijación de vientos en el extremo superior se realiza con grilletes de 1/2", insertados en el tubo del tramo, al que se le introduce un guardacabo para proteger el cable de retenida. El cable está fijado con tres grapas por unión separadas entre sí 20 mm, y comenzando a 15 mm del guardacabo. El cable restante se deshilacha completamente, comenzando a enrollar el primero de ellos 25 mm y se corta, de ahí el segundo otros 25 mm, de ahí el tercero, hasta el séptimo. Ver Figura 4.18.



Figura 4.18: Disposición de las grapas en los cables de retenida.

- 4. La fijación de vientos en el extremo inferior se realiza con grilletes de 3/8", introducidos en los agujeros de la base de templadores (el agujero más cercano a la torre para el primer viento). Unido al grillete está el templador, al cual por el otro extremo se le introduce el guardacabo. Se realiza la unión con el cable de retenida con las tres grapas y se enredan los 185 mm restantes igual que se detalla en el punto anterior.
- 5. El tensado de los vientos es el mínimo, pero suficiente, para mantener templados los cables de retenida.
- 6. Se debe tener bastante cuidado respecto a la verticalidad de las torre. Las desviaciones respecto a la vertical no deben ser mayores a los valores que se indican en la siguiente tabla:

Altura de las Torres	Desviación máxima respecto	
	a la vertical en la cima de la torre	
18m, 30m, 45m	2 centímetros	
54m, 60m 66m	2.5 centímetros	
72m, 90m	4 centímetros	

7. El soporte de pararrayos y luces de balizaje se coloca sobre el último tramo de cada torre, empernado como si se tratase de un tramo más. Sobre el extremo superior se ubica la punta del

pararrayos con su correspondiente aislador. Para la ubicación del cable de cobre conectado al pararrayos se debe tener en cuenta la ubicación y orientación de las antenas y paneles solares para que no interfieran.

- 8. Los aisladores para el cable del pararrayos están colocados cada 3 m.
- 9. Las antenas y accesorios han de colocarse según las especificaciones concretas de cada caso, teniendo en cuenta el balanceo de las cargas de la torre.

# 4.4.2. Pasos a seguir en la instalación

Para montar torres y accesorios, será necesario seguir los pasos que se enumeran a continuación:

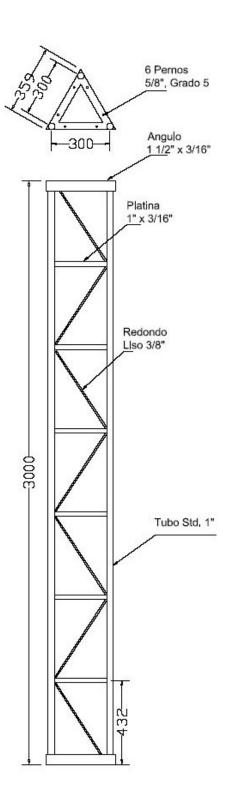
- 1. Preparar todo el material necesario para el montaje de la torre y ubicarlo cerca de la base, aunque no justamente debajo. Los materiales para los anclajes deben colocarse cerca de cada base de templadores.
- Preparar todas las herramientas necesarias para el montaje y sujetarlas en el cinturón de seguridad. Para mayor seguridad se recomienda amarrar cada herramienta al cinturón de seguridad mediante un cordel.
- 3. Colocar y empernar el primer tramo a la base de la torre.
- 4. Colocar y empernar el segundo tramo de la torre.
- 5. Medir la distancia entre el segundo tramo(o tercer tramo, según sea el caso) y las bases de templadores para cortar los tres tramos de cable.
- 6. Preparar los cables para efectuar correctamente la instalación del viento. Para ello se introduce el guardacabo en el grillete superior, se pasa el cable y se efectúa la fijación con las grapas según se detalla en el punto 3 del apartado anterior. En la parte inferior se procede a abrir un poco el guardacabo hasta introducirlo en la parte cerrada del templador, luego se cierra nuevamente, se pasa el cable y se fija según se ha indicado con anterioridad.
- 7. Una vez preparados los tres vientos, el operario se sujeta al segundo tramo e introduce los grilletes en los extremos de los tubos.
- 8. Una vez estén instalados los tres vientos se procederá al templado, de forma que los vientos queden tirantes, pero sin ejercer mucha tensión sobre la torre. El templado se debe realizar simultáneamente en los tres vientos.
- 9. Se procederá a medir la nivelación de la torre con plomada y nivel, corrigiendo las desviaciones mediante el re-ajuste de templadores.
- 10. Para subir el resto de tramos es necesario instalar una pluma con polea en el tercio superior del último tramo. El tramo de torre se amarra algo por encima de la mitad y se iza por encima del tramo instalado. El operario que está amarrado al último tramo, dirige el nuevo hasta embocarlo en los tres tubos. Una vez introducido se emperna adecuadamente. Se deben poner 2 tuercas por perno.

- 11. El operario sube hasta la mitad del nuevo tramo y sujeta la pluma. Se produce la elevación de otro nuevo tramo, el cual una vez introducido en el anterior, debe ser empernado adecuadamente. El operario, con la pluma aún en el anterior tramo, sube hasta el final del nuevo, para realizar la fijación de los vientos (que se habrán preparado con anterioridad) como se ha descrito más arriba.
- 12. Esta operación ha de repetirse hasta completar el último tramo de la torre. Una vez instalado y templado el último tramo, se deben colocar los accesorios de la línea de vida.
- 13. Una vez instalado y templado la línea de vida, se debe uso de esta para trabajar de manera más segura, luego han de colocarse los aisladores para el cable del pararrayos, instalados cada 3 m (1 por tramo).
- 14. Una vez que estén bien sujetos todos los aisladores se procederá a subir el cable del pararrayos, haciéndolo pasar por cada uno de los aisladores (es importante que anteriormente se haya estirado bien el cable para que no queden arrugas). Una vez que se ha llegado al final con el cable, se procede a subir el soporte de pararrayos, el cual ya vendrá con el aislador para la punta del pararrayos, y además con el tetrapuntal. Antes de embocarlo es necesario sujetar el cable al pararrayos. Posteriormente se introduce en el último tramo y se emperna adecuadamente.
- 15. Ha llegado el momento de subir y fijar las antenas según el plano previsto para cada instalación. Los accesorios se suben con la misma pluma utilizada en el montaje de la torre. Una vez instalada cada accesorio, se conecta y se protege la conexión con cinta autovulcanizante. Los cables se sujetaran a la torre con cintillos de PVC para intemperie.

## 4.4.3. Elementos de una torre

A continuación se presentaran algunos tipos de tramos de torre y accesorios para el montaje de torres. Todos los tramos respetan la medida estándar de 3 m. y están preparadas para soportar condiciones ambientales extremas.

## 4.4.3.1. Tramo torre tipo A



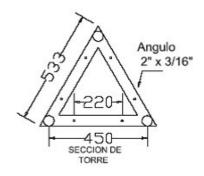
#### Características:

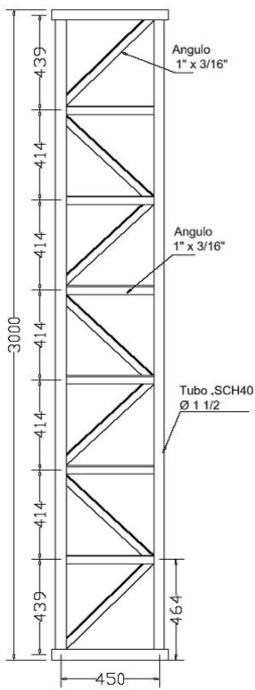
- Altura: 3 metros
- Sección: triangular
- Distancia entre centros: 300mm.
- Número de pasos por tramo: 7 pasos
- Unión entre tramos: mediante 6 pernos galvanizados de 5/8"x2.5", grado 5 (ASTM A325)
- Material base: acero ASTM A36
- Acabado: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550 gr/m2

# Cada tramo de torre de 30 m está constituido por los siguientes elementos:

- Tubo redondo estándar de  $\phi$ 1" (33.7mm de diámetro exterior y 2.9mm de espesor).
- Cartelas horizontales: platinas de 1"x3/16"
- Cartelas diagonales: redondo liso de  $\phi 3/8$ "
- Base (sup e inf): ángulo 1.5"x3/16"

## 4.4.3.2. Tramo torre tipo B





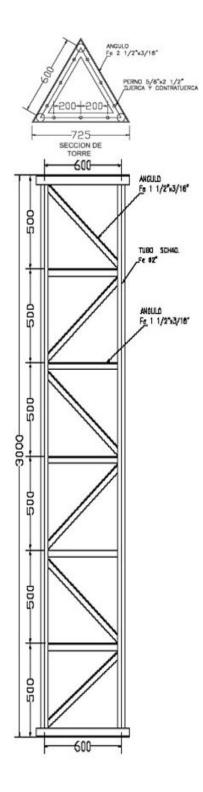
## **Características:**

- Altura: 3 metros
- Sección: triangular
- Distancia entre centros: 450mm.
- Número de pasos por tramo: 7 pasos
- Unión entre tramos: mediante 6 pernos galvanizados de 5/8"x2.5", grado 5 (ASTM A325)
- Material base: acero ASTM A36
- Acabado: galvanizado en caliente ASTM A 123,  $550 \text{ gr/m}^2$

# Cada tramo de torre de 30 metros está constituido por los siguientes elementos:

- Tubo redondo SCH40 de  $\phi$ 1.5" (48.3mm de diámetro exterior y 3.68mm de espesor).
- Cartelas horizontales: ángulo de 1" x 3/16"
- Cartelas diagonales: ángulo de 1" x 3/16"
- Base (superior e inferior): ángulo 2" x 3/16"

## 4.4.3.3. Tramo torre tipo C



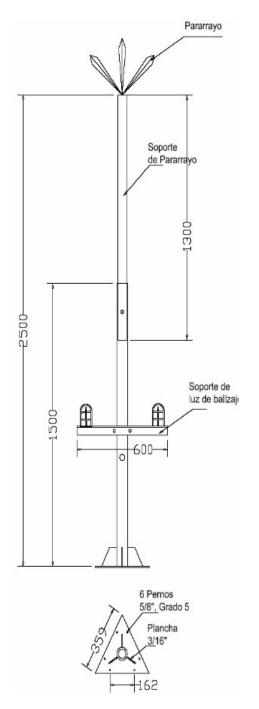
#### Características:

- Altura: 3 metros
- Sección: triangular
- Distancia entre centros: 600mm.
- Número de pasos por tramo: 6 pasos
- Unión entre tramos: mediante 9 pernos galvanizados de 5/8"x2.5", grado 5 (ASTM A325)
- Material base: acero ASTM A36
- Acabado: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550gr/m2

# Cada tramo de torre de 30 metros está constituido por los siguientes elementos:

- Tubo redondo SCH40 de  $\phi$ 2" (60.3mm de diámetro exterior y 3.91mm de espesor).
- Cartelas horizontales: ángulo de 1" x 3/16"
- Cartelas diagonales: ángulo de 1" x 3/16"
- Base (superior e inferior): ángulo 2" x 3/16".

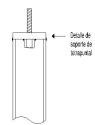
## 4.4.3.4. Soporte de pararrayos y balizaje para tramo tipo A



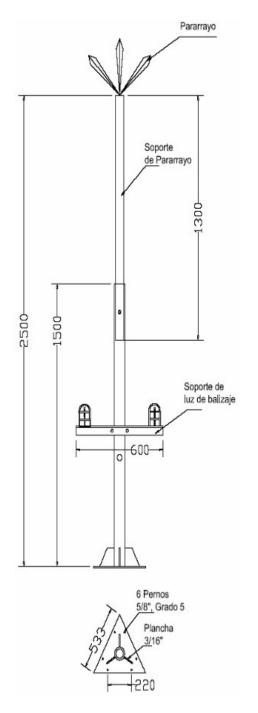
#### Compuesto por:

- Tubo inferior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.5" (serie liviano, de 48.3mm. de diámetro exterior y 2.65mm de espesor). 1.5 metros de longitud.
- Ángulo de 2"x3/16"x600mm para soporte de luces de balizaje (incluye abrazadera U-bolt para tubo de  $\phi$ 1.5").
- Plancha base triangular de 359mm. de lado, soldado a tubo inferior (reforzado con 4 cartelas fabricados a partir de plancha de 3/16"). Con 6 agujeros para perno de 5/8" (para unión de mástil de pararrayos a tramo final de torre de 30 metros.
- Tubo superior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.25" (serie liviano, de 42.4mm de diámetro exterior y 2.6mm de espesor). 1.3 m de longitud.
- Perno de embone de 0.5" galvanizado, para unión de tubo inferior y superior.
- Acabado general: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550gr/m2.

Nota: El extremo superior del tubo de 1.25" deberá contar con un eje roscado que permita alojar al aislador para el pararrayos tetrapuntal.



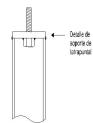
## 4.4.3.5. Soporte de pararrayos y balizaje para tramo tipo B



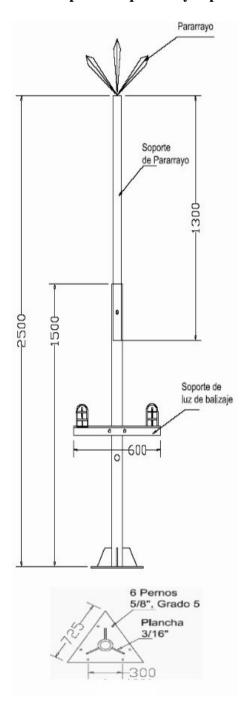
#### Compuesto por:

- Tubo inferior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.5" (serie liviano, de 48.3mm. de diámetro exterior y 2.65mm de espesor). 1.5 metros de longitud.
- Ángulo de 2"x3/16"x600mm para soporte de luces de balizaje (incluye abrazadera U-bolt para tubo de  $\phi$ 1.5").
- Plancha base triangular de 533mm de lado, soldado a tubo inferior (reforzado con 4 cartelas fabricados a partir de plancha de 3/16"). Con 6 agujeros para perno de 5/8" (para unión de mástil de pararrayos a tramo final de torre de 60 metros.
- Tubo superior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.25" (serie liviano, de 42.4mm. de diámetro exterior y 2.6mm de espesor). 1.3 m de longitud.
- Perno de embone de 0.5" galvanizado, para unión de tubo inferior y superior.
- Acabado general: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550 gr/m<sup>2</sup>.

Nota: El extremo superior del tubo de 1.25" deberá contar con un eje roscado que permita alojar al aislador para el pararrayos tetrapuntal.



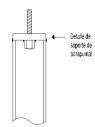
## 4.4.3.6. Soporte de pararrayos para tramo tipo C



## Compuesto por:

- Tubo inferior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.5" (serie liviano, de 48.3mm. de diámetro exterior y 2.65mm de espesor). 1.5 metros de longitud.
- Ángulo de 2"x3/16"x600mm para soporte de luces de balizaje (incluye abrazadera U-bolt para tubo de  $\phi$ 1.5")
- Plancha base triangular de 725mm de lado, soldado a tubo inferior (reforzado con 4 artelas fabricados a partir de plancha de 3/16"). Con 6 agujeros para perno de 5/8" (para unión de mástil de pararrayos a tramo final de torre de 90 metros.
- Tubo superior de acero ISO 65 de  $\phi$ 1.25" (serie liviano, de 42.4mm. de diámetro exterior y 2.6mm de espesor). 1.3 metros de longitud.
- Perno de embone de 0.5" galvanizado, para unión de tubo inferior y superior.
- Acabado general: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550 gr/m²

Nota: El extremo superior del tubo de 1.25" deberá contar con un eje roscado que permita alojar al aislador para el pararrayos tetrapuntal.



# 4.4.4. Plancha grillete para tramos de torre tipo A y B

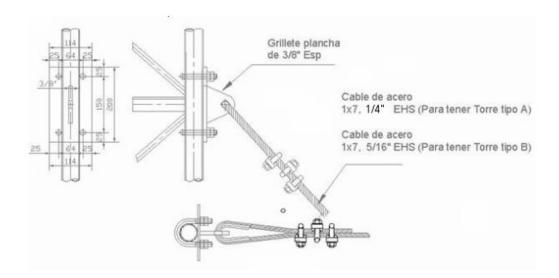
Características:

Fabricado a partir de plancha de 3/8".

Base de 114 x 200mm.

Agujeros para U-bolt: 14mm de diámetro.

Abrazaderas U bolt de 0.5" galvanizadas con doble tuerca (tuerca y contratuerca).



# 4.4.5. Plancha grillete para tramo de torre tipo C

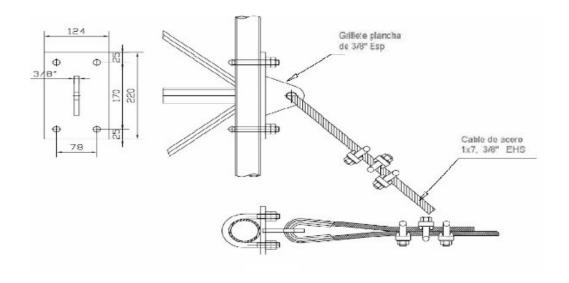
Características:

Fabricado a partir de plancha de 3/8".

Base de 124 x 220mm.

Agujeros para U-bolt: 14mm de diámetro.

Abrazaderas U bolt de 0.5" galvanizadas con doble tuerca (tuerca y contratuerca).

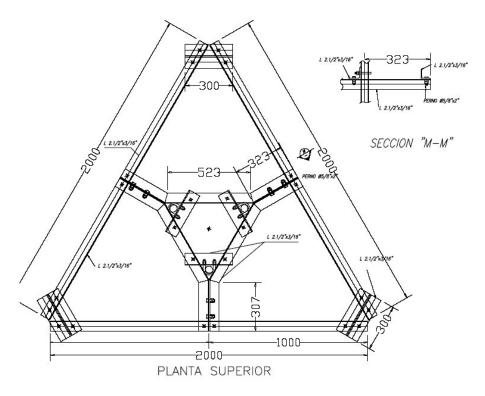


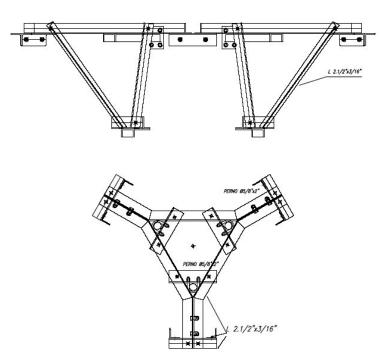
# 4.4.6. Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo B

Compuesto por:

Ángulos de 2.5" x 3/16".

Pernos de ensamble de 5/8" x 2".





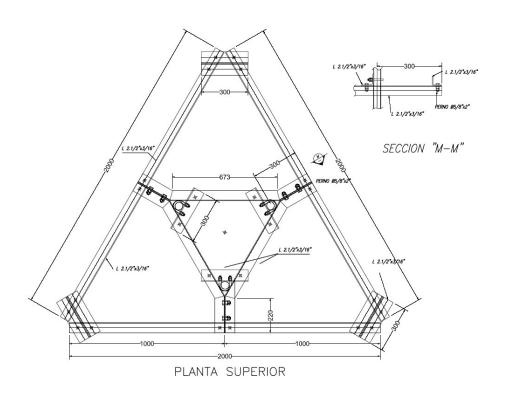
PLANTA INFERIOR ESTABILIZADOR

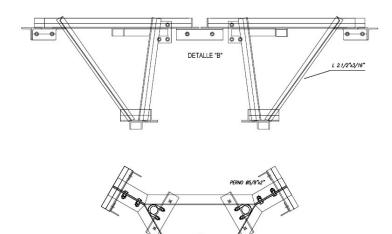
# 4.4.7. Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo C

Compuesto por:

Ángulos de 2.5" x 3/16".

Pernos de ensamble de 5/8" x 2".





PLANTA INFERIOR ESTABILIZADOR

# **4.4.8.** Grapas



Cantidades requeridas: 1250 grapas de 0.25" 1100 grapas de 5/16" 850 grapas de 3/8"

## 4.4.9. Guardacabos



Cantidades requeridas:

450 guardacabos de 0.25" 400 guardacabos de 5/16" 50 guardacabos de 3/8"

## **4.4.10.** Grilletes



Cantidades requeridas:

250 grilletes de 0.5" 300 grilletes de 5/8"

# 4.4.11. Templadores



Cantidades requeridas:

250 templadores de 0.5" x 8" 300 grilletes de 5/8" x 10"

# 4.4.12. Cable de acero 1x7, de 1/4" EHS



Cable de acero galvanizado tipo retenida de 7 hilos, torcido izquierdo.

Diámetro: 0.25" (6.4mm).

Peso aproximado: 0.181 kg/metro.

# 4.4.13. Cable de acero 1x7, de 5/16" EHS



Cable de acero galvanizado tipo retenida de 7 hilos, torcido izquierdo.

Diámetro: 5/16" (8mm).

Peso aproximado: 0.31 kg/metro.

# 4.4.14. Cable de acero 1x7, de 3/8" EHS

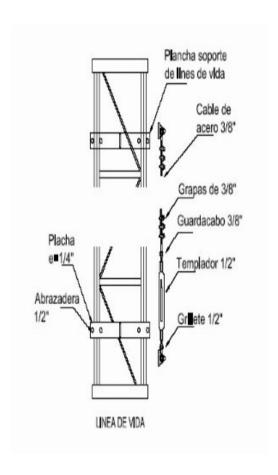


Cable de acero galvanizado tipo retenida de 7 hilos, torcido izquierdo.

Diámetro: 3/8" (9.5mm).

Peso aproximado: 0.41 kg/metro.

## 4.4.15. Línea de vida



# 4.4.16. Consideraciones de seguridad

La instalación de torres es una actividad arriesgada que debe ser realizada siempre por trabajadores especializados.

En este apartado se detallan las normas mínimas de seguridad necesarias para realizar la instalación de una torre ventada. Entre ellas se destacan las siguientes:

- 1. La torre no podrá ser instalada si hay fuerte viento, fuerte lluvia o tormenta eléctrica cercana.
- 2. Los operarios no se subirán a la torre bajo ningún concepto, sin cinturón de seguridad o correasa de seguridad.

- 3. Los templadores serán instalados cada dos tramos en la torre tipo A, y cada tres tramos en las torres tipo B y C, debidamente ajustados antes de instalar los tramos siguientes.
- 4. La instalación requiere de una pluma de al menos 2.5 metros de longitud, con una polea en la punta capaz de soportar hasta 300 Kg. y un adecuado sistema de sujeción.
- 5. Los torreros deben de estar apoyados por un grupo de operarios o ayudantes en tierra, los cuales deben ir siempre con un casco de protección.
- 6. Todos los operarios que participen en la instalación de la torre han de estar debidamente asegurados contra accidentes de trabajo.

# Gestión de Red

## 5.1. Introducción

Hoy en día, debido al rápido crecimiento de la tecnología y la expansión de esta misma, las redes de cómputo de organizaciones y empresas se vuelven cada vez más complejas y exigentes. Estas mismas redes soportan aplicaciones y servicios estratégicos necesarios para llevar a cabo una buena organización; por lo cual el análisis y monitoreo de redes se convierte en una necesidad imprescindible para llevar un orden teniendo una labor importante y de carácter pro-activo para la prevención de problemas.

En este punto un Sistema de Gestión de Red se convierte en algo de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento de las redes desplegadas durante la mayor cantidad de tiempo posible, pudiendo solucionar las posibles complicaciones que surjan con los equipos y la red instalada en el menor tiempo posible. Todas las redes que se van a instalar en algún momento van a presentar fallos y/o caídas, sin embargo, el uso de determinadas herramientas pueden ayudar a la correcta identificación de un fallo en el momento justo en que se produce, permitiendo de esta forma una rápida intervención para solucionar el problema detectado. Estas aplicaciones se denominan herramientas de gestión de red.

En el Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú resulta clave el empleo de un Sistema de Gestión de Redes para lograr una óptima administración, evaluación y monitorización de los parámetros mas importantes de los enlaces inalámbricos y de los equipos que componen sus Redes, con lo cual se permitirá asegurar su correcto funcionamiento, estabilidad a largo plazo y además un entendimiento de lo que pueda estar sucediendo en la Red por parte del personal a cargo, ayudando así a mejorar los servicios de Internet y telefonía que se ofrece a diferentes establecimiento de una localidad, principalmente Puestos de Salud, Comisarías, Municipalidad y Colegios.

El GTR PUCP se encuentra realizando proyectos en diversas zonas rurales de nuestro país tales como Iquitos (Programa EHAS), Cusco (Proyecto Willay Cusco) y Cajamarca (Proyecto Willay Cajamarca), en las cuáles nuestro sistema de Monitoreo ya se encuentra operando demostrando una alta eficiencia y una buena calidad en su trabajo de Gestión.

