

# REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES



FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERIA

SECCION INGENIERIA DE LAS TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE TELECOMUNICACIONES RURALES



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ



# REDES INALAMBRICAS PARA ZONAS RURALES

Primera Edición

Grupo de Telecomunicaciones Rurales  
Pontificia Universidad Católica del Perú

Elaborado por :



Financiado por :



Lima , Enero 2008

## 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: Luis Camacho y Carlos Rey.

©2008, GTR-PUCP  
Primera edición: Enero 2008

ISBN: 978-9972-42-843-2

**Autores:** Gerson Araujo, Luis Camacho, David Chávez, César Córdova, David Espinoza, Renato Honda, Leopoldo Liñán, Jesús Margarito, Andrés Martínez, Eva Juliana Maya, 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 del Programa EHAS, como la Universidad Politécnica de Madrid, la ONGD Ingeniería Sin Fronteras ApD en España, y la Universidad del Cauca en Colombia.

La edición y publicación de este libro son financiados por el 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

<b>Índice general</b>	<b>1</b>
<b>Sobre este libro</b>	<b>9</b>
Sobre GTR-PUCP . . . . .	10
Trabajo colaborativo con otras instituciones . . . . .	10
<b>1. Introducción</b>	<b>13</b>
1.1. Contexto rural en los países en desarrollo . . . . .	13
1.2. Características de las soluciones tecnológicas . . . . .	13
1.3. Alternativas tecnológicas . . . . .	14
1.3.1. <i>WiFi</i> . . . . .	14
1.3.2. VHF . . . . .	16
1.3.3. HF . . . . .	17
1.3.4. <i>WiMAX</i> . . . . .	18
1.3.5. Conexión satelital (VSAT) . . . . .	19
1.4. Estructura del libro . . . . .	21
<b>2. Redes VHF/HF</b>	<b>23</b>
2.1. Comunicaciones de voz . . . . .	24
2.2. Comunicaciones de Datos . . . . .	25
2.3. Arquitectura de redes VHF/HF . . . . .	26
2.4. Estación cliente . . . . .	27
2.4.1. Equipos . . . . .	27
2.4.1.1. Transceptor Radio . . . . .	27
2.4.1.2. Cables y Conectores . . . . .	28
2.4.1.3. Antenas . . . . .	28
2.4.1.4. Interfaz de comunicaciones para la transmisión de datos . . . . .	30
2.4.1.4.1. Computadora embebida . . . . .	31
2.4.1.4.2. Conexión de los equipos para la comunicación de datos . . . . .	31
2.4.2. Configuraciones . . . . .	33

2.4.2.1.	Configuración Radio VHF	33
2.4.2.2.	Configuración Radio HF	34
2.4.2.3.	Sistema operativo de la computadora embebida	36
2.4.2.4.	Configuraciones de red	37
2.4.2.5.	Aplicación para el envío de datos <i>ehas-station</i>	37
2.5.	Repetidor de voz	45
2.5.1.	Equipos	45
2.5.1.1.	Duplexor	45
2.5.1.2.	Cable RIC	46
2.5.1.3.	Antenas	47
2.5.2.	Configuraciones	47
2.6.	Repetidor de datos	48
2.6.1.	Equipos	48
2.6.2.	Configuraciones	49
2.7.	Estación pasarela	49
2.7.1.	Equipos	49
2.7.1.1.	Servidor	49
2.7.1.2.	Transceptor Radio	50
2.7.1.3.	Antenas	50
2.7.1.4.	ATA	50
2.7.1.5.	Interfaz para la transmisión de voz	50
2.7.1.6.	Interfaz para la transmisión de datos	51
2.7.2.	Configuraciones	53
2.7.2.1.	Instalación del Sistema Operativo	53
2.7.2.2.	asterisk-phonepatch	53
2.7.2.3.	Configuración del ATA	54
2.7.2.4.	Calibración del sonido	56

<b>3.</b>	<b>Redes <i>WiFi</i> para largas distancias</b>	<b>59</b>
3.1.	Estándares <i>WiFi</i>	59
3.2.	Problemática del uso de <i>WiFi</i> para largas distancias	60
3.2.1.	Capa física	60
3.2.2.	Capa MAC	61
3.3.	Uso de telefonía IP con <i>QoS</i> sobre <i>WiFi</i>	63
3.4.	Arquitectura de redes <i>WiFi</i> para larga distancia	64
3.5.	Estación cliente	65
3.5.1.	Equipos	65
3.5.1.1.	Enrutador inalámbrico	65
3.5.1.2.	Antenas	67
3.5.1.3.	Cables y Conectores	68
3.5.1.4.	Equipos VoIP	68
3.5.1.4.1.	ATA	68
3.5.1.4.2.	Teléfono Analógico	69
3.5.2.	Configuraciones	71
3.5.2.1.	Configuración <i>Linksys WRT54GL</i>	71
3.5.2.2.	Configuraciones para Equipos de VoIP	73

3.5.2.2.1.	<i>Sipura SPA 2100</i>	73
3.5.2.2.2.	<i>GrandStream HandyTone 486</i>	77
3.5.2.2.3.	Configuración de QoS	79
3.6.	Repetidor	80
3.6.1.	Equipos	81
3.6.1.1.	Enrutador Inalámbrico	81
3.6.1.2.	Tarjetas inalámbricas	84
3.6.1.2.1.	Marca Senao	85
3.6.1.2.2.	Marca Ubiquiti	85
3.6.1.3.	<i>Pigtails</i>	86
3.6.1.4.	Antenas	86
3.6.1.5.	Amplificadores	87
3.6.2.	Configuraciones	88
3.6.2.1.	Instalación del Sistema Operativo	88
3.6.2.2.	Formas de conexión a una computadora embebida	89
3.6.2.2.1.	Conexión mediante el comando <code>ssh</code>	89
3.6.2.2.2.	Conexión por el puerto serial	89
3.6.2.3.	Configuración de los parámetros de red	89
3.6.2.3.1.	Comando <code>ifconfig</code>	90
3.6.2.3.2.	Comando <code>iwconfig</code>	91
3.6.2.3.3.	Configurar el archivo <code>/etc/network/interfaces</code>	92
3.6.2.3.4.	Comando <code>route</code>	93
3.6.2.3.5.	Carga de los programas al inicio	94
3.6.2.4.	Configuración específica tarjetas <i>con chipset Atheros</i>	95
3.6.2.4.1.	Diversidad	95
3.6.2.4.2.	Configuración <i>ACKtimeout</i> y <i>SlotTime</i>	96
3.6.2.4.3.	Configuración con amplificadores	96
3.6.2.5.	Comandos para comprobar la calidad de un enlace	97
3.6.2.5.1.	Comando <code>ping</code>	97
3.6.2.5.2.	Comando <code>iperf</code>	97
3.6.2.5.3.	Comando <code>traceroute</code>	98
3.6.2.6.	Configuraciones para VoIP	98
3.6.2.6.1.	<code>asterisk</code>	98
3.6.2.6.2.	Configuración de <i>asterisk</i> para ofrecer QoS	100
3.7.	Estación Pasarela	100
3.7.1.	Equipos	100
3.7.1.1.	Tarjeta <i>Digium</i>	100
3.7.2.	<i>ATA Sipura SPA-3000</i>	101
3.7.3.	Configuraciones	101
3.7.3.1.	Configuración para la salida a <i>Internet</i>	102
3.7.3.1.1.	Comando <code>iptables</code>	102
3.7.3.1.2.	Configurar el archivo <code>/etc/resolv.conf</code>	103
3.7.3.2.	Configuración para Telefonía IP	103
3.7.3.2.1.	Instalación de <i>Zaptel</i>	104
3.7.3.2.2.	Configuración <i>ATA Sipura SPA 3000</i>	105

<b>4. Diseño de la red</b>	<b>111</b>
4.1. Diseño del Subsistema de Telecomunicaciones	111
4.1.1. Elección de tecnologías para la red de distribución	112
4.1.2. Elección de tecnologías para el acceso a <i>Internet</i>	113
4.1.3. Preselección de equipos	114
4.1.4. Elección del modelo de propagación	114
4.1.5. Herramienta de simulación radioeléctrica	115
4.1.5.1. Requisitos mínimos que deben cumplir los radio enlaces de una red	119
4.1.6. Software de simulación de tráfico	122
4.1.7. Pruebas	123
4.1.8. Recomendaciones para instalaciones exteriores	123
4.1.8.1. Distribuciones de equipos en la torre	123
4.1.8.2. Instalación de antenas Yagi y de grilla	124
4.1.8.3. Conexión de los cables coaxiales	124
4.1.8.4. Vulcanización de los dispositivos	125
4.1.8.5. Recomendaciones para el alineamiento de las antenas	125
4.2. Diseño del Subsistema de Energía	127
4.2.1. Modelos de consumo de energía	127
4.2.1.1. Estación Cliente VHF/HF/WiFi	127
4.2.1.2. Estación Pasarela VHF/HF/WiFi	128
4.2.1.3. Repetidor de Voz VHF	128
4.2.1.4. Repetidor de datos VHF	128
4.2.1.5. <i>Wrap</i>	128
4.2.2. Dimensionamiento de la fuente de energía	129
4.2.3. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento	130
4.2.4. Especificaciones de equipos de energía fotovoltaica	130
4.2.4.1. Módulo fotovoltaico	130
4.2.4.2. Baterías	131
4.2.4.3. Controlador de Corriente	132
4.2.4.4. Inversor	132
4.2.4.5. Luminarias	132
4.2.5. Equipamiento necesario por modelo de consumo	133
4.3. Diseño del Subsistema de Protección Eléctrica	133
4.3.1. Sistema Integral de Protección Eléctrica	134
4.3.1.1. Capturar la descarga atmosférica	134
4.3.1.2. Derivar el rayo hacia tierra en forma segura	134
4.3.1.3. Disipar la energía a tierra	135
4.3.1.4. Proteger los equipos contra los transitorios de las líneas de comunicaciones	135
4.3.2. Recomendaciones para el Sistema Integral de Protección	135
4.3.3. Consideraciones para la instalación	136
4.3.4. Sistemas de puesta a tierra	137
4.3.4.1. Medición de la resistividad del terreno	137
4.3.5. Dimensionamiento de pozo a tierra horizontal	138
4.3.6. Materiales y cantidades a emplear	139
4.4. Diseño del subsistema de Infraestructura	140
4.4.1. Especificaciones de Montaje	140



4.4.2.	Pasos a seguir en la instalación	141
4.4.3.	Elementos de una torre	142
4.4.3.1.	Tramo torre tipo A	143
4.4.3.2.	Tramo torre tipo B	144
4.4.3.3.	Tramo torre tipo C	145
4.4.3.4.	Soporte de pararrayos y balizaje para tramo tipo A	146
4.4.3.5.	Soporte de pararrayos y balizaje para tramo tipo B	147
4.4.3.6.	Soporte de pararrayos para tramo tipo C	148
4.4.4.	Plancha grillete para tramos de torre tipo A y B	149
4.4.5.	Plancha grillete para tramo de torre tipo C	149
4.4.6.	Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo B	150
4.4.7.	Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo C	151
4.4.8.	Grapas	152
4.4.9.	Guardacabos	152
4.4.10.	Grilletes	152
4.4.11.	Templadores	152
4.4.12.	Cable de acero 1x7, de 1/4" EHS	152
4.4.13.	Cable de acero 1x7, de 5/16" EHS	152
4.4.14.	Cable de acero 1x7, de 3/8" EHS	153
4.4.15.	Línea de vida	153
4.4.16.	Consideraciones de seguridad	153
<b>5.</b>	<b>Gestión y mantenimiento de la red</b>	<b>155</b>
5.1.	Software de gestión de la red	155
5.1.1.	Introducción	155
5.1.2.	Zabbix 1.1	158
5.1.3.	Arquitectura del equipo gestionado	158
5.1.4.	Arquitectura del gestor de red	160
5.1.5.	Tipos de log	161
5.1.5.1.	Log con información del sistema	161
5.1.5.2.	Log con información de corto plazo	161
5.1.5.3.	Log de "alive"	162
5.1.5.4.	Log diario	162
5.1.6.	Instalación y Configuración	163
5.1.6.1.	Gestor	164
5.1.6.2.	Equipo gestionado	171
5.1.7.	Funcionalidades del sistema de gestión de redes	171
5.2.	Mantenimiento de la red	173
5.2.1.	Mantenimiento preventivo	173
5.2.1.1.	Subsistema de Telecomunicaciones	173
5.2.1.1.1.	Verificación del nivel de señal recibido	173
5.2.1.1.2.	Mantenimiento y limpieza del cableado	173
5.2.1.2.	Subsistema de Energía	173
5.2.1.2.1.	Baterías	174
5.2.1.2.2.	Paneles solares	175
5.2.1.2.3.	Regulador para instalaciones fotovoltaicas aisladas	175

5.2.1.2.4.	Medición de voltaje en los elementos del sistema . . . . .	177
5.2.1.3.	Subsistema de Protección Eléctrica . . . . .	177
5.2.1.4.	Subsistema de Infraestructura . . . . .	178
5.2.2.	Mantenimiento correctivo . . . . .	178
5.2.2.1.	Consideraciones generales . . . . .	178
5.2.2.2.	Fallas típicas en el Subsistema de Telecomunicaciones de redes <i>WiFi</i> . . . . .	179
5.2.2.2.1.	Comprobar la conexión . . . . .	179
5.2.2.2.2.	Comprobaciones para telefonía IP . . . . .	179
5.2.2.2.3.	Verificación de la conexión de alimentación de los equipos . . . . .	179
5.2.2.2.4.	Verificación del funcionamiento de <i>asterisk</i> . . . . .	179
5.2.2.3.	Fallas típicas en el Subsistema de Telecomunicaciones de redes VHF/HF . . . . .	180
5.2.2.3.1.	phonepatch . . . . .	181
5.2.2.4.	Detección de fallas comunes en el resto de subsistemas . . . . .	182
<b>6.</b>	<b>Sostenibilidad de Redes de Telecomunicaciones en Entornos Rurales y Aislados</b>	<b>185</b>
6.1.	Problemática . . . . .	185
6.1.1.	Aspecto Económico . . . . .	186
6.1.2.	Aspecto Tecnológico . . . . .	186
6.1.3.	Aspecto Social y Organizativo . . . . .	187
6.1.4.	Aspecto Político . . . . .	188
6.1.5.	Aspecto Normativo . . . . .	188
6.2.	Alternativas y Estrategias . . . . .	188
6.3.	Conclusiones . . . . .	196
<b>7.</b>	<b>Ejemplo de redes desplegadas</b>	<b>199</b>
7.1.	Red EHAS-@LIS . . . . .	200
7.1.1.	Descripción general de la red . . . . .	200
7.1.2.	Diseño de red . . . . .	201
7.1.2.1.	Direccionamiento IP . . . . .	201
7.1.2.2.	Características de los enlaces . . . . .	205
7.1.3.	Servicios de la red . . . . .	205
7.1.4.	Descripción de las estaciones . . . . .	206
7.1.4.1.	Estación cliente . . . . .	206
7.1.4.1.1.	Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	206
7.1.4.1.2.	Subsistema de Protección Eléctrica . . . . .	208
7.1.4.1.3.	Subsistema Informático . . . . .	208
7.1.4.1.4.	Subsistema de Infraestructura . . . . .	208
7.1.4.2.	Repetidor . . . . .	209
7.1.4.2.1.	Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	209
7.1.4.2.2.	Subsistema de Energía . . . . .	209
7.1.4.2.3.	Subsistema de Protección Eléctrica . . . . .	211
7.1.4.2.4.	Subsistema de Infraestructura . . . . .	211
7.1.4.3.	Estación pasarela . . . . .	211
7.1.4.3.1.	Características de la conexión a <i>Internet</i> . . . . .	212
7.1.4.3.2.	Características de Telefonía IP . . . . .	212
7.1.4.3.3.	Aplicación de la herramienta de gestión de red . . . . .	213

7.2. Red WiFi PAMAFRO EHAS . . . . .	213
7.2.1. Descripción de la red . . . . .	213
7.2.2. Diseño de la red . . . . .	215
7.2.2.1. Direccionamiento IP . . . . .	215
7.2.2.2. Características de los enlaces . . . . .	218
7.2.3. Servicios de red . . . . .	218
7.2.4. Descripción de las estaciones . . . . .	218
7.2.4.1. Estación Cliente . . . . .	218
7.2.4.1.1. Subsistema de Telecomunicación . . . . .	220
7.2.4.1.2. Subsistema de Energía . . . . .	221
7.2.4.1.3. Subsistema de Protección Eléctrica . . . . .	222
7.2.4.1.4. Subsistema Informático . . . . .	223
7.2.4.2. Repetidor . . . . .	224
7.2.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	224
7.2.4.2.2. Subsistema de Energía . . . . .	227
7.2.4.2.3. Subsistema de Protección Eléctrica . . . . .	228
7.2.4.2.4. Subsistema de Infraestructura . . . . .	229
7.2.4.3. Estación Pasarela . . . . .	230
7.2.4.3.1. Telefonía IP . . . . .	230
7.2.4.3.2. Servicio de Internet . . . . .	230
7.2.4.3.3. Correo electrónico . . . . .	230
7.3. Redes VHF PAMAFRO EHAS . . . . .	231
7.3.1. Descripción de las redes . . . . .	231
7.3.2. Diseño de la red . . . . .	233
7.3.3. Servicios de red . . . . .	234
7.3.3.1. Comunicación de voz . . . . .	234
7.3.3.2. Correo electrónico . . . . .	235
7.3.4. Descripción de las estaciones . . . . .	235
7.3.4.1. Estación cliente . . . . .	235
7.3.4.1.1. Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	235
7.3.4.1.2. Subsistema de Energía . . . . .	236
7.3.4.2. Repetidor de voz VHF . . . . .	236
7.3.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	236
7.3.4.2.2. Subsistema de Energía . . . . .	236
7.3.4.3. Repetidor de datos VHF . . . . .	237
7.3.4.3.1. Subsistema Telecomunicaciones . . . . .	237
7.3.4.4. Estación pasarela VHF . . . . .	238
7.3.4.4.1. Subsistema de Telecomunicaciones . . . . .	238
7.3.4.4.2. Subsistema de Energía . . . . .	238
7.3.4.4.3. Subsistema Informático . . . . .	238
7.3.4.5. Estación pasarela HF . . . . .	239





## 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 de punto de partida 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 del Programa EHAS, como la Universidad Politécnica de Madrid, la ONGD Ingeniería Sin Fronteras APD en España 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/rizr.html>

## 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 diez 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) 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.