La tecnología que se utiliza en las redes es Wi-Fi, ya que es una tecnología de bajo costo, adecuadas para resolver los problemas de conectividad de las diferentes regiones en las que actúan los proyectos. Los principales componentes de estas redes son los enrutadores inalámbricos, pero el problema que se tenía era que de ninguno de estos equipos se conocía su estado, su desempeño, sus fallas, y no era posible realizar ninguna acción sobre ellos de una forma automatizada. Teniendo en cuenta el

objetivo que busca alcanzar el grupo y la ausencia de un sistema que permita monitorear y controlar las redes fue clara la necesidad de tener un sistema de gestión de red que permita saber si existe algún problema para resolverlo oportunamente, detectar su causa, tomar decisiones al respecto y realizar acciones sobre los equipos, y así lograr que la red opere adecuadamente la mayor parte del tiempo.

## **5.2.** Definiciones

Cuando se habla de gestión y monitoreo de redes de computadores se está haciendo referencia a dos conceptos diferentes; así, los sistemas de gestión y monitoreo de redes permiten controlar los recursos de hardware y software en una red a partir de monitoreos periódicos a los mismos.

Un sistema de gestión y monitoreo de redes está diseñado para ver la red entera como una arquitectura unificada con direcciones y etiquetas asignadas a cada punto y con atributos específicos en cada elemento y enlace del sistema conocidos.

Los sistemas de gestión y monitoreo de redes tienen un conjunto de elementos clave, tales como:

- Estación de Gestión o Gestor.
- Agente.
- Base de Datos de Información.
- Protocolo de Gestión de Red.

## 5.2.1. Sistemas de Gestión

Un sistema de gestión define el control de los recursos en una red con el fin de evitar que esta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones.

Para conseguir una total comprensión de un Sistema de Gestión de Red, hay que tener en claro los diferentes actores que participan en el mismo, así como sus funciones. Los actores principales son el "cliente" o "sistema gestor" y el "agente" o "elemento gestionado"

El agente es el encargado de recolectar la información que se le pide y, en casos específicos, modificar los parámetros indicados. Mientras que el cliente, por su lado, es el que le pide al agente el valor o la modificación de los parámetros que desea y al que el agente le devuelve los valores recolectados. A continuación se detalla la estructura del Sistema de Gestión de Red:

Estructura del Sistema:

- Estaciones de Gestión (cliente o sistema gestor), encargadas de ejecutar el software de gestión, proporcionando incluso acceso remoto a sus funciones.
- Estaciones de recolección de datos (agente o elemento gestionado), que se distribuyen por todo el entorno, y como se ha comentado anteriormente se encarga de la recogida local de datos
- 1.Sondas SNMP
- 2.Sondas RMOM

Uno de los protocolos de gestión más universales y utilizados para conseguir la comunicación entre dos actores principales es el protocolo SNMP. Además un sistema de gestión de red se compone también de una serie de herramientas software (como: MRTG, RRDTools, Cacti, Nagios, entre otros) que ayudan al administrador a gestionar una red de datos.

Estas herramientas suelen incluir:

- Descubrimiento automático de la topología de la red
- Herramientas de diagnóstico de la red
- Herramientas de seguridad
- Diagnóstico de problemas
- Monitorización de la red
- Gestión de MIBs
- Gestión de direcciones de red
- Interfaz Gráfica

## 5.2.2. Sistemas de Monitoreo

Un sistema de monitoreo o comúnmente llamado Herramientas de Gestión define un proceso continuo de recolección y análisis de datos con el fin de anticipar problemas en la red.

Un nombre más correcto para estas herramientas de Gestión serían consolas de gestión, ya que será la interfaz con los usuarios finales. A la hora de conseguir una buena gestión no sólo es necesario el intercambio de valores entre un agente y un cliente sino el uso que se haga de estos valores.

Gracias a las herramientas de gestión pueden utilizarse los datos que se obtienen de los sistemas gestionados para poder analizarlos y hacer una gestión de una forma más fácil, más integral, más dinámica y con más opciones, ya que pueden incluirse todos los enlaces y dispositivos. Hay otra categoría de software que da un paso mas allá en la tarea de gestión de redes, ofreciendo una solución completa tanto para monitorizar como para configurar toda la red. Este tipo de solución permite obtener una compleja representación gráfica de la red y ojear fácilmente los nodos que la componen, verificando detalles de configuración específicos y otras cuestiones de interés.

A este nivel podemos hablar de dos soluciones comerciales ampliamente utilizadas (no contempladas en nuestra evaluación como Herramienta de Gestión con software libre): "HP-Open View" de Hewlett Packard y "SunNet Manager" de Sun. Estas herramientas ofrecen una plataforma integrada para la gestión de los recursos de red, a través de impresionantes interfaces gráficos. Los dos inconvenientes fundamentales de estos productos es que son comerciales y no están disponibles para Linux.

# 5.3. Sistema de Gestión de Red (SGR)

Un Sistema de Gestión de Red permite mejorar la eficiencia en la monitorización de la red, además de tener información acerca de ella de manera más comprensible y didáctica, controlando sus recursos y funciones, todo esto con el fin de evitar que esta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus

prestaciones, proporcionando información completa y objetiva en tiempo real. Usarla nos permite comprender fácilmente la infraestructura de una red gracias a los gráficos y representaciones de la información recopilada que nos ofrece, logrando elaborar reportes diarios, semanales y mensuales del funcionamiento de la Red. Para conseguir una total comprensión de un SGR, hay que tener en claro los diferentes actores que participan en el mismo así como sus aspectos más importantes. El modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización) clasifica las tareas de los sistemas de gestión en cinco áreas funcionales:

- Gestión de configuración.
- Gestión de rendimiento.
- Gestión de contabilidad.
- Gestión de fallos.
- Gestión de seguridad.

Los actores principales de un SGR son el cliente o sistema gestor y el agente o elemento gestionado. El agente es el encargado de recolectar la información que se le pide y, en casos específicos, modificar los parámetros indicados. Mientras que el cliente, por su lado, es el que le pide al agente el valor o la modificación de los parámetros que desea y al que el agente le devuelve los valores recolectados.

# 5.3.1. Modelo de gestión ISO (Organización Internacional para la Estandarización)

La ISO es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones. La tarea del administrador de una red empresarial será evaluar la plataforma de gestión a utilizar en cuanto a la medida en que dicha plataforma resuelva la problemática de gestión en cada una de las siguientes áreas:

## 5.3.1.1. Gestión de configuración

El objetivo de la gestión de configuración es obtener datos de la red y utilizarlos para incorporar, mantener y retirar los distintos componentes y recursos a integrar. Consiste en la realización de tres tareas fundamentales:

- Recolección automatizada de datos sobre el inventario y estado de la red, tales como versiones de software y hardware de los distintos componentes.
- Cambio en la configuración de los recursos.
- Almacenamiento de los datos de configuración.

#### 5.3.1.2. Gestión de rendimiento

La gestión de prestaciones o del rendimiento tiene como objetivo principal el mantenimiento del nivel de servicio que la red ofrece a sus usuarios, asegurándose de que está operando de manera eficiente en todo momento. La gestión de prestaciones se basa en cuatro tareas:

- Recogida de datos o variables indicadoras de rendimiento, tales como el troughput de la red, los tiempos de respuesta o latencia, la utilización de la línea, etc.
- Análisis de los datos para determinar los niveles normales de rendimiento.
- Establecimiento de umbrales, como indicadores que fijan los niveles mínimos de rendimiento que pueden ser tolerados.
- Determinación de un sistema de procesado periódico de los datos de prestación de los distintos equipos, para su estudio continuado.

#### 5.3.1.3. Gestión de contabilidad

La gestión de contabilidad tiene como misión la medida de parámetros de utilización de la red que permitan a su explotador preparar las correspondientes facturas a sus clientes. Entre las tareas que se deben realizar en esta área, están:

- Recolección de datos sobre la utilización de los recursos.
- Establecimiento de cuotas.
- Cobro a los usuarios con las tarifas derivadas de la utilización de los recursos.

#### 5.3.1.4. Gestión de fallos

La gestión de fallos tiene por objetivo fundamental la localización y recuperación de los problemas de la red. La gestión de problemas de red implica las siguientes tareas:

- Determinación de los síntomas del problema.
- Aislamiento del fallo.
- Resolución del fallo.
- Comprobación de la validez de la solución en todos los subsistemas importantes de la red.
- Almacenamiento de la detección y resolución del problema.

## 5.3.1.5. Gestión de seguridad

La misión de la gestión de seguridad es ofrecer mecanismos que faciliten el mantenimiento de políticas de seguridad (orientadas a la protección contra ataques de intrusos). Entre las funciones realizadas por los sistemas de gestión de seguridad, están:

Identificación de recursos sensibles en la red, tales como ficheros o dispositivos de comunicaciones.

- Determinación de las relaciones entre los recursos sensibles de la red y los grupos de usuarios.
- Monitorización de los puntos de acceso a los recursos sensibles de red.
- Almacenamiento de los intentos de acceso no autorizados a estos recursos, para su posterior análisis.

## 5.3.2. Componentes de un Sistema de Gestión de Red

Como se había mencionado antes, debemos de tener en cuenta los diferentes actores que participan en un Sistema de Gestión de Red, teniéndose un conjunto de elementos clave, tales como:

- Estación de Gestión o Gestor.
- Agente.
- Base de Datos de Información.
- Protocolo de Gestión de Red.

La Estación de Gestión o NMS (Network Monitoring System – Sistema de Monitoreo de Red) sirve como interfaz entre el Administrador de red y el sistema de gestión de red desencadenando acciones necesarias para llevar ha cabo las tareas que se crean necesarias, cuenta con una base de datos de información que se obtiene extrayéndola de las bases de datos de todas las entidades gestionadas en la red, es decir; es el encargado de pedir la información que el administrador necesita a los demás puntos de la Red.

**El Agente** responde a las solicitudes de acción desde la estación de gestión y puede de una forma asíncrona, proporcionar a la estación de gestión información importante y no solicitada. Es un modulo del software de gestión de red que reside en los dispositivos gestionados.

La Base de Datos de Información gestiona los recursos de red, estos se presentan como objetos, la colección de objetos se conoce como MIB (Management Information Base – Base de Información de Gestión).

El Protocolo de Gestión de Red hace que la Estación de Gestión y el Agente se encuentren enlazados por el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol – Protocolo de Gestión de Red Simple)

En relación con el tamaño de la red a monitorear, hay básicamente dos esquemas de gestión de red: centralizado y descentralizado.

En un esquema centralizado hay una única Estación de Gestión desde la que se lleva a cabo el control de los recursos de la red, este esquema es especialmente útil para redes LAN (Local Área Network – Red de Área Local).

En un esquema descentralizado pueden haber múltiples estaciones de gestión de nivel más alto, que se podrían denominar servidores de gestión. Cada uno de estos podría gestionar directamente una parte del conjunto total de agentes. Este tipo de arquitectura es muy usado en redes WAN (Wide Área Network – Red de Área Amplia).

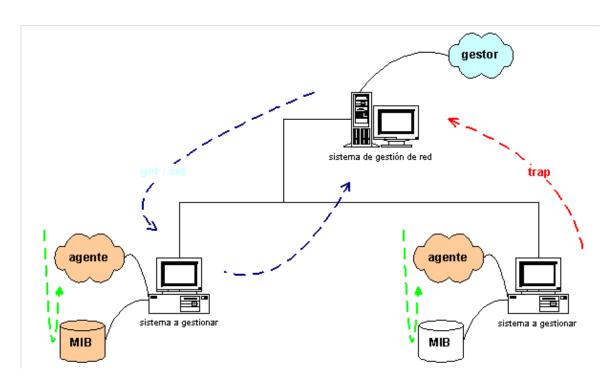


Figura 5.1: Esquema de una red gestionada con SNMP.

#### 5.3.3. Protocolo SNMP

El Protocolo Simple de Administración de Red o SNMP es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Este protocolo es parte del conjunto de protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) y, por su amplia utilización en redes empresariales, es considerado el estándar de facto en detrimento del protocolo CMIP (Common Management Information Protocol) de la familia de protocolos OSI (Open Systems Interconnection), más utilizado en las grandes redes de las operadoras de telecomunicación. Permitiendo a los administradores gestionar el rendimiento y funcionamiento de la red, encontrar y solucionar problemas, y planificar el crecimiento futuro de la red. Si bien SNMP se diseñó, en un principio, con el propósito de hacer posible supervisar de forma sencilla y resolver problemas, en routers y bridges; con su ampliación, este protocolo puede ser utilizado para supervisar y controlar: routers, switches, bridges, hubs, servidores y estaciones Windows y Unix, servidores de windows, etc. En la actualidad existen 3 versiones de SNMP, siendo la más utilizada la versión versión 2 (SNMPv2). SNMP en su última versión (SNMPv3) posee cambios significativos con relación a sus predecesores, sobre todo en aspectos de seguridad, sin embargo no ha sido mayoritariamente aceptado en la industria.

**SNMPv1** constituye la primera definición e implementación del protocolo SNMP, estando descrito en las RFC 1155, 1157 y 1212 del IETF (Internet Engineering Task Force). El vertiginoso crecimiento de SNMP desde su aparición en 1988, puso pronto en evidencia sus debilidades, principalmente su imposibilidad de especificar de una forma sencilla la transferencia de grandes bloques de datos y la ausencia de mecanismos de seguridad; debilidades que tratarían de ser subsanadas en las posteriores definiciones del protocolo.

SNMPv2 apareció en 1993, estando definido en las RFC 1441-1452. SNMPv1 y SNMPv2 tienen

muchas características en común, siendo la principal mejora la introducción de tres nuevas operaciones de protocolo: GetBulk para que el gestor recupere de una forma eficiente grandes bloques de datos, tales como las columnas de una tabla; Inform para que un agente envíe información espontánea al gestor y reciba una confirmación; y Report para que el agente envíe de forma espontánea excepciones y errores de protocolo. SNMPv2 también incorpora un conjunto mayor de códigos de error y más colecciones de datos. En 1995 apareció una revisión de SNMPv2, denominada SNMPv2c y descrita en las RFC 1901-1910, añadiendo como mejoras una configuración más sencilla y una mayor modularidad; pero manteniendo el sencillo e inseguro mecanismo de autentificación de SNMPv1 y SNMPv2 basado en la correspondencia del denominado nombre de comunidad.

**SNMPv3** refuerza las prestaciones de seguridad, incluyendo autentificación, privacidad y control de acceso; y de administración de protocolo, con una mayor modularidad y la posibilidad de configuración remota. SNMPv3 apareció en 1997, estando descrito en las RFC 1902-1908 y 2271-2275. Cabe destacar que SNMPv3 no se trata de un estándar que reemplaza a SNMPv1 y/o SNMPv2, sino que define una serie de capacidades adicionales de seguridad y administración a ser utilizadas en conjunción con SNMPv2 (preferiblemente) o SNMPv1. Estas mejoras harán que SNMP se constituya en un protocolo de gestión susceptible de ser utilizado con altas prestaciones en todo tipo de redes, desplazando a medio plazo a CMIP como estándar de gestión de las grandes redes de las operadoras de telecomunicación.

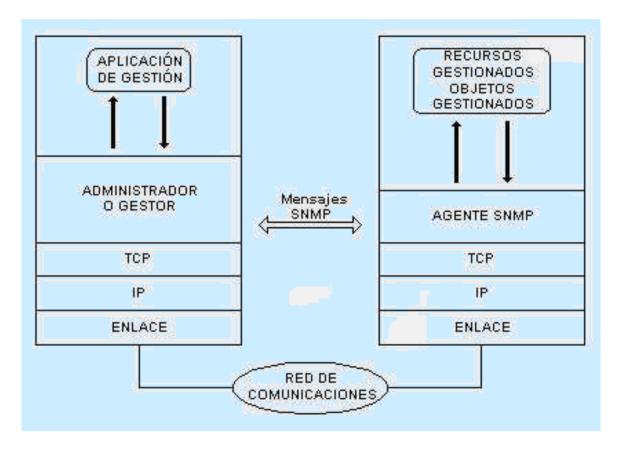


Figura 5.2: Red de Comunicaciones - SNMP.

#### 5.3.3.1. Componentes básicos de SNMP

Los componentes básicos de una red gestionada con SNMP, son: los agentes, componentes software que se ejecutan en los dispositivos a gestionar; y los gestores, componentes software que se ejecutan en los sistemas de gestión de red. Un sistema puede operar exclusivamente como gestor o como agente, o bien puede desempeñar ambas funciones simultáneamente. Por consiguiente, el protocolo SNMP tiene una arquitectura cliente servidor distribuida.

La parte servidora de SNMP consiste en un software SNMP gestor, responsable del sondeo de los agentes SNMP para la obtención de información específica y del envío de peticiones a dichos agentes solicitando la modificación de un determinado valor relativo a su configuración. Es decir, son los elementos del sistema de gestión ubicados en la plataforma de gestión centralizada de red, que interaccionan con los operadores humanos y desencadenan las acciones necesarias para llevar a cabo las tareas por ellos invocadas o programadas.

La parte cliente de SNMP consiste en un software SNMP agente y una base de datos con información de gestión o MIB. Los agentes SNMP reciben peticiones y reportan información a los gestores SNMP para la comunidad a la que pertenecen; siendo una comunidad, un dominio administrativo de agentes y gestores SNMP. Es decir, son los elementos del sistema de gestión ubicados en cada uno de los dispositivos a gestionar, e invocados por el gestor de la red.

El principio de funcionamiento reside en el intercambio de información de gestión entre nodos gestores y nodos gestionados. Los agentes mantienen en cada dispositivo gestionado información acerca de su estado y su configuración. El gestor pide al agente, a través del protocolo SNMP, que realice determinadas operaciones con estos datos de gestión, gracias a las cuales podrá conocer el estado del recurso y podrá influir en su comportamiento. Cuando se produce alguna situación anómala en un recurso gestionado, los agentes, sin necesidad de ser invocados por el gestor, emiten los denominados eventos o notificaciones que son enviados a un gestor para que el sistema de gestión pueda actuar en consecuencia.

El gestor SNMP puede lanzar cualquiera de estos cuatro comandos sobre un agente SNMP:

- **Get.** Una petición por el valor específico de un objeto en la MIB del agente. Este comando es utilizado por el gestor para monitorizar los dispositivos a gestionar.
- **Get next.** Una petición por un valor en el siguiente objeto en la MIB del agente. Este comando es utilizado para obtener cada valor sucesivo en un subconjunto o rama de la MIB.
- Get Response. Es la respuesta del Agente a la petición de información lanzada por el Administrador.
- Set. Utilizado para cambiar el valor de un objeto en la MIB de un agente, en el caso de que el objeto tenga habilitada la lectura y escritura de su valor. Debido a la limitada seguridad de SNMP, la mayoría de los objetos de la MIB sólo tienen acceso de lectura. Este comando es utilizado por el gestor para controlar los dispositivos a gestionar.

Por otro lado, un agente SNMP podría también mandar un mensaje a un gestor SNMP sin el envío previo de una solicitud por parte de éste. Este tipo de mensaje es conocido como Trap. Los Traps son generalmente enviados para reportar eventos, como por ejemplo el fallo repentino de una tarjeta del dispositivo gestionado.

El protocolo SNMP debe tener en cuenta y ajustar posibles incompatibilidades entre los dispositivos a gestionar. Los diferentes ordenadores utilizan distintas técnicas de representación de los datos, lo cual puede comprometer la habilidad de SNMP para intercambiar información entre los dispositivos a gestionar. Para evitar este problema, SNMP utiliza un subconjunto de ASN.1 (Abstract Syntax Notation One) en la comunicación entre los diversos sistemas.

La principal ventaja de SNMP para los programadores de herramientas de gestión de red, es su sencillez frente a la complejidad inherente a CMIP (Protocolo de administración de información común) aunque CMIP resuelve la mayor parte de las limitaciones de SNMP, su mayor limitación es el consumo de mayores recursos (alrededor de 10 veces más que SNMP), por lo cual es poco utilizado en las redes de telecomunicación empresariales.

SNMP es un protocolo que consume un considerable ancho de banda, lo cual limita su utilización en entornos de red muy extendidos pero su limitación más importante es que carece de autentificación, lo cual supone una alta vulnerabilidad a varias cuestiones de seguridad, como por ejemplo: modificación de información, alteración de la secuencia de mensajes, enmascaramiento de la entidad emisora, etc. En su versión original, cada gestor y agente es configurado con un nombre de comunidad, que es una cadena de texto plano. Los nombres de comunidad, enviados junto a cada comando lanzado por el gestor, sirven como un débil mecanismo de autentificación, debido a que el mensaje no está cifrado, es muy sencillo que un intruso determine cual es dicho nombre capturando los mensajes enviados a través de la red. Cuando un agente SNMP captura una petición SNMP, primero comprueba que la petición que le llega es para la comunidad a la cual pertenece.

#### 5.3.3.2. MIB (Base de Información de Administración)

Una MIB es una base de datos jerárquica de objetos y sus valores, almacenados en un agente SN-MP. Es un tipo de base de datos que contiene información jerárquica, estructurada en forma de árbol, de todos los dispositivos gestionados en una red de comunicaciones, definiendo las variables usadas por el protocolo SNMP para supervisar y controlar los componentes de una red. Está compuesta por una serie de objetos que representan los dispositivos (como enrutadores y conmutadores) en la red. Cada MIB individual es un subárbol de la estructura total de MIB definida por la ISO (International Standards Organization). La RFC 1156, llamada MIB-I, especifica ciertas informaciones de primer nivel. La RFC 1158, llamada MIB-II, es más exhaustiva. Sin embargo, como estas especificaciones no permiten describir, con la precisión requerida, todo tipo de agentes, los fabricantes de hardware y programadores de software están desarrollando MIB propietarias. De esta forma, una organización puede tener autoridad sobre los objetos y ramas de una MIB.

#### **5.3.3.2.1.** Tipos de nodos:

Existen dos tipos de nodos: estructurales y de información.

■ Los nodos estructurales sólo tienen descrita su posición en el árbol. Son "ramas". Por ejemplo:

```
ip OBJECT IDENTIFIER ::= { 1 3 6 1 2 1 4 }
```

■ Los nodos con información son nodos "hoja". De ellos no cuelga ningún otro nodo. Estos nodos están basados en la macro OBJECT TYPE, por ejemplo:

ipInReceives OBJECT TYPE
SYNTAX Counter
ACCESS read-only
STATUS mandatory
DESCRIPTION "texto descriptivo indicando para qué vale"
∷= { ip 3 }

Este fragmento ASN.1 nos indica que el objeto "ipInReceives" es un contador de sólo lectura que es obligatorio incorporar si se quiere ser compatible con la MIB-II (aunque luego no se utilice) y que cuelga del nodo ip con valor tres. Como antes hemos visto el nodo estructural "ip" con su valor absoluto, podemos ver que identificador de objeto de "ipInReceives" es "1.3.6.1.2.1.4.3".

#### **5.3.3.2.2.** Estructura:

La MIB-II se compone de los siguientes nodos estructurales:

- System: de este nodo cuelgan objetos que proporcionan información genérica del sistema gestionado. Por ejemplo, dónde se encuentra el sistema, quién lo administra...
- Interfaces: En este grupo está la información de los interfaces de red presentes en el sistema. Incorpora estadísticas de los eventos ocurridos en el mismo.
- At (address translation o traducción de direcciones): Este nodo es obsoleto, pero se mantiene para preservar la compatibilidad con la MIB-I. En él se almacenan las direcciones de nivel de enlace correspondientes a una dirección IP.
- Ip: En este grupo se almacena la información relativa a la capa IP, tanto de configuración como de estadísticas.
- Icmp: En este nodo se almacenan contadores de los paquetes ICMP entrantes y salientes.
- Tcp: En este grupo está la información relativa a la configuración, estadísticas y estado actual del protocolo TCP.
- Udp: En este nodo está la información relativa a la configuración, estadísticas del protocolo UDP.
- Egp: Aquí está agrupada la información relativa a la configuración y operación del protocolo EGP.
- Transmission: De este nodo cuelgan grupos referidos a las distintas tecnologías del nivel de enlace implementadas en las interfaces de red del sistema gestionado.

Generalmente, los objetos de la MIB son referenciados por un identificador. Por ejemplo, el objeto Cisco, se referencia por 1.3.6.1.4.1.9, o bien iso-identified-organization.dod.internet.private.Enterprise.Cisco.

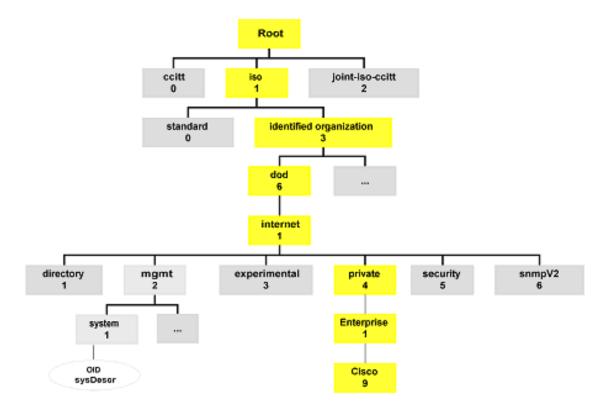


Figura 5.3: MIB Cisco.