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 y la educación. 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.ahas.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 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>).

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 GIT-UniCauca.

GTR-PUCP ha contribuido con su trabajo en el diseño de los sistemas de protección eléctrica, energía, estructuras mecánicas, y 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 reciente creación del grupo Centro de Investigación en Telecomunicaciones Rurales (CEDITER) dentro de la Universidad San Antonio de Abad de Cusco.

Lima, Enero de 2008





## **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 costos 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**

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 costos 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 costos de mantenimiento.
- Debe tener costos 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

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 costo 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 y 802.11g), 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 y hasta 54Mbps para 802.11a/g) 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 54 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 costos 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.
- 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.

---

<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](http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/RM-777-2005-MTC(05-11-05).pdf)

### 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 multirrayecto 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 suscriptoras deben solicitar servicio a la misma. Cuando la estación base recibe una solicitud de incorporación de una nueva estación suscriptora calcula si es posible garantizarle un servicio mínimo manteniendo los compromisos con otras estaciones suscriptoras. 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 suscriptora (*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 costos 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

A lo largo de estos 8 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, GTR-PUCP utiliza una versión propia de *Zabbix*, una herramienta de gestión de redes que permite visualizar el comportamiento de la red en cada momento. Esta herramienta es descrita en detalle en el capítulo 5, incluyendo su proceso de instalación. Además, en este capítulo también se incluirán algunas recomendaciones de mantenimiento de los equipos, tanto preventivo como correctivo.

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.



## Redes VHF/HF

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. Actualmente, estos sistemas originalmente sólo diseñados para la transmisión de voz, también permiten la transmisión de datos. En las redes que se presentan en este capítulo y en la sección 7.3 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.

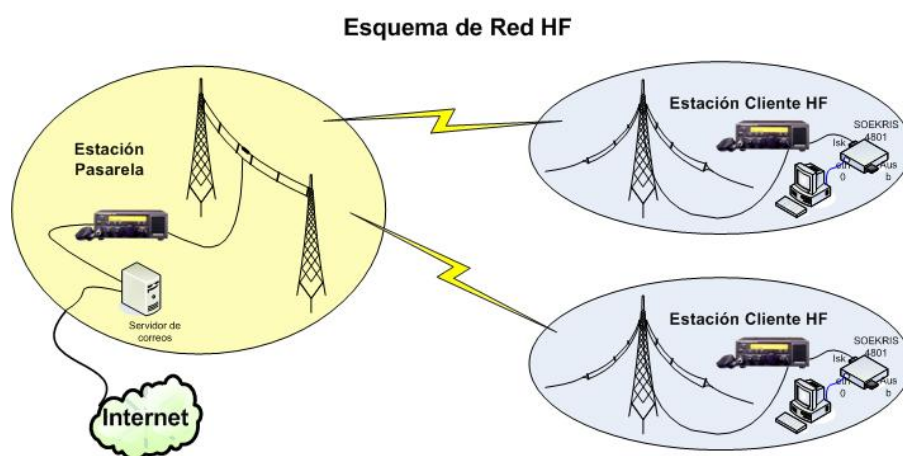


Figura 2.1: Esquema de red HF.



- 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 todas 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.

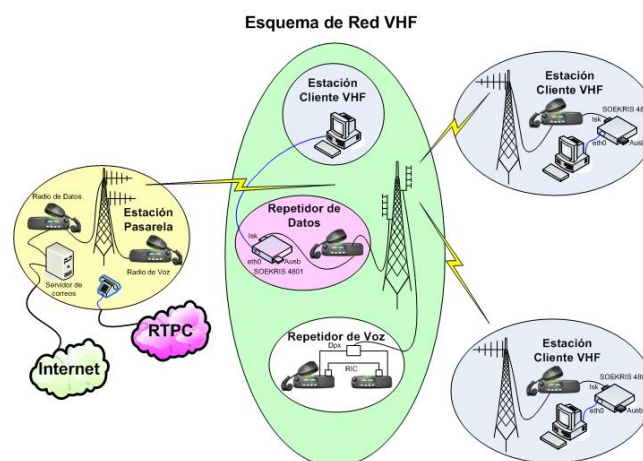


Figura 2.2: Esquema de Red VHF.

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.

## 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).

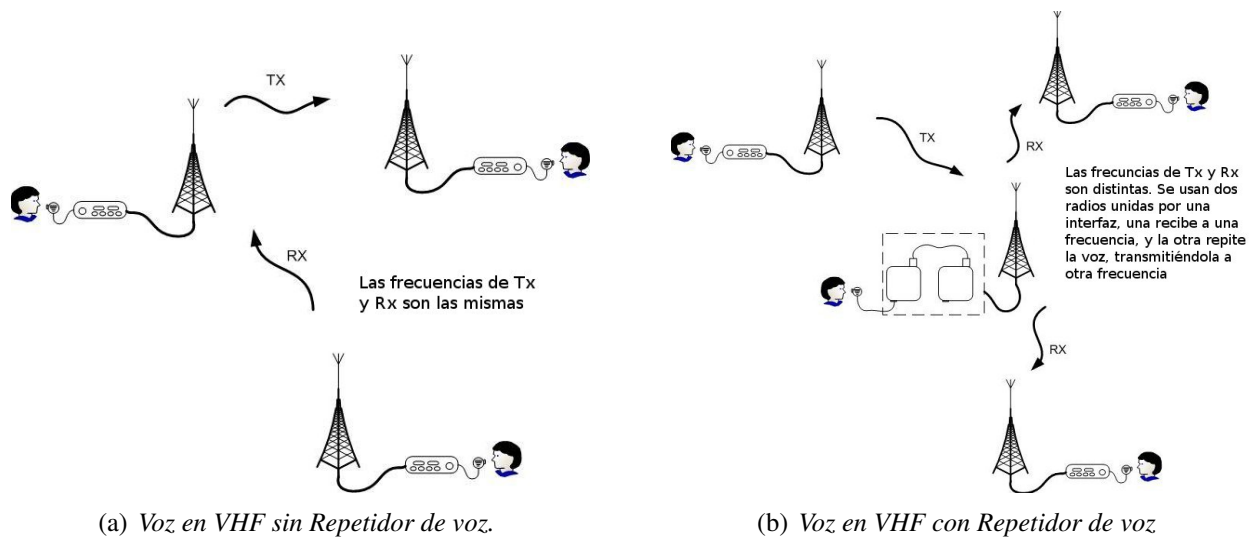


Figura 2.3: Voz en VHF.

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 hacia 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 cuál 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) estándar 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.

Para mayor información teórica sobre este tema se recomienda leer el siguiente documento:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/vhf/ModemVHF.pdf>

## 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 kilómetros, 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 una 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)).

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.

(a) *Motorola Pro3100.*(b) *Kenwood TK-80*Figura 2.4: *Modelos de Radios en las estaciones cliente.*

### 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 línea 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.

### 2.4.1.3. 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.

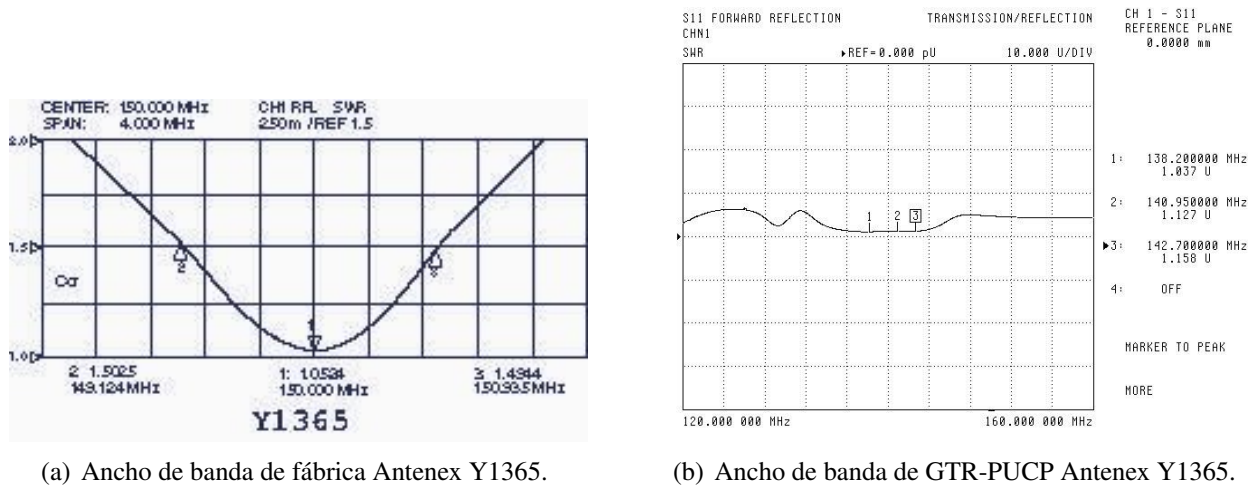


Figura 2.5: Mejora ancho de banda Antenex Y1365.

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).

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.



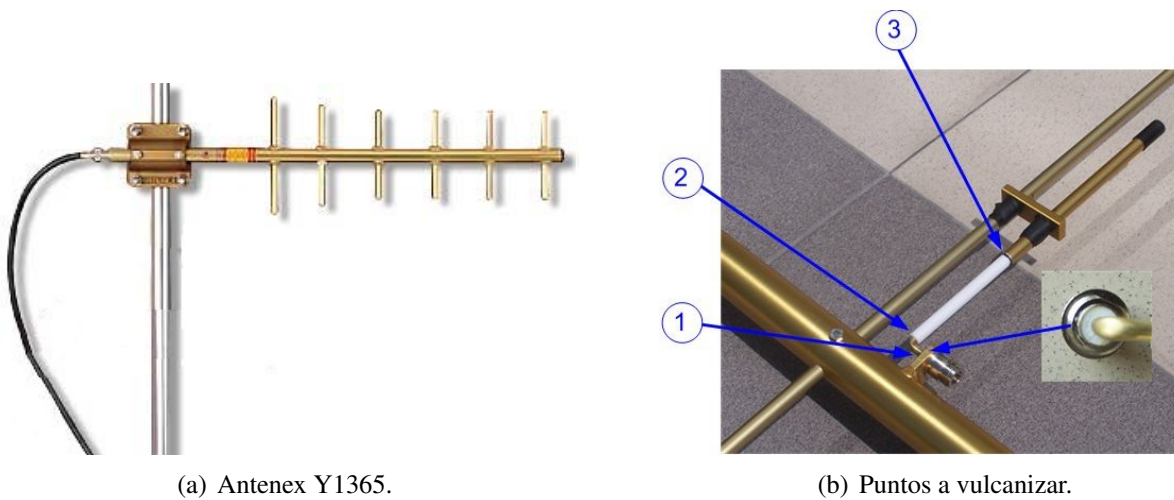


Figura 2.6: Antena Yagi VHF.

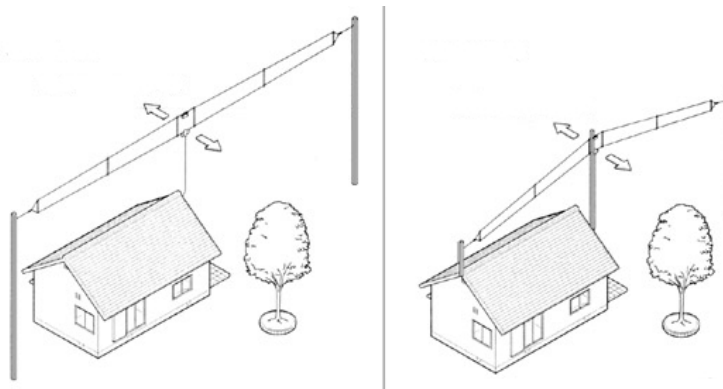


Figura 2.7: Instalación antena HF.

#### 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.
- 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.

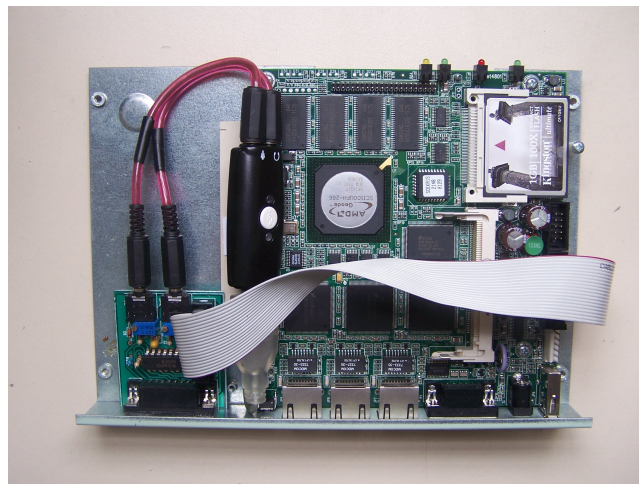


Figura 2.8: Imagen de la Interfaz de comunicaciones.

#### 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).

Todas las líneas de control de radio y de la tarjeta de sonido van hacia la radio a través de un



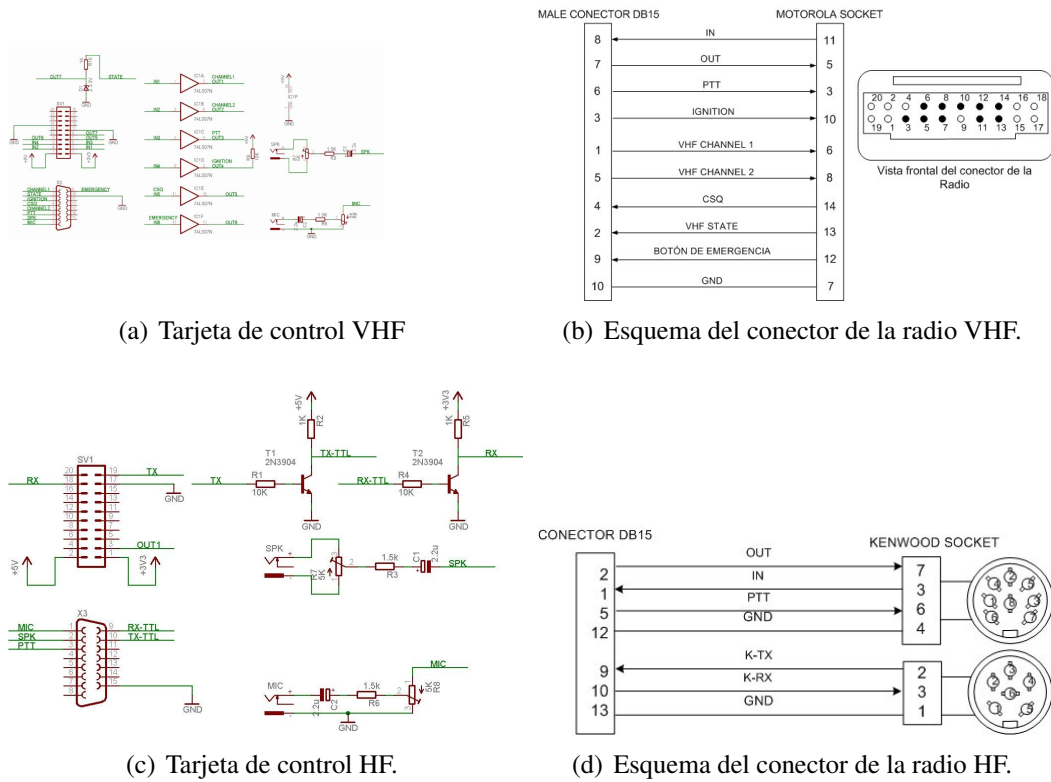


Figura 2.9: *Conexión Placa Interfaz - Radio*

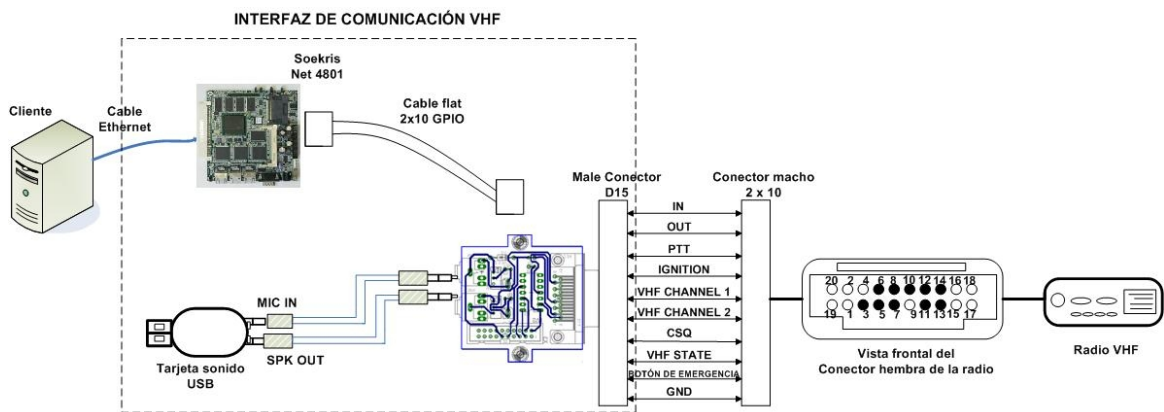


Figura 2.10: *Esquema de conexión para transmisión de datos en estación cliente*

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 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.