## 5.3.4. Características de las Herramientas de Gestión

Se ha elegido Nagios debido a que, además de tener todas las funcionalidades ofertadas por las herramientas citadas anteriormente, ofrece algunas características adicionales, como por ejemplo: soporte para VoIP completa (Voz sobre IP), soporte de gestión de la calidad de voz y la configuración completa y mantenimiento de todos los componentes de una red a través de la introducción de las nuevas MIBs.

Las siguientes tablas mostrarán las propiedades y características de cada una de las herramientas de gestión mencionadas antes.

# 5.3.4.1. Características

	Nagios	OpenNMS	Zenoss
Detección de Nodos	Configuración de archivo para cada nodo	Configuración de archivo con in- clusión/exclusión de rangos	GUI, CLI y lotes de importación de texto o Archivo XML
Detección Automática	No	Si – nodos dentro de rangos n/w configurados	Si – Redes & Nodos
Detección de Interfaces	Posible a través de archivo de configuración	Si	Si
Detección de nodos que no responden al Ping	Si – usa el plugin check_ifstatus	Si – send_event.pl	Si – usa SNMP, ssh o telnet
Base de Datos SQL	mySQL	PostgreSQL	mySQL & Zope ZEO
Detección de Servicios (puerto)	Si – Usa plugin (TCP, UDP,)	Si	Si – TCP y UDP
Complementación de Aplicaciones	n Si – Definir Servicio	No sin agentes extras. Ejm: NRPE	Si – Con ssh, zenPacks o plugins
Soporta NRPE / NSClient	Si	Si	Posiblemente
Soporta SNMP	V1, 2 & 3	V1, 2 & 3	V1, 2 & 3

# 5.3.4.2. Gestión de Vigilancia

	Nagios	OpenNMS	Zenoss
Monitoreando el estado Ping	Si	Si	Si
Alternativas al estado Ping	Si – Cualquier Plugin. Ejm: check_ifstatus	Plugins del Nagios	Si –ssh, telnet, ZenPacks, Plugins del Nagios
Monitoreando Puertos	Si	Si	Si
Monitoreando Procesos	Si – con plugins	Plugins del Nagios	Si – usando MIB
Tecnología "Agente"	Por lo general se basa en sus Plugins desarrollados	SNMP; con plugins personalizados	SNMP, cliente ssh, WMI para Windows
Disponibilidad de Reportes	Si	Si	Si

## 5.3.4.3. Gestión de Problemas

	Nagios	OpenNMS	Zenoss
Consola de			
Eventos	No	Si	Si
Personalizable Configuración			
_	Si	Si	Si
dificultosa Configuración	0.		
Configuración	No	Flexible. Lotes	Flexible. Lotes
de eventos	INO	OOTB	OOTB
de eventos Manipulación	No	OOTB Flexible. Lotes	OOTB Flexible. Lotes
SNMP TRAP		OOTB	OOTB
Notificaciones	0:	Si, con	.:
email	Si	configuración	Si
Dependencias	Voo	No	No
equipo/servicio	Yes	INO	INO

## 5.3.4.4. Gestión de Rendimiento

	Nagios	OpenNMS	Zenoss
Recoger datos del rendimiento usando SNMP Recoger datos	No	Si	Si
del Rendimiento con otros métodos	No	NSClient, JMX, HTTP	Ssh. telnet, otros métodos con ZenPacks
Graficar obtención de Datos	Si	Si	Si
Compilador MIB	No	No	Si
Navegador MIB	No	No	No

# 5.3.5. Ventajas y Desventajas de las Herramientas de Gestión

# 5.3.5.1. Ventajas y Desventajas del Nagios

Ventajas	Desventajas
Es bueno, tiene un código estable para administración de sistemas	No tiene detección automática
Buena relación de eventos para servicios y equipos	Tiene una débil interfaz de gráficos
Comando para comprobar la validez de configuración archivos	Ninguna colección OOTB de datos de rendimiento
Comando para volver a cargar los ficheros de configuración sin	No hay manera fácil de recibir e
perturbar el funcionamiento de Nagios	interpretar SNMP TRAPs
Tiene una gran comunidad actualizándolo y complementándolo constantemente	Su configuración es a través de códigos
Buena documentación	No tiene Compilador o Navegador MIB

## 5.3.5.2. Ventajas y Desventajas del OpenNMS

Ventajas	Desventajas
Buena Funcionabilidad OOTB	Está escrito en Java.
Tiene un código Sólido	Ningún mapa (que funcione razonablemente)
La configuración estándar esta bien	Es difícil obtener el estado de demonios
organizado a través de xml	individuales
Único base de detec (Poetaro COL)	Problemas con el OpenNMS con el
Única base de datos (PostgreSQL)	cambio de algún archivo de registro
Capacidad para hacer algunas	Evento / alarma / notificación, su arquitectura
configuraciones a través de la web	es actualmente un lío (en revisión)
menú Admin Fácil importación de TRAPS MIBs	` '
	No hay forma de cambiar los colores de los
(mib2opennms)	acontecimientos
Apoyo disponible en el grupo	No tiene Compilador o Navegador
OpenNMS	MIB
	Difícil encontrar documentación
Soporta Plugins Nagios	detallada sobre su instalación y
	configuración.

# 5.3.5.3. Ventajas y Desventajas del Zenoss

Ventajas	Desventajas
Buena Funcionabilidad OOTB	No existe relación entre evento de servicio y equipo
Buena Arquitectura en función a la base de datos CMDB	No tiene Navegador MIB
Topología de mapa (hasta 4 saltos)	No hay forma de cambiar los colores de los acontecimientos
Muchos Plugins disponibles	de los acontecimientos Disponible en versión comercial
Notificaciones por correo electrónico	No existe documentación detallada sobre su instalación
Hay documentación para su uso y	
configuración	
Soporta plugins Nagios & Cacti	

6

# Sostenibilidad de Redes de Telecomunicaciones en Entornos Rurales y Aislados

Según se ha indicado en el capítulo 1 del presente libro, la carencia de servicios básicos en general y en particular de telecomunicaciones, es una característica específica de los entornos rurales de países en vías de desarrollo. En este contexto, todas las iniciativas para ampliar el acceso a redes de telecomunicaciones deben enfrentar el desafío que implica no solo cumplir exitosamente con los objetivos propuestos, sino también y tal vez más importante, mantener sus beneficios o prestaciones a través del tiempo para hacer sostenible el aporte realizado. Cabe señalar que, tanto para las iniciativas mencionadas como para el análisis posterior no se considera el caso de las instalaciones efectuadas por operadores de servicios, en el entendido que el carácter comercial de las mismas determina casi totalmente su viabilidad y/o permanencia. De acuerdo a lo anterior, la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones inalámbricas desplegadas en entornos rurales puede ser considerada un objetivo o un fin en si misma al interior de cada proyecto y su aseguramiento tiene una importancia que está en directa relación con la hostilidad del medio geográfico y el aislamiento del entorno socio cultural en el que se despliega.

Por otro lado, si bien es lógico plantear que la institución, comunidad o colectivo beneficiario tendría la responsabilidad, a futuro, de mantener operativa la red implementada, también es cierto que éste objetivo sólo podrá cumplirse en la medida en que dicha institución disponga de los recursos y conocimientos necesarios para ello. Este es uno de los aspectos fundamentales de la sostenibilidad, tan importante como la creación de un contexto favorable en el medio local; la existencia de una voluntad política para hacer cumplir los nuevos procesos y la identificación de una fuente permanente de financiamiento que garantice la ejecución de las actividades necesarias. El presente capítulo pretende ofrecer una visión global sobre la sostenibilidad de redes de telecomunicaciones inalámbricas implementadas en entornos rurales, evaluada desde la perspectiva ofrecida por la experiencia acumulada durante los mas de diez años de labor continua del GTR-PUCP en este campo.

## 6.1. Problemática

Para asegurar la sostenibilidad de redes de telecomunicaciones desplegadas en zonas rurales es necesario considerar una diversidad de aspectos y resolver, total o parcialmente en algunos casos, las dificultades que cada entorno específico presenta. Según lo anterior y teniendo en consideración que la problemática de la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones inalámbricas implementadas

en entornos rurales se enmarca en en un determinado contexto socio-cultural y económico propio de cada país y por tanto, es un tema bastante complejo, se plantea aquí un análisis que identifica cinco aspectos interrelacionados y complementarios entre si, como forma de comprender esta problemática. Estos aspectos son presentados a continuación:

#### 6.1.1. Aspecto Económico

La principal preocupación de la mayor parte de proyectos es la sostenibilidad económica de los servicios implementados o los resultados obtenidos. Sin embargo, existen ciertas limitaciones que obran contra la consecución de este objetivo, la principal de las cuales es, obviamente, la escasez de recursos que puedan ser asignados permanentemente al mantenimiento de las redes o soluciones, lo que depende directamente, entre otros aspectos, de la identidad de los beneficiarios. En el caso de instituciones públicas se hace necesario un proceso formal para considerar en su presupuesto futuro (año siguiente) los gastos estimados para el mantenimiento de la red (recursos humanos, actividades, repuestos, etc.), sin embargo, es muy probable que solo una parte del monto global pueda ser realmente asumido por esas entidades, teniendo en cuenta lo limitado de sus recursos. Este es un tema importante a considerar durante la formulación de de proyectos orientados a zonas rurales.

Cuando el beneficiario es una comunidad o alguna organización social, es particularmente crítico efectuar una previsión pues los fondos propios disponibles, en general, son escasos o inexistentes. Una poco frecuente posibilidad es que una organización de ayuda (ONG, dependencia de organismos de cooperación, organización local de largo aliento u otros) reciba y administre directamente la plataforma o red instalada, en cuyo caso se puede obtener una ventana de tiempo (variable) en la que el proyecto es económicamente viable, no obstante, esto no garantiza que la iniciativa se mantenga luego de finalizado el periodo indicado.

Una segunda e importante característica de los Proyectos de implementación de redes (que puede derivar en una debilidad si estas iniciativas no son adecuadamente formuladas) es su carácter transitorio, limitado en el tiempo, es decir, con un plazo de ejecución que puede ser extenso, pero finito. Así, las iniciativas privadas y de cooperación, son las encargadas de buscar los mejores métodos para prever, durante el periodo de ejecución de los proyectos, no solo que los sistemas instalados funcionen adecuadamente, sino establecer las relaciones necesarias y los mecanismos pertinentes que permitan la sostenibilidad de las actividades del proyecto para que sean llevadas a cabo por sus protagonistas, lo cual incluye velar por la seguridad económica del proyecto, es decir que se hayan previsto los fondos para una actividad de plazo indeterminado, incluyendo sus mecanismos de uso.

En esta situación, la alternativa de promover o permitir que una empresa privada (local, si es posible) administre la red y sus servicios resulta interesante de ser evaluada, aún cuando implicaría la implantación de un modelo de negocio que definiría precios asociados a estos servicios.

Finalmente, de cara al mantenimiento técnico de las redes, se pueden identificar dos escenarios como los mas comunes: la institución beneficiaria asume directamente las actividades requeridas o se delegan las mismas mediante la contratación de servicios a empresas especializadas.

En la experiencia del GTR-PUCP el beneficiario ha sido generalmente una institución pública como (el Ministerio de Salud (MINSA)) o Municipalidades provinciales y distritales. En estos casos siempre se han obtenido mejores resultados implicando a los gobiernos locales pero también a los regionales, en el entendido que las políticas de gasto y metas de desarrollo se originan principalmente en esas instancias.

6.1 Problemática

## 6.1.2. Aspecto Tecnológico

En este aspecto, la problemática se centra en la necesidad de implementar soluciones apropiadas al entorno sobre el que se está actuando, para zonas rurales, es comúnmente aceptado que la tecnología a emplear debe ser robusta, de fácil uso, de bajo costo de adquisición y también bajo costo de mantenimiento (bajos costos de reposición asociados a un funcionamiento relativamente autónomo) Además, es especialmente deseable que la tecnología empleada disponga de soporte en el ámbito local, tanto en el tema de repuestos como en el de servicios. Evidentemente, estos requerimientos reducen el espectro de posibles soluciones tecnológicas apropiadas y dificulta posibles iniciativas de expansión o réplica de la experiencia. Un aspecto adicional a tener en consideración, no necesariamente implícito en la definición de tecnología apropiada, es la pertinencia de la tecnología usada para la intervención desde el punto de vista de las reales necesidades percibidas por la población o institución beneficiaria. En este punto, es evidente que se requiere de un trabajo conjunto pues existirán necesidades no identificadas por los responsables de la iniciativa, así como existen probablemente necesidades que los usuarios reconocerán solo después de disponer de la tecnología, pero cuya existencia ya puede ser prevista por los formuladores.

Finalmente, hay que remarcar que la identificación de la tecnología apropiada es un proceso particular para cada proyecto o despliegue de tecnología, pues llegan a existir considerables difrencias entre las distintas zonas calificadas como entornos rurales, tanto en el aspecto geográfico (definitivamente no es lo mismo desplegar una red en zona montañosa que en selva tropical) como en relación a las características de los grupos humanos e instituciones implicadas.

## **6.1.3.** Aspecto Social y Organizativo

Según se ha mencionado, las características del grupo o institución beneficiaria en los aspectos social y organizativo son variables importantes a tener en cuenta en cualquier análisis de viabilidad de iniciativas o proyectos en tecnologías de la información y la comunicación (TIC). En particular, en proyectos de instalación de redes de telecomunicaciones inalámbricas dos son los temas a tener en consideración: El primero remite al perfil de los beneficiarios como grupo social y como individuos con determinado conocimiento o afinidad con los nuevos servicios que se implementan. El segundo se refiere al tipo de organización a la que se beneficia, su estructura interna y como la misma puede responder al reto de adaptarse para usar los nuevos servicios o asimilar la "nueva forma" de hacer sus actividades.

En relación a las características del grupo social beneficiario y de las personas que lo componen, debe considerarse que en las zonas rurales casi no existen recursos humanos preparados para asimilar adecuadamente los conocimientos necesarios para realizar una efectiva transferencia tecnológica y sin embargo, en la mayoría de las redes de transmisión de datos, incluyendo a las que utilizan tecnologías inalámbricas como las descritas en los capítulos 2 y 3 de este libro, el nivel de complejidad técnica es relativamente elevado. Esto puede convertirse en un problema de gran importancia pues luego de desplegadas las redes, concluidos los proyectos o ejecutados los convenios, los beneficiarios deberán asumir la responsabilidad de su continuidad, para lo cual requieren de un conocimiento técnico mínimo que debería ser adquirido durante la ejecución del proyecto. Por otro lado, teniendo en consideración que las personas a capacitar probablemente no se ajustan al perfirl técnico deseado, se deben prever plazos suficientemente prolongados para cumplir este proceso de desarrollo de capacidades.

Adicionalmente, dentro de este mismo factor humano, debe tenerse en cuenta que un elevado

porcentaje de fallas en sistemas de telecomunicaciones se originan en la actividad de usuarios con poco conocimiento, por lo cual es indispensable realizar un proceso de formación de los mismos en el uso de las tecnologías implementadas y en la operación de los equipos instalados.,

Un último aspecto a considerar es el marco cultural del grupo social sobre el que se actúa, pues tanto el desarrollo de capacidades como el proceso de implantación de procedimientos debe adecuarse a esta realidad cultural, respetando creencias y formas de actuar y adaptando la manera como se presentan los contenidos,(lenguaje apropiado, nivel de complejidad adecuado, etc.) y se transmite el conocimiento (metodología adaptada). Felizmente, en los últimos años cada vez más se va reconociendo la necesidad de contar con estudios sociales o antropológicos que brinden una clara idea de la realidad social en la que se va a intervenir, aunque no han sido aislados los casos en que los proyectos encuentran su mayor debilidad en el desconocimiento de esa realidad que pretenden modificar.

En el caso de las redes instaladas en el marco de los proyectos ejecutados por el GTR-PUCP, el perfil de los usuarios ha sido generalmente, el de personas con un conocimiento nulo o casi nulo en el uso de TIC y equipos de telecomunicaciones. Sin embargo, al interior de las dependencias principales del MINSA, si se ha encontrado personal técnico con conocimientos de telecomunicaciones, a quienes ha sido posible capacitar en un proceso continuo y exitoso.

Finalmente, puede afirmarse que si bien el nivel de complejidad tecnológica en redes *WiFi* es mayor que en redes *VHF*, es también cierto que las primeras cuentan con herramientas más sencillas de usar para fines de supervisión y mantenimiento, posibilitando una más rápida asimilación de parte de personas con conocimientos básicos de redes y TIC.

Desde el punto de vista organizativo, cuando el socio o el beneficiario local es una institución pública, las principales dificultades a vencer son la propia inercia organizativa y las numerosas formalidades a cumplir hasta la asimilación efectiva y "oficial" de la plataforma, desarrollo o red implementada. Por otro lado, puede ser muy complicado encontrar recursos humanos potencialmente capaces no solo de asimilar los conocimientos necesarios para el mantenimiento, sino también de asumir esas actividades pues en el general de los casos, no es viable la contratación de personal nuevo para esta dedicación.

Otro tema crucial lo representa el alto índice de rotación del personal que labora en las dependencias públicas insertas en las comunidades pues los nuevos encargados no tienen los conocimientos necesarios para interactuar con los sistemas implementados reduciéndose su uso o provocándose fallas por omisión o desconocimiento. En estos casos, además, se plantea una situación diferente según el tipo de institución beneficiaria (dependencias del gobierno central, gobiernos locales, etc.) pues cada una tiene diferentes procesos y métodos para interactuar con la comunidad o hacer uso de sus recursos. En general, la baja incidencia en la adaptación de procesos es una constante que suele repetirse y que se resume en una alta resistencia al cambio, tanto a nivel institucional como personal.

# 6.1.4. Aspecto Político

Tanto en las zonas urbanas como en las rurales (aunque especialmente en estas últimas) es común observar como varían las políticas públicas según cambian los gobiernos locales o nacionales. Lamentablemente, la falta de instituciones sólidas, con programas a largo plazo, que no dependan del grupo que en un momento dado las dirija, provoca una alta sensibilidad de las estrategias y actividades promovidas por los gobiernos respecto del contexto político local o regional. Esto crea la casi necesidad, por ejemplo, de renovar los convenios de colaboración ya suscritos luego de cada elección de autoridades, también origina que el soporte económico a proyectos de desarrollo pueda ser orientado

políticamente y que se cambien estrategias de promoción, difusión o implementación de iniciativas privadas o públicas en todos los campos y en particular en el área de las TIC para el desarrollo.

En la formulación de proyectos y en la implementación de redes inalámbricas es conveniente considerar este aspecto como un catalizador que puede incrementar o reducir la colaboración y participación de las instituciones locales en la ejecución de los mismos, dependiendo de sus objetivos y envergadura y del espacio tecnológico y social en el que se piense intervenir.

## 6.1.5. Aspecto Normativo

En algunos contextos, es necesario considerar un aspecto adicional referido al marco regulatorio y legal en que es inscrito el proyecto o iniciativa a realizar pues la normativa aplicable puede ser un factor que potencie o limite no solo las características tecnológicas de la solución sino también la forma en que la misma puede ser aplicada a la realidad que se pretende transformar.

# 6.2. Alternativas y Estrategias

Como se ha visto, la sostenibilidad de redes de telecomunicaciones inalámbricas en entornos rurales depende de varios factores y es un tema complejo que debe ser evaluado en forma previa a la implementación de las redes. Es, justamente, con este fin que se identifican aquí dos alternativas genéricas para afrontar la sostenibilidad: Una opción es la subvención permanente, semi-permanente o periódica de los recursos necesarios para asegurar la correcta operación y mantenimiento de la red instalada, para lo cual se requiere que la institución u organización receptora disponga de los recursos (básicamente económicos) necesarios para este fin o que los obtenga en forma regular de la misma o diversas fuentes (o mediante convenios de colaboración, por ejemplo). La opción alternativa es implementar un modelo de negocio que permita obtener rentabilidad de la infraestructura desplegada mediante su cesión o concesión a una empresa de servicios (micro operador) que asumiría el mantenimiento de la red y sus costos asociados. En estos casos, las redes serían, efectivamente, autosostenibles, lo cual es el objetivo último y más importante a conseguir.

Dentro del primer esquema, el financiamiento propio con apoyo del gobierno (local, regional o central) o de una organización privada con presupuesto permanente (por ejemplo empresas dedicadas a minería que operen en la zona) representan, casi, el único camino a seguir, sin embargo, no se trata del común de los casos, excepto para programas públicos que, lamentablemente, no son muy frecuentes en países en desarrollo. En este contexto, como resulta obvio, el esfuerzo necesario para lograr la sostenibilidad es mayor y es inevitable afrontar la problemática descrita en la sección anterior, por lo que se hace necesario diseñar un conjunto de estrategias que permitan alcanzar los objetivos planteados en el proyecto, programa o iniciativa a ejecutar, las cuales deben corresponder a la realidad en la que se interviene y requieren de una cuidadosa elaboración con el objetivo de ser totalmente viables en el tiempo de implementación previsto, el cual es, la mayor parte de las veces, bastante breve.

El segundo esquema cada vez va siendo mas atractivo para proyectos o iniciativas que implementan redes inalámbricas en zonas aisladas, especialmente cuando los beneficiarios son instituciones u organizaciones sociales sólidas y con cierta trayectoria. Esta alternativa presenta la complejidad derivada de la relación cliente-proveedor de servicio, en la cual los objetivos son diferentes para cada una de las partes: por un lado los usuarios buscan disponer de los servicios operativos y con una buena calidad y por el otro lado la empresa buscará maximizar sus beneficios económicos y tal vez ampliar

el ámbito del negocio.

156

En cualquiera de los planteamientos mencionados, se considera indispensable promover y mantener la participación constante y activa del grupo o institución beneficiaria del proyecto, para lo cual es necesario incorporarlos a la iniciativa desde el momento mismo de la formulación. Una permanente coordinación se hace indispensable para darle valor a esta relación cooperativa. Este enfoque participativo busca inicialmente sensibilizar a las autoridades de la organización o colectivo respecto a la utilidad e importancia de la iniciativa y luego servir de soporte para el resto de actividades a realizar, incluyendo la concreción acuerdos o convenios que materialicen sus compromisos sobre el tema del mantenimiento y la búsqueda de fuentes de financiamiento para este fin.

Según lo anterior se presentan, a continuación, un conjunto de estrategias de gestión, identificadas y aplicadas en la experiencia que el GTR-PUCP ha acumulado durante el desarrollo de los proyectos ejecutados en el marco de los Programas EHAS y Willay. Dichas estrategias, bien podrían ser tomadas en cuenta para la ejecución de iniciativas o proyectos que impliquen el despliegue de redes inalámbricas en otros entornos rurales, siempre en la consideración que no se pretende agotar, con esto, las posibles alternativas existentes y que cada realidad, cada entorno geográfico y socio cultural sugiere (y también demanda) sus propias formas y vías de atención a la problemática en la cual se encuentra inmersa. Cabe indicar que las estrategias a detallar, si bien responden al objetivo general que es la sostenibilidad, se alinean básicamente en los tres primeros aspectos mencionados en la sección anterior: sostenibilidad tecnológica, sostenibilidad económica y sostenibilidad social-organizativa:

#### 1. Implementación de un periodo de acompañamiento y soporte tecnológico

Una de las estrategias a proponer para asegurar la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones implementadas es diseñar, promover y formalizar, de ser viable, un periodo de acompañamiento y asistencia tecnológica posterior a la culminación de los trabajos de instalación, pero considerado como una actividad propia del proyecto o iniciativa a implementar, la que debería ser efectuada por personal especializado.

Este acompañamiento implica no solamente participación en los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo, sino también la realización de un proceso formal de gestión del cambio (capacitación y asesoría en la adaptación de la organización beneficiaria a las nuevas posibilidades y servicios ofrecidos por las redes implementadas) y una adecuada transferencia tecnológica hacia los beneficiarios..Lamentablemente, es poco frecuente que en los proyectos sea considerada esta estrategia, debido al periodo de tiempo, relativamente breve, en el que se ejecutan los proyectos y a la escasez de recursos, los que fundamentalmente son orientados a la compra e instalación de equipamiento.

El periodo para que se efectúe un acompañamiento tecnológico adecuado varía de acuerdo al proyecto y al entorno en el que este se desarrolla. En la experiencia del GTR-PUCP, se considera que el mínimo indispensable es seis meses aunque para algunos casos se propusieron dos años. Según esto, es fundamental prever y disponer de los recursos económicos y humanos requeridos para tal fin.

Para el periodo de acompañamiento tecnológico deben definirse, desde la formulación, un presupuesto global anualizado que defina un estimado de gasto y un plan de las actividades necesarias, según el modelo a aplicar. Algunas de estas posibles actividades son indicadas a continuación:

Visitas de mantenimiento preventivo a las redes instaladas.

La programación de las visitas se planifica y detalla en coordinación con el beneficiario. Estas visitas servirían también como entrenamiento para los técnicos de mantenimiento locales. En el caso de las redes implementadas en el marco del Programa EHAS, se definió una frecuencia de visitas semestral a todos los establecimientos de salud beneficiarios.

#### Visitas de mantenimiento correctivo.

En vista de que puede ser necesario que la organización que implementa la red efectúe visitas o atenciones por mantenimiento correctivo durante el periodo de ejecución del proyecto, se requiere hacer la previsión de recursos humanos y materiales para este fin. En este caso también sería recomendable utilizar estas visitas para reforzar la formación de los técnicos locales.

Tanto en este caso como en el anterior, sería muy conveniente que los procedimientos a seguir para estas atenciones sean formalizados y documentados, con el fin de que sirvan de base para las futuras atenciones de los actores locales.

#### Reforzamientos en la capacitación a usuarios.

Resulta conveniente efectuar, en forma adicional a los cursos programados, charlas de reforzamiento a los usuarios de los sistemas instalados en forma periódica. Para este fin se podrían aprovechar las visitas por mantenimiento y debería mantenerse un registro y una metodología coherente durante todo el periodo.

#### Asesoría y atención de consultas a distancia.

En vista que los usuarios pueden llegar a sentirse "abandonados" luego de concluidos las actividades de implementación de la red, es necesario que se mantenga un vínculo durante y aún después del periodo de acompañamiento. Los medios para asesorías técnicas y, absolución de consultas podrían ser vía telefónica; correo electrónico o incluso a través de comunicaciones en banda VHF, dependiendo de las características de la solución implementada.

#### 2. Elaboración y ejecución de un plan de formación continua

La capacitación de los usuarios directos de los sistemas instalados, así como del personal que se dedicaría a las labores de mantenimiento (de ser el caso) es fundamental para el aseguramiento de la sostenibilidad de las redes implementadas. En este sentido, se debería elaborar y ejecutar un plan de capacitación permanente a usuarios y técnicos de mantenimiento con el objetivo de desarrollar, en el personal local, las capacidades y competencias necesarias para operar y mantener las redes instaladas. Como parte de este planeamiento se incluirían cursos presenciales específicamente orientados a los usuarios, diferenciados de los que estarían destinados a técnicos de mantenimiento. En forma adicional, en los lugares donde la tecnología implementada lo permita, es conveniente la realización de cursos a distancia y una interacción (posterior a los cursos) remota en base a la ejecución de "tareas" específicas a ser revisadas y evaluadas por los capacitadores.

El plan de formación se define como continuo porque debería tener la característica de permanente en el sentido que se extendería mas allá del plazo de ejecución del proyecto o implementación de la red, pues la experiencia indica que son pobres los resultados de cursos aislados que no tienen reforzamientos posteriores ni está articulados a un proceso con una visión mas amplia, mas aún en casos en los que los beneficiarios no tienen conocimiento previo de TIC o sistemas informáticos.

El conjunto de actividades a considerarse dentro del Plan, depende de las características de contexto en el cual se trabaja, sin embargo se pueden mencionar algunas comunes a todos los entornos donde GTR ha colaborado:

- Cursos presenciales para usuarios sin conocimientos previos de TIC
- Cursos presenciales para usuarios con conocimientos básicos de TIC
- Formación de formadores: Se considera necesario formar a los futuros capacitadores locales, los cuales pueden ser miembros de la organización o comunidad que tienen el perfil y la disposición para colaborar en la formación del resto de usuarios de los sistemas implementados
- Cursos presenciales cortos de reforzamiento
- Actividades a distancia: Se debería realizar cursos de reforzamiento a distancia y poner a disposición de los usuarios otras herramientas o servicios de soporte y apoyo como foros, blogs y asesoría por correo electrónico. Evidentemente, estas actividades se podrían realizar en entornos en los que se han desplegado redes de banda ancha que dispongan de acceso a Internet.o, tal vez, a servidores locales que podrían implementarse, aunque esta última alternativa no es muy usual
- Cursos presenciales para técnicos de mantenimiento
- Actividades de refuerzo para técnicos de mantenimiento: Sería muy provechoso incluir su participación en actividades de instalación o mantenimiento ejecutadas por la entidad que despliega la red.

Un punto a tener en cuenta, como requisito para la capacitación de personal de mantenimiento es, justamente, una correcta identificación de las personas que podrían encargase de esta actividad. Considerando que no siempre existen empleados en la organización o miembros de la comunidad con el perfil y la disposición para recibir esta función, es crucial atender a este tema desde el inicio mismo del proyecto.

Adicionalmente, en caso se implementen procesos específicos para la gestión del mantenimiento de las redes, resulta indispensable que todos los que interactúan con las redes instaladas sean adecuadamente capacitados en las actividades que les correspondería realizar, según las funciones que desempeñan y su ubicación en la escala jerárquica de la organización.

En el caso de los proyectos implementados por el GTR-PUCP, se ha dado mucha importancia al aspecto formativo, efectuando múltiples cursos y charlas de capacitación, identificando a los posibles actores y recogiendo información directa de los mismos antes y después de cada curso con el fin de tener una realimentación en el proceso. En forma adicional se han implementado servicios de aprendizaje y asesoría a distancia mediante un servidor *Moodle* disponible para los usuarios de las redes WiFi implementadas. A través de este portal es posible ofrecer cursos en línea que incluyen tutoriales audiovisuales y entregar contenidos que puedan ser usados como fuente de consulta.

3. Elaboración, formalización y puesta en operación de un plan para la gestión del mantenimiento de las redes implementadas La elaboración e implementación formal de un plan para la gestión del mantenimiento de las redes instaladas se considera un requisito fundamental para asegurar la sostenibilidad de las mismas. La experiencia indica que no basta con disponer del recurso humano capacitado y el financiamiento suficiente, sino que es necesario asimilar dentro de la organización a los procesos y actividades referidas al mantenimiento. Los integrantes de la organización beneficiaria y los usuarios deben conocer con claridad las condiciones, plazos, recursos y vías de comunicación establecidas para cada actividad de mantenimiento, así como estar convencidos de la necesidad de las mismas. Idealmente, cualquier falta u omisión en este aspecto debe tener importancia similar a la referida a temas administrativos. Con esta perspectiva, las principales actividades a desarrollar serían:

- Recopilación de información sobre actividades y procedimientos existentes relativos al mantenimiento de equipos o infraestructura (si la hubiere) y sobre el contexto social o institucional.
- Elaboración de un plan de mantenimiento detallado.
- Gestiones para la revisión y aprobación del plan de mantenimiento al interior de la institución beneficiaria.
- Implantación de los procedimientos y actividades aprobados y gestión del cambio. Sería muy importante si se dispone de los recursos necesarios para guiar y monitorizar este proceso durante un tiempo suficientemente largo (el cual depende de la realidad en la que se interviene)

Cabe mencionar que en esta normativa se deben plantear indicadores de calidad y metas objetivamente verificables que deben ser alcanzados para mantener en un adecuado estado a la red o sistema que se planea desplegar. Obviamente, la disponibilidad de los sistemas es una de las principales características a evaluar, pero no la única, también es posible mensurar la incidencia de averías ocurridas o la rapidez en la atención de las mismas. Adicionalmente, es muy importante indicar que la tecnología a emplear determina no solo a los indicadores específicos sino también la forma en que estos serán medidos. Como ejemplo, se puede mencionar que para las redes en VHF implementadas por el GTR PUCP en el marco del Programa EHAS, se definieron indicadores y metas en dos aspectos básicos: Operatividad y disponibilidad de los sistemas: se establecieron estos objetivos para ser calculados en periodos trimestrales y anuales, siendo el resultado anual el promedio de los cuatro trimestres. La operatividad se define como el valor porcentual de la cantidad de sistemas operativos respecto al total y la disponibilidad se define como el valor porcentual del tiempo en que ha estado operativo cada sistema respecto al total del periodo evaluado.

En forma mas reciente, para las redes WiFi implementadas, se ha propuesto la utilización del concepto de disponibilidad como un indicador adaptado de la teoría de mantenimiento industrial y que estaría definido para cada sistema, red o enlace inalámbrico, como el cociente del tiempo medio entre fallas y la suma del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación

Finalmente, se puede añadir que se considera conveniente (dependiendo de la complejidad de la red instalada puede llegar a ser absolutamente necesario) contar con un sistema de gestión para la red de telecomunicaciones implementada con el fin de facilitar la monitorización de los sistemas; registro y consolidación de la información; emisión de reportes y estadísticas de funcionamiento y varias otras funciones que contribuyen a facilitar el proceso de mantenimiento

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$
 [Disponibilidad] 
$$TMEF = \text{tiempo medio entre fallos}$$
 
$$TMDR = \text{tiempo medio de reparación}$$

Figura 6.1: Cálculo de índice de disponibilidad.

de la red. Un ejemplo de este tipo de plataforma es el sistema de gestión implementado para las redes instaladas en Cusco y Cajamarca, el marco del Programa Willay:

```
(http://willay-cusco.dyndns.org/centreon/)
(http://willay-cajamarca.dyndns.org/centreon/)
```

#### 4. Participación en la búsqueda de fuentes de financiamiento permanente para el Mantenimiento de las Redes

Es conocido que la piedra angular de todo esfuerzo para lograr la sostenibilidad de proyectos o iniciativas como las analizadas es la existencia de financiamiento para la ejecución de las actividades propuestas en los mismos. De ahí la importancia de promover acuerdos al interior y entre los actores locales u otras instituciones para asegurar que estos fondos puedan ser obtenidos y se encuentren disponibles.

En cada caso es necesario considerar las características propias de las zonas en las que se han instalado las redes de comunicaciones pues de acuerdo a las mismas, se deberían idear las soluciones específicas para asegurar el financiamiento permanente del mantenimiento de la red. Desde esta perspectiva, es posible proponer una serie de actividades:

#### Identificación de posibles soluciones y fuentes de financiamiento.

Esta actividad comienza en las etapas iniciales del proyecto y busca su concreción luego de la instalación y puesta en operación de los sistemas. Mediante un análisis de la realidad existente en cada zona de intervención, se identifican las posibles soluciones al tema del financiamiento.

#### Elaboración de un presupuesto detallado sobre el gasto en mantenimiento.

Para la evaluación de las posibles alternativas de financiamiento es indispensable disponer de un presupuesto detallado e integral referido a la operación y mantenimiento de las redes instaladas proyectado en el largo plazo (por ejemplo, 20 años). Con este fin se debe elaborar el respectivo análisis de costos, el cual debe considerar todos los recursos que serán necesarios para mantener un óptimo funcionamiento de la red durante, al menos, el plazo previsto. Como ejemplo, a continuación se presenta un cuadro que muestra un resumen del presupuesto elaborado para la red WiFi desplegada en el marco del Programa Willay en Cusco (año 2008, trece estaciones cliente y seis repetidores). Solo debe indicarse que la definición de los supuestos y premisas en base de los cuales se elabora el presupuesto depende de cada proyecto y evidentemente deben ser realilstas y coherentes con la solución tecnológica implementada.

ITEM	RUBROS DE GASTOS POR MANTENIMIENTO	MONTO ANUAL
	RED WILLAY CUSCO	(S./)
1	Equipos, repuestos y materiales	8500.00
2	Desplazamientos	9000.00
	(2 por año a toda la red desde Cusco)	
3	Recursos Humanos	14400.00
	pago de contratistas	
4	Pago anual por acceso a Internet	14940.00
	GASTO ANUAL POR MANTENIMIENTO (S/.)	46840.00
	GASTO ANUAL PROMEDIO POR ESTACION CLIENTE (S/.)	3345.70

#### Coordinación con otras instituciones.

En algunos casos, especialmente cuando el beneficiario es una institución pública local, resulta necesario coordinar con los gobiernos regionales, estatales o provinciales, además de los gobiernos locales pues los primeros cuentan con mayor cantidad de recursos y podrían estar interesados en replicar una experiencia exitosa en otras zonas de su jurisdicción. Además, y de forma mas genérica, se debe coordinar con otras instituciones con el fin de obtener respaldo financiero adicional, ya sea mediante proyectos de reforzamiento (muy deseables) o por compromisos a plazo indefinido que permitan complementar o asegurar el financiamiento requerido durante un mediano o largo plazo. Esta necesidad debe evaluarse antes de la finalización del proyecto.

# 5. Gestión para la elaboración y suscripción de convenios de cooperación tecnológica con instituciones de educación superior o afines

Una característica común en las zonas rurales es la falta de recursos humanos con el conocimiento suficiente para asumir completamente las actividades técnicas requeridas en el mantenimiento de las redes, a pesar de que pueda realizarse un proceso de formación de técnicos. Por este motivo, puede resultar de gran importancia la identificación de instituciones tecnológicas de educación superior o empresas privadas, dedicadas al rubro de las telecomunicaciones, que cuenten con ese conocimiento y que tengan el interés (pedagógico, científico o comercial) de participar en esas actividades.

Para la concreción de convenios de colaboración, en primera instancia, se deberían identificar como posibles instituciones colaboradoras a universidades o institutos superiores que tengan presencia en la zona de intervención o en su entorno cercano y que cuenten con carreras referidas a las TIC o, mas específicamente, a telecomunicaciones. También pueden identificarse a micro empresas o empresas que brinden servicios de telecomunicaciones en la zona. En una segunda etapa, cuando ya se hayan concretado los acuerdos internos en la entidad beneficiaria, se deben establecer los contactos y efectuar las gestiones necesarias para suscribir, en lo posible, convenios formales de cooperación que tengan un carácter específico y puedan ser puestos en práctica en el corto plazo.

En el caso de las instituciones educativas, el interés mutuo es claro: los estudiantes o profesores investigadores se nutrirán de las experiencias conseguidas al participar en el mantenimiento de redes reales y en producción, en tanto que los beneficiarios directos conseguirán "delegar" estas tareas con la consiguiente disminución de costos (al menos en recursos humanos calificados). De tratarse de operadores de servicios o micro operadores, el interés se centra en el uso de la

infraestructura instalada para ofrecer sus propios servicios, en contrapartida se puede obtener un servicio de mantenimiento sin costo real para los beneficiarios.

La elección de la modalidad depende de cada caso particular pues las variables manejadas son diversas y dinámicas, como todo lo relacionado a las sociedades humanas. En la experiencia del GTR-PUCP, con el fin de hacer sostenibles las redes desplegadas, se han promovido y establecido convenios entre el beneficiario y dependencias de instituciones estatales, municipalidades e incluso universidades que cuentan con carreras profesionales afines al tema de redes inalámbricas en un esfuerzo de largo aliento que debe iniciarse casi al mismo tiempo del proyecto.

#### 6. Promoción del uso de los sistemas en actividades y procesos propios del beneficiario

Desde el punto de vista de la sostenibilidad de los sistemas implementados, conseguir que los equipos sean usados con alta frecuencia por los beneficiarios y que éstos valoren su utilidad en la mejora de la eficiencia de sus actividades, es una forma de asegurar indirectamente la operatividad y el oportuno mantenimiento de los sistemas instalados: Si los equipos son muy utilizados, los mismos usuarios comunicarán inmediatamente las fallas y presionarán para su rápida reparación. El surgimiento de nuevas necesidades conforme se incrementa el uso de los nuevos recursos es una característica común al desarrollo tecnológico. Las estrategias para lograr un uso continuado de los equipos instalados deben identificar claramente las características de los servicios ofrecidos, debido principalmente a las diferencias en la tecnología empleada. Como se ha mostrado a través del presente libro, existen importantes variaciones entre los servicios ofrecidos por sistemas de radio VHF con los correspondientes en WiFi. Se hace mención a esta característica puesto que la experiencia indica que, en primera instancia, el servicio de voz es el mas utilizado y es visto por los usuarios como de importancia crítica, por lo que seguramente comunicarían en caso de fallos solicitarían una urgente reparación.

De acuerdo al contexto anterior, se esbozan a continuación dos grandes actividades que podrían ser realizadas a favor de una maximización del uso de los sistemas que se instalan:

# Planificación, promoción y colaboración en la adaptación parcial o total de procesos internos para usar las nuevas herramientas disponibles.

Es conveniente establecer un plan de acción que sea aprobado por las autoridades de la organización beneficiaria y cuyas actividades principales serían: Identificación de los principales procesos por adaptar, selección de procesos para implementación de un piloto, rediseño o mejora de los procesos seleccionados, implantación global de los procesos rediseñados según los resultados del piloto. En algunos casos solo ser requerirían modificaciones reglamentarias y en otros puede ser necesario replantear la forma como se realizan algunas actividades.

# Elaboración de un programa de investigación para la adaptación de sistemas de información corporativos.

En los casos en los que sea aplicable, se considera muy conveniente evaluar la posibilidad de adaptar algunos de los sistemas de información corporativos que puedan ser usados a los medios ofrecidos en la nueva plataforma instalada. Previo a ello debe efectuarse un trabajo de identificación y un estudio de la factibilidad de estas migraciones, sobre todo teniendo en cuenta las particularidades de cada grupo de beneficiarios.

En los primeros proyectos ejecutados por el GTR-PUCP, se previó que los sistemas de comunicación de voz y datos podrían ser usados intensamente en varios de los procesos clínicos y

6.3 Conclusiones 163

administrativos existentes en el MINSA, por lo que se trabajó en conjunto con las dependencias de esa entidad para la mejora de dichos procesos, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Sistema de vigilancia epidemiológica.
- Control de medicamentos.
- Aplicaciones de telemedicina.
- Sistema de Referencia y Contrarreferencia.

#### 7. Difusión de objetivos, actividades y resultados

Como resulta obvio, una pertinente y extensiva difusión de los objetivos, actividades y resultados de los proyectos influirá positivamente en la perspectiva no solo de los beneficiarios sino también de las organizaciones existentes en la zona o cercanas a los mismos que pueden, potencialmente, colaborar en el aseguramiento de la sostenibilidad de las redes implementadas. Las estrategias y actividades dependen de la realidad en la que se interviene, pero en general es indispensable un estrecho contacto con autoridades y una permanente entrega de información sobre el estado del proyecto o su operatividad, así como la ocupación de foros de discusión no solo tecnológica sino también social, en el entendido que el fin último de las redes inalámbricas desplegadas en entornos rurales es mejorar, en uno o varios aspectos, las condiciones de vida de los residentes y reducir la brecha digital existente.

## **6.3.** Conclusiones

La conclusión tal vez más importante y a la par casi obvia, es que, si bien subsiste la necesidad de iniciativas (privadas o públicas) que busquen implementar redes de voz y datos en zonas rurales como medio de promover su desarrollo e integración, éstas deben considerar como un aspecto fundamental en su concepción, formulación y realización el tema de la sostenibilidad de la plataforma tecnológica que se instala y de los servicios que la misma ofrece a los beneficiarios.

La sostenibilidad no debe ser considerada un objetivo complementario ni adicional, sino parte de la misión misma del proyecto: las herramientas que se entregan para promover el desarrollo y mejorar la calidad de vida deben ser duraderas en el tiempo. Su prematura finitud o un temprano deterioro no solo implican un estancamiento y hasta un posible retroceso sino también significa que el esfuerzo y capital invertidos se perderán irremisiblemente. El costo de oportunidad de estos recursos es siempre demasiado elevado para tomar ese riesgo.

Es en este marco en el que cobra gran importancia una correcta interpretación de la realidad local y la correspondiente elaboración e implementación de estrategias conducentes a implementar redes sostenibles (o auto sostenibles).

Una segunda conclusión es que la identificación de los beneficiarios con los objetivos del proyecto y su participación activa y permanente es una condición necesaria, aunque no suficiente, para el aseguramiento de su sostenibilidad. Si el conjunto de beneficiarios no logra interiorizar la utilidad de lo que se ha implementado, no se identifica con ello y no asume un compromiso real respecto a su uso y cuidado, la iniciativa no será viable en el tiempo.

Finalmente, para el GTR-PUCP la ejecución de proyectos de cooperación en zonas rurales que implican la implementación de redes inalámbricas, no solo es parte de una vocación enunciada en

## CAPÍTULO 6. SOSTENIBILIDAD DE REDES DE TELECOMUNICACIONES EN ENTORNOS RURALES Y AISLADOS

la misión misma de la organización sino que también deviene en un compromiso ético con todos aquellos colectivos beneficiarios de tal forma que el permanente seguimiento, asesoramiento y apoyo a los mismos son actividades asumidas por propia iniciativa, estando en concordancia con la visión de responsabilidad social universitaria expresada y sustentada por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

164

# Ejemplo de redes desplegadas

En el presente capítulo se presentan 4 redes instaladas por GTR-PUCP, como ejemplo de aplicación de los capítulos previos. La primera se realizó en el marco del programa WILLAY, las otras tres fueron realizadas en el marco del Programa EHAS, y sirven para el desarrollo de servicios de formación a distancia, mejora de los procesos, gestión de procesos, transferencia de pacientes, etc.

En la actualidad, GTR-PUCP a través de todos sus proyectos ejecutados ha logrado conectar al exterior a alrededor de 120 comunidades rurales peruanas. La mayoría de ellas se encuentran en el departamento Loreto, en las provincias Alto Amazonas, Datem del Marañón y Maynas (fronterizas con Ecuador); en las cuencas de los ríos Pastaza, Morona, Marañón, Huallaga y Napo, por lo tanto en un escenario de selva baja (alrededor de 150 msnm). Éste plantea el desafío logístico de tener que llegar a lugares a los cuales sólo se puede acceder por río en jornadas de viaje que pueden durar varias horas e incluso días. También es un desafío a la voluntad humana pues aunque la selva es bella, el calor es sumamente intenso (alrededor de 40° C), la humedad altísima, existe escasez de agua potable y de energía eléctrica, y finalmente los insectos lastiman la piel al menor descuido

En la cuenca el río Napo se instaló una red WiFi, sobre la cual se habla en la sección 7.3. Esta red es una larga cadena de repetidores que se extiende a lo largo de más de 300 km, por lo que se trata de la red WiFi en servicio activo instalada en zonas rurales más larga del mundo. Reportes de su funcionamiento pueden verse en http://pamafro.ehas.org/.

En las cuencas de los ríos Pastaza y Morona se instalaron sendas redes VHF sobre las cuales se habla en la sección 7.4. Con las instalaciones en estos nodos prácticamente se alcanzó el 50 % de conectividad de los establecimientos de salud de Datem del Marañón y se espera que con próximos proyectos se alcance el 100 % de conectividad como ya se logró en la vecina provincia de Alto Amazonas.

Las dos redes antes mencionadas fueron financiadas por el Fondo Mundial de lucha contra el SI-DA, la tuberculosis y la malaria (http://www.theglobalfund.org/en/) a través del Proyecto PAMAFRO, una iniciativa del Organismo Andino de Salud (http://www.orasconhu.org)

También se ha trabajado en escenarios de sierra (alrededor de los 3500 msnm) en los departamentos de Cusco y Cajamarca, en las provincias de Quispicanchi-Acomayo y San Pablo en las cuales se instalaron redes Wifi que se detalla en las secciones 7.1 y 7.2. En este escenario, el acceso es por carretera, muchísimo más fácil que los casos anterioriores. Sin embargo las facilidades terminan cuando debe colocarse repetidores en las cimas de cerros: donde, en muchos casos, sólo es posible llegar caminando desde sus faldas, caminatas agotadoras que pueden durar varias horas, complicadas por la escasez de oxígeno y la baja temperatura (alrededor de 0° C), y aún más por el esfuerzo físico de

transportar carga pesada.

El proyecto San Pablo, fue financiado por la Union Europea y la Agencia Española de Cooperación Internacional

El proyecto ejecutado en las provicincias de Acomayo-Quispicanchi fue financiado por la Unión Europea a través de su Programa @LIS.

http://ec.europa.eu/europeaid/where/latin-america/regional-cooperation/alis/index\_en.htm).

# 7.1. Red WILLAY, San Pablo

En el marco del Programa WILLAY, el año 2009 se empezó con el desarrollado del proyecto: "Refuerzo Institucional de Entidades Públicas de San Pablo a través de Servicios de Telecomunicaciones e Información" cuya finalidad es acercar las tecnologías de información y comunicación (TIC) a los funcionarios públicos de zonas rurales, para mejorar su acceso a los servicios de información y comunicación, contribuyendo de esta manera al desarrollo más eficaz de sus funciones de gestión y gobernabilidad local a partir de:

- El fortalecimiento institucional
- El apoyo a la gestión transparente
- El fomento de la participación ciudadana
- El dar facilidades para proceso de descentralización en curso y
- La mejora de los procesos de gestión.

Todo ello haciendo uso de sistemas de tecnologías de información y comunicación (TIC) apropiados y de bajo costo.

A través de este proyecto se ha instalado una red inalámbrica de comunicaciones que interconecta 17 entidades entre Puestos de Salud, Municipios e Instituciones Educativas, ubicados en los distritos de San Pablo, San Luis, San Bernardino y Tumbadén de la provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca.

# 7.1.1. Descripción general de la red

La red esta compuesta por enlaces inalámbricos empleando tecnología WiFi, según el estándar IEEE 802.11n.

En la figura 7.1 se muestra la topología de la red implementada, que esta compuesta por enlaces punto a punto y enlaces punto multipunto.

La red esta conformada por cuatro repetidores troncales, cuatro repetidores locales y 13 estaciones cliente. En cada distrito se ha implementado un repetidor local, que permite la comunicación con sus estaciones clientes, los repetidores locales se conectan al resto de la red a través de los repetidores troncales ubicados en los cerros Yamadón, Alobish, La Mina y en el mercado de San Pablo.