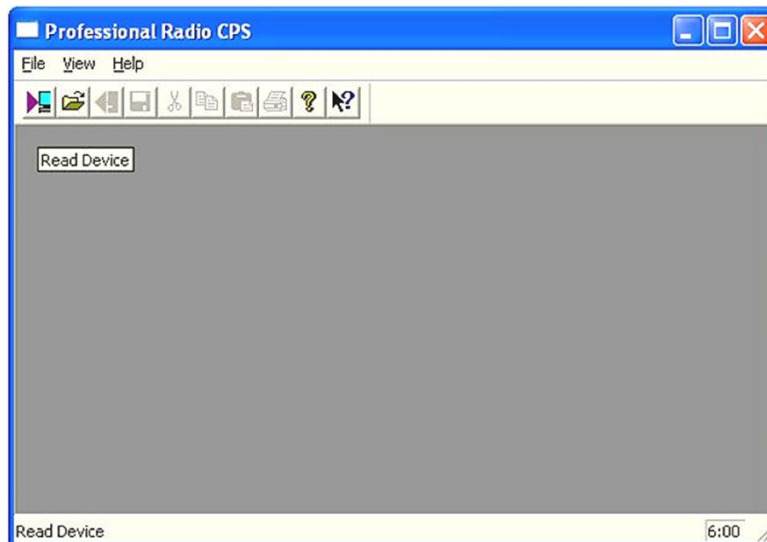


Figura 2.11: Configuración Radio cliente VHF Paso 1.

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 2.12: 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.

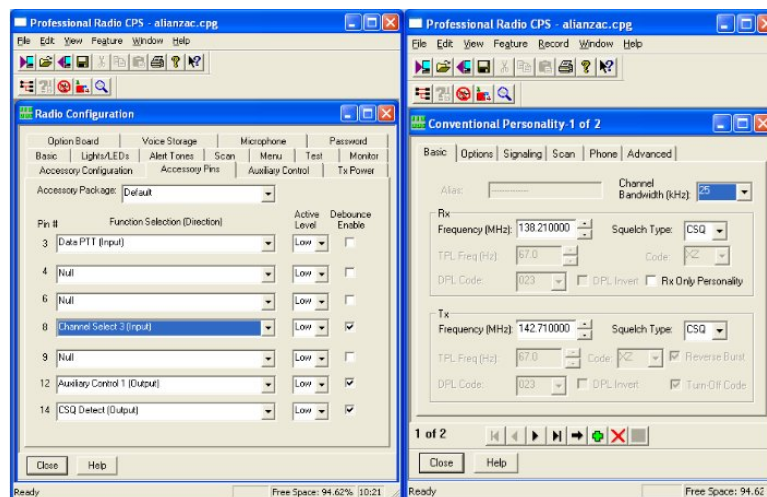


Figura 2.13: Configuración Radio cliente VHF Paso 3.

#### 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:

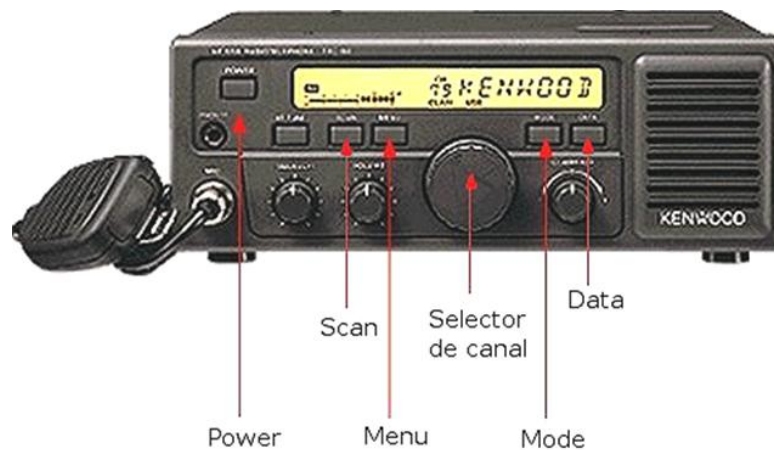


Figura 2.14: Configuración Radio HF.

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.

### 2.4.2.3. 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.

Para la instalación de *Voyage* es necesario descargar el archivo que contiene las fuentes y el *script* instalador, ambos se pueden descargar de:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/vhf/voyage-radio-1.1.tar.gz>

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/vhf/write-voyage-radio.sh>

Una vez descargados en una computadora con **S.O GNU/Linux**, es necesario contar con un lector de tarjetas **CF**. Una vez conectado el adaptador, únicamente, habrá que introducir el siguiente comando:

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

NOTA: Se ha asumido que el dispositivo *USB* se ha detectado como `/dev/sda`, para comprobarlo basta con ejecutar `fdisk - l`.

El *script* crea las particiones, `hda1` para `/` (75 % del espacio) y `textthda2` para `/var` (25 % restante), las formatea con `ext3`, copia los datos y ejecuta `lilo` para el arranque. Una vez realizado esto, se puede introducir disco duro en la computadora y arrancar normalmente.

El único usuario con el que se accede al *Voyage* es `root` y su *password* es por defecto `ehaspam`. Accediendo con este usuario habrá que configurar algunos aspectos de *Voyage* para obtener su funcionalidad completa.

Uno de ellos es el cambio del nombre del equipo, ya que éste es la base de la comunicación dado que el protocolo **UUCP**, que se explica en 2.4.2.5, utiliza este nombre junto con el *password* para identificar a los equipos. Para llevar esto a cabo hay que editar el archivo `/etc/hostname` de la siguiente forma:

```
Soekris-1:/# remountrw
```

```
echo "nombre del pc" >/etc/hostname
```

Hay que tener en cuenta que los nombres de los equipos no pueden tener las cinco primeras letras iguales, ya que es como se ha definido en la herramienta que gestiona las comunicaciones.

#### 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 presionando 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 forzosamente 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:

```
+---Instalación de estación EHAS-----+
Selecciona una opción
+-----+
 1 Conectividad
 2 Automatización por hora
 3 Placa de interfaz
 4 Envío de logs
 5 Ejecución remota segura
 6 Escritorio GNOME
 7 Configuración de red
 8 Establecer hora y fecha
 9 Salir
+-----+
+-----+
```

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)
  - *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.*
  - *Restricción.* Se indica si la estación tiene restricciones en la cola de correos de radio.
  - *Tamaño máximo de mensaje.* Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido) de un mensaje a enviar.
  - *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 indica 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 esta opción desactivada.

#### ■ *Soundmodem*

- *Tarjeta de sonido*
  - *Dispositivo:* Tarjeta de sonido usada en esta conexión.
  - *Detectar tarjetas de sonido:* Analiza los dispositivos conectados para encontrar tarjetas de sonido a usar.
  - *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](#).
  - *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 estándar (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 serie 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 msecs (parámetro sólo usado en VHF).
  - *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 msecs (parámetro sólo usado en **VHF**)
  - *Slottime*. Tiempo de espera entre colisiones de paquete. Normalmente se pone el valor 10.
  - *Ppersist*. Valor de reintento de envío de paquete. Valor de 0 (poco agresivo) a 255 (muy agresivo).
  - *RRCNN*: 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 Rate = 1 (9600 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.
  - *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.
    - *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*)

- *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.
- *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*
    - *Restricción*. Se indica si la estación tiene restricciones en la cola de correos de radio.
    - *Tamaño máximo de mensaje*. Se indica, en Kbytes, el tamaño máximo (una vez comprimido) de un mensaje a enviar.
    - *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 *nvr-am-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:
  - *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 5.1 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 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).
  - *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.

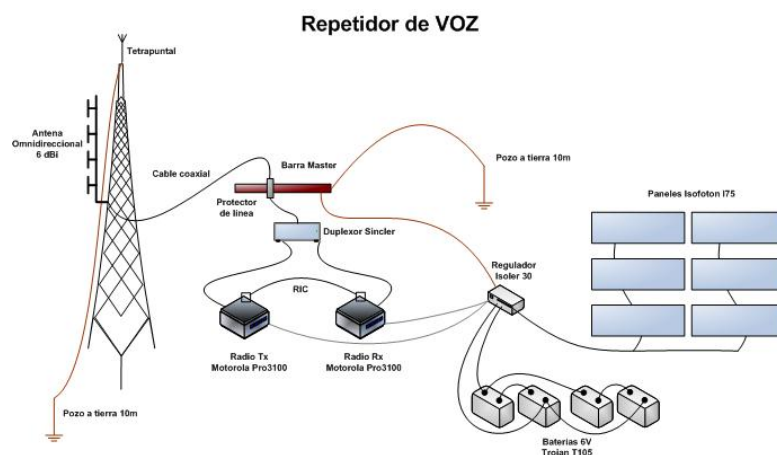


Figura 2.15: Esquema de un Repetidor de voz.

### 2.5.1. Equipos

#### 2.5.1.1. Duplexor

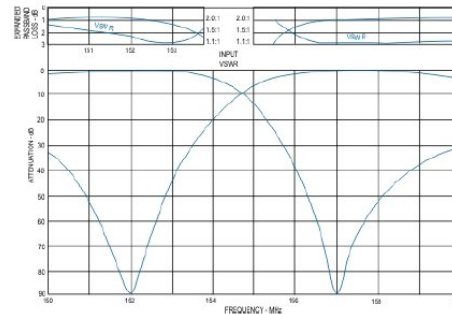
Es un dispositivo pasivo de radio frecuencia que permite que un emisor y un receptor funcionen simultáneamente acoplados a una misma antena, de esta forma, mediante un duplexor sólo se usa un único cable coaxial y una sola antena a pesar que se emplean dos radios. El duplexor que se suele usar es el *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.



(a) Sinclair MR256-DM.



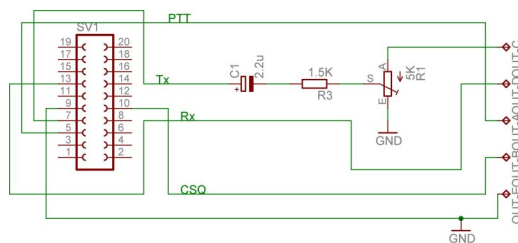
(b) Diagrama de radiación.

Figura 2.16: Características Duplexor Sinclair MR256-DM.

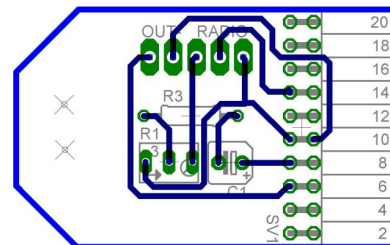
### 2.5.1.2. Cable RIC

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.



(a) Esquemático RIC.



(b) Diseño placa RIC.

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.

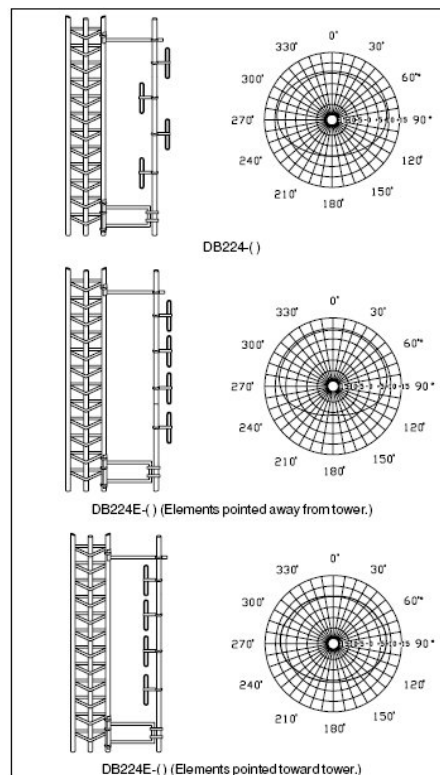


Figura 2.18: Antena Decibel DB224-E.

## 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 7.3.3.1.

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.



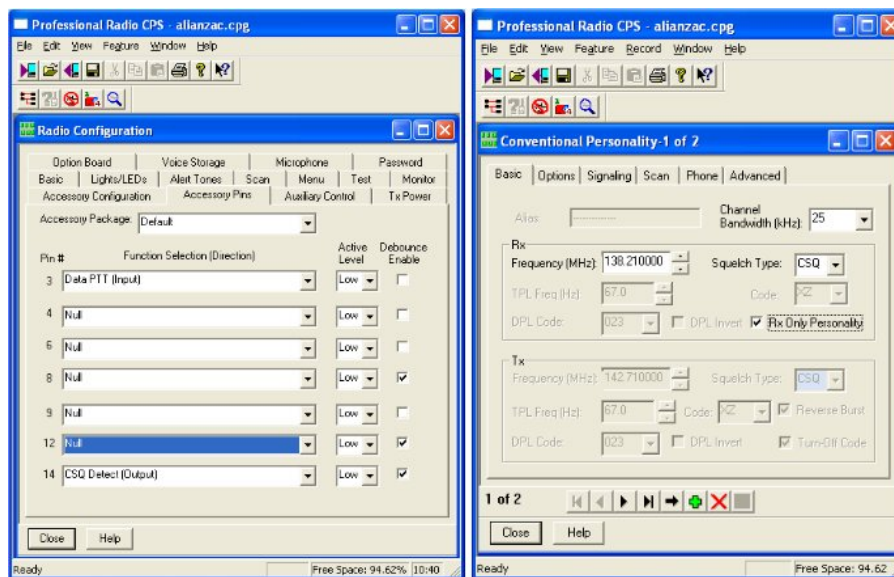


Figura 2.19: Configuración Radio Repetidor Voz.

## 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 logran 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 retransmitir 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 7.3, 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

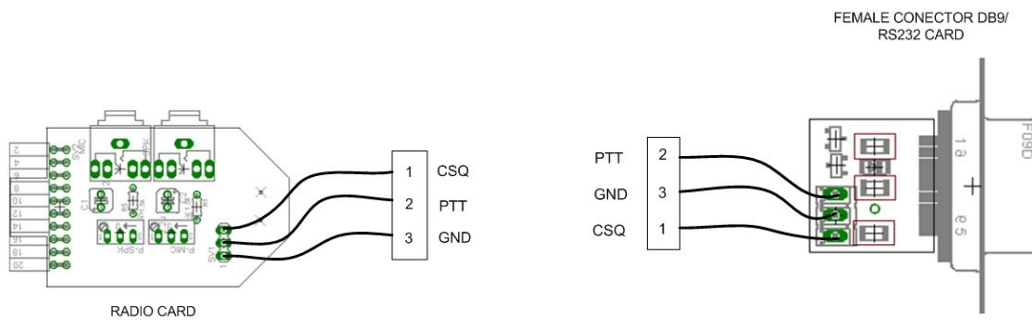
Como se ha indicado, para el acceso al servicio telefónico de los usuarios de radio **VHF** se utiliza un **ATA**. El modelo que se utiliza es el *Linksys Sipura SPA3102* que está ampliamente disponible en el mercado, y que además cuenta con un puerto **FXO**, necesario para poder conectarse a la red telefónica. Este modelo de **ATA** se trata de la evolución del modelo *Sipura SPA3100*, descrito en profundidad en 3.5.1.4.1. 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.

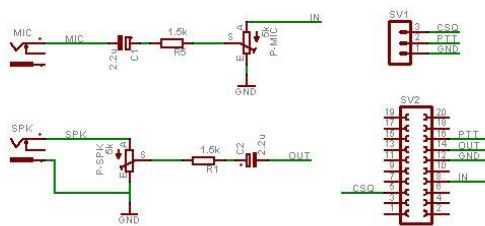
Para enviar y recibir audio de la radio se necesita una tarjeta de sonido compatible con el **S.O.** que se tiene instalado, por ejemplo *GNU/Linux*. Las versiones del *kernel 2.6.x* incluyen los *drivers* del proyecto *ALSA*, un *software* potente que controla prácticamente cualquier tarjeta de sonido.

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.



(a) Conexión a la Radio.

(b) Conexión a la PC.



(c) Diagrama esquemático.

Figura 2.20: Conexiones sistema phonepatch.

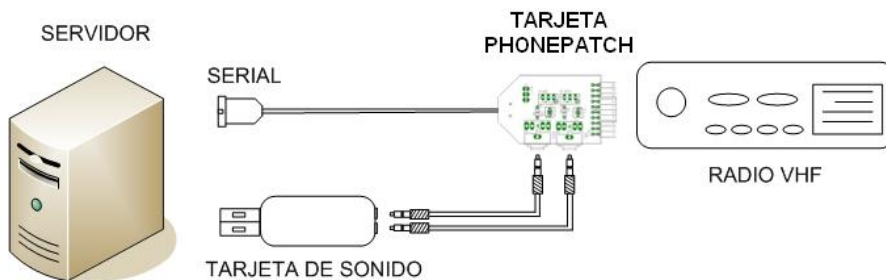


Figura 2.21: Esquema de conexión para el servicio phonepatch.

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.

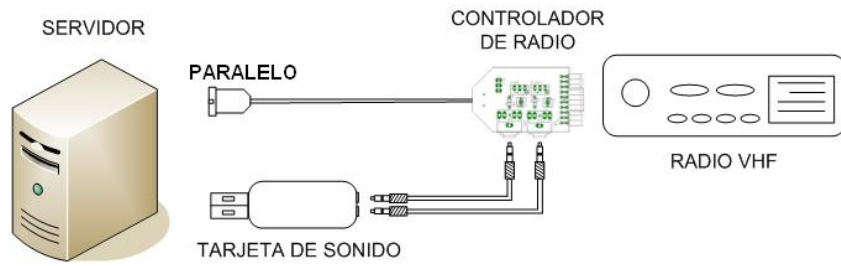


Figura 2.22: Esquema de conexión del Servidor.

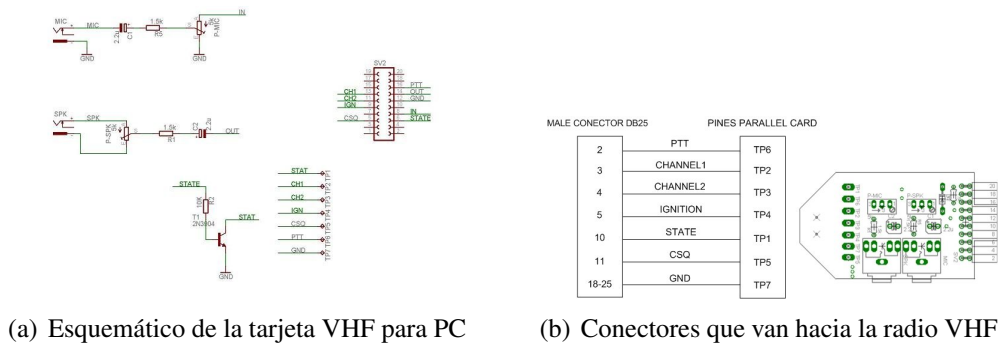


Figura 2.23: Conexión Servidor - Radio VHF

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.

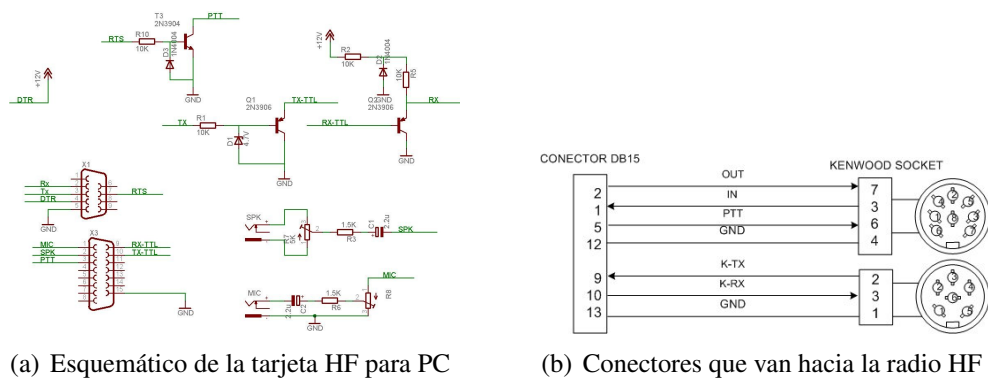


Figura 2.24: Conexión Servidor - Radio HF

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-phonpatch

El paquete *asterisk-phonpatch* 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-phonpatch` 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-phonpatch`. Para una configuración particular solamente sería necesario modificar los siguientes archivos de confi-



guración: `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* ⇒ *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* ⇒ *Enable Wan Web Server*
6. Comprobar que en *Voice* ⇒ *Regional* están los siguiente valores:

*Control Timer Values (sec)* ⇒ *Interdigit Long Timer: 4*

*Control Timer Values (sec)* ⇒ *Interdigit Short Timer: 3*

7. Configurar en *Voice* ⇒ *Line1* los siguientes parámetros:

*Proxy and Registration* ⇒ *Pproxy: Dirección IP servidor asterisk-phonepatch*

*Subscriber Information* ⇒ *Display Name: 10*

*Subscriber Information* ⇒ *User ID: 10*

*Subscriber Information* ⇒ *Password: passwd10*

*Audio Configuration* ⇒ *Preferred Codec: G711u*

*Audio Configuration* ⇒ *DTMF Tx Method: AVT*

8. Configurar en *Voice* ⇒ *PSTN Line* lo siguiente:

*Proxy and Registration* ⇒ *Pproxy: Dirección IP servidor asterisk-phonepatch.*

*Subscriber Information* ⇒ *Display Name: El que se desee.*

*Subscriber Information* ⇒ *User ID: el mismo el anterior.*

*Subscriber Information* ⇒ *Password*: El password que se desee.  
*Audio Configuration* ⇒ *Preferred Codec*: G711u  
*Audio Configuration* ⇒ *DTMF Tx Method*: AVT  
*Dial Plans* ⇒ *Dial Plan 2* ⇒ Poner (S0 <:30 >)  
*VoIP-To-PSTN Gateway Setup* ⇒ *VoIP-To-PSTN Gateway Enable*: yes  
*PSTN-To-VoIP Gateway Setup* ⇒ *PSTN-To-VoIP Gateway Enable*: yes  
*PSTN-To-VoIP Gateway Setup* ⇒ *PSTN Ring Thru Line 1*: no  
*PSTN-To-VoIP Gateway Setup* ⇒ *PSTN CID For VoIP CID*: yes  
*PSTN-To-VoIP Gateway Setup* ⇒ *PSTN Caller Default DP*: 2  
*FXO Timer Values (sec)* ⇒ *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 líneas para confirmar que el **ATA** está registrado a asterisk.

```

yuri*CLI>sip show peers
Name/username  Host                Dyn  Mask                Port  Status
20/20          10.10.10.191       D    255.255.255.255    5061  OK (6 ms)
10/10          10.10.10.191       D    255.255.255.255    5060  OK (6 ms)
yuri*CLI>
  
```

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: Potenciómetros 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*.
2. *Auto Gain*. Este parámetro sirve para que surtan efecto los cambios en los niveles de los otros dos parámetros.

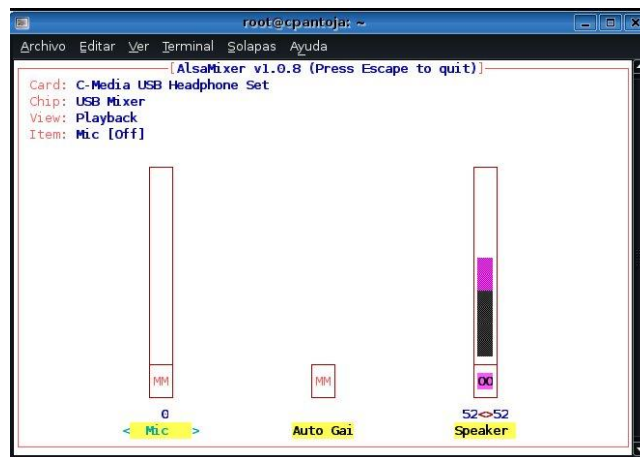


Figura 2.26: Calibración de sonido 1.

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.

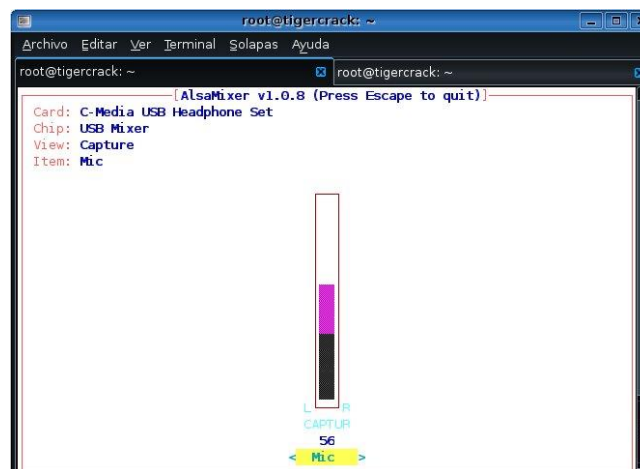


Figura 2.27: Calibración de sonido 2.

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** en el uso de las banda **ISM** 2.4GHz y 5.8GHz usadas por esta tecnología. Como se puede apreciar en el Cuadro 3.1, 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. Estándares *WiFi*

Existe una gran diferencia entre los distintos estándares *WiFi*. Es por ello que a continuación se realiza una presentación teórica más detallada de cada uno de ellos.

Máxima potencia transmisible	Dominio legal	Normativa
1000mW	Usa y muchos países en desarrollo	FCC 15.247
100mW	Europa	ETS 300-328
10 mW	Japón	MTP Ordinance for Regulating Radio Equipment, Article 49-20

Cuadro 3.1: *Máxima potencia transmisible en 2.4 GHz por regiones.*

El estándar 802.11 fue aprobado por el **IEEE** 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.

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, ya que la banda de 2.4GHz también es utilizada por algunos teléfonos inalámbricos, hornos microondas y equipos *Bluetooth*. El gran inconveniente de este estándar es el de no ser compatible con el **IEEE802.11b**, mucho más difundido.

El estándar **IEEE802.11b** trabaja en la banda de frecuencia de 2.4GHz utilizando el sistema de transmisión **HR/DSSS**. 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 *WiFi*. **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** mediante el cual se soportan velocidades de transmisión de hasta 54Mbps.

## 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.

### 3.2.1. Capa física

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 de enlace. Los límites físicos de distancia alcanzable con *WiFi* dependerán, por lo tanto, de los siguientes parámetros:

- La máxima potencia que podamos transmitir (**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, éstas se mostraron en la Cuadro 3.1.

Además, hay algunos aspectos de la capa física que deben ser tenidos en cuenta para obtener una mayor estabilidad en el enlace:

- Velocidad. El protocolo **IEEE**802.11 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.

Añadir también que en términos de 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.

- Fenómenos meteorológicos. 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.
- Polarización. 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.

### 3.2.2. Capa MAC

Asimismo, a parte de las restricciones que impone el balance de enlace, es patente que existen restricciones explícitas de distancia ya 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 la Figura 3.1. 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**).

Este estudio está disponible en:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/TesisJSimo.pdf>

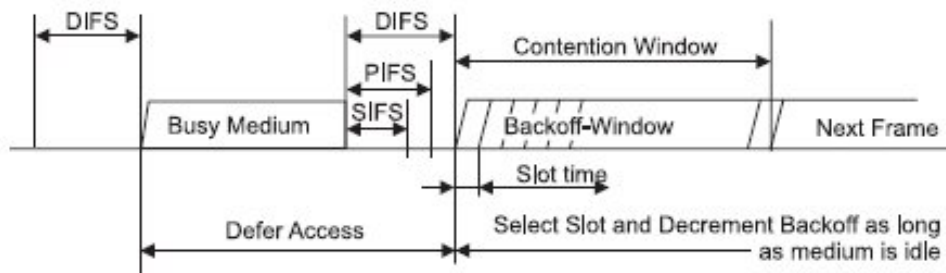


Figura 3.1: Esquema temporal de funcionamiento en el nivel MAC.

- **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 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, 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** 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 probabilidad 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. Uso de telefonía IP con QoS sobre WiFi

Se puede utilizar la infraestructura de la red de datos **WiFi** para el transporte del tráfico, aplicando protocolos de **VoIP** para el envío de tramas y señalización. Mediante el uso de este protocolo, la red permite el acceso a servicios de telefonía local (entre establecimientos de la misma zona) de forma gratuita en las redes **WiFi**, y conexión con la **RTPC** con ciertas restricciones de llamadas salientes (las llamadas entrantes no tendrán ningún límite). Además, tiene la capacidad de habilitar servicios adicionales como buzón de voz, llamada a tres y más, transferencia de llamadas, etc., sin costo adicional.

**VoIP** es una tecnología de gestión y enrutamiento de comunicaciones de voz a través de redes de datos (**LAN**, **WAN**) basadas en protocolos **TCP/IP**. El objetivo de utilizar las redes de datos para la transmisión de voz es reducir los costos de contratación en líneas telefónicas locales convencionales.

Mediante este servicio los usuarios podrán establecer comunicaciones de voz con los establecimientos que forman parte de la red y con cualquier abonado de la **RTPC**. En el primer caso las llamadas no tienen costo y la marcación es similar al caso de anexos en una empresa privada, mientras que para evitar problemas institucionales con temas de facturación por llamadas a números telefónicos de la **RTPC** y para evitar también problemas legales de competencia a operadoras de telecomunicación, se ha decidido que las centralitas telefónicas instaladas permitan únicamente llamadas salientes a números de tarjetas prepago.

Se ha comprobado que en determinadas circunstancias estas comunicaciones de voz experimentan ciertos problemas de latencia y se escuchaban entrecortadas. Por lo que Sandra Salmerón, investigadora de la Fundación EHAS, realizó un estudio donde se proponía la implementación de una arquitectura de calidad de servicio (**QoS**) que solucionase ese tipo de incidencias. El estudio completo se

encuentra disponible en la siguiente dirección:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/QoS.pdf>

En él se compararon dos modelos y sus respectivas opciones: el de servicios integrados o *IntServ* (*INTEGRATED SERVICES*) y el de servicios diferenciados o *DiffServ* (*DIFFERENTIATED SERVICES*). El *IntServ* realiza una reserva previa de recursos antes de establecer la comunicación entre dos puntos. Si todos los nodos que forman el camino entre esos dos puntos pueden comprometer los recursos necesarios para proporcionar la calidad requerida entonces la comunicación es aceptada. De esta forma cada nodo tratará de forma particular a cada paquete de ese flujo hasta que termine la conexión. El *DiffServ*, propone que diferentes clases de tráfico puedan ser distinguidas en cada nodo, recibiendo un trato más o menos prioritario a partir de esa diferenciación. Los nodos periféricos a la red se encargan de clasificar cada paquete entrante en una de las clases definidas para que los encaminadores que recorra le den el tratamiento apropiado; se produce por lo tanto una agregación de flujos. De esta forma, ante el caso de que la red se encuentre congestionada, se llega a obtener un resultado preferente para el tráfico prioritario frente a los demás.

Parece entonces lógico apostar por una orientación como la de *DiffServ*, que no se ciñe a las garantías dadas a cada microflujo sino a la prioridad relativa de una determinada clase de servicio. En concreto, se ha optado por hacer uso de las clases *PRIO*, que, aunque contempla algunas limitaciones como la de no proteger a los tráficos menos prioritarios de un uso abusivo de la prioridad por parte de los más prioritarios y un ligero empeoramiento en la conformación del tráfico, permite asegurar su funcionamiento, aún cuando se produce una disminución en las prestaciones de los enlaces. Además se ha optado por la clase *SFQ* como clases hijas de la *PRIO*, para permitir el reparto y distribución equitativa del ancho de banda entre varias sesiones. Con esta decisión se asume que, en el caso de que la red se sature con voz, no se protege al resto de clases menos prioritarias de que la voz o el vídeo se queden con todo el ancho de banda, pero se impide el desperdicio de ancho de banda que tendría lugar en caso de “No saturación”. Esta solución será la que se utilice para incluir una cierta **QoS** en los servicios de tiempo real, fundamentalmente de **VoIP** y así mejorar sus prestaciones. Su implementación *software* se comentará en las secciones 3.5.2.2.3 y 3.6.2.6.2.

### 3.4. Arquitectura de redes *WiFi* para larga distancia

Tradicionalmente la topología de red **IEEE802.11** más usada ha sido en 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.

Sin embargo, la topología más básica de una red **WiFi** es aquella en la que un conjunto de estaciones (mínimo dos), se conectan entre sí de forma directa. Dicha topología suele recibir el nombre de red *Ad-Hoc*. En este tipo de redes las estaciones se comunican de forma directa a través del medio inalámbrico sin que medie ninguna otra. Debido a las limitaciones inherentes en el alcance de las transmisiones puede que no todas las estaciones sean capaces de establecer comunicación entre sí, puesto que deberán estar dentro del rango del alcance una de otra.

A partir del concepto de red *Ad-Hoc* en **WiFi** se contempla el establecimiento de redes *Mesh*. En una red con topología *Mesh* una estación que desee transmitir a otra estación fuera de su alcance, comprobará en su tabla de encaminamiento a qué estación dentro de su alcance debe transmitir la

información. Dicha estación recibirá el paquete y lo reenviará siguiendo el mismo procedimiento y así sucesivamente hasta alcanzar la estación destino. Esto implica que todos los nodos de la red van a gestionar los paquetes a nivel **IP**. Esto introduce algo más de retardo, pero éste, así como el ancho de banda, se puede gestionar de forma muy avanzada.

Las redes *Mesh* además de incrementar sustancialmente el área de cobertura que puede alcanzar una red (de límite indefinido si la distribución y densidad de las estación es adecuada) tienen la ventaja de ser tolerantes a fallos, pues la caída de un nodo no implicará necesariamente la caída de la red (se podrán seguir enviando los mensajes a través de otras rutas).

Añadir un nuevo nodo a una red *Mesh*, una vez configuradas correctamente sus interfaces inalámbricas, debe ser tan sencillo como poner el nodo en su posición definitiva y encenderlo. Además, si uno o varios nodos tienen conexión a *Internet*, deben poder operar como pasarelas al exterior para los otros nodos.

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

- **Estación pasarela:** es una estación dotada de conectividad final a *Internet* y a la **RTPC**, 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, pero lo más frecuente sea que no se disponga más que de una. EL uso de más de una implica el uso de encaminamiento dinámico. Estas estaciones frecuentemente tendrán que desempeñar funciones como **NAT** o cortafuegos.
- **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**.