La red local inalámbrica del distrito de San Pablo (ver figura 7.2) tiene como clientes a la municipalidad, centro de salud (C.S.), puesto de salud (P.S.), colegio secundario y la Unidad de Gestión

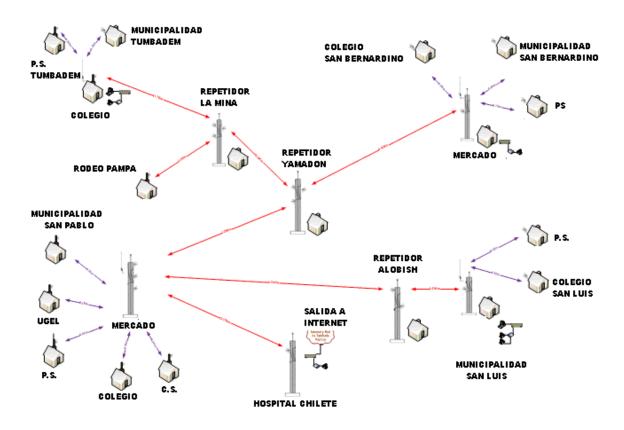


Figura 7.1: Topología de la red San Pablo.

Educativa Local (UGEL). Se interconectan al resto de la red a través del repetidor ubicado en el mercado. El acceso a Internet de cada entidad es contratada por ellas mismas, dado que existe un proveedor local.

La red local inalámbrica en el distrito de San Luis (ver figura 7.3) tiene como clientes a la municipalidad, puesto de salud (P.S.) y el colegio secundaria. Se interconecta al resto de la red a través del repetidor ubicado en el cerro Alobish.

La red local inalámbrica en el distrito de San Bernardino (ver figura 7.4) tiene como clientes a la municipalidad, puesto de salud (P.S.) y el colegio secundaria. Se interconecta al resto de la red a través del repetidor ubicado en el mercado de pueblo.

La red local inalámbrica en el distrito de Tumbadem (ver figura 7.5) tiene como clientes a la municipalidad, puesto de salud (P.S.) y el colegio secundaria. Se interconecta al resto de la red a través del repetidor ubicado en el cerro La Mina.

Los municipios de San Luis, San Bernardino y Tumbadem, han contratado sus servicios de acceso a Internet en la ciudad de Chilete, dado que en San Pablo no había ancho de banda disponible.

# 7.1.2. Servicios Implementados

Los servicios implementados son los de telefonía de voz sobre IP, acceso a Internet compartido, red de datos compartido.

Telefonía IP

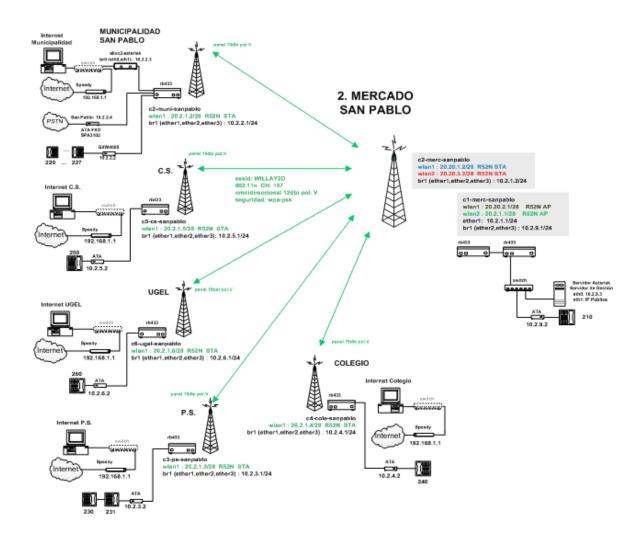


Figura 7.2: Red local San Pablo.

La red de telefonía IP brinda el servicio de comunicación de voz entre los 17 establecimientos beneficiados por el Programa WILLAY, existiendo un total de veinticinco (25) teléfonos instalados. Las llamadas son gratuitas entre todas las estaciones cliente y existe la posibilidad de recibir llamadas desde el exterior y realizar llamadas hacia la red de telefonía pública mediante el uso de tarjetas prepago provistas por la empresa de telefonía pública.

En cada municipio se ha instalado un servidor de voz sobre IP (servidor Asterisk), ubicado en su respectivo repetidor local.

#### Acceso a Internet

La red implementada ha sido diseñada para que cada municipio contrate su servicio de acceso a Internet de manera independiente y lo comparta con las instituciones de su comunidad.

En el caso del distrito de San Pablo, cada institución ha contratado su propio acceso a Internet, dado que existe un proveedor local.

En el caso de los distritos de San Luis, San Bernardino y Tumbadem, cada municipio ha contratado su servicio de acceso a Internet en la ciudad de Chilete y lo comparte con las instituciones de educación y salud de su comunidad. Los datos de Internet se transportan hasta cada

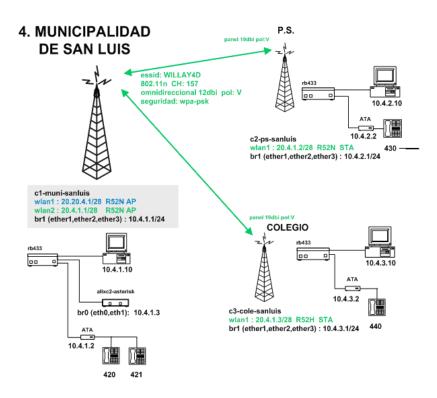


Figura 7.3: Red local San Luis.

uno de los clientes a través de la red inalámbrica implementada desde Chilete. En el Hospital de Chilete se ha instalado un router (con interfaces Ethernet y WiFi), al cual se conectan los equipos del proveedor de acceso a Internet. Se ha configurado el router con la opción de marcado de paquetes para diferenciar el servicio de cada municipio y mantengan independencia unos de otros.

#### Transferencia de datos

A través del sistema implementado se puede acceder a bases de datos y transferencia de archivos entre todas las PC de la red.

### 7.1.3. Descripción de las estaciones

#### 7.1.3.1. Estación Cliente

En la figura 7.7 se muestra un esquema de conexiones de equipos de Telecomunicaciones y protección eléctrica empleados en una estación cliente. Las municipalidades de San Pablo y San Bernardino actúan como estaciones cliente y se ha implementado redes LAN internas en cada municipio para la interconexión de sus computadoras.

#### 7.1.3.2. Repetidor Local

En cada uno de los poblados intervenidos, se ha instalado un repetidor local para su comunicación con sus clientes, mediante enlaces punto multipunto. En la figura 7.8 se muestra un esquema de conexiones de equipos de Telecomunicaciones y protección eléctrica. En el caso de San Pablo, el

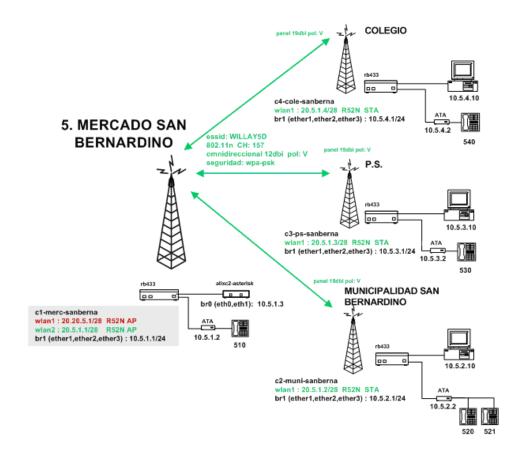


Figura 7.4: Red local San Bernardino.

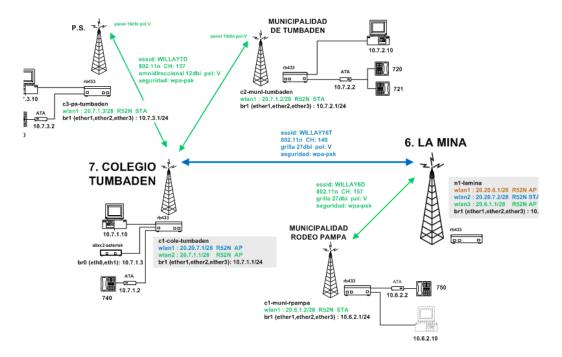


Figura 7.5: Red local Tumbadem.

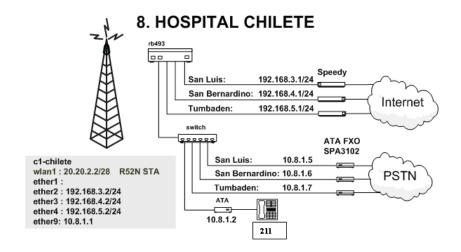


Figura 7.6: Red Chilete.

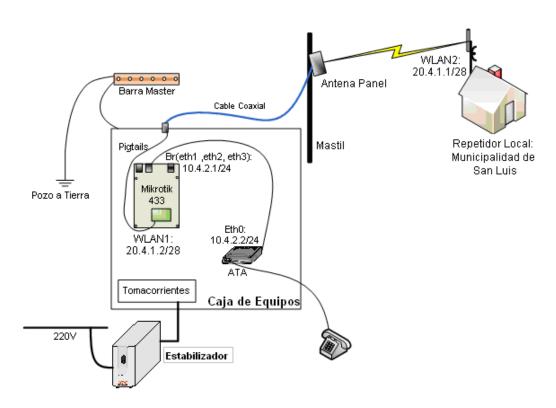


Figura 7.7: Esquema de conexiones de una estación cliente.

repetidor local esta ubicado en su mercado, en el caso de San Luis esta en la municipalidad, en el caso de San Bernardino es en el mercado y en el caso de Tumbadem esta ubicado en el colegio de la comunidad. En cada repetidor local se ha implementado un servidor de voz sobre IP (servidor Asterix), sobre un sistema embebido de bajo consumo de energía, placa ALIX 2d1. El máximo número de llamadas que puede soportar en simultáneo es de quince.

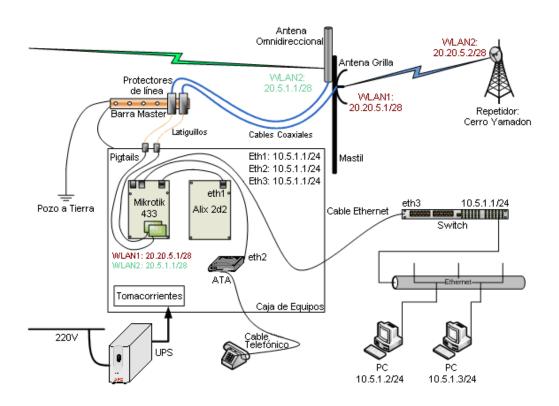


Figura 7.8: Esquema de conexiones de un repetidor local que cuente con red LAN.

### 7.1.3.3. Repetidor Troncal

Los repetidores troncales están ubicados en los cerros Yamadon, Alobish, La Mina y Mercado San Pablo. En los casos de los cerros Yamadon, Alobish y mercado de San Pablo ya había infraestructura instalada para albergar los equipos de telecomunicaciones. En el caso del repetidor La Mina, se ha construido una caseta para albergar los equipos, además se han instalado paneles solares empotrados en el techo para brindar energía eléctrica a los equipos.

7.2 Red EHAS-@LIS 173

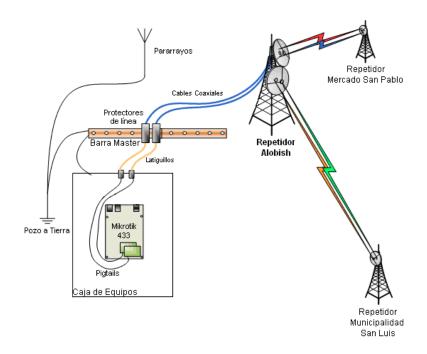


Figura 7.9: Esquema de conexiones en una estación repetidora Trocal

## 7.2. Red EHAS-@LIS

## 7.2.1. Descripción general de la red

La red EHAS-@LIS implementada Cuzco interconecta a 12 establecimientos de salud del MINSA ubicados en las provincias de Quispicanchi y Acomayo con la Red de Servicios Cuzco Sur y el Hospital Regional del Cuzco brindando servicios de telefonía IP, correo electrónico e *Internet*. Este sistema de telecomunicaciones combina redes cableadas (*Ethernet*) con redes inalámbricas (*WiFi*).

En cada establecimiento de salud se ha instalado una pequeña red (cableada e inalámbrica) para brindar dichos servicios. Estas pequeñas redes se interconectan entre sí a través de una red inalámbrica la cual está formada por repetidores ubicados en los cerros de Huiracochan, Josjojahuarina, Don Juan, Laykatuyoc y Huáscar. Estos se eligieron por tener línea de vista directa con los centros/puestos de salud de su respectiva zona.

Las estaciones cliente están formadas por los equipos y las redes cableadas e inalámbricas instalados en los establecimientos de salud indicados a continuación:

1. Red Sur Cuzco	7. Pomacanchi
2. Urcos	8. Marcaconga
3. Urpay	9. Sangrará
4. Ccatcca	10. Acomayo
5. Kcauri	11. Accos
6. Acopia	12.Pillpinto

También se le proporcionan los servicios de VoIP y de *Internet* al Hospital Regional del Cuzco mediante la instalación de una computadora, a través del repetidor allí instalado, ver Figura 7.10.

Los repetidores se encargan de interconectar las estaciones clientes y están ubicados en los cerros de Josjojahuarina (2 repetidores), Huiracochan, Don Juan, Laykatuyoc y Huascar. Además se ha

instalado una estación repetidora en el Hospital y la estación cliente de Marcaconga funciona como repetidor de la estación de Pomacanchi. En la siguiente lista se indican las estaciones repetidoras junto a sus respectivas estaciones clientes:

- 1. Hospital Regional Cuzco (Red de Servicios Cuzco Sur y teléfono IP del Hospital)
- 2. Josjojauarina1 (Ccatca y Kcauri)
- 3. Josjojahuarina2 (Urpay)
- 4. Huiracochan (Urcos)
- 5. Don Juan
- 6. Laykatuyoc (Pomacanchi, Acopia, Marcaconga y Sangarará)
- 7. Huascar (Acomayo, Acos y Pillpinto)

Cabe mencionar que a esta red le fue agregada una estación cliente ubicada en el centro de salud de Accha y si bien este cliente no pertenece al diseño original del proyecto @LIS (fue instalado por la cooperación de estudiantes de la UPC en Agosto de 2006) ha sido incorporado a la red en las mismas condiciones que los demás establecimientos. Para acceder a él fue necesaria la instalación de un repetidor adicional que se conecta a la red troncal a través del repetidor Huascar. Por lo tanto la red queda conformada por 13 estaciones cliente y 8 repetidores.

Esto se puede apreciar con mayor claridad en la Figura 7.10, donde además aparecen otros detalles que se comentaran a lo largo de esta sección, como los canales elegidos o la velocidad de éstos.

#### 7.2.2. Diseño de red

En este apartado se explican las visitas que fueron necesarias hacer a la zona objetivo antes de poder simular en *Radio Mobile* la red definitiva.

A principios de 2004 se realizó un primer estudio en *Radio Mobile* que, a partir de las localizaciones de los establecimientos de salud, permitiera predecir cuántos nodos repetidores haría falta instalar y en qué localizaciones. Todo ello respetando los criterios de diseño previamente expuestos en 4.1.

Con esa información, en Julio y Agosto de 2004 se realizaron unas primeras visitas de toma de fotografías y datos geográficos (a través de un dispositivo GPS) tanto en los Puestos de Salud como en los cerros donde previsiblemente se iban a instalar los repetidores. Estas visitas tenían un doble objetivo: corroborar los datos de latitud y longitud que se tenían de cada una de las localizaciones y comprobar *in situ* las líneas de vista de cada uno de los puntos que permitieran corroborar la información que había predicho el *Software Radio Mobile*.

A raíz de esas comprobaciones se cambiaron algunas localizaciones del diseño inicial por una de las dos siguientes razones:

- No había línea de vista entre los puntos escogidos. Esto se debía principalmente a la existencia de vegetación que *Radio Mobile* no era capaz de predecir (sólo da información a nivel orográfico).
- Algunos de los repetidores escogidos se encontraban en cerros totalmente inaccesibles incluso caminando desde la falda de sus cerros.

7.2 Red EHAS-@LIS

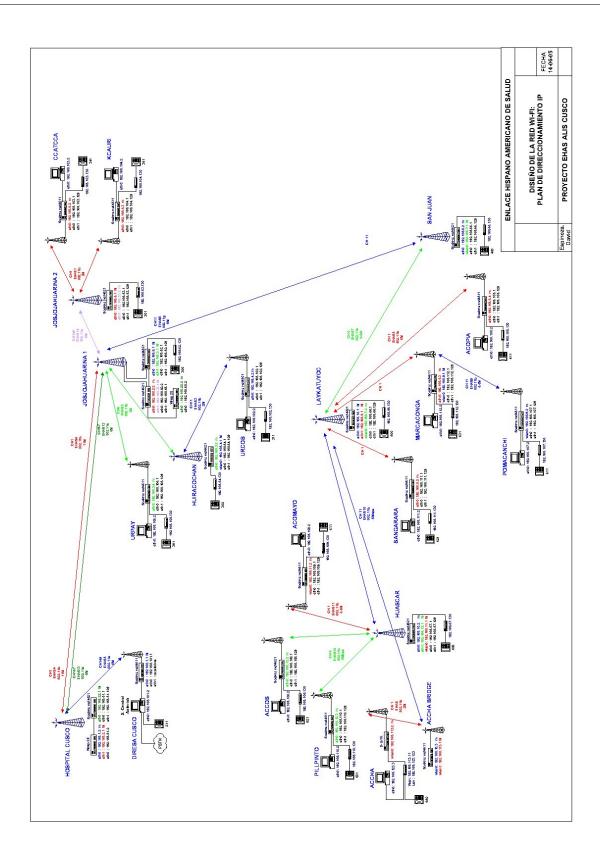


Figura 7.10: Esquema detallado de la Red EHAS-@LIS Cuzco.

Una vez hecho todo ese trabajo previo se pudo simular la que sería la red definitiva. En la Figura 7.11 ve el diseño simulado en el entorno de *Radio Mobile*, con mapas digitales de la zona incluidos.

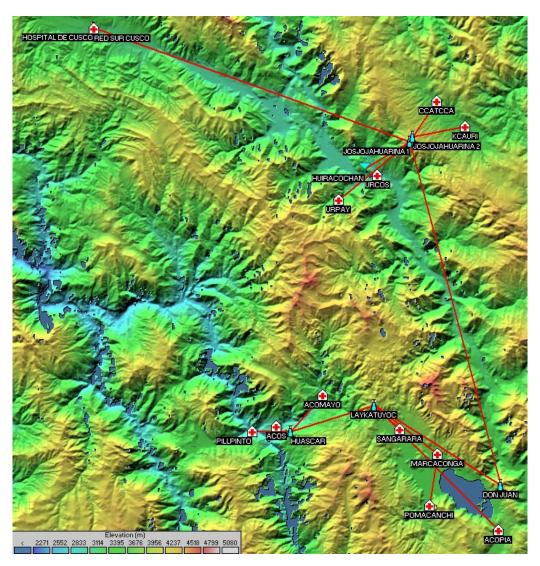


Figura 7.11: Diseño Radio Mobile.

#### 7.2.2.1. Direccionamiento IP

El plan de direccionamiento de la Red *WiFi* de Cusco se llevó cabo según los siguientes criterios de la red:

- Cantidad moderada de usuarios. Esta es la razón principal por la que se usa direccionamiento estático.
- Red privada. Las direcciones se asignan en el rango 192.168.0.0/16, más que suficiente para cubrir el número de nodos que forman la red.
- Cada interfaz de red (inalámbrica y cableada) de una misma Soekris pertenece a una red diferente. De esta forma se mejora el entendimiento de la red, logrando un mejor manejo de las tablas

7.2 Red EHAS-@LIS

de enrutamiento y mejor control de restricciones y accesos. También permite ampliaciones del sistema de direccionamiento sin afectar a la configuración establecida.

A continuación se recoge el plan de direccionamiento seguido en la red: Puestos de Salud (interfaces cableadas):

PUESTOS	SOEKRIS		EQUIPOS FINALES	
DE SALUD	Eth0	Eth1	PC	ATA
Diresa Cusco	192.168.101.1	IP pública	192.168.101.2	_
Urcos	192.168.102.1	192.168.102.129	192.168.102.2	192.168.102.130
Catcca	192.168.103.1	192.168.103.129	192.168.103.2	192.168.103.130
Kcaury	192.168.104.1	192.168.104.129	192.168.104.2	192.168.104.130
Urpay	192.168.105.1	192.168.105.129	192.168.105.2	192.168.105.130
Acos	192.168.106.1	192.168.106.129	192.168.106.2	192.168.106.130
Pomacanchi	192.168.107.1	192.168.107.129	192.168.107.2	192.168.107.130
Acopia	192.168.108.1	192.168.108.129	192.168.108.2	192.168.108.130
Acomayo	192.168.109.1	192.168.109.129	192.168.109.2	192.168.109.130
Pillpinto	192.168.110.1	192.168.110.129	192.168.110.2	192.168.110.130
Sangarará	192.168.111.1	192.168.111.129	192.168.111.2	192.168.111.130
Marcaconga	192.168.112.1	192.168.112.129	192.168.112.2	192.168.112.130

## Puestos de Salud (Interfaces Inalámbricas):

PUESTOS	SOE	KRIS
DE SALUD	ath0	wlan0
Diresa Cusco	192.168.1.1	
Urcos	192.168.4.2	
Catcca	192.168.5.2	
Kcaury	192.168.5.3	
Urpay	192.168.3.4	
Acos	192.168.12.2	
Pomacanchi		192.168.9.2
Acopia	192.168.8.4	
Acomayo		192.168.11.2
Pillpinto	192.168.12.3	
Sangarara	192.168.8.2	
Marcaconga	192.168.8.3	192.168.9.1

## Repetidores (Interfaces cableadas):

REPETIDORES	SOEKRIS		EQUIPOS FINALES
	eth0	eth1	ATA
Hospital Cusco	192.168.51.2		
	192.168.51.1	192.168.51.129	192.168.51.130
	192.168.52.2	192.168.58.1	
Josjojahuarina 1	192.168.52.1	192.168.52.129	192.168.52.130
	192.168.58.2		
Josjojahuarina 2	192.168.53.1	192.168.53.129	192.168.53.130

Huiracochan	192.168.54.1	192.168.54.129	192.168.54.130
Don Juan	192.168.55.1	192.168.55.129	192.168.55.130
Laykatuyoc	192.168.56.1	192.168.56.129	192.168.56.130
Huascar	192.168.57.1	192.168.57.129	192.168.57.130

Repetidores (Interfaces de red Inalámbricas):

REPETIDORES	SOEKRIS		
	ath0	ath1	wlan0
Hospital Cusco	192.168.1.2	192.168.2.1	
	192.168.22.1		
Josjojahuarina 1	192.168.2.2	192.168.33.1	
	192.168.6.1	192.168.3.1	
	192.168.22.2		
Josjojahuarina 2	192.168.33.1	192.168.5.1	
Huiracochan	192.168.3.2		192.168.4.1
Don Juan	192.168.6.2		192.168.7.1
Laykatuyoc	192.168.10.1	192.168.8.1	192.168.7.2
Huascar	192.168.10.2	192.168.12.1	192.168.11.1

#### 7.2.2.2. Características de los enlaces

En la Figura 7.10 se presentó un esquema detallado de la red EHAS-@LIS. En él aparecen los canales utilizados y las velocidades de éstos.

El principal criterio para la elección de los canales fue que no interfirieran entre sí en los repetidores, ya que casi todos tienen 3 enlaces se eligieron el 1, el 6 y el 11.

Como también se puede apreciar en la Figura 7.10, hay algunos enlaces que no se encuentran en estos canales, en concreto:

Red Sur - Hospital Regional Hospital Regional - Josjojahuarina 1 Josjojahuarina 1 - Josjojahuarina 2

En los primeros casos, el cambio se llevó a cabo debido a las interferencias causadas por la proliferación de las redes en la banda de 2.4GHz que se ha producido en Cusco en los últimos años, mientras que el último se realizó, dado que se comprobó que se estaba produciendo el problema del nodo oculto descrito en 3.2 y al no quedar más canales libres en la banda de 2.4GHz en el repetidor Josjojahuarina 1, se optó por usar la banda de 5.8 GHz.

Para la elección de las velocidades, en un principio se seleccionaron las velocidades de 2M para el modo 802.11b, y 6M para los modos 802.11a/g. El escoger una velocidad pequeña aporta de estabilidad a los enlaces inalámbricos ante fluctuaciones en el canal. La sensibilidad según el modelo de tarjeta inalámbrica elegida variará entre –96 dB y –93 dB para velocidades de 2 Mb en la banda de 2.4GHz y –94 dB para tasas de 6M en la banda de 5.8GHz.