A diferencia de la solución tecnológica **VHF**, en este caso las comunicaciones de voz y datos usan los mismos equipos y por lo tanto son servicios sobre una misma infraestructura de comunicaciones, que parte de la arquitectura de red propuesta en esta sección, mostrada en la Figura 3.2.

## 3.5. Estación cliente

Las estaciones cliente son aquellas que se benefician y hacen uso de todos los servicios que la red pone a su servicio. Estos servicios se basan principalmente en: correo electrónico, acceso a la *Internet* y la transferencia de archivos entre todas las computadoras de la red.

### 3.5.1. Equipos

#### 3.5.1.1. Enrutador inalámbrico

El elemento principal de las estaciones cliente es el enrutador inalámbrico dado que es el encargado de conectarse con la red troncal y por ese medio a *Internet*. Además sirve para crear, mediante sus interfaces cableadas, las redes **LAN** de cada estación final. Para estas tareas de enrutamiento puede utilizarse el enrutador *Linksys WRT54GL* en las estaciones finales, éste se muestran en la Figura 3.3. Este dispositivo se encuentra ampliamente disponible en el mercado a un bajo costo. Está fabricado para enlaces cortos ya que posee una potencia de transmisión de 18 dBm aunque el alcance de éstos

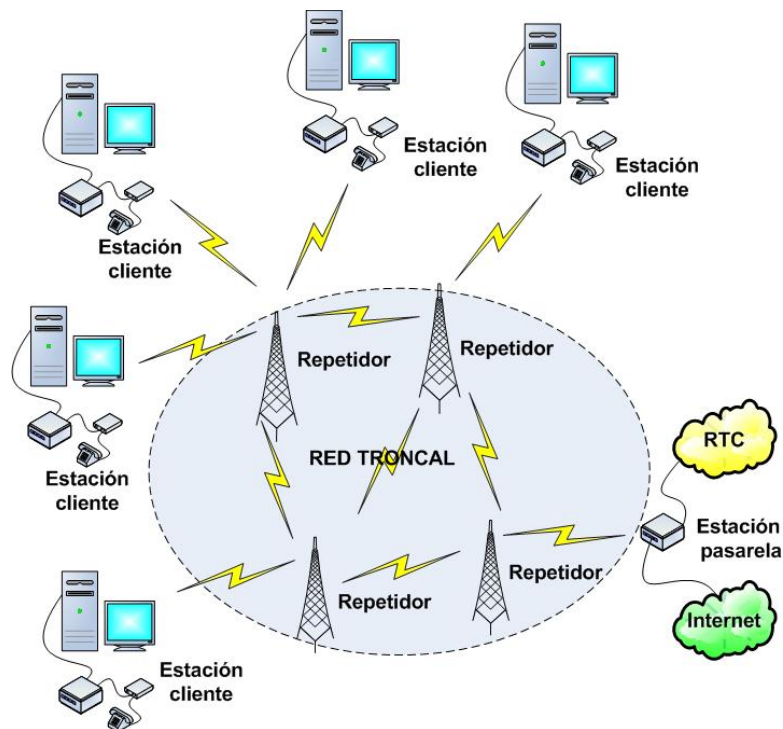


Figura 3.2: Arquitectura de red Mesh.

podrá aumentarse utilizando antenas exteriores. Además, su *firmware* puede cambiarse por otros que permiten ampliar sus posibilidades de configuración.

En esta estación también podrían utilizarse los enrutadores construidos a partir de una computadora embebida, que son detallados en la sección 3.6.1.1, más potentes, pero también más costosos.

El uso de distintos enrutadores en una red complica el mantenimiento de la misma, ya que se utilizan equipos de marcas distintas, con sistemas operativos diferentes que, a su vez, han de mantenerse. Esto puede plantear problemas ya que algunas aplicaciones han sido desarrolladas solamente para el sistema operativo adaptado para los enrutadores construidos a partir de una computadora embebida, ya que el enrutador *Linksys* no dispone de memoria suficiente. Por lo tanto habrá que valorar en cada caso la relación entre el costo de estos últimos y los inconvenientes que introducen.



Figura 3.3: Imagen enrutador Linksys WRT54GL.

El enrutador *Linksys* dispone de un puerto **WAN** donde se conecta la salida a *Internet* de la red (si es el caso de que la estación final tenga salida directa a *Internet*), 4 puertos **LAN** donde se colocarán

la computadora y el teléfono IP, dejando los otros dos libres para expansiones futuras y una interfaz inalámbrica que conecta con la placa del repetidor más cercano a la estación final.

### 3.5.1.2. Antenas

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. GTR-PUCP ha adaptado estos enrutadores para poder realizar un enlace con el repetidor más cercano. Esto se ha logrado sustituyendo las antenas que incorpora por una antena direccional. Esta antena se ubica en el exterior del establecimiento donde se encuentre la estación final y se conecta al enrutador *Linksys* a través de un cable coaxial, un protector de línea y un *pigtail*, como se muestra en la Figura 3.4.

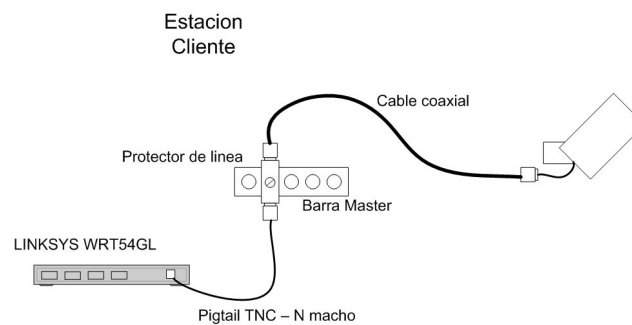


Figura 3.4: Esquema de conexiones.

La antena que se utiliza para realizar este enlace depende de la distancia existente al repetidor. Para enlaces cortos, menores de 1 km, se ha usado el modelo *Hyperlink HG2409Y* de 9dBi, dado su precio económico, y su gran ángulo tanto de elevación como de ancho de haz, de 60° en los dos casos. Como se muestra en la Figura 3.5(a), se trata de una antena *Yagi*. Si se quisieran realizar enlaces de mayor distancia sería necesario utilizar antenas de mayor ganancia, algunos modelos serán descritos en el apartado 3.6.1.4.



(a) Yagi Estación Cliente.



(b) Coaxial Estación Cliente.

Figura 3.5: Hardware Estación Cliente.



### 3.5.1.3. Cables y Conectores

En el esquema se puede apreciar la siguiente secuencia: el enrutador tiene un conector RP-TNC macho (conector TNC con polaridad inversa), por lo cual el *pigtail* a continuación ha de tener un conector TNC hembra y en su otro extremo un conector N macho que se conecta al protector de línea, como se muestra en la Figura 3.5(b). Este protector de línea tiene conectores N hembra en ambos extremos. En el otro conector N hembra del protector de línea se conecta un cable coaxial con conectores N macho en ambos extremos, que se conecta a la antena, que ha de tener una porción de cable con un conector N hembra.

### 3.5.1.4. Equipos VoIP

A nivel de usuario el sistema de telefonía consta de un terminal telefónico analógico y de un **ATA**, que transforma las señales analógicas del terminal en señales digitales entendibles para el protocolo de **VoIP** usado. Estos dos equipos se pueden sustituir directamente por un teléfono **IP**, pero eso podría causar problemas de dificultad de uso para el usuario final, a la vez que problemas para su rápida sustitución en caso de avería o rotura, dado el contexto descrito en la sección 1.1.

#### 3.5.1.4.1. ATA

El elemento *hardware* principal para la comunicación de voz es el **ATA**, que es una interfaz que se encarga de conectar un teléfono analógico a una red de **VoIP**. Durante todas las experiencias **WiFi** que GTR-PUCP ha realizado, se han usado dos tipos distintos de **ATA**: los *Linksys Sipura SPA-2100* y el *GrandStream 486*, dado que de los **ATAs** que permitían mayores posibilidades de configuración, éstos eran los más económicos a la par que los más disponibles en el mercado. A continuación se procederá a la descripción de cada uno de ellos.

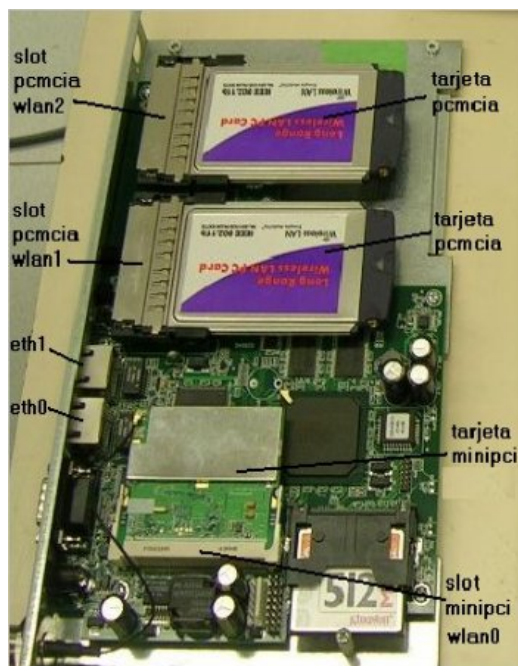


Figura 3.6: ATA Linksys Sipura SPA-2100.

### Sipura SPA-2100

El **ATA** *SPA-2100*, que se muestra en la Figura 3.6, posee dos puertos para teléfono, dos puertos *Ethernet* y uno para su alimentación eléctrica que debe ser de 5VDC. Se usa el puerto telefónico *Phone 1* (*Line 1* en su configuración *Web*) para conectar al teléfono analógico. El puerto *Ethernet* llamado *Internet* es el que va al enrutador de la estación cliente con un cable directo. El otro puerto *Ethernet*, llamado coincidentemente *Ethernet*, se usa para conectar opcionalmente una computadora con cable directo. En este caso el **ATA** se comporta como su enrutador. Este puerto se puede usar para ingresar al *Web* del **ATA** cuando esté configurado.

Las conexiones de este **ATA** se muestran en la Figura 3.7. Como se ya se dijo, el cable telefónico se conecta en el puerto *Phone 1*. Si el teléfono está sin actividad el *led Phone 1* muestra un color fijo. El *led Status* indica el estado del sistema de red: si se ilumina fijamente en color verde éste está trabajando conectado a una red; si no indica lo contrario. El cable de red se conecta en el puerto RJ45 *Internet*. Este puerto tiene 2 pequeños *leds*, el de la izquierda indica que está transmitiendo datos, y el de la derecha indica si el puerto está activo.



Figura 3.7: Conexiones ATA Linksys Sipura SPA-2100.

### GrandStream Handy Tone 486

El **ATA** *GrandStream Handy Tone 486* cuenta con las mismas conexiones que el *SPA-2100*, es decir, dos puertos *Ethernet*, dos de teléfono y uno para la alimentación, como se muestra en la Figura 3.8. Posee un único *led* que indica sus estados: si el **ATA** está recibiendo una llamada, el *led* se enciende con un color verde intermitente y si se levanta el auricular para realizar una llamada, el *led* se enciende con un color verde permanente. Asimismo, si el *led* se encuentra de color rojo (después de que se haya encendido o reiniciado) indica que no está registrado en su servidor **VoIP**.

#### 3.5.1.4.2. Teléfono Analógico

Además del **ATA**, hace falta un teléfono para transmitir las señales analógicas. GTR-PUCP utiliza un teléfono analógico marca *Panasonic* debido a las condiciones de mercado, dada su amplia disponibilidad y su precio.

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 para exteriores. En la Figura 3.9, se muestran estos tipos de conexiones.





Figura 3.8: ATA GrandStream Handy Tone 486.

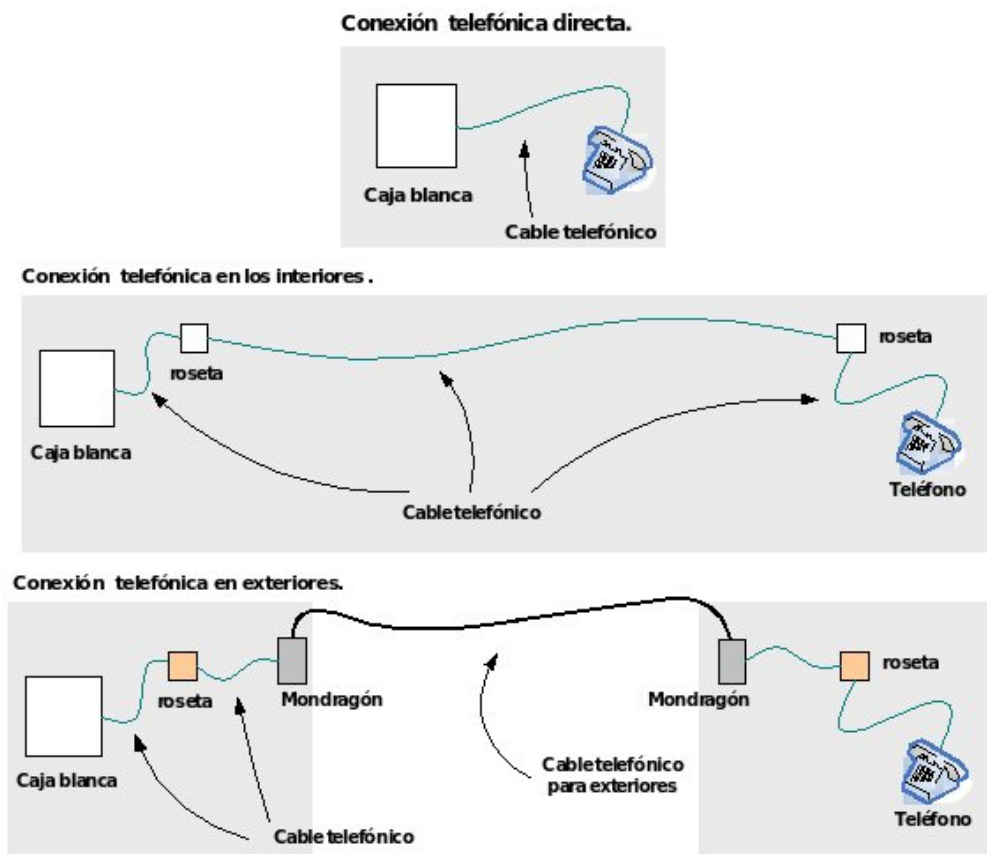


Figura 3.9: Distintas Conexiones entre el teléfono y el ATA.

### 3.5.2. Configuraciones

El enrutador *Linksys WRT54GL* viene con un *software* inicial que no permite realizar determinadas configuraciones, por lo que se ha de sustituir por un nuevo *firmware*. El *software* seleccionado es el *OpenWRT*, un *firmware* para sistemas embebidos basado en **S.O. GNU/Linux** que se puede grabar dentro de los enrutadores *WRT54GL*.

Una de sus versiones, la *Freifunk*, incorpora el protocolo de encaminamiento dinámico *OLSRD* dentro de la distribución. Después de distintas pruebas con él se ha descartado su uso ya que ha presentado problemas cuando ha sido configurado como *slave*, y dado que las estaciones cliente ha de cumplir este rol se optó por desinstalarlo.

#### 3.5.2.1. Configuración *Linksys WRT54GL*

Para instalar el *OpenWRT* se debe reinstalar el firmware del dispositivo. Para ello hay que conectarse por cable de red al enrutador, y acceder a él a través de la dirección 192.168.1.1.

Se accede al apartado *Firmware Upgrade* de la pantalla mostrada en la Figura 3.10 y se indica la ruta al archivo de instalación *openwrt-wrt54g-squashfs.bin*, descargado previamente en la computadora. Éste se puede obtener de:

<http://downloads.openwrt.org/whiterussian/newest/micro/>

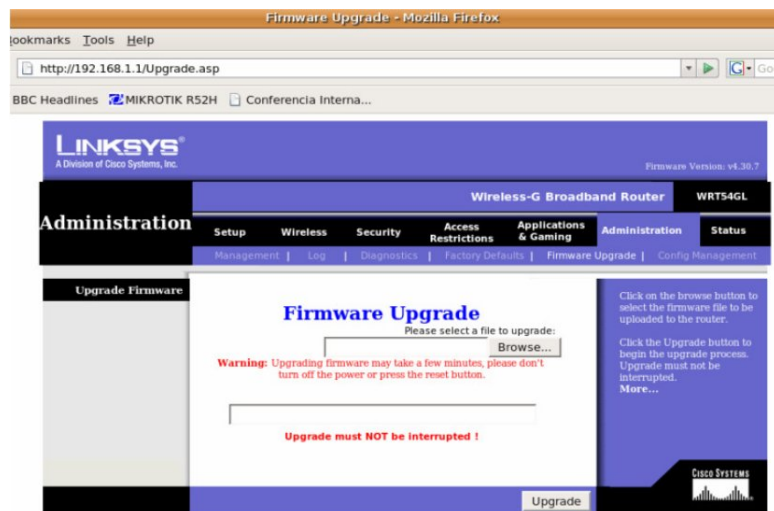


Figura 3.10: Configuración *OpenWRT*. Paso 1.

Una vez terminado de instalar el *OpenWRT*, el enrutador *Linksys* inicia con este nuevo sistema.

Para su configuración, se ingresa vía *Web* para indicarle un *password* (si no se pone un *password* no se podrá acceder como se hace comúnmente con el `ssh`). Una vez ingresado a la *Web*, si se hace clic en cualquier opción, aparece la opción de ingresar un *password* al equipo, como se muestra en la Figura 3.11. Ingrese el *password* y siga las instrucciones de la ventana mostrada.

Ahora que el equipo tiene un *password*; ya se puede acceder por `ssh`; (el usuario será *root*). Para configurarlo:

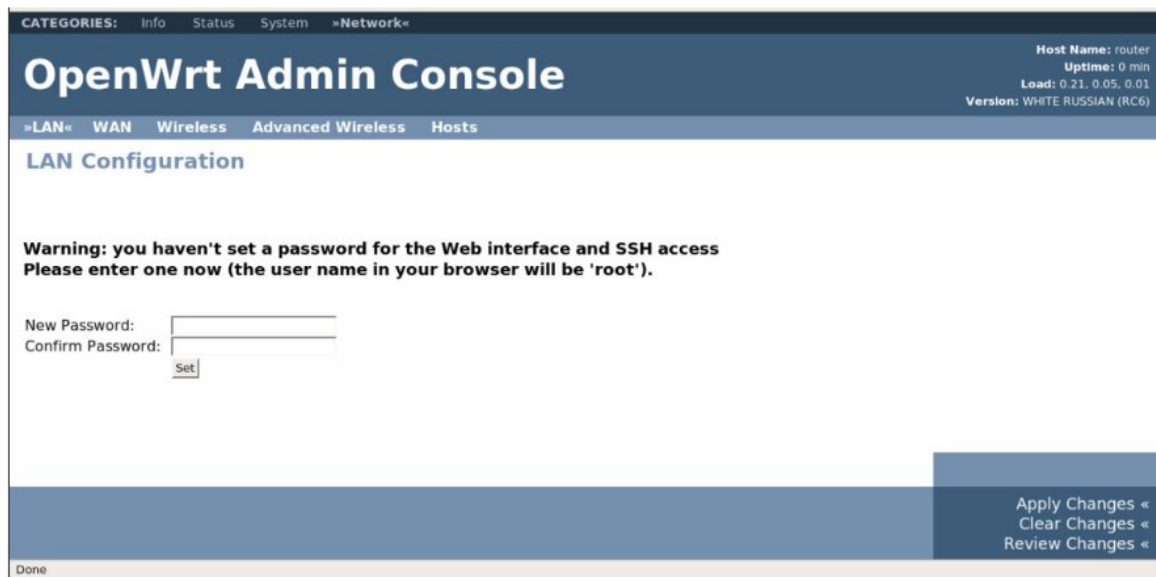


Figura 3.11: Configuración OpenWRT. Paso 2.

```

root@gtr-laptop: # ssh 192.168.1.1
root@192.168.1.1's password:

BusyBox v1.00 (2006.11.07-01:40+0000) Built-in shell (ash)
Enter 'help' for a list of built-in commands.

 _____
|         | | .----- .----- .----- .| | | | .----- .| | _
|  -     || _ | -__|         || | | | |         _||  _|
|_____| ||   _|_____|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
          |__| W I R E L E S S   F R E E D O M
WHITE RUSSIAN (RC6) -----
* 2 oz Vodka      Mix the Vodka and Kahlua together
* 1 oz Kahlua over ice, then float the cream or
* 1/2oz cream milk on the top.
-----

```

Una vez se ingrese, hay que introducir la configuración específica que se quiera realizar:

```

root@router: # nvram set wan_hostname=lima-c1
nvram set lan_ifnames="vlan0 eth1"
nvram set wlo_infra=1
nvram set wlo_mode=wet
nvram set wlo_ssid=LIM-LOC
nvram set wlo_antdiv=1
nvram set lan_ipaddr=10.10.11.2
nvram set lan_netmask=255.255.255.0
nvram set lan_gateway=10.10.11.1
nvram set wifi_gateway=
nvram set wifi_netmask=

```

```
nvrans set wifi_ipaddr=
nvrans set wifi_ifname=
nvrans set wl0_wep=enabled
nvrans set wl0_key1='s:xxx'
nvrans commit
reboot
```

De acuerdo a lo anterior se configura para usar la antena que está junto al conector de alimentación del enrutador y tener la dirección **IP** 10.10.11.1, que es la que se le ha asignado en la orden `ip_addr`. Una vez cargados los nuevos parámetros, se ha de comprobar que se ha asociado a su punto de acceso, si no se asocia hay que comprobar la configuración.

```
root@lima-cl: # iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"LIM-LOC"
Mode:Repeater Frequency:2.437 GHz
Access Point: 00:0C:42:18:B5:73
Tx-Power:18 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:off
Link Signal level:-53 dBm Noise level:-91 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:5419 Invalid misc:67 Missed beacon:0
```

### 3.5.2.2. Configuraciones para Equipos de VoIP

En la parte de configuración *software* de los equipos **VoIP** únicamente se detalla la configuración del **ATA**, ya que el teléfono no necesita ningún tipo de configuración. Los parámetros más importantes para el **ATA** son: su dirección **IP**, la del servidor *asterisk*, su número de teléfono, su contraseña y los *codecs* que utiliza. Éstos datos deben coincidir en el archivo `sip.conf` en el servidor respectivo.

#### 3.5.2.2.1. Sipura SPA 2100

La configuración del **ATA** consta de dos partes: la de configuración de red y la configuración **VoIP** del **ATA**. La configuración se realiza por su página *Web* y para esto inicialmente se conecta una computadora con el puerto *Ethernet* del **ATA** por medio de un cable directo; la dirección **IP** del **ATA** es la 192.168.0.1 por lo que se debe cambiar la dirección **IP** de la computadora en ese rango para acceder al **ATA**.

A través de un navegador *Web* ingrese a la página del **ATA**. Como se aprecia en la Figura 3.12, en la parte superior derecha se mostrarán los tipos de configuración: *Admin Login*, *Basic* y *Advanced* (inicialmente se muestra el *Basic*). Se accede a *Admin Login* y se procede a la configuración.

**Configuración de red del ATA:** Acceder *Wan Setup*, y poner la dirección **IP**, la máscara de red y el *gateway*. Además, indicar *Connection Type* como estático. Como ejemplo observar la captura de pantalla que se muestra en la Figura 3.13.

**Configuración de VoIP del ATA:** Acceder a *Voice* ⇒ *Line 1*, y modificar:

*Line Enable:* Verificar que esté en *yes*.

*SIP Settings:*

- *SIP Port:* Verificar que este con el 5060



Figura 3.12: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 1.



Figura 3.13: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 2.

*Proxy and Re-registration:*

- *Proxy:* Poner la dirección IP del servidor VoIP

*Subscriber Information:*

- *Display name*: Poner el numero telefónico del **ATA**.
- *User ID*: Lo mismo que lo anterior.
- *Password*: Indicar el *password* del **ATA**.

*Audio Configuration*:

- *Preferrend Codec*: Poner el G726-32.
- *DTMF Tx Method*: Poner AVT.

Todos estos campos se pueden apreciar en la Figura 3.14.

The screenshot shows the configuration page for Line 1 on a Linksys SIPura SPA-2100. The page is divided into several sections:

- Line Enable:** yes
- SIP Settings:** SIP Port: 5060
- Proxy and Registration:** Proxy: 192.168.35.207, Register: yes, Make Call Without Reg: no, Ans Call Without Reg: no, Register Expires: 3600
- Subscriber Information:** Display Name: 220, Password: [REDACTED], Auth ID: [REDACTED], User ID: 220, Use Auth ID: no
- Supplementary Service Subscription:** A grid of 20 service options, all set to 'yes': Call Waiting Serv, Block ANC Serv, Cfw d All Serv, Cfw d No Ans Serv, Cfw d Last Serv, Accept Last Serv, CID Serv, Call Return Serv, Call Back Serv, Three Way Conf Serv, Unattn Transfer Serv, VMWI Serv, Block CID Serv, Dist Ring Serv, Cfw d Busy Serv, Cfw d Sel Serv, Block Last Serv, DND Serv, CWCID Serv, Call Redial Serv, Three Way Call Serv, Attn Transfer Serv, MWI Serv.
- Audio Configuration:** Preferred Codec: G726-32, Use Pref Codec Only: no, DTMF Tx Method: AVT, Silence Supp Enable: no, FAX CED Detect Enable: yes

Buttons at the bottom: Undo All Changes, Submit All Changes

Figura 3.14: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 3.

**Habilitar la configuración Web del ATA por el puerto Internet:** Acceder a Router ⇒ Advanced ⇒ Wan Setup y aparecerá la pantalla que se muestra en la Figura 3.15. Allí ubicarse en Remote Management ⇒ Enable WAN Web Server y poner en yes.



<b>Remote Management</b>	
Enable WAN Web Server:	yes
WAN Web Server Port:	80
<b>QoS Settings</b>	
QoS QDisc:	NONE
Maximum Uplink Speed:	128 (Kbps)
<b>VLAN Settings</b>	
Enable VLAN:	no
VLAN ID:	1 [0x 000-0x FFF]
<input type="button" value="Undo All Changes"/> <input type="button" value="Submit All Changes"/>	

Figura 3.15: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 4.

**Cambio de password para el acceso a la Web del ATA:** Acceder a *Voice*  $\Rightarrow$  *Advanced* ( $\Rightarrow$  *System*, y aparecerá la pantalla que se muestra en la Figura 3.16. Allí, sólo en la parte de *User Password*, poner el *password* que desee. Cuando se ingrese de nuevo, el ATA pedirá el usuario y la clave, el usuario será *User*.

Router	<b>Voice</b>
Info	<b>System</b>   SIP   Provisioning   Regional   Line 1   Line 2   User 1   User 2
<a href="#">User Login</a>   <a href="#">basic</a>   <a href="#">advanced</a>	
<b>System Configuration</b>	
Restricted Access Domains:	
Enable Web Admin Access:	yes
User Password:	XXXXXXXXXXXX
Admin Paswrd:	
<b>Miscellaneous Settings</b>	
Syslog Server:	
Debug Level:	0
<input type="button" value="Undo All Changes"/> <input type="button" value="Submit All Changes"/>	

Figura 3.16: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 5.

**Acortar el tiempo de espera en una llamada:** Acceder a *Voice*  $\Rightarrow$  *Advanced*  $\Rightarrow$  *Regional* y aparecerá la pantalla de la Figura 3.17. Aquí ubicar *Control Timer Values (sec)*  $\Rightarrow$  *Interdigit Long Timer* y poner a 4.

<b>Control Timer Values (sec)</b>			
Hook Flash Timer Min:	.1	Hook Flash Timer Max:	.9
Callee On Hook Delay:	0	Reorder Delay:	5
Call Back Expires:	1800	Call Back Retry Intvl:	30
Call Back Delay:	.5	VMWI Refresh Intvl:	0
Interdigit Long Timer:	4	Interdigit Short Timer:	3
CPC Delay:	2	CPC Duration:	0

Figura 3.17: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-2100. Paso 6.

Cuando se haya terminado la configuración no olvidar hacer clic en *Submit All Changes* para guardar los cambios efectuados.



### 3.5.2.2.2. GrandStream HandyTone 486

Para configurar los puertos del **ATA GrandStream Handy Tone 486** se debe acceder a su página *Web*. Para ello hay que ingresar al **ATA** por su puerto **LAN** aprovechando que éste modelo **ATA** es un servidor **DHCP**. A la máquina que se conecte se le asigna probablemente la dirección **IP** 192.168.2.2., por lo que se puede ingresar al **ATA** escribiendo `http://192.168.2.1` en un navegador *Web*.

Al acceder por primera vez a su configuración, se ingresa directamente a la ventana *Advanced Settings*. En la parte superior aparecen tres pestañas, la primera es la de información, *Status*, la segunda es la configuración de red del **ATA**, *Basic Settings*, y la tercera es la configuración **VoIP** del **ATA**, *Advanced Settings*.

**Grandstream Device Configuration**

**STATUS    BASIC SETTINGS    ADVANCED SETTINGS**

**End User Password:**  (purposely not displayed for security protection)

**IP Address:**  dynamically assigned via DHCP (default) or PPPoE  
(will attempt PPPoE if DHCP fails and following is non-blank)

    PPPoE account ID:

    PPPoE password:

    Preferred DNS server:  . . .

statically configured as:

    IP Address:  . . .

    Subnet Mask:  . . .

    Default Router:  . . .

    DNS Server 1:  . . .

    DNS Server 2:  . . .

**Time Zone:**  GMT-5:00 (US Eastern Time, New York)

**Daylight Savings Time:**  No     Yes (if set to Yes, display time will be 1 hour ahead of normal time)

**NAT/Bridge/DHCP Server Information & Configuration:**

    Device Mode:  NAT Router     Bridge

    Cloned WAN MAC Addr:       (in hex format)

    LAN Subnet Mask:  255.255.255.0 (default is 255.255.255.0)

    LAN DHCP Base IP:  192.168.2.1 (base IP for the LAN port, default is 192.168.2.1)

    DHCP IP Lease Time:  120 (in units of hours, default is 120 hours or 5 days)

    DMZ IP:

Figura 3.18: Configuración ATA GrandStream. Paso 1.

**Configuración de los parámetros de red del ATA:** Esto se hace en la pestaña *Basic Settings*, que se muestra en la Figura 3.18. Hay que indicar la dirección **IP** la máscara de red y el *gateway*, dejando el resto de las cosas igual. Una vez realizados los cambios, hacer *Update*.

**Configuración asterisk en los ATA:** Esto se encuentra en la parte *Advanced Settings* que aparece en las Figura 3.19, allí se debe especificar:

- *Admin Password*: Indicar el *password*.
- *SIP Server*: Dirección **IP** del servidor *asterisk*.
- *SIP User ID*: Número telefónico que se quiera asignar a ese puesto.
- *Authenticate ID*: Igual que lo anterior.

- **Authenticate Password:** Contraseña **SIP** que se quiera poner.

Grandstream Device Configuration

STATUS BASIC SETTINGS ADVANCED SETTINGS

**Admin Password:**  (purposely not displayed for security protection)

**SIP Server:** 192.168.8.1 (e.g., sip.mycompany.com, or IP address)

**Outbound Proxy:**  (e.g., proxy.myprovider.com, or IP address, if any)

**SIP User ID:** 550 (the user part of an SIP address)

**Authenticate ID:** 550 (can be identical to or different from SIP User ID)

**Authenticate Password:**  (purposely not displayed for security protection)

**Name:**  (optional, e.g., John Doe)

**Advanced Options:**

**Preferred Vocoder:** (in listed order)

choice 1:

choice 2:

choice 3:

choice 4:

choice 5:

choice 6:

choice 7:

**G723 rate:**  6.3kbps encoding rate  5.3kbps encoding rate

**iLBC frame size:**  20ms  30ms

**iLBC payload type:** 97 (between 96 and 127, default is 97)

**Silence Suppression:**  No  Yes

**Voice Frames per TX:** 2 (up to 10/20/32/64 for G711/G726/G723/other codecs respectively)

**Fax Mode:**  T.38 (Auto Detect)  Pass-Through

**Layer 3 QoS:** 48 (Diff-Serv or Precedence value)

**Layer 2 QoS (VoIP):** 802.1Q/VLAN Tag  802.1p priority value  (0-7)

**Layer 2 QoS (PC):** 802.1Q/VLAN Tag  802.1p priority value  (0-7)

**Use DNS SRV:**  No  Yes

**User ID is phone number:**  No  Yes

**SIP Registration:**  Yes  No

**Unregister On Reboot:**  Yes  No

**Register Expiration:** 60 (in minutes, default 1 hour, max 45 days)

**Early Dial:**  No  Yes (use "Yes" only if proxy supports 484 response)

**Dial Plan Prefix:**  (this prefix string is added to each dialed number)

**No Key Entry Timeout:** 3 (in seconds, default is 4 seconds)

**Use # as Dial Key:**  No  Yes (if set to Yes, "\*" will function as the "(Re-)Dial" key)

**local SIP port:** 5060 (default 5060)

**local RTP port:** 5004 (1024-65535, default 5004)

**Use random port:**  No  Yes

**NAT Traversal:**  No  Yes, STUN server is:  (URI or IP:port)

**keep-alive interval:** 20 (in seconds, default 20 seconds)

**Use NAT IP:**  (if specified, this IP address is used in SIP/SDP message)

**Proxy-Require:**  (if specified, the content will appear in Proxy-Require header)

**Firmware Upgrade:**  Via TFTP Server  .  .  .

Via HTTP Server

**Automatic HTTP Upgrade:**  No  Yes, check for upgrade every  days (default 7 days)

**SUBSCRIBE for MWI:**  No, do not send SUBSCRIBE for Message Waiting Indication  Yes, send periodical SUBSCRIBE for Message Waiting Indication

**Offhook Auto-Dial:**  (User ID/extension to dial automatically when offhook)

**Enable Call Features:**  No  Yes (if Yes, Call Forwarding & Call-Waiting-Disable are supported locally)

**Disable Call-Waiting:**  No  Yes

**Send DTMF:**  in-audio  via RTP (RFC2833)  via SIP INFO

**DTMF Payload Type:** 101

**Send Flash Event:**  No  Yes (Flash will be sent as a DTMF event if set to Yes)

**FXS Impedance:**

**Caller ID Scheme:**

**Onhook Voltage:**

**Polarity Reversal:**  No  Yes (reverse polarity upon call establishment and termination)

**NTP Server:** 192.168.8.1 (URI or IP address)

**Send Anonymous:**  No  Yes (caller ID will be blocked if set to Yes)

**Lock keypad update:**  No  Yes (configuration update via keypad is disabled if set to Yes)

**Special Feature:**

**WAN Side HTTP Access:**  No  Yes (WAN side access to http server will be rejected if set to No)

**PSTN Access Code:** 99 (key pattern to use the PSTN line, default is "\*00\*")

**Syslog Server:**

**Syslog Level:**

Update Cancel Reboot

Figura 3.19: Configuración ATA GrandStream. Paso 2.