7.2 Red EHAS-@LIS

## 7.2.3. Servicios de la red

La red EHAS-@LIS ofrece los siguientes servicios:

• VoIP: Voz sobre protocolo de *Internet*, que permitirá las comunicaciones telefónicas.

- Correo electrónico: capacidad de crear cuentas de usuario de correo electrónico y todas las funcionalidades que tiene este servicio.
- Navegación *Internet*: acceso a Internet por medio de una conexión ADSL en la Red de Servicios Cusco Sur.
- Transferencia de datos: permitirá la transferencia de archivos entre todas las computadoras de la red.

## 7.2.4. Descripción de las estaciones

En esta sección se describe con detalle las estacines y los repetidoresque conforman esta red. El estudio se realiza a partir de los diferentes subsistemas que conforman cada nodo: infraestructura, telecomunicaciones, seguridad eléctrica y energía.

#### 7.2.4.1. Estación cliente

Las estaciones cliente de la red EHAS-@LIS, está compuesta por los siguientes subsistemas:

- Subsistema de Telecomunicaciones.
- Subsistema de Protección eléctrica.
- Subsistema Informático.
- Subsistema de Infraestructura.

Como se puede observar, no disponen de subsistema de energía, ya que estas estaciones se encuentran en localidades que ya disponían de suministro de energía antes de que se instalara la red de telecomunicaciones. A continuación se describirá cada uno de los subsistemas citados.

## 7.2.4.1.1. Subsistema de Telecomunicaciones

Está conformado por los equipos que se describen a continuación:

## Enrutador inalámbrico

Se encuentra dentro de una caja de plástico en la que se encuentra, además de una placa *Soekris NET4511* (que es la computadora embebida elegida para los clientes en esta red), los componentes necesarios para ofrecer los servicios descritos. Estos elementos, que pueden apreciarse en la Figura 7.12, se enumeran a continuación:

- 1. Soekris NET4511 con fuente de 12V.
- 2. Memoria CF 512 MB.

- 3. Tarjeta inalámbrica (depende del establecimiento).
- 4. Pigtail MMCX macho N macho.
- 5. ATA con fuente de 5V.
- 6. Tomacorriente de 220VAC para alimentar a la fuente de la placa *Soekris* y del ATA; la toma de energía viene del estabilizador que es parte del subsistema de cómputo.
- 7. Cables *Ethernet* desde el ATA y la computadora hacia la placa *Soekris*.
- 8. Cable de linea entre ATA y el teléfono analógico.

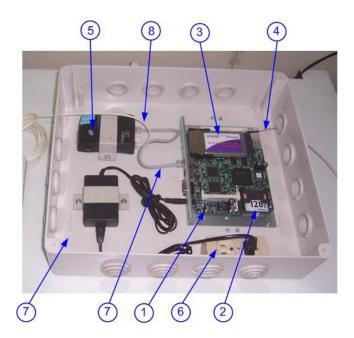


Figura 7.12: Caja Interior de Telecomunicaciones.

Las tarjetas inalámbricas elegidas en un principio fueron las *PCMCIA Engenius Senao 2511CD PLUS Ext 2*. Sin embargo, y dada la problemática para largas distancias discutida en la sección 3.2, de decidió cambiarlas paulatinamente por tarjetas con *chipset Atheros*. La elección de estas últimas se basa en criterios de la potencia de cada tarjeta, por lo que se han instalado distintos modelos, entre ellos la *SR2* (400mW) la *CM9* (80mW) o la *SRC* (300mW).

## Teléfono analógico y ATA

El ATA utilizado es el *Handy Tone 486* de *Grandstream* y el teléfono es de marca *Panasonics*. En los establecimientos de salud sólo se encuentra a vista del usuario el teléfono analógico, ya que el ATA se encuentra en la caja de plástico junto con el enrutador.

7.2 Red EHAS-@LIS

#### Antena y conexión

Las antenas instaladas para las estaciones cliente en un principio fueron tipo directivas de grilla de 24 dBi, en concreto el modelo *HG2424G* de *Hyperlink*. Sin embargo, desde el momento en que se realizó el diseño e implementación de la red, han aparecido en el mercado nuevos productos con mejores prestaciones tanto en la banda 2.4 GHz como en la de 5.8 GHz, además se han multiplicado las redes inalámbricas en la ciudad de Cusco, con el consiguiente incremento de la interferencia con los nodos principales de la red EHAS-@LIS. Es por ello que se cambiaron algunos enlaces en esta banda de frecuencias, con el consiguiente cambio de antenas. Las elegidas fueron la antenas de grilla *HG5827G* de 27 *dBi* y la de panal *HG5819P* de 19 dBi.

El cable cable coaxial utilizado para la conexión de equipos es el *WBC400*, que se caracteriza por ser de bajas pérdidas, aproximadamente de 0,2 dB/m.

#### 7.2.4.1.2. Subsistema de Protección Eléctrica

En las estaciones de la red EHAS-@LIS se han construido sistemas PAT para evitar que las descargas eléctricas ambientales puedan dañar las antenas y para la protección y el buen funcionamiento de los equipos de comunicación y de cómputo. Estos sistemas PAT se han implementado utilizando un pararrayos tetrapuntal tipo *Franklin* ubicado en la parte más alta del mástil. Éste proporciona una protección que cubre un volumen cónico con una altura de 9 m² y un ángulo de 45 grados. El pararrayos tetrapuntal está conectado al pozo PAT mediante un cable de cobre desnudo de 50mm² de diámetro. Este pozo es del tipo horizontal (10 m de longitud) y está construido con una mezcla de tierra de cultivo, sal y Bentonita. En esta mezcla es donde se conecta el fleje de cobre.

Para la protección de los equipos de telecomunicaciones y del equipo de cómputo se construye otro pozo PAT. Este pozo tiene los mismos componentes que el pozo de pararrayos y es de la misma longitud. Es poco probable que la antena reciba una descarga eléctrica, sin embargo, por seguridad se han instalado protectores de linea que se encuentran entre el cable coaxial y la placa *Soekris*, de forma que si se produce una descarga, ésta será derivada al pozo PAT.

Para cada pozo PAT se han instalado cajas de registro que nos indican el lugar donde inicia el pozo y donde se encuentra la unión del pozo con el cable de tierra de los equipos o del pararrayos.

## 7.2.4.1.3. Subsistema Informático

Lo conforman los equipos informáticos que se utilizan para el usuario final saque provecho de los servicios que ofrece la red.

A cada establecimiento de salud se le proporcionó inicialmente un equipo de cómputo con S.O. *GNU/Linux*, aunque posteriormente las estaciones fueron migradas al S.O. *Windows* por petición de los usuario. A continuación se detalla la relación de componentes instalados:

Monitor	LG, StudioWork 505G
Teclado	BTC multimedia
Mouse	Microsoft
Computadora	Compatible, Intel PIV de 2.4 GHz. 512MB de memoria RAM
	y 40GB de HD. Tiene integrado vídeo, sonido e interfase de red.
Estabilizador	Staby
Impresora	Epson matricial

Al puerto *Ethernet* de esta computadora se conecta un cable cruzado que va al puerto etho de la placa *Soekris* (caja interior de telecomunicaciones), para así conectarse a la red inalámbrica.

#### 7.2.4.1.4. Subsistema de Infraestructura

Las partes que lo conforman son el soporte para la antena, que consiste en un poste de 6 m de color blanco y el soporte para el pararrayos, que consiste en un poste de 9 m. Ambos postes están soportados por una base de acero que los sujeta con 3 pernos y tuercas hexagonales. En los puestos de salud de Kcauri y Urpay las antenas están instaladas en brazos metálicos montados en la pared. Ejemplos de estas estructuras se muestran en la Figura 7.13





Figura 7.13: Montaje de antena en pared.

## **7.2.4.2. Repetidor**

Están ubicados en los cerros Josjojahuarina, Huiracochan, Don Juan, Laykatuyoc, Huascar y en el Hospital Cuzco. En cada uno de estos se han implementado casetas y torres, además algunas de las estaciones tienen cerco perimétrico. En las casetas se ubican los equipos de telecomunicaciones y en las torres se han instalado las antenas y los paneles solares. En algunos casos (como en los repetidores ubicados en los cerros Don Juan y Laykatuyoc) el acceso es complicado, debiendo efectuarse desplazamientos de varias horas a pie, en los otros casos es posible acceder con movilidad.

Estas estaciones no constan del mismo número subsistemas que las estaciones cliente, ya que que no necesitan del subsistema informático, pero si del de energía, dada su localización en zonas aisladas, exceptuando al repetidor instalado en el Hospital Regional de Cusco que cuenta con una estación cliente y tiene su propia alimentación de energía al encontrase en la ciudad.

#### 7.2.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones

En la Tabla 7.2.4.2.1 se muestran, a modo de ejemplo, los equipos y partes del subsistema del repetidor Huascar, que en su mayoría son los mismos para los otros repetidores, sólo varían la cantidad de tarjetas inalámbricas y antenas. Estos se muestran en la Figura 7.14. Esta descripción es suficiente para familiarizarse con los elementos de estos subsistemas pues a excepción de la antena, los otros equipos y partes están ubicados dentro de una caja metálica para su protección.

Ítem	Descripción	Cantidad
------	-------------	----------

7.2 Red EHAS-@LIS 183

1	Antena de panel de 19dBi	2
2	Antena sectorial 90 grados 17dBi	1
3	Cables coaxiales	3
4	Protectores de línea	3
5	Pigtail MMCX-N macho	2
6	Cable coaxial corto	1
7	Pigtail UFL-N hembra	1
8	Tarjeta 200mW PCMCIA	2
9	Tarjeta 200mW MiniPCI	1
10	Placa Soekris net 4521 con cable de alimentación	1
11	Compact Flash 512MB	1
12	Cable cruzado de red	1
13	ATA con cable de alimentación	1
14	Caja metálica con aislamiento térmico	1

## 7.2.4.2.2. Subsistema de Energía

Provee la energía para los equipos instalados en los repetidores debido a que en los cerros no se cuenta con líneas de suministro de energía eléctrica. Este subsistema transforma la energía solar en energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, entregando en su salida un voltaje de 12 voltios DC. Los equipos que conforman este subsistema se presentan en la Tabla 7.2.4.2.2 y se muestran en la Figura 7.15.

Ítem	Descripción
1	Módulo fotovoltaico (panel solar)
2	Cable NLT 2x10 (panel solar a controlador)
3	Interruptores termo magnéticos.
4	Protectores de línea DC.
5	Controlador de panel solar.
6	Borneras de conexiones.
7	Cable TW6 (batería a controlador).

### 7.2.4.2.3. Subsistema de Protección Eléctrica

En forma similar al caso de las estaciones cliente, en los repetidores también se han instalado sistemas PAT de tipo horizontal. Estos pozos contienen los mismos elementos que los anteriores, con la diferencia que su longitud es de 20 m. Como excepción el pozo del cerro Don Juan tiene una longitud de 60 m, debido a la alta resistividad del terreno. El uso del tetrapuntal *Franklin* ubicado en el extremo de las torres proporciona una protección que cubre un volumen cónico correspondiente a una altura es de 12 m (la altura de la torre) y ángulo de 45 grados.

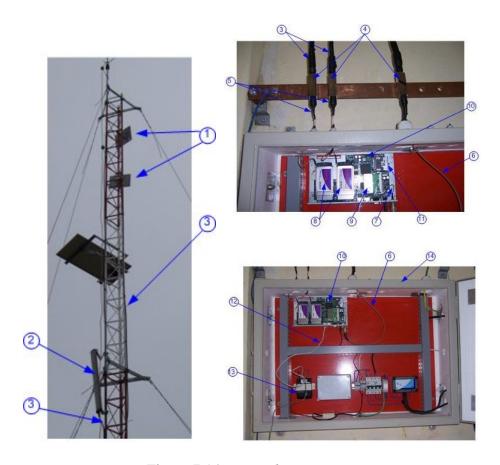


Figura 7.14: Repetidor Huascar.



Figura 7.15: Partes de subsistema de energía en caja metálica.

#### 7.2.4.2.4. Subsistema de Infraestructura

Este subsistema sirve de base para algunos componentes del subsistema de protección eléctrica. Como se ha indicado, está formado por una torre ventada de 12 m de altura que sirve de soporte para las antenas, el pararrayos tetrapuntal y el panel solar. El repetidor instalado en el Hospital Regional de Cuzco no cuenta con torre ventada, en su lugar se han instalado 2 mástiles en la la parte más elevada del tejado del hospital.

Además, se han construido casetas para instalar los equipos de una forma más segura. Un ejemplo de estas infraestructuras se puede observar en la Figura 7.16.

7.2 Red EHAS-@LIS





Figura 7.16: Torre y caseta de un repetidor.

## 7.2.4.3. Estación pasarela

La estación pasarela está situada en la frontera de la red *WiFi* con el exterior (en el caso de la red de Cusco está en la Red Cusco Sur). Se encarga principalmente de proporcionar los siguientes servicios:

- Conectividad a *Internet* a través de un línea *DSL speedy 900* de *Telefónica*.
- Conectividad a la red telefónica exterior a través de una línea convencional analógica.
- Servidor de correo para proporcionar cuentas de correo a los usuarios de la red.
- Servidor de VoIP asterisk principal para proporcionar las funcionalidades adicionales de voicemail y conferencia.
- Servidor de Gestión de Red basado en la aplicación software Zabbix.

El primer servicio nombrado anteriormente es realizado a través de un *Router DSL* mientras que los cuatro restantes son gestionados a través de un servidor. Por lo demás, los subsistemas de este tipo de nodos son idénticos a los de una estación cliente.

#### 7.2.4.3.1. Características de la conexión a *Internet*

Para la conexión a *Internet* de la Red EHAS-@LIS la Red de Servicios Cuzco Sur ha adquirido el servicio de acceso a *Internet speedy 900* de *Telefónica*, instalando para ello un enrutador de entrada/salida a *Internet* en la oficina de la Red Sur.

Para el servicio de correo electrónico se dispone de un servidor denominado svcusco, donde se crean las cuentas de correo y sus contraseñas. Las direcciones de correos electrónicos creados por el Programa EHAS permiten no sólo comunicarse entre ellos sino también comunicarse (enviar y recibir) con cualquier otro correo externo.

### 7.2.4.3.2. Características de Telefonía IP

La red de telefonía IP brinda el servicio de comunicación de voz entre 11 establecimientos de salud con la Red de Servicios Cuzco Sur y el Hospital del Cuzco, existiendo un total de 13 teléfonos instalados (sin contar Accha). Los servicios que ofrece esta red son llamadas entre todos los teléfonos, *voicemail*, conferencia y la posibilidad de realizar llamadas al exterior a través de tarjetas prepago,

así como de recibir llamadas del exterior (hacia y desde la red de telefonía pública). Técnicamente la red de telefonía IP está formada por servidores VoIP y teléfonos instalados sobre la red EHAS-@LIS.

Para administrar el servicio telefónico se han instalado cinco servidores con la aplicación *asterisk* en cada uno de ellos. Los servidores VoIP se muestran en la Tabla 7.2.4.3.2.

Servidor	Equipo de cómputo	Ubicación	IP	Zona
svcusco	PC PIV	Red Cuzco Sur	200.121.30.234	Cuzco
svjosjo1s1	Soekris NET4521	Josjojahuarina1	192.168.2.2	Urcos
svjosjo1s2	Soekris NET4521	Josjojahuarina 1	192.168.3.1	Ccatcca
svlayka	Soekris NET4521	Laykatuyok	192.168.8.1	Pomacanchi
svhuascar	Soekris NET4521	Huascar	192.168.11.1	Acomayo

Los servicios de telefonía IP se listan en la Tabla 7.2.4.3.2, los servicios de *voicemail* y conferencia los administra el servidor *svcusco*.

Servicios	Descripción	Número telefónico
	Sala 160	160
Conferencia	Pin: 7852	
	Sala 161	161
	Pin: 4567	
Buzón de voz	Cada puesto tiene su clave	150
	Tarjeta 147	147
Llamadas a la RTPC	Tarjeta holaperú	148
	A cualquier teléfono	140 (sólo 210)
Llamadas desde la RTPC		(084)223899

El servicio de telefonía IP instalado por el Programa EHAS es gratuito y está disponible las 24 horas del día. Para llamar a la red de telefonía pública desde los establecimientos de salud sólo es posible usar tarjetas prepago 147 y *holaperú* de *Telefónica del Perú*. El encargado del proceso de pago y del mantenimiento de los servicios de la línea telefónica 223899 y de *Internet* es la Red de Servicios Cuzco Sur.

## 7.2.4.3.3. Aplicación de la herramienta de gestión de red

En la red EHAS-@LIS Cusco, el sistema de gestión de redes descrito en ?? ha contribuido a detectar y a diagnosticar problemas que afectan al buen funcionamiento de la red. Además, ha permitido conocer el uso y las necesidades de mejora de los servicios ofrecidos por la red. A continuación se describen los casos más importantes en los que el sistema de gestión de redes ha sido de gran utilidad.

■ El sistema de gestión envió un correo electrónico informando que el repetidor instalado en Don Juan y por tanto toda la parte sur de la red sur se encontraba sin comunicaciones no se encontró ninguna causa aparente en el sistema de gestión se realizó un viaje a la zona y se encontró que el sistema de alimentación de la *Soekris* se había quemado por un rayo. Una vez se identificó el problema se inició el proceso de mejora del sistema de seguridad eléctrica y el reemplazo de los equipos dañados para restablecer la parte sur de la red.

- El sistema de gestión informó mediante un correo electrónico que el repetidor instalado en Josjojahuarina1 y por tanto todos los enlaces que dependen de ese enrutador perdían la conexión entre las 9 p.m y 10 a.m todos los días. En la sierra peruana el sol sale alrededor de 12 horas, entre las 6 a.m y 6 p.m entonces parecía que el problema estaba relacionado con el sistema de energía solar. Al visitar el sitio así se comprobó, ya que se encontraron las baterías descargadas lo que hizo evidente un problema de mal dimensionamiento del panel solar. Una vez se detectó el problema se decidió reemplazar las baterías y tomar las medidas necesarias.
- El sistema de gestión de redes informó nuevamente que el repetidor instalado en Don Juan y toda la parte sur de la red se encontraban sin conexión. Por lo que se observaron todos los parámetros de este enrutador en el sistema y no se encontró ninguna causa aparente del problema, por tanto se decidió realizar un viaje al sitio. En el se descubrió que habían robado el panel solar. Por desgracia, en ese momento, no se contaba con los recursos para la compra de equipos y la red estuvo inoperativa durante bastante tiempo, haciendo evidente la necesidad de un estudio de sostenibilidad de las redes, como se describió en el capítulo 6. Finalmente se pudo comprar un nuevo panel y se tomaron las medidas de seguridad física necesarias.

## 7.3. Red WiFi PAMAFRO EHAS

# 7.3.1. Descripción de la red

En el marco del "Proyecto de Control de la Malaria en las zonas fronterizas de la Región Andina: Un Enfoque Comunitario – PAMAFRO" se desplegó una red en 2007 en la microrred de salud del Napo, ubicada en el departamento de Loreto, en la selva amazónica peruana. Esta red está compuesta por 11 establecimientos de salud a lo largo de una jurisdicción de 2 distritos, Napo y Torres Causana. Esta microrred está administrada por congregaciones sacerdotales desde hace más de 20 años y recientemente tiene apoyo del MINSA.

La red de telecomunicaciones se basa en el uso del estándar 802.11g en 2.4GHz de la banda ISM, es decir, *WiFi*. En los 11 poblados, que forman parte de la red inalámbrica, se encuentran dos tipos de estaciones: estaciones cliente y repetidores. La estación repetidora se encuentra instalada en las torres y la estación cliente se encuentra instalada en el establecimiento de salud excepto en Copal Urco (en el botiquín comunal) y Tupac (en la escuela). Los 11 poblados mencionados son:

1. Tacsha Curaray

2. Santa Clotilde

3. Copal Urco

4. San Rafael

5. Rumi Tuni

6. Campo Serio

7. Angoteros

8. Tempestad

9. Tupac

10. Torres Causana

11. Cabo Pantoja

Los enlaces que interconectan las estaciones repetidoras formando la red troncal, se presentan en la Figura 7.17, donde se indica también la distancia que los separa. Esta red troncal es la encargada de transportar el tráfico de datos generado por las comunicaciones entre las estaciones cliente.

Asimismo, en cada poblado existe un enlace inalámbrico entre la estación repetidora y la estación cliente, que permite a las estaciones clientes acceder a la red troncal.

Los enlaces entre las estaciones repetidoras (ubicadas en las torres) y las estaciones clientes (ubicadas en los puestos de salud) son llamados red de distribución. Por lo tanto, los repetidores que se

#### **RED TRONCAL NAPO**

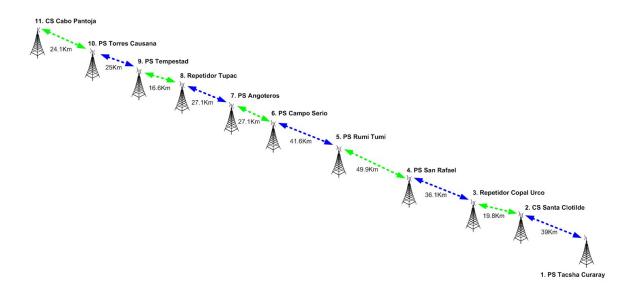


Figura 7.17: Repetidores que conforman la Red Troncal Napo.

encuentran en cada torre forman parte, a la vez, de la red troncal y la red de distribución, como se aprecia en la Figura 7.18.

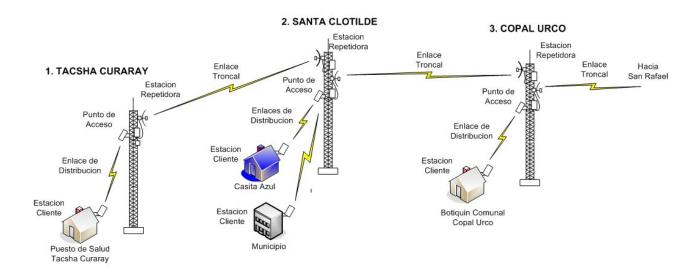


Figura 7.18: Esquema de la red troncal y las redes de distribución.

## 7.3.2. Diseño de la red

Para realizar el diseño de la red *WiFi* PAMAFRO EHAS se utilizó la herramienta *software Radio Mobile*, descrita en la sección 4.1.5 Con este *software* se evaluaron principalmente la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas y la altura de las torres para que no haya interferencia del terreno en el recorrido de la señal.

Cada enlace fue analizado encontrando el mejor rendimiento; la experiencia en los diseños de radio enlaces con tecnología 802.11g dice que para obtener un enlace con nivel aceptable de recepción (tomando en cuenta todas las perdidas por radio propagación en el medio) en el diseño se debe lograr un nivel de recepción superior a 20dB. Tomando como base el enlace más crítico (el enlace más largo es el de San Rafael con Rumi Tuni, de 49.9 Km) se eligieron los equipos 802.11g que fueron usados en el resto de los enlaces que forman la troncal.

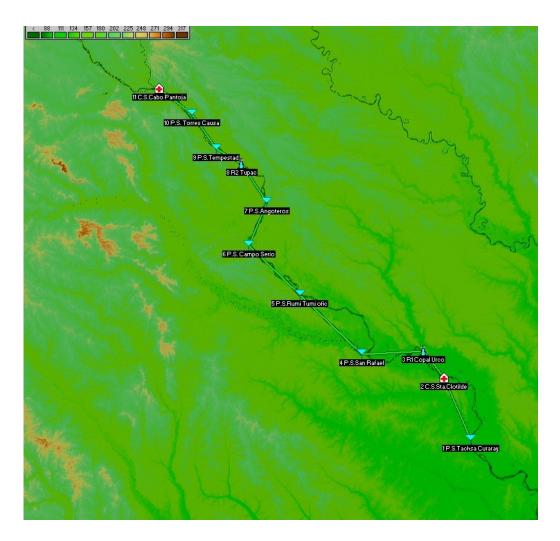


Figura 7.19: Diseño de la red en el Radio Mobile.

De esta evaluación se obtuvieron que se necesitaban interfaces con potencia de radio frecuencia de 400mW para la transmisión y antenas de 24dBi. En las Figura 7.19 se muestran los resultados obtenidos con el *Radio Mobile* para la red.

#### 7.3.2.1. Direccionamiento IP

Por criterios organizativos se utilizaron los siguientes rangos de direcciones IP privadas, ya que así resulta fácil recordar que direcciones tiene cada elemento siguiendo la secuencia de la numeración:

- 192.168.X.Y : enlaces inalámbricos (X = 1,2,3,..., 11)
- 192.168.5X.Y: puerto *Ethernet Wrap* en los repetidores (X = 1,2,...,11)
- 10.0.X.Y : puertos *Ethernet Linksys* en los clientes (X = 1,2,3,...,11)

En la siguiente tabla se presenta las direcciones IP de las estaciones cliente en las que se muestran las de las interfaces inalámbricas, así como las de las computadoras y las de los ATAs instalados en ellas.