- **Preferred Vocoder:** Vea orden de los *codecs* en la Figura 3.19, el primero debe ser el PCMU

que es el  $\mu law$ .

- Otros: Vea los otros parámetros en la Figura 3.19, no cambie la configuración *NTP Server*: Dirección IP del servidor *asterisk*.

Después de terminar de especificar los parámetros, debe hacer *Update*.

Si ya se ha realizado todos los cambios haga *Reboot* (desde cualquier pestaña) para que el **ATA** tenga la nueva configuración. Cuando el **ATA** está cargando (después de encenderlo o reiniciar) su *led* se pondrá de color rojo intermitente (también se escuchará un clic). Finalizado esto, *asterisk* debe haberlo registrado, por lo que el *led* del **ATA** no deberá mostrar ningún color.

Tenga en cuenta que la página *Web* del **ATA** tiene un tiempo para su actualización, si se demora mucho, la página *Web* pedirá de nuevo el *password*, y la configuración realizada antes de haber hecho *Update* se perderá.

### 3.5.2.2.3. Configuración de QoS

Para introducir **QoS** en las distintas estaciones cliente de una red, se necesita crear un *script* específico para cada una. A modo de ejemplo los *scripts* de una de las redes de GTR-PUCP, se pueden descargar de:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/ScriptsQoS.tar.gz>

Estos *scripts*, se han incluido en `/etc/init.d/QoS_*` y posteriormente se han cargado al inicio mediante el comando:

```
Soekris-1:/# update-rc.d QoS_* defaults
```

La opción `defaults`, permite inicializar el *script* en los niveles de ejecución: 2 3 4 y 5 y pararlo en los niveles: 0 1 y 6. Siendo los niveles de ejecución según vienen en el fichero `/etc/inittab`:

```
# Runlevel 0 is halt.
# Runlevel 1 is single-user.
# Runlevels 2-5 are multi-user.
# Runlevel 6 is reboot.
```

Estos *scripts* funcionan según la leyenda:

```
/etc/init.d/QoS_* {start | stop | status
                  | restart | force-reload}
```

*Start*: permite inicializar **QoS** en el nodo.

*Stop*: permite parar **QoS** en el nodo.

*Status*: permite visualizar el estado de las colas en el nodo.

*Restart*: No hace nada en el nodo.

*Force-reload*: No hace nada en el nodo.

Además, en todos los dispositivos de **VoIP** tiene que marcarse el **TOS** (campo de 8 *bits* incluido dentro del paquete **IP**, también denominado *Differentiated Services*). a 0xb8, que es el que indica que vamos a utilizar las clases *PRIO* y las *SFQ* como sus clases hija.

A modo de ejemplo, en el **ATA GrandStream 486**, se debe poner 46 en decimal como valor de Layer 3 **QoS**, que es el equivalente a 0xb8 para el **TOS** en hexadecimal, como se muestra en la Figura 3.20.

<i>iLBC payload type</i> :	97	(between 95 and 127, default is 97)
<i>Silence Suppression</i> :	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
<i>Voice Frames per TX</i> :	2	(up to 10/20/32/64 for G711/G726/G723/other codecs respectively)
<i>Fax Mode</i> :	<input checked="" type="radio"/> T.38 (Auto Detect) <input type="radio"/> Pass-Through	
<i>Layer 3 QoS</i> :	46	(Diff-Serv or Precedence value)
<i>Layer 2 QoS (VoIP)</i> :	802.1Q/VLAN Tag 0	802.1p priority value 0 (0-7)
<i>Layer 2 QoS (PC)</i> :	802.1Q/VLAN Tag 0	802.1p priority value 0 (0-7)
<i>Use DNS SRV</i> :	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
<i>User ID is phone number</i> :	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
<i>SIP Registration</i> :	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	
<i>Unregister On Reboot</i> :	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	
<i>Register Expiration</i> :	60	(in minutos, default 1 hour, max 45 days)
<i>Early Dial</i> :	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes (use "Yes" only if proxy supports 484 response)	
<i>Dial Plan Prefix</i> :		(this prefix string is added to each dialed number)
<i>No Key Entry Timeout</i> :	3	(in seconds, default is 4 seconds)
<i>Use # as Dial Key</i> :	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes (if set to Yes, "#" will function as the "(Re-)Dial")	
<i>local SIP port</i> :	5060	(default 5060)
<i>local RTP port</i> :	5004	(1024-65535, default 5004)

Figura 3.20: Configuración *DiffSERV* en el **ATA GrandStream 486**.

### 3.6. Repetidor

Los repetidores son equipos que interconectan las estaciones clientes, están ubicados en los cerros o en posiciones elevadas para así poder repetir la señal hacia estaciones finales u otros repetidores con los que han de tener línea de vista. Un repetidor está enlazado con un grupo de estaciones a la vez que se interconecta con otros repetidores formando la red troncal. Estos enlaces pueden ser de varios kilómetros llegando a haberse establecido algunos de más de 40 kilómetros.

Es por ello que se tiene que realizar una cuidada elección de los equipos y un uso adecuado de los mismos, ya que estos enlaces no son sencillos. Todos estos equipos, así como su instalación y configuraciones, son descritos con detalle a continuación.

El ejemplo de repetidor que se plantea a continuación se representa en la Figura 3.21. Es decir una estación en medio de la red troncal que tiene la capacidad de repetir la señal hacia ambos lados y que a la vez da servicio a una red de distribución, en este caso formada por una única estación cliente. Sin

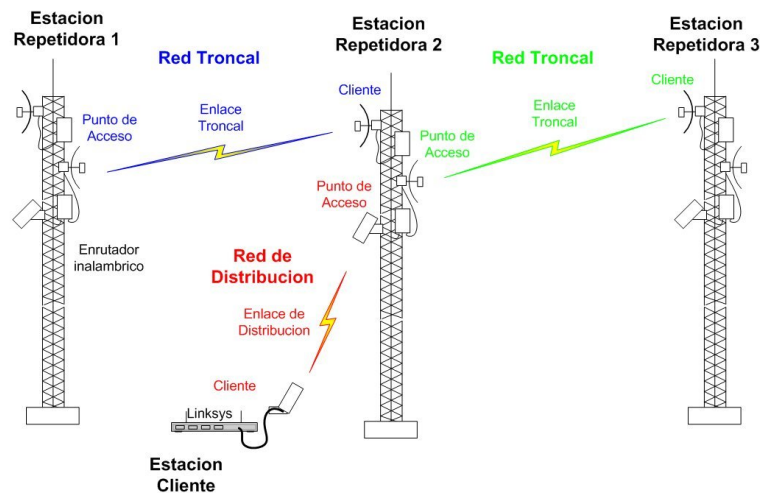


Figura 3.21: Ejemplo de repetidor WiFi.

embargo, también pueden darse otras combinaciones como el caso de repetidores que forman parte de una red de distribución y no de la troncal, o de estaciones finales que repiten la señal hacia otra, o de repetidores que dan servicio a más de una red de distribución, por lo que la configuración presentada en este ejemplo, no es la única.

### 3.6.1. Equipos

En el esquema presentado en la Figura 3.22 podemos apreciar que el montaje de los elementos que forman esta estación sigue la siguiente secuencia: enrutador inalámbrico, protector de línea, cable coaxial y antena. Para el caso de los enlaces troncales se suelen usar antenas directivas de grilla de alta ganancia y para el caso de los enlaces de distribución antenas de la ganancia y el ancho de haz necesario independientemente del tipo.

#### 3.6.1.1. Enrutador Inalámbrico

La función principal del enrutador inalámbrico es recibir información proveniente de otro enrutador por una de sus interfaces (inalámbrica o *Ethernet*) y transmitirla por otra interfaz hacia otro enrutador o estación final. Esta operación la puede realizar también entre cualquiera de sus interfaces ya que todas son de transmisión y recepción.

Los requisitos que inicialmente se le pidieron a esta computadora embebida fueron:

- *Bajo consumo.* El dimensionado de los paneles solares es proporcional al consumo energético de los diferentes componentes que conforman el enrutador. En este sentido es importante que el *hardware* usado tenga un consumo reducido.
- *Bajo costo.* No se pueden implementar soluciones de un alto costo que no sean sostenibles en el medio y largo plazo por las comunidades objetivo de estas redes.
- *Reducido tamaño.* De esta forma se asegura que el diseño final del enrutador sea lo más compacto posible.





Figura 3.22: Esquema Repetidor.

- *Robusto ante condiciones meteorológicas adversas.* Ya que el enrutador se suele instalar en zonas de selva y alta montaña es necesario que tenga cierta robustez en cuanto a condiciones extremas de temperatura y humedad.
- *Tipo de procesador.* El enrutador debe contar con un procesador lo suficientemente potente para poder realizar las diferentes tareas que se le exijan.
- *Memoria RAM.* La memoria RAM irá en sintonía con el sistema elegido, en un principio se le va a exigir un mínimo de 32MB.
- *Sistema de almacenamiento.* El enrutador debe contar con un sistema de almacenamiento que permita guardar en él un **S.O GNU/Linux**. Es recomendable una memoria de tipo **CF** ya que permiten dotar de un almacenamiento relativamente grande (por ejemplo 512MB) a precios asequibles.
- *Número mínimo y tipos de interfaces inalámbricas.* Debido a que el enrutador actúa como repetidor en diversos escenarios es recomendable que al menos cuente con 3 interfaces inalámbricas. Además, es necesario que estas interfaces sean de un tipo determinado (PCMCIA, CardBus, mini-PCI) como se detalla en un apartado posterior.
- *Resto de interfaces.* Además de las interfaces inalámbricas es necesario considerar otro tipo de interfaces. Entre otras las dos más importantes son: una interfaz serie a través de la cual poder acceder al enrutador para labores de configuración y mantenimiento, y al menos una interfaz *Ethernet* para conectar otros dispositivos de red (por ejemplo un teléfono **IP**). También es recomendable la existencia de una interfaz *USB* que permita extensiones o conexiones futuras.
- *Rangos y tipos de alimentación.* Por razones de flexibilidad es recomendable que el enrutador cuente con un rango variable de alimentación. Valores alrededor de 12V resultan ser muy útiles, ya que de esta forma se pueden alimentar de forma directa con el sistema de energía solar.

También será más que recomendable que la placa seleccionada tenga la opción de poder ser alimentada a través de PoE (Power over Ethernet).

- *Disponibilidad de watchdog.* Se recomienda la existencia de un *watchdog hardware* que permita reiniciar la placa cuando ésta se bloquee.
- *Disponibilidad de compra en el medio/largo plazo.* Este requisito resulta especialmente importante, ya que es necesario asegurar de alguna manera que el *hardware* seleccionado va a seguir siendo distribuido en el medio y largo plazo. Son más que recomendable tener posibles alternativas localizadas en caso de que sea necesario llegar a usarlas.

A partir de estos requisitos se realizó un primer estudio de placas disponibles en el mercado que pudieran enmarcarse en el perfil buscado. Después de descartar soluciones propietarias o enrutadores comerciales se seleccionaron dos placas: *Soekris* y *PcEngines*, Ambos de arquitectura *x86* y de prestaciones similares en potencia que carecen de subsistemas innecesarios en un dispositivo de comunicaciones, como los de vídeo y sonido.

Dentro de los modelos de computadoras embebidas *Soekris* se barajó la posibilidad de utilizar los modelos *net4511*, *net4521*. El primero de ellos con interfaces para conectar 2 tarjetas (1 mini-PCI y 1 PCMCIA) y el segundo con la opción de conectar 3: 1 mini-PCI y 2 PCMCIA. Además, las dos cuentan con un *slot* para tarjetas *CF*. Ambos modelos se muestran en la Figura 3.23.

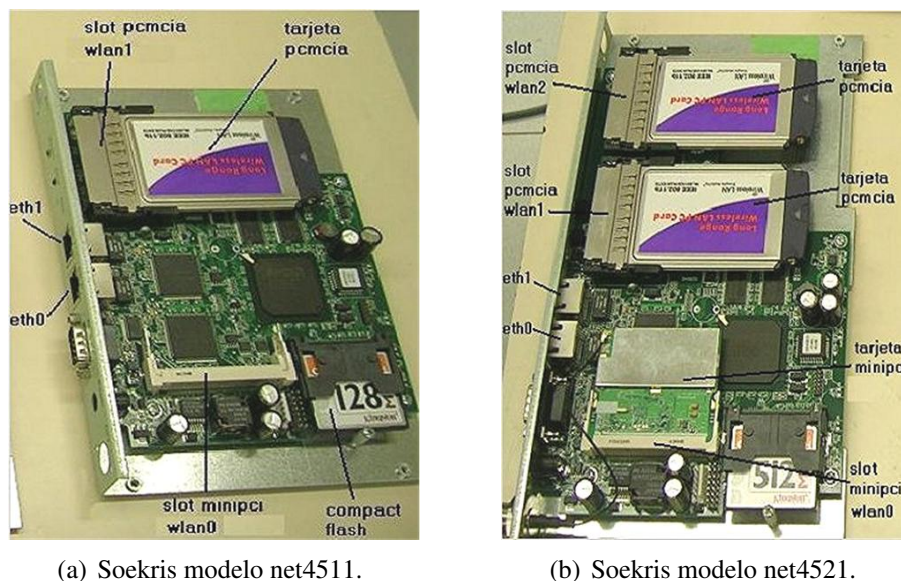


Figura 3.23: Modelos de enrutador *Soekris*.

En las placas *PcEngines* se estudiaron los modelos *Wrap 1E* y *Wrap 2E*, ambas cuentan con dos interfaces mini-PCI, una y dos interfaces *Ethernet*, respectivamente, y un *slot CF*. En la Figura 3.24 se muestra el modelo 2E. Además, dispone de un *watchdog hardware* que permite reiniciar el sistema operativo automáticamente cuando se produce algún problema con él.

Dado que el precio de ambas marcas es similar, la selección de la computadora embebida se basa en el número de interfaces inalámbricas que vamos a necesitar en cada estación, y de que características sean éstas. Como explicaremos a continuación, en el mercado existen tarjetas inalámbricas de distintas potencias y de distintos precios cuyo conector es del tipo PCMCIA o mini-PCI. Por lo



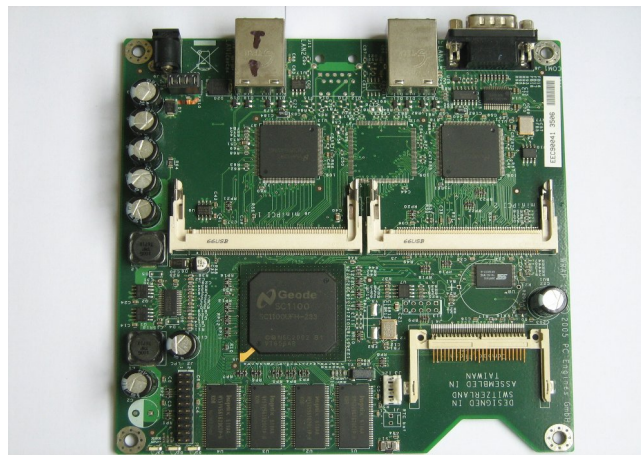


Figura 3.24: Enrutador Wrap2E.

que en función del diseño se elegirán unas tarjetas u otras y por lo tanto habrá que seleccionar las computadoras que cumplan con esos requerimientos.

NOTA: En la fecha de edición de este libro (octubre 2007) los fabricantes de *Wrap* habían dejado de producirla, por lo que se están estudiando otras opciones para llenar este vacío. Se están probando las placas *Mikrotik Routerboard 333* y las computadoras *PcEngines ALIX 2C0*. Esta últimas son fabricadas por la misma empresa que produce las placas *Wrap*, por lo que se prevé que sean éstas las elegidas para su sustitución.

Para instalar los enrutadores debemos conectarle la **CF** con el **S.O.** previamente configurado, y las tarjetas inalámbricas que sean necesarias. Éstas se conectan por medio de su *pigtail* al protector de línea, siendo en algunos casos necesaria la inserción de un cable coaxial entre ambos componentes. El protector de línea se conecta mediante un cable coaxial a la antena, que es la encargada de transmitir la señal hasta el siguiente punto. A continuación describiremos cada uno de los componentes mencionados.

### 3.6.1.2. Tarjetas inalámbricas

La elección de tarjetas **WiFi** se basa en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportadas en operación, así como *chipset* incorporado. Esta última condición es importante, ya que es necesario disponer de soporte para un **S.O.** *GNU/Linux* para todos los modos (*Master*, *Managed*, *Ad-hoc*, *Monitor*) para poder construir puntos de acceso, puentes, repetidores y encaminadores.

Se ha trabajado con tarjetas de dos *chipsets* diferentes (*Intersil Prism 2.5* y *Atheros*), con modelos que transmiten desde 80mW hasta 600mW. Se recomienda usar como controladores de las interfaces inalámbricas el driver *Hostap* para el caso de tarjetas con *chipset Intersil Prism 2.5* y *MadWifi* para tarjetas con *chipset Atheros*.