PUESTOS	Dirección IP			
DE SALUD	eth0	PC	ATA	
PS Tacsha Curaray	10.0.1.2	10.0.1.12	10.0.1.11	
CS Santa Clotilde	10.0.2.2	10.0.2.12	10.0.2.11	
Santa Clotilde	10.0.2.3		10.0.2.13	
Copal Urco	10.0.3.2		10.0.3.11	
PS San Rafael	10.0.4.2	10.0.4.12	10.0.4.11	
PS Rumi Tuni	10.0.5.2	10.0.5.12	10.0.5.11	
PS Campo Serio	10.0.6.2	10.0.6.12	10.0.6.11	
PS Angoteros	10.0.7.2	10.0.7.12	10.0.7.11	
Tupac	10.0.8.2		10.0.8.11	
PS Tempestad	10.0.9.2	10.0.9.12	10.0.9.11	
PS Torres Causana	10.0.10.2	10.0.10.12	10.0.10.11	
CS Cabo Pantoja	10.0.11.2	10.0.11.12	10.0.11.11	

Las estaciones repetidoras (excepto en Tacsha Curaray y Cabo Pantoja, ya que son cabecera y fin de red) están formadas por 2 enrutadores *Wrap* que enumeraremos como el enrutador *Wrap 1* y enrutador *Wrap 2*.

A continuación se presentan las direcciones IP de cada una de las interfaces de todas las estaciones repetidoras.

Dirección IP de las interfaces de la Wrap1:

Repetidor	WRAP1		
	eth0	ath0	
Tacsha Curaray			
Santa Clotilde	192.168.52.1	192.168.1.2	
Copal Urco	192.168.53.1	192.168.2.2	
San Rafael	192.168.54.1	192.168.3.2	
Rumi Tuni	192.168.55.1	192.168.4.2	
Campo Serio	192.168.56.1	192.168.5.2	
Angoteros	192.168.57.1	192.168.6.2	
Tupac	192.168.58.1	192.168.7.2	

Tempestad	192.168.59.1	192.168.8.2
Torres Causana	192.168.60.1	192.168.9.2
Cabo Pantoja		

Dirección IP de las interfaces de la *Wrap2*:

Repetidor	WRAP2			
	eth0	ath0	ath1	
Tacsha Curaray	192.168.51.1	10.0.1.1	192.168.1.1	
Santa Clotilde	192.168.52.2	10.0.2.1	192.168.2.1	
Copal Urco	192.168.53.2	10.0.3.1	192.168.3.1	
San Rafael	192.168.54.2	10.0.4.1	192.168.4.1	
Rumi Tuni	192.168.55.2	10.0.5.1	192.168.5.1	
Campo Serio	192.168.56.2	10.0.6.1	192.168.6.1	
Angoteros	192.168.57.2	10.0.7.1	192.168.7.1	
Tupac	192.168.58.2	10.0.8.1	192.168.8.1	
Tempestad	192.168.59.2	10.0.9.1	192.168.9.1	
Torres Causana	192.168.60.2	10.0.10.1	192.168.10.1	
Cabo Pantoja	192.168.61.1	10.0.11.1	192.168.10.2	

En ellas se puede apreciar que se usaron direcciones estáticas, ya que se trata de una red sin cantidad excesiva de terminales: 11 estaciones repetidores, 11 clientes, con una computadora y un ATA por cliente. Además, al no ser necesaria la movilidad de los equipos, el direccionamiento dinámico sería inapropiado para esta red.

Como se puede observar, cada enlace inalámbrico o *Ethernet* tiene una red asignada, es decir, un rango de direcciones desde 1 hasta 255. Ejemplo: el enlace inalámbrico entre Angoteros y Campo Serio forma la red 192.168.6.0, y las tarjetas inalámbricas involucradas en esta red son 192.168.6.1 y 192.168.6.2. Lo mismo sucede con los clientes PC conectadas a las *Linksys*.

Esto se realizó por motivos de futuras expansiones, ya que, de esta forma, si se agregan miembros a los enlaces, basta con que estén en la misma red para que participen de ella. Asimismo, no se tendrían que realizar cambios ni en las tablas de rutas de los repetidores ni en la tabla de NAT, ya que en esta red se realiza encaminamiento por red. Además, esta numeración distinguiendo a los clientes PC de los repetidores, y los puertos *Ethernet* de los inalámbricos, aumentaba la facilidad en la gestión. Ejemplo: si se quieren restringir permisos o accesos a los clientes de una red se puede realizar a todo un segmento: 10.0.X.0.

#### 7.3.2.2. Características de los enlaces

En la Figura 7.20 se presenta un esquema de toda la red WiFi PAMAFRO EHAS, junto con las velocidades de cada enlace y los equipos utilizados en cada estación.

Al utilizar el estándar 802.11g, se disponía de 3 canales no interferentes, el 1, el 6 y el 11. En esta red casi todos los repetidores iban a requerir 3 enlaces, es decir, para que los enlaces no se interfirieran entre ellos debían ser diferentes. Por lo que se utilizaron el 6 y 11 alternamente en los enlaces troncales y el 1 para los de distribución.

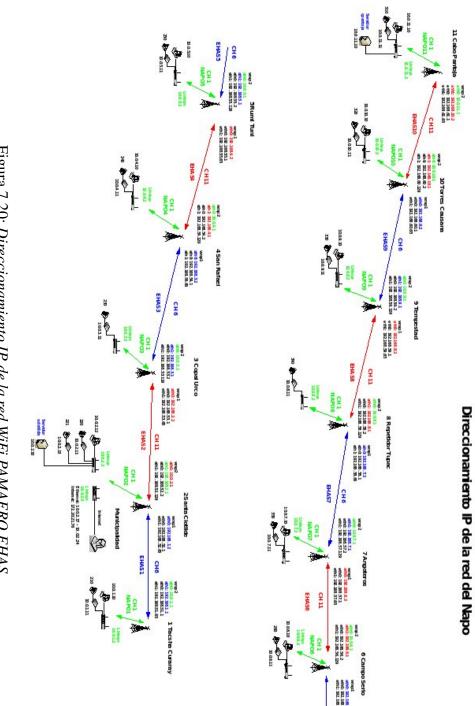


Figura 7.20: Direccionamiento IP de la red WiFi PAMAFRO EHAS.

En cuanto a la velocidad de los enlaces se ha escogido 6Mb, ya que en el diseño en *Radio Mobile*, los niveles de señal recibidos demostraban que iba a tener estabilidad (teóricamente) a esta velocidad. El cuanto a la practica se tiene en el peor de los casos un ancho de banda efectivo del 50 %, es decir 3Mb, lo que permite que la red troncal puede manejar varias llamadas y accesos a *Internet* de forma simultánea.

## 7.3.3. Servicios de red

Los principales servicios que la red *WiFi* en toda su plenitud ofrece, son:

- VoIP: Voz sobre protocolo de *Internet*, que permitirá las comunicaciones telefónicas.
- Correo electrónico: capacidad de crear cuentas de usuario de correo electrónico y todas las funcionalidades que tiene este servicio.
- Navegación Internet: acceso a Internet por medio de un enlace satelital ubicado en Santa Clotilde.
- Transferencia de datos: permitirá la transferencia de archivos entre todas las PC de la red.

## 7.3.4. Descripción de las estaciones

#### 7.3.4.1. Estación Cliente

Según se ha mencionado anteriormente, los sistemas de comunicaciones instalados por GTR-PUCP han sido diseñados para generar la energía necesaria para su propio funcionamiento, entendido como un uso frecuente pero no continuo en el tiempo. Para ello, las estaciones cliente se componen de cuatro subsistemas:

- Subsistema de Telecomunicación
- Subsistema Informático
- Subsistema de Energía
- Subsistema de Protección eléctrica

Los dos primeros proveen los servicios de los que el usuario dispone, los dos siguientes aseguran la permanente disponibilidad de dichos servicios.

#### 7.3.4.1.1. Subsistema de Telecomunicación

En este subsistema se incluyen todos los equipos y componentes que intervienen en la transmisión de la información (voz o datos) incluyendo los elementos instalados en la torre ventada. A continuación se describe cada uno de sus elementos.

#### Enrutador inalámbrico

Este equipo brinda acceso a los usuarios del puesto de salud a la red *WiFi* implementada, pues se enlaza en forma inalámbrica a otro equipo similar ubicado en la torre ventada por medio de una antena instalada en el techo de la edificación. La marca del equipo es *LinkSys*, modelo *WRT54GL*, que fue descrito en detalle en la sección ??.

### Antena Yagi, cable coaxial, protector de línea y pigtail

El enrutador inalámbrico *Linksys* en su presentación directa de fábrica es un enrutador inalámbrico para interiores, por lo cual viene con 2 antenas omnidireccionales incorporadas. En la red *WiFi* se han adaptado estos enrutadores para poder realizar un enlace de exterior de la caseta hacia el repetidor ubicado en la torre, esto se ha logrado cambiando la antena omnidireccional incorporada por una antena directiva *Yagi* de 9dBi. Esta antena, la HG2409Y de *Hyperlink*, descrita en ??, se ubica en el exterior del establecimiento de salud y se conecta al *Linksys* a través de un cable coaxial, un protector de línea y un pigtail. Observe el esquema que se presenta en la Figura 7.21.

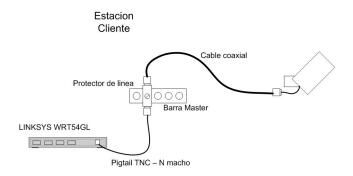


Figura 7.21: Cableado RF del enrutador Linksys.

#### Adaptador para Teléfono Analógico (ATA)

Este equipo sirve para convertir las señales entregadas por el teléfono a un formato compatible con una red de datos TCP/IP como es la red instalada. El modelo utilizado es el *Sipura SPA-2100* pero en Santa Clotilde y Cabo Pantoja se utilizó el modelo *SPA-3000*. Éstos fueron descritos en detalle en la sección ??. Al igual que el enrutador, este equipo está ubicado dentro de la caja de distribución de energía.

## Teléfono analógico

En los establecimientos de salud se instala un teléfono analógico marca *Panasonic*, similar a los usados en la RTPC, sin embargo, este teléfono se encuentra conectado al ATA que es quien realmente tiene las funcionalidades para telefonía IP.

#### 7.3.4.1.2. Subsistema de Energía

Este subsistema es fundamental para la operatividad de los sistemas instalados por GTR-PUCP, tiene la función de generar la energía necesaria para el funcionamiento de todos los equipos instala-

dos. Las características del sistema de energía son similares en todos los establecimientos de salud, independientemente del tipo de comunicación que tengan y consta de los siguientes componentes:

## Sistema Fotovoltaico

Comprende a los siguientes elementos:

- **Regulador**: Su misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas en las baterías. Los reguladores utilizados en las estaciones cliente son marca *Isofoton* modelo *Isoler* 20.
- Banco de baterías: Las baterías (marca *Trojan* de 6 voltios, se colocan dos por establecimiento cliente) son la fuente de la energía que consumen el enrutador inalámbrico, la computadora, las luminarias, la impresora y cualquier otro dispositivo eléctrico o electrónico instalado.
- Paneles solares: Captan la energía del sol y la traducen en corriente eléctrica que envían a las baterías (para su recarga) por intermedio del controlador. Comúnmente se instalan 2 ó 3 paneles por estación. En la red *WiFi* PAMAFRO EHAS se han instalado paneles marca *Isofoton* I-75.

## Tablero de Energía (Caja de Distribución)

En este elemento se realiza la distribución del cableado y conexiones para las diferentes cargas (equipos) conectadas e incluye un interruptor termomagnético como protección contra descargas eléctricas. En esta caja de distribución también se instala el regulador (facilitando las conexiones) y los equipos que son usados por el subsistema de telecomunicaciones (ATA y su fuente de energía y el enrutador *LinkSys*). Además se instala un conversor que transforma la alimentación eléctrica de 12 V que llega de los paneles a una señal de 5 V necesaria para alimentar al ATA. Como se puede apreciar en la Figura 7.22, el regulador cuenta con un *led* de funcionamiento.

Adicionalmente a los equipos mencionados, en la caja de distribución se instala una bornera que permite conectar los cables que alimentarán a los diversos dispositivos.

Durante el día, la corriente generada por los paneles solares llega hasta el regulador y éste la distribuye a los distintos dispositivos, lo que restante lo envía a la batería para almacenarla. Durante la noche, el regulador obtiene corriente de la batería para abastecer a los equipos que estén encendidos.



Figura 7.22: Conversor 12 V a 5 V.

#### **Inversor**

Este equipo se conecta al regulador y su función principal es proveer el tipo adecuado de voltaje y corriente al monitor y a la impresora, pues ambos funcionan con corriente alterna y las baterías

brindan corriente continua. Por tanto, como su nombre lo indica, el inversor transforma el voltaje continuo (12 V que entrega el banco de baterías) en un voltaje alterno de 110 V que es el que utilizan los equipos mencionados. En la Red *WiFi* PAMAFRO EHAS se han instalado inversores marca *XANTREX* modelos *Prowatt y PortaWattz*, ambos de 150W.

Finalmente, como elementos secundarios pero de gran utilidad se deben mencionar a las luminarias de 13 W de potencia, que en número de dos, son instaladas en todos los establecimientos de salud.

#### 7.3.4.1.3. Subsistema de Protección Eléctrica

Este subsistema tiene el objetivo de brindar protección a las personas y los equipos, evitando que descargas indeseadas lleguen hasta los mismos. Los sistemas de protección eléctrica constan de los siguientes elementos:

■ Pozo de puesta a tierra: Las estaciones cliente se encuentran ubicadas en zonas de baja o media resistividad, por lo que se han instalado pozos PAT con una longitud de 10 m y una profundidad de 50 cm, como se aprecia en la Figura 7.23.



Figura 7.23: Pozo de Puesta a Tierra.

- Barra Master: Es una platina de cobre que sirve para conectar los diferentes cables de cobre usados para la puesta a tierra de los equipos y también para conectarlos a los pozos PAT. Se instala en el interior pero aislada de la estructura del establecimiento, como se aprecia en la Figura 7.24.
- Protectores de línea: Son elementos especialmente diseñados para prevenir que descargas eléctricas puedan llegar al equipo radio y dañarlo. Se colocan en la barra Master y se conectan a dos cables coaxiales: uno llega al equipo radio y el otro a la antena.

### 7.3.4.1.4. Subsistema Informático

El subsistema informático permite al usuario disponer de las facilidades brindadas por una computadora y una impresora, tanto para el uso de correo electrónico como para el cumplimiento de las



Figura 7.24: Protector de línea instalado en barra Master.

diversas labores administrativas que necesita realizar. En la Tabla 7.3.4.1.4 se detallan los elementos que lo componen:

Componentes	Partes	Marca y modelo
Monitor		Samsung SyncMaster 540N
	Memoria RAM	Kingston DDR PC2100 DIMM
	Placa madre	EPIA M10000 Mini ITX
	Disco Duro	Toshiba, MK4032GAX 40Gb IDE
	Chasis (case)	
Computadora	incluye cables	Micronics, Mic C2750
	de poder	
	Lectora CD	LG Combo CD-RW 52x32x52 y DVD 16x
	Lectora de	SONY, 1.44 Mb
	disquetes	
Teclado		Genius
Ratón (mouse)		Genius
Impresora		HP Deskjet 3940

Cabe indicar que tanto la impresora como el monitor se conectan al inversor (110 V AC), en cambio, el CPU funciona con la alimentación de la batería (12 V DC) Todos estos equipos, incluyendo el inversor se ubican en un escritorio construido especialmente para este fin.

#### **7.3.4.2.** Repetidor

El repetidor o estación repetidora está conformado por los mismos subsistemas instalados en las estaciones cliente (salvo el subsistema informático, puesto que no es necesario, y que sería inviable ya que estos equipos están instalados en las torres). Además en esta estación se describirá el subsistema de Infraestructura, que constituye la estructura mecánica que permite ubicar adecuadamente sus componentes.

## 7.3.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones

En la Figura 7.25 se presenta un esquema típico del subsistema de telecomunicaciones en la estación repetidora.

En el esquema presentado se puede apreciar que el montaje del subsistema de telecomunicaciones sigue la siguiente secuencia: enrutador inalámbrico *Wrap*, protector de línea, cable coaxial y antena. Para el caso de los enlaces troncales se usar antenas directivas de grilla y para el caso de los enlaces de distribución se usar las antenas *Yagi*. Éstas, junto con el resto de los elementos de este subsistema, se presentan a continuación.

T. 4 1 ... XX

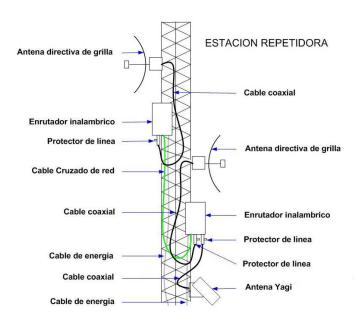


Figura 7.25: Esquema subsistema de telecomunicaciones en una estación repetidora.

4. tarjeta inalámbrica SR2 (400mW)

10. prensa estopa

5. tarjeta inalámbrica CM9 (80mW)

11. prensa estopa

6. pigtail uFL-N macho

En la Figura 7.26 se pueden apreciar los elementos del enrutador inalámbrico.

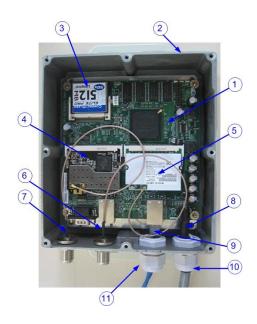


Figura 7.26: Elementos del enrutador inalámbrico.

Las estaciones repetidoras típicas (excepto en Tacsha Curaray y Cabo Pantoja, ya que son cabecera y fin de red) están formadas por 2 enrutadores *Wrap* que enumeraremos como el enrutador *Wrap 1* y enrutador *Wrap 2*. En la Figura 7.27 podemos apreciar el esquema de conexiones entre ambos.

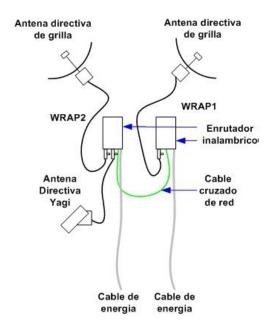


Figura 7.27: Esquema de conexiones en una estación repetidora.

#### **Antenas**

Las antenas que se usaran en esta red son:

- Antena de grilla de 24dBi, modelo HG2424G de Hyperlink, descrita en ??, para los enlaces troncales.
- Antena Yagi de 9dBi, modelo HG2409Y de Hyperlink, descrita en ??, para los enlaces de distribución.

## **Amplificadores**

Los amplificadores son dispositivos que como su nombre mismo indica amplifican una señal de entrada. En el esquema de la Figura 7.28 se puede observar su esquema de conexiones y comprobar que la salida de una de las interfaces inalámbricas ingresa al amplificador y luego sale con mayor intensidad hacia la antena.

En la red WiFi PAMAFRO EHAS sólo 4 enlaces usan amplificadores, estos son:

- Tacsha Curaray Santa Clotilde
- Copal Urco San Rafael
- San Rafael Rumi Tuni
- Rumi Tuni Campo Serio

Las estaciones repetidoras con amplificadores tienen el esquema de conexiones que se muestra en la Figura 7.29.

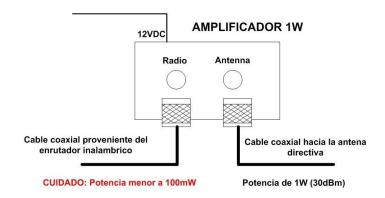


Figura 7.28: Esquema de conexiones del amplificador.



Figura 7.29: Estación repetidora con 1 amplificador.

#### Cables coaxiales

Los cables coaxiales son los dispositivos pasivos que se encargaran de transportar la potencia de radiofrecuencia de los radios a las antenas y viceversa. El tipo de cable coaxial usado es el *Belden 9913*. Entre sus principales características están:

■ Impedancia característica : 50Ω

■ Perdida por metro : 0.24dB

■ Conectores usados: N macho

## 7.3.4.2.2. Subsistema de Energía

Este subsistema es el encargado de proporcionar energía eléctrica al enrutador inalámbrico, que consta de los siguientes elementos:

- 1. Panel Solar.
- 2. Llaves termo magnéticas.
- 3. Controlador de corriente.
- 4. Batería de 12V.
- 5. Cables de interconexión internos y externos.

El panel solar se encuentra montado sobre un soporte metálico en la torre. El controlador, las llaves termo magnéticas, la batería y los cables de interconexión internos se colocaron en una caja metálica con aislamiento térmico. Sin embrago, dadas condiciones climatológicas de la selva amazónica, con su gran porcentaje de humedad, éstas tuvieron que ser sustituidas por otras con mejores condiciones aislantes. Los modelos de estos dispositivos son los mismos que los descritos para la estación cliente En la Figura 7.30 se presenta el esquema del subsistema de energía:

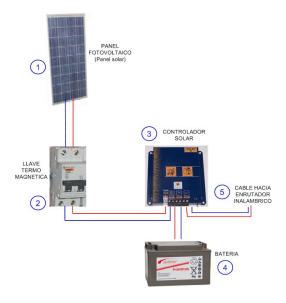


Figura 7.30: Elementos del subsistema de energía.

#### 7.3.4.2.3. Subsistema de Protección Eléctrica

Este subsistema tiene el objetivo de brindar protección a los equipos, evitando que descargas atmosféricas produzcan daños en los mismos. El subsistema de protección eléctrica en los repetidores consta de los siguientes elementos:

■ Pozo de puesta a tierra: Para una adecuada derivación de las posibles descargas atmosféricas que puedan ocurrir, se construyen pozos PAT al pie de cada torre ventada. La diferencia con

los pozos de las estaciones cliente se encuentran en la longitud,hasta 30 m en el caso de torres elevadas en zonas de resistividad baja o media y hasta 60 m en zonas de resistividad alta, y la forma geométrica que en este caso forma un cuadrado que rodea la base de la torre.

- Protectores de línea: En las terminaciones de los cables coaxiales que conectan los equipos, también se instalan protectores de línea, en forma similar a la estación cliente.
- Pararrayos: Este elemento, instalado en el punto mas elevado de la torre, es el que recibe directamente las posibles descargas eléctricas atmosféricas, transmitiendo la misma hacia el pozo a tierra a través de un cable de cobre desnudo de 50 mm² que se instala separado de la estructura de la torre mediante brazos de apoyo aislados. En la Red *WiFi* PAMAFRO EHAS se han instalado pararrayos del tipo *Franklin* tetrapuntales. Un ejemplo de este dispositivo se muestra en la Figura 7.31.



Figura 7.31: Pararrayos tetrapuntal.

#### 7.3.4.2.4. Subsistema de Infraestructura

Los sistemas instalados incluyen una infraestructura metálica que permite establecer enlaces de buena calidad e instalar adecuadamente algunos componentes de mayor importancia. Los principales elementos de la infraestructura son la torre metálica, con sus cables de sujeción (vientos) y bases de concreto y los soportes metálicos para la fijación de los paneles solares tanto en la torre como en la estación cliente. Dependiendo de la ubicación del establecimiento se puede requerir una mayor o menor altura de la torre, con el fin de instalar la antena en una posición que asegure una buena calidad de comunicación. La altura de las torres instaladas en la Red *WiFi* PAMAFRO EHAS varía desde los 15 hasta los 90 m. Un ejemplo de esta torres se presenta en la Figura 7.32.

#### 7.3.4.3. Estación Pasarela

#### **7.3.4.3.1.** Telefonía IP

Cada centro o puesto de salud cuenta con servicio de telefonía para comunicarse entre con el resto de establecimientos de la red. Para no implementar una red propia sólo para telefonía se aprovechó la red de datos, por lo que se usó la tecnología de VoIP. En el mercado existen muchas soluciones VoIP,



Figura 7.32: Torre ventada y antenas.

en este proyecto se usó el *software libre asterisk* por ser el más desarrollado para telefonía IP y como terminal telefónico se usó un ATA conectado a un teléfono analógico.

En total son 11 establecimientos que deben comunicarse telefónicamente, inicialmente sólo está previsto implementar 1 terminal telefónico por establecimiento. Si se cuenta con una computadora con procesador mayor a 500MHz y con 128MB de RAM se puede implementar un servidor *asterisk* para controlar estos 11 terminales telefónicos. Sin embargo, si sólo un servidor en un lugar específico controlase estos 11 terminales perdiera su conexión por condiciones atmosféricas extremas, por algún tiempo se dividiría a la red telefónica en dos. Para que al menos ambos tramos se puedan comunicar entre sí se necesitarían al menos dos servidores. Como no se pude saber que enlace sufrirá una perdida de conexión, por tanto se implementaron servidores *asterisk* en cada repetidor, específicamente en cada *Wrap* 2 administrando sólo al terminal telefónico del establecimiento donde está el repetidor respectivo.

Cada terminal telefónico de un centro o puesto de salud está configurado para registrarse con su respectivo servidor *asterisk* y este está configurado para aceptar el registro de su respectivo terminal por lo que le permitirá comunicarse con otros terminales telefónicos de la red. Cuando se realiza una llamada, el terminal telefónico llamante se comunica con respectivo servidor *asterisk* y éste se comunica con el servidor *asterisk* del terminal al que se está llamando, una vez aceptado la petición entre los servidores, los terminales podrán comunicarse.

En la siguiente tabla se muestran los servicios implementados en lo que respecta a telefonía.

Servicios	Servidor	Número de acceso	Beneficiario
Llamadas internas	Servidores involucrados	Figura 7.20	Todos
Correo de voz	Servidores involucrados	110 - buzón	Todos
		clave para cada uno	

#### 7.3.4.3.2. Servicio de Internet

Se ha aprovechado el servicio de Internet que posee la Municipalidad de Santa Clotilde para que el resto de los usuarios de la red tengan este servicio. Para esto se ha instalado un enrutador *Linksys* en la Municipalidad que está apuntado a la torre de Santa Clotilde específicamente a la interfaz ath0

de la *Wrap 2*; vea siguiente figura. La implementación de un enrutador *Linksys* de la Municipalidad es igual que las demás.

#### 7.3.4.3.3. Correo electrónico

Este servicio trabaja con dos servidores de correos, uno es el servidor sclotilde (servidor ubicado en Santa Clotilde), y el otro es el servidor lima.pe.ehas.org (servidor ubicado en Lima), vea la Figura 7.33.

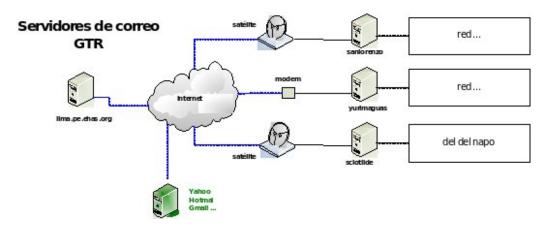


Figura 7.33: Servidores de correo del EHAS-GTR.

Servidor lima.pe.ehas.org: Este servidor brinda el puente para que el resto de servidores de correos que implementa el grupo GTR-PUCP en el Perú puedan intercambiar correos entre ellos y con otros servidores externos. Este servidor administra las cuentas de correos de todas estas redes y en él es donde se crean las cuentas de correo de los distintos usuarios de las distintas redes y se realizan los cambios.

Servidor sclotilde: En este servidor se ha implementado un servidor de correos para administrar el intercambio de correos en esta red y trabaja conjuntamente con el servidor lima.pe.ehas.org.

Por lo que, dentro de la red *WiFi* PAMAFRO EHAS el intercambio de correos entre cuentas EHAS-GTR es transparente si hubiera o no *Internet*. Mientras que el intercambio de correos entre cuentas EHAS-GTR y cuentas externas dependerá de que esté activa la conexión a *Internet*, pero no necesariamente tiene que estar activo en el momento que se esté enviando correos a estas cuentas externas, ya que éstos pueden ser almacenados en el servidor.

## 7.4. Redes VHF PAMAFRO EHAS

# 7.4.1. Descripción de las redes

En el marco del "Proyecto de Control de la Malaria en las zonas fronterizas de la Región Andina: Un Enfoque Comunitario – PAMAFRO", se desplegaron 3 redes VHF que coinciden geográficamente con las redes de salud ubicadas en la provincia Datem del Marañón, en las cuencas de los ríos Pastaza y Morona. Éstas se presentan en las Figuras 7.34 (Morona), 7.35 (Pastaza Bajo) y 7.36 (Pastaza Alto), junto con los equipos que utiliza cada estación y los canales en los que éstos se comunican.

En esta sección también se describirán los nodos HF de las redes PAMAFRO. Éstos están en la provincia de Maynas (Iquitos y Buena Vista), donde se instaló la red *WiFi* descrita 7.3, y en la provincia de Datem del Marañón (Uwijint).

La red Pastaza Bajo se comunica al exterior a través de una toma satelital ya existente en San Lorenzo antes de la ejecución del proyecto, mientras que la del Pastaza Alto se comunica con el exterior a través de una toma satelital en Loboyacu. La red Morona no tiene salida a *Internet*, sin embargo accede a este servicio a través de la conexión existente en San Lorenzo, que está enlazado con la estación de Puerto América.

El establecimiento de salud Uwijint se comunica a través de enlaces en banda HF. De esta forma, puede comunicarse en voz con Loboyacu, Sabaloyacu o San Lorenzo, que cuentan con este tipo de radios. Buena Vista, que también utiliza dicha tecnología, hace lo propio con Santa Clotilde e Iquitos. Para la comunicación de datos, ambos se conectan a una estación pasarela HF en la ciudad de Lima y, a través de él, tiene comunicación de datos con el resto de estaciones de su red. Dado que la cobertura de HF es nacional, realmente esta estación pasarela podría estar ubicado en cualquier lugar. Este punto debe cumplir con condiciones técnicas y administrativas favorables. Por este motivo, al igual que Lima, Iquitos también sería una buena elección.

## 7.4.2. Diseño de la red

Debido a la gran distancia que separa al nodo Uwijint del resto de nodos de su red, la única opción viable fue que este nodo se conectase mediante enlaces de voz y datos en banda HF. El resto de nodos, aunque tienen separaciones mucho menores que Uwijint, no son lo suficientemente cortas como para conseguir enlaces en microondas, por lo que se tomó la opción siguiente: enlaces de voz y datos en banda VHF. Exactamente lo mismo sucede con Iquitos y Buena Vista.

## 7.4.3. Servicios de red

#### 7.4.3.1. Comunicación de voz

Las microrredes VHF instaladas en el proyecto PAMAFRO utilizan radios de comunicación VHF convencional para la transmisión de voz. Cada microrred utiliza un canal para la comunicación de voz todos contra todos. Si se usa un repetidor de voz, la microrred utiliza dos canales de voz, uno para Tx y otro para Rx. Mientras va aumentando la cantidad de repetidores, mayor será los canales usados. Como ya se explicó, los repetidores de voz se usan en caso existan estaciones bastante alejadas entre sí. Tal es el caso de la microrred Morona, en la que existen tres repetidores de voz dispuestos en cascada, logrando de esa manera comunicar dos puntos alejados a más de 200 Km. Además, gracias a la herramienta software *asterisk-phonepatch*, descrito en detalle en 2.7.2.2, se permite dar servicio de telefonía a los usuarios. De esta manera se interconectará la red VHF con la RTPC. En los estaciones HF, también se podría implementar este servicio, sin embargo, debido a la baja calidad de las comunicaciones no se llevó a cabo.

#### 7.4.3.2. Correo electrónico

Adicionalmente al servicio de voz, las redes instaladas ofrecen un servicio adicional, correo electrónico. Para implementar este servicio, se usa una computadora embebida, que, usando un S.O. *GNU/Linux* con servicios de red, actúa como servidor de correo, transmitiendo así los datos vía canal de voz VHF a un servidor de correo conectado a *Internet*, tal que los correos electrónicos lleguen

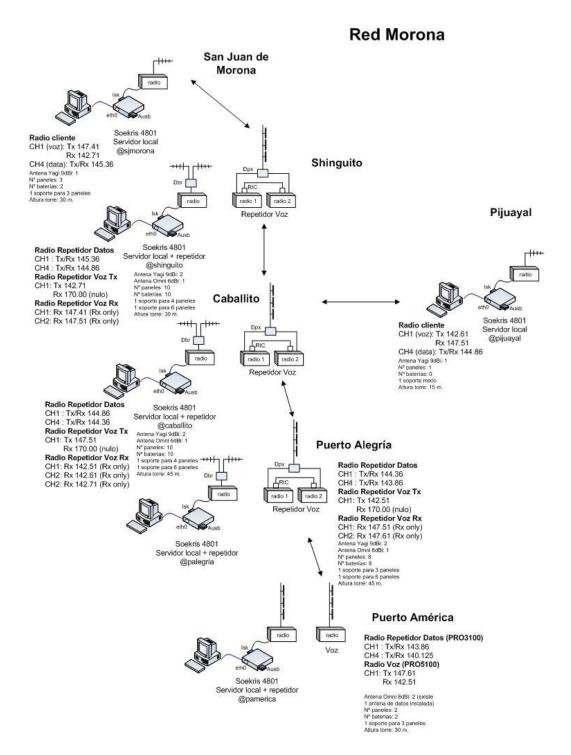


Figura 7.34: Red Morona.

a cualquier destino. Esto se logra ya que la computadora embebida controla las radios VHF y HFa través del puerto GPIO, y usa modulación en la banda de voz (a través del *software soundmodem*). Este procedimiento, junto con las configuraciones necesarias, fue descrito en 2.4.2.5. En estas redes sólo se implementó correo electrónico, y no otro servicio de transmisión de datos, por petición explicita de los beneficiarios de la red.

Rx 143.11

CH2 (voz): Tx/Rx 142.325

0 soportes Altura torre: 42 m.

## Uwijint **Nuevo Progreso** Datos a Iquitos Radio cliente Soekris 4801 CH1 (voz): Tx 147.61 Servidor local Cliente @uwijint @nprogreso Rx 143.11 CH4 (data): Tx/Rx 145.96 Musa Karusha Soekris 4801 Radio cliente Servidor local CH1 (voz): Tx 147.61 Rx 143.11 Nueva Yarina CH4 (data): Tx/Rx 145.96 Radio cliente CH1 (voz): Tx 147.61 Soekris 4801 Servidor local @nyarina Rx 143.11 CH4 (data): Tx/Rx 145.96 Antena Yaqi 9dBi: 1 Ullpayacu Radio Repetidor Datos CH1: Tx/Rx 145.96 CH4: Tx/Rx 140.775 Radio Repetidor Voz Tx CH1: Tx 143.11 Rx 170.00 (nulo) Soekris 4801 Servidor local + Repetidor Radio Repetidor Voz Rx CH1: Rx 147.61 (Rx only) Antena Omni: 2 @ullpayacu Nº baterias: 8 1 soporte para 3 paneles 1 soporte para 6 paneles Altura torre: 42 m. San Lorenzo Conexión por VSAT Mini-ITX Servidor de la @slor Radio Servidor Datos (PRO3100) CH1: Tx/Rx 140.775 Radio Voz Phonepatch (PRO5100) CH1 (voz y phonepatch): Tx 147.61

## Red Pastaza Bajo

Figura 7.35: Red Pastaza Bajo.

# 7.4.4. Descripción de las estaciones

## 7.4.4.1. Estación cliente

Debido a que los subsistemas de protección eléctrica e informático son los mismos que los descritos para la estación cliente de la red *WiFi* PAMAFRO EHAS en la sección 7.3.4.1, a continuación sólo se describen en profundidad el subsistema de telecomunicaciones y el subsistema de energía.

## Red Pastaza Alto

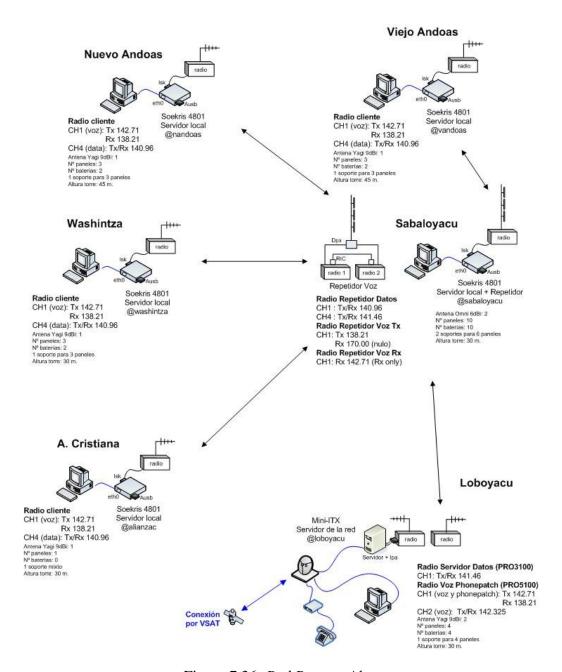


Figura 7.36: Red Pastaza Alto.

#### 7.4.4.1.1. Subsistema de Telecomunicaciones

Este subsistema permite el establecimiento de los enlaces radio para las comunicaciones de voz y datos. Tanto en los sistemas VHF como en HF, el funcionamiento es similar y su principal diferencia es que en los primeros, la velocidad de transmisión de información (correos electrónicos) es mayor.

Los subsistemas de telecomunicación de voz y datos de una estación cliente constan fundamentalmente de:

- 1 antena.
- 2 cables coaxiales (que no superan los 3 dB de pérdidas en conjunto).
- 1 protector de línea.
- 1 radio.
- 1 interfaz PC radio.

Las antenas son los elementos que reciben y emiten señales de radio por el aire. De acuerdo al tipo establecido en el diseño de cada sistema, las estaciones con radios VHF emplean *Yagi* directivas, modelo *Antenex Y1365*, descritas en 2.4.1.3. Las estaciones con radios HF emplean antenas, modelo *ICOM AH710*, descritas en al misma sección. Éstas se ubican en la parte superior de las torres, desde donde se conectan al equipo radio mediante los cables coaxiales. Habitualmente la antena para el servicio de datos toma el nivel más elevado en la torre.

Los cables coaxiales son cables de cobre con protección especial para soportar interferencias y la intemperie, transmiten la señal entre la antena y la radio. Habitualmente se utilizan dos marcas de cables: *Belden y Heliax*, este último de bajas pérdidas.

En los sistemas VHF las radios usadas son *Motorola* e modelos *Pro3100*, descritas en las secciones 2.4.1.1. En los sistemas HF se emplea la radio *Kenwood* modelo *TK80* en la que se pueden programar hasta ochenta frecuencias diferentes para la comunicación, descrita en la sección 2.4.1.1, en ésta, se programa, de forma estándar el canal 1 (9.160 MHz LSB) para la comunicación de datos.

La interfaz entre la radio y la computadora consiste en una placa *Soekris net4801* con una tarjeta de sonido *USB*. Para mayor información sobre esta placa revisar la sección 2.4.1.4.1.

#### 7.4.4.1.2. Subsistema de Energía

El sistema está diseñado para 4 h diarias de transmisión – recepción de voz y datos, y para 8 h adicionales con la radio encendida ("stand by"). La autonomía es de 2 días.

### 7.4.4.2. Repetidor de voz VHF

Un repetidor de voz tiene una configuración pensada para incrementar la cobertura de comunicación de un sistema de transmisión de voz VHF. Se encuentran en diversos puntos de las tres microrredes, como se puede apreciar en las Figuras 7.34, 7.35 y 7.36. A continuación de detallan los subsistemas de los se compone.

#### 7.4.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones

El sistema necesita de:

- 2 radios *Pro3100*.
- 1 dispositivo que interconecta las radios a nivel audio, denominado RIC.
- 1 dispositivo que interconecta las radios a nivel de radiofrecuencia, denominado duplexor.

El duplexor permite que las dos radios necesiten solo una antena para realizar las tareas de transmisión y recepción. El repetidor de voz siempre usa una antena omnidireccional o dos antenas directivas (unidas por un distribuidor de potencia) si son parte de una cadena de repetidores, como ocurre en Morona. El modelo de éstas es el mismo que el de las descritas en las estaciones anteriores

## 7.4.4.2.2. Subsistema de Energía

El sistema está diseñado para trabajar las 24 horas del día, por lo que cuenta con 6 paneles solares de 75 W cada uno y con 6 baterías de 225 A·h cada una, su esquema se muestra en la Figura 7.37.

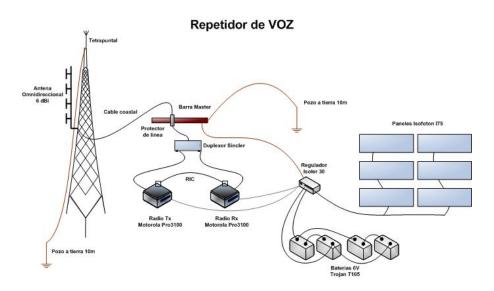


Figura 7.37: Repetidor de voz.

## 7.4.4.3. Repetidor de datos VHF

Estos se encuentran en Ullpayacu en la red del Pastaza Bajo y en Sabaloyacu, en la red del Pastaza Alto, o lo que es lo mismo, en el centro geográfico de la red, como se recomienda en la etapa de diseño. En la red del Morona esto fue imposible por distintos motivos, por ello se tuvo que crear una cadena de repetidores de datos formada por Shinguito, Caballito, Puerto Alegría y Puerto América. A continuación se describen sus distintos subsistemas.

#### 7.4.4.3.1. Subsistema Telecomunicaciones

El elemento principal de esta estación es el equipo *Soekris*, que es el encargado de pasar los datos de correo electrónico a lo largo de la red. Éste está compuesto por:

- Soekris net4801.
- CF de 512Mb.
- Tarjeta de sonido *USB*.
- Interfaz *Soekris*, conformado por el pequeño hardware que comunica la radio con la Soekris. Éste se conecta al puerto GPIO y a la tarjeta de sonido..

Este equipo, que se describe en detalle en la sección 2.4.1.4.1, está conectado a radios que trabajan específicamente para datos, modelo *Pro3100*. Este servidor (junto con la radio) está escuchando a los clientes que dependen de este, para enviar sus datos a su salida a *Internet*. Tienen la característica de

que llegada cierta hora cambian de canal para el intercambio de datos con el servidor del que depende. Éste puede ser un repetidor de datos (caso Morona) o una estación pasarela (Pastaza Bajo y Alto).

Para la elección de las antenas se siguió el mismo criterio y los mismos modelos que en el caso de la repetidor de voz, es decir, una antena omnidireccional si se encuentra en el centro de la red o dos antenas directivas (unidas por un distribuidor de potencia) si son parte de una cadena de repetidores, como ocurre en Morona.

## 7.4.4.4. Estación pasarela VHF

Los servidores principales se encuentran en las estaciones donde se dispone de conexión a *Internet*, es decir, San Lorenzo y Loboyacu. A continuación se describirán los subsistemas que componen estas estaciones.

#### 7.4.4.4.1. Subsistema de Telecomunicaciones

Lo conforma la computadora donde se instala el servidor, además se instalan dos radios, una específicamente para voz, la *Motorola Pro5100*, dado que puede necesitar un mayor número de canales y otra para datos conectada a la computadora, la *Motorola Pro3100*.

Dependiendo de la posición que ocupen en la red, estos puestos tendrán unas antenas u otras. En Loboyacu, por ejemplo, se dispone de 2 antenas direccionales *Antenex Y1365*, para conectarse a Sabaloyacu, donde se encuentra el repetidor de datos. Sin embargo, en San Lorenzo, ya que tiene que conectarse a su propia microrred y Puerto América, se instalaron 2 antenas omnidireccionales modelo *Decibel DB224-E*.

#### 7.4.4.4.2. Subsistema de Energía

En cuanto al suministro de energía, se alimentan con 3 paneles solares de 75 W cada uno y con 4 baterías de 225 A·h cada una. Esto permite un funcionamiento continuo del sistema de 12 h diarias y una autonomía de 3 días. Este subsistema se muestra en la Figura 7.38

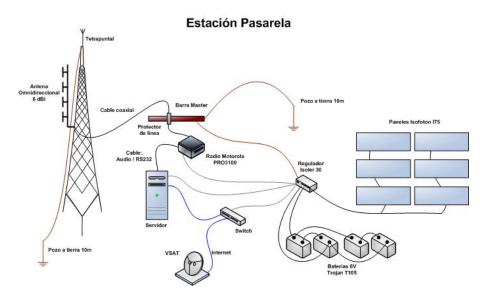


Figura 7.38: Repetidor de datos.

#### 7.4.4.4.3. Subsistema Informático

Esta estación también cuenta con un subsistema informático en el que se instala el servidor. Éste está compuesto por:

- Placa MiniITX EPIA-M10000G (integra V/S/R).
- RAM de 512MB.
- Disco de 40GB Toshiba (es del tipo 2.5") (ubicado en el IDE Primario, Master).
- Combo CD-RW/DVD LG (ubicado en el IDE Secundario, Master).
- Adaptador de Sonido USB en algunos casos.

## 7.4.4.5. Estación pasarela HF

Como se sabe, la cobertura HF es de alcance nacional, se aprovecha este hecho para ubicar estos servidores en ciudades (Lima o Iquitos, por ejemplo) que cuenten con acceso a *Internet* y con suministro regular de energía. El equipo escogido, consta de una radio *Kenwood TK80* y de una antena *ICOM AH710*. En la Figura 7.39 se presenta un esquema con sus componentes.

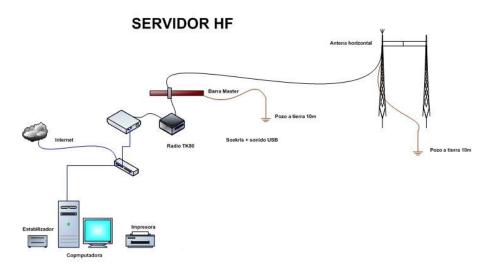


Figura 7.39: Nodo pasarela HF.

A/D Analógico Digital.

ACK Acknowledgment code.

ACPI Interfaz Avanzada de Configuración y Energía.

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line.

**AFSK** Audio frecuency-shift Keying.

ANSI American National Standards Institute.

**ATA** Analog Telephone Adapter.

AX.25 Protocolo de nivel de enlace habitualmente usado por radio aficcionados para bandas VHF/UHF.

**BER** Bit Error Rate.

**CA** Collision Avoidance.

**CCK** Complementary Code Keying.

CD collision Detection.

**CF** Compact Flash.

**CPU** Central processing unit.

**CRC** Cyclic redundancy check.

**CSMA** Carrier sense multiple access.

CSQ Carrier Squelch.

**D/A** Digital Analogico.

**DAMA** Demand Assigned Multiple Access.

**DHCP** Dynamic Host Configuration Protocol.

**DIFS** Tiempo que cada estación espera una vez que detecta que el canal ha quedado libre.

**DNS** Domain Name Server.

**DQPSK** Differential-quadrature Phase Shift Keying.

**DTMF** Multi Frecuencia de Tono Dual.

**DVB-RCS** Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite.

ETSI European Telecommunications Standards Institute.

FCC Federal Communications Commission.

**FCS** Frame check sequence.

**FEC** Forward Error Correction.

FM Frequency Modulation.

**FSK** Frequency-shift keying.

**FXO** Foreign Exchange Office.

**FXS** Foreign Exchange Station.

**GPG** GNU Privacy Guard.

**GPIO** General Purpose Input/Output, puerto de E/S digital de las computadoras.

**GPS** Global Positioning System.

**GSM** Global System for Mobile communications.

**HF** High Frecuency.

**HR/DSSS** High Rate/Direct-sequence spread spectrum.

**IAX** Inter-Asterisk eXchange protocol.

**ICMP** Protocolo de Mensajes de Control de Internet.

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE 81 http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?product\_id=27123.

IEEE 81.2 http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?product\_id=27125.

**IP** Internet Protocol.

**ISM** Industrial, Scientific and Medical.

ITU International Telecommunication Union.

ITU, serie K http://www.itu.int/rec/T-REC-K/e.

LAN Local Area Network.

LUF Lowest useable frequency.

MAC Media Access Control.

MIB Management Information Base, Base de Información de Gestión.

MINSA Ministerio de salud.

**MUF** Maximum Usable Frequency.

MVC Modelo-Vista-Control, Model-View-Controller.

**NAT** Traducción de Dirección de Red.

NAV Network Allocation Vector.

NFPA 780 http://www.nfpa.org/aboutthecodes/AboutTheCodes.asp?DocNum=780&cookie %5Ftest=1.

NIC Network Interface Card.

**NTP** Network Time Protocol.

**OFDM** Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

**ONG** Organización No Gubernamental.

**PAT** Puesta a tierra.

PHY Physical layer.

PIRE La máxima potencia que podamos transmitir.

**PtMP** punto a multipunto.

PtP punto a punto.

PTT Push-to-talk.

**PWM** Pulse Width Modulation.

**QoS** Quality of service.

**RIC** Repeater Interface Controller.

**ROE** Relación de onda estacionaria.

**RRCONN** Round Robin Connections.

RTPC Red Telefónica Pública Conmutada.

RTS/CTS Request to Send / Clear To Send.

**S.O.** Sistema Operativo.

**SGRE** Sistema de Gestión de Redes EHAS.

**SIFS** Tiempo fijo que define la separación entre la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor.

**SIP** Session Initiation Protocol.

**SMTP** Simple Mail Transfer Protocol.

**SNMP** Simple Network Management Protocol.

**SNR** Signal Noise Ratio.

**SREJ** Rechazo selectivo de paquetes.

TCP Transmission Control Protocol.

**Teletronics** http://www.teletronics.com/Accessories.html.

TIC Tecnologías de la información y las comunicaciones.

**TOS** Campo de 8 bits incluido dentro de un paquete IP.

**UDP** User Datagram Protocol.

**UHF** Ultra High Frecuency.

**UUCP** Unix to Unix CoPy.

VHF Very High Frecuency.

**VoIP** Voice Over IP, Voz sobre IP.

**VSAT** Very Small Aperture Terminals.

WAN Widee Area Network.

WiFi Wireless Fidelity.

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access.

WLAN Wireless LAN.