Mientras que el driver *Madwifi* permite modificar el valor de *ACKtimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*, comentados anteriormente y por lo tanto un mejor control de las prestaciones del sistema, el *Hostap* no permite modificar los valores anteriores, sin embargo, las tarjetas con este *driver* tienen un valor mayor *ACKtimeout*, de manera que pueden ser usadas con prestaciones aceptables en enlaces largos de hasta 30km. No obstante, mientras que estas últimas sólo pueden ser configuradas en modo b, distintos modelos con *chipset Atheros* soportan los estándares 802.11 a,b o g. Por todo lo anterior, en



### 3.6.1.3. Pigtaills

Los *pigtails* son cables coaxiales con conectores adecuados para las tarjetas de red inalámbricas. Estos se tratan, típicamente, de conectores UFL y MMCX, mostrados en la Figura 3.25. En el otro extremo los *pigtails* tienen conectores N hembra o macho. Dado que los conectores UFL y MMCX son sumamente pequeños, los *pigtails* están fabricados con cables coaxiales muy delgados de mucha atenuación motivo por el cual deben ser lo más cortos posible (típicamente de 30 cm).

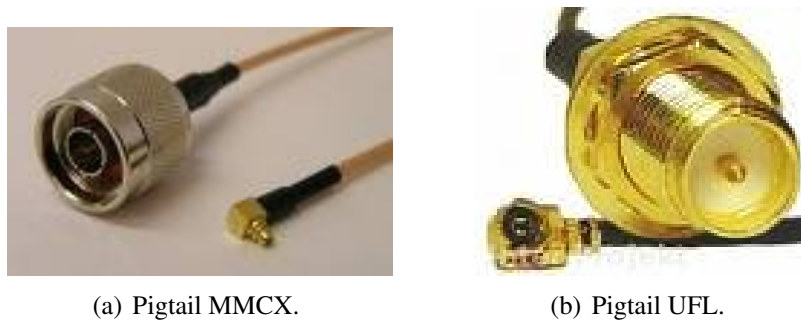


Figura 3.25: Conectores pigtail.

### 3.6.1.4. Antenas

Las antenas son dispositivos pasivos que convierten la señal de radio frecuencia enviada por los cables coaxiales en ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio y viceversa.

Dada la diversidad de situaciones en las que las que se necesitan las antenas, tales como: **PtP**, **PtMP**, con distancia entre los puntos variable, entre centenas de metros y decenas de kilómetros, y con distintas características ambientales de los lugares donde se han instalado, se utilizan multitud de modelos de antenas en función de estos requerimientos.

En GTR-PUCP siempre se ha confiado para la adquisición de estos equipos en la marca *Hyperlink*, ya que es una marca ampliamente disponible y su relación calidad precio es una de las mejores del mercado. Dentro de esta marca y dado que las antenas siempre se instalan a la intemperie, se eligen los modelos específicos para exteriores. A partir de aquí la elección de la antena depende de la ganancia necesaria de la misma para poder realizar el enlace y de la frecuencia en la que se va a realizar. Estos datos se obtienen durante la etapa de diseño de la red que se detalla en la sección 4.1.5 del capítulo de diseño. Es importante resaltar que los precios de las antenas aumentan con su ganancia, por lo que un ajuste fino, en lo que a ganancia se refiere, puede suponer grandes reducciones en el costo.

En la banda de 2.4 GHz algunos de los modelos utilizados son: la antena de grilla HG2424G de 24 dBi (Figura 3.26(b)), la antena de panel HG2418P de 14dBi, y las sectoriales HG2414SP-120 y la HG 2414SP-090 (Figura 3.26(d)) de 14 dBi de ganancia cada una y de 120 y 90° de haz, respectivamente. En la de 5.8 GHz se han utilizado la antena de plato HG5829D de 29 dBi dada su gran ganancia y la posibilidad de instalarle un *radome*, que la dota de mayor aerodinamicidad, fundamental en lugares muy ventosos (Figura 3.26(a)), la antena de grilla HG5827G de 27 dBi y la de panel HG5819P de 19 dBi (Figura 3.26(c)).

NOTA: Las antenas de grilla tanto de 2.4 GHz como de 5.8 GHz tienen unas abrazaderas un tanto débiles, por lo que en zonas de mucho viento se recomienda emplear un método de sujeción adicional.

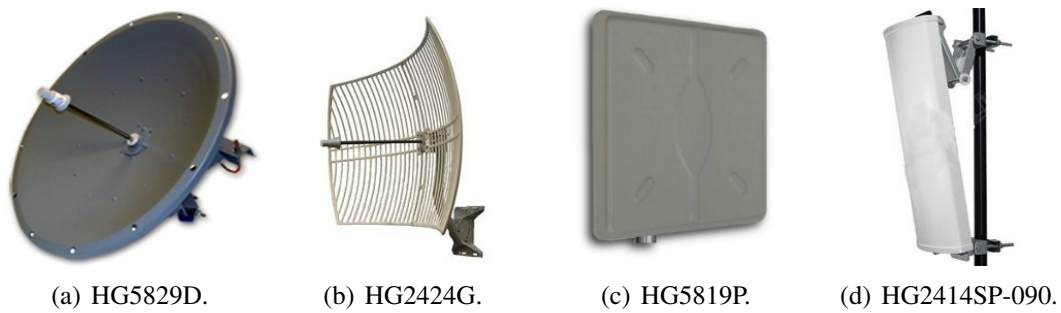


Figura 3.26: Modelos de antena Hyperlink utilizados.

### 3.6.1.5. Amplificadores

Los amplificadores son dispositivos que como su propio nombre indica amplifican una señal de entrada o de salida. En la Figura 3.27 se puede observar su esquema de conexiones.

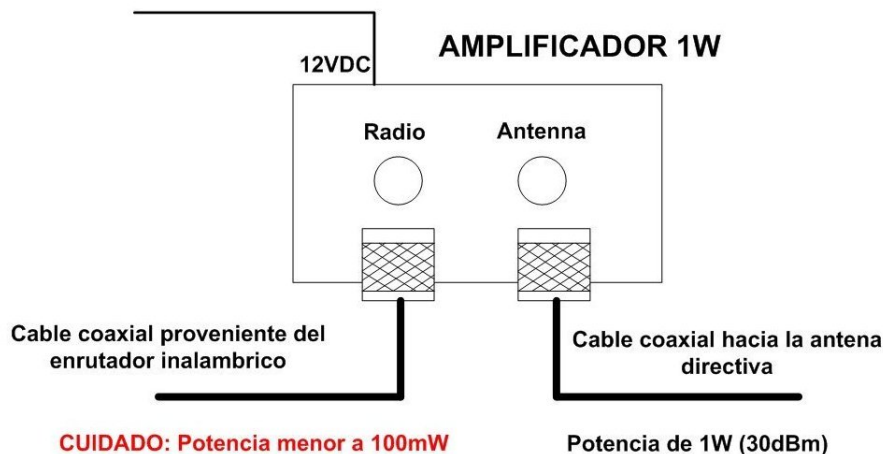


Figura 3.27: Esquema Amplificador.

En caso de que sea necesario, el amplificador que GTR-PUCP utiliza es el *Hyperlink* modelo *HA2401GXI-1000*. Pese a la necesidad de usarlo en exteriores, se prefiere este equipo de interior con la idea de colocarlo dentro de una caja de intemperie. Esto resulta más económico y confiable. Asimismo, se prefiere ese modelo por su amplia presencia en el mercado y por ser capaz de amplificar tanto en modalidad *b* como en modalidad *g*.

Sin embargo, el uso de estos dispositivos se debe evitar ya que son caros, tienen alto consumo energético e introducen ruido e interferencias en el sistema.

En las especificaciones técnicas del amplificador podemos ver dos características importantes: La potencia de entrada del amplificador proveniente del equipo de radio no puede ser mayor a 100W (20dBm). La potencia de salida del amplificador será constante de 1W (30dBm), que es suficiente y necesaria para cumplir con el propósito de su adquisición. Además cuenta con conectores N macho, lo que elimina el uso de conectores auxiliares, pudiéndose conectar directamente al cable coaxial.

Las estaciones repetidoras con amplificadores tienen el esquema de conexiones mostrado en la Figura 3.28

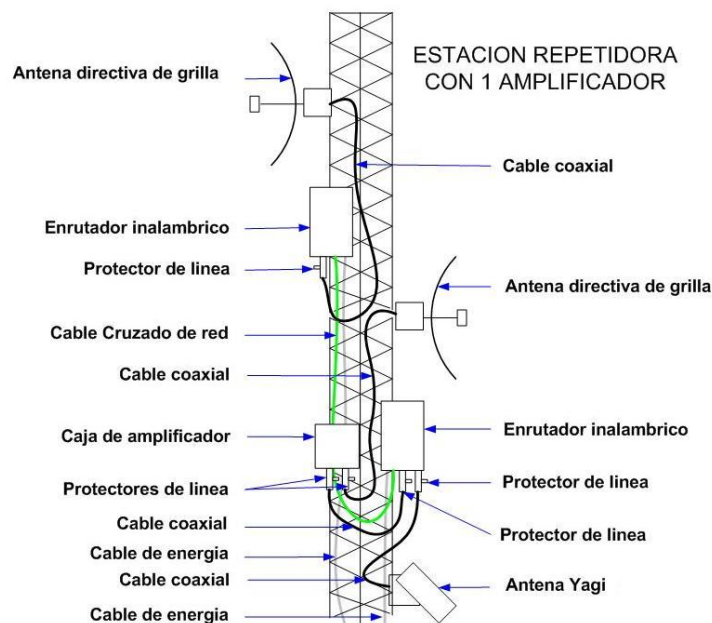


Figura 3.28: Repetidor con amplificador en WiFi.

En él podemos apreciar que la salida de una de las interfaces inalámbricas ingresa al amplificador y luego sale con mayor intensidad hacia la antena.

### 3.6.2. Configuraciones

Para que el enrutador funcione cumpliendo los requisitos de la red, hay que utilizar un **S.O.** que permita realizar configuraciones necesarias para establecer enlaces inalámbricos. Además, ha de caber en una tarjeta **CF** que será la que haga las veces de disco duro del enrutador.

#### 3.6.2.1. Instalación del Sistema Operativo

GTR-PUCP ha utilizado dos distribuciones distintas: *Voyage* y *Pebble*, modificándolas para sus requerimientos. Ambas se tratan, básicamente, de una distribución *GNU/Linux Debian* que ha sido reducido al mínimo número de paquetes razonable y a los que se le ha “extirpado” la documentación. El resultado es aún así bastante voluminoso, unos 64MB, a éste, además, se le han agregado aplicaciones desarrolladas dentro del Programa EHAS, como el **SGRE** (Sistema de Gestión de Redes EHAS), un centralita PBX *software* para telefonía **IP** (*asterisk*), y algunas otras aplicaciones, que han aumentado su tamaño a alrededor de 250 MB. Aún así, sigue siendo lo suficientemente pequeño para entrar sin problemas en una **CF** de 512 MB.

Sin embargo, para poder optimizar el mantenimiento de las versiones, se ha optado por mantener únicamente una de ellas: *Voyage*. Esta distribución es mantenida por Pablo Osuna, investigador de la Fundación EHAS. La distribución actual se encuentra en proceso de reestructuración por lo que su instalación se incluirá en versiones posteriores de este libro. Debido a esto, se sugiere seguir los pasos indicados en la página *Web* de la distribución original de *Voyage*, para su correcta instalación:

<http://linux.voyage.hk>



Para la instalación de los paquetes desarrollados para el Programa EHAS, será necesario incluir sus repositorios, en el archivo `/etc/apt/sources.list`, pero esto se detallará para cada uno de ellos.

### 3.6.2.2. Formas de conexión a una computadora embebida

Dado que las computadoras embebidas que se utilizan no disponen de una pantalla ni de teclado y no resulta fácil encontrar los conectores de estos dispositivos para conectar estos equipos, para poder realizar en ellas las configuraciones necesarias hay que utilizar otros métodos. A continuación se describen algunos.

#### 3.6.2.2.1. Conexión mediante el comando `ssh`

Con esta aplicación se puede acceder a sistemas de entorno *GNU/Linux* que se encuentren dentro de una misma red. Para ello se debe conocer el usuario y la contraseña del equipo al que se quiere acceder.

El `ssh` sólo permite 3 intentos para poder acceder, si se falla por tercera vez se debe ejecutar nuevamente el comando. Para acceder a un enrutador, ya sea por un medio cableado o inalámbrico, simplemente se ejecuta `ssh` a cualquiera de sus interfaces activas, como se muestra en este ejemplo:

```
Soekris-1:/# ssh root@192.168.1.1
```

Para que la conexión pueda llevarse a cabo las direcciones **IP** del equipo al que se intenta acceder y la del que se quiere conectar han de pertenecer a la misma red.

#### 3.6.2.2.2. Conexión por el puerto serial

Para lograr esta conexión se debe estar físicamente frente a la placa, contando con una computadora portátil con **S.O.** *GNU/Linux*. La aplicación que sirve para conectarse a través del puerto serial y un cable serial nulo es `cu`. Para ello una vez encendida la computadora portátil, conecte el puerto serial de la portátil al puerto consola (puerto serial) de la computadora embebida por medio del cable serial nulo. En la computadora portátil se deberá ejecutar la siguiente orden:

```
Soekris-1:/# chmod 777 /dev/ttyS0
Soekris-1:/# cu -l /dev/ttyS0 -s 19200
```

En la opción `-s` se indica la velocidad en baudios a la que se conecta al dispositivo, 19200 para el caso de la *Soekris* y 9600 para la *Wrap*.

#### 3.6.2.3. Configuración de los parámetros de red

Para configurar los parámetros de red de las distintas interfaces de los enrutadores utilizados se debe conocer los comandos *GNU/Linux* para esta tarea. En ambas placas las interfaces *Ethernet* ya vienen incorporadas; las interfaces inalámbricas, denominadas `wlanX` en el caso de usar *driver Hostap* y `wifiX` en las tarjetas con *driver Madwifi*, dependen del número y tipo de las tarjetas inalámbricas instaladas. Por ejemplo, en una placa *Soekris net4521* con sus 3 tarjetas inalámbricas conectadas, el orden de las interfaces es el siguiente: `wifi0` la tarjeta mini-PCI, `wifi1` la tarjeta PCMCIA ubicada

junto a la tarjeta mini-PCI y `wifi2` la tarjeta PCMCIA ubicada junto a la primera tarjeta PCMCIA. En el caso de que faltara alguna de las tarjetas, las que quedan son tomadas como interfaces consecutivas `wifi0` y `wifi1`. En las *Wrap 2E* es más sencillo, `wifi0` será la mini-PCI que se encuentra del lado de la alimentación y `wifi1` la que se encuentra en el otro lado.

A continuación se detallarán los comandos necesarios para llevar a cabo tal configuración.

### 3.6.2.3.1. Comando `ifconfig`

Se pueden determinar las direcciones **IP** de las interfaces de red con el comando `ifconfig` de la siguiente manera:

```
Soekris-1:/# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet HWaddr 00:00:24:C3:C1:E0
          inet addr:200.16.6.122 Bcast:200.16.6.255Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST MULTICAST MTU:1500 Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 b) TX bytes:0 (0.0 b)
          Interrupt:5

eth1      Link encap:Ethernet HWaddr 00:00:24:C3:C1:E1
          inetaddr:10.10.1.1 Bcast:10.10.1.255Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST MULTICAST MTU:1500 Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 b) TX bytes:0 (0.0 b)
          Interrupt:9 Base address:0x2000

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
          UP LOOPBACK RUNNING MTU:16436 Metric:1
          RX packets:40 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:40 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:4096 (4.0 KiB) TX bytes:4096 (4.0 KiB)

wlan0     Link encap:Ethernet HWaddr 00:02:6F:38:DE:71
          inetaddr:10.10.2.1 Bcast:10.10.2.255 Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:114 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 b) TX bytes:8208 (8.0 KiB)
          Interrupt:11 Base address:0x100

wlan1     Link encap:Ethernet HWaddr 00:02:6F:38:AE:FA
          inetaddr:10.10.3.1 Bcast:10.10.3.255 Mask:255.255.255.0
```



```
UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:1000
RX bytes:0 (0.0 b) TX bytes:0 (0.0 b)
Interrupt:11 Base address:0x140
```

En éste caso la `eth0` tiene la dirección `200.16.6.122`, que es una dirección pública y que servirá para que las otras interfaces puedan tener acceso a la *Internet*; la `eth1` tiene dirección `10.10.1.1`, que corresponde a una dirección de red privada. La `wlan0` tiene dirección `10.10.2.1` y la `wlan1` `10.10.3.1`; todas ellas tienen máscaras de red `255.255.255.0`, lo cual significa que sus respectivas redes no están divididas en subredes, es decir tienen un rango de 256 direcciones (separando la primera para nombre de red y la última para *broadcast*). Aparte de las direcciones **IP**, también se presentan características de las interfaces para las tarjetas de red (**NIC**) como la dirección **MAC**, por ejemplo, la `eth0` tiene dirección `00:00:24:C3:C1:E0`.

Los cambios en las interfaces se pueden ejecutar directamente con el `ifconfig`, por ejemplo:

```
Soekris-1:# ifconfig eth0 200.16.6.124 netmask 255.255.255.0 up
```

Con estas líneas se cambia la dirección **IP** de la interfaz `eth0` (el `up` sirve para activar la interfaz después del cambio). Sin embargo, cuando se usa este comando la configuración es válida para ese momento, una vez reiniciado el enrutador se pierde la configuración hecha.

### 3.6.2.3.2. Comando `iwconfig`

Este comando sirve para la configuración de las interfaces inalámbricas. Con el comando `iwconfig` se pueden configurar y determinar los parámetros de las interfaces inalámbricas; se puede configurar la dirección **IP** de la **NIC** inalámbrica como si fuera una *Ethernet*, dar nombre a la red, y activarlo con el comando `ifup`; pero, al igual que con `ifconfig`, la configuración es válida para el momento y una vez se reinicia el enrutador, se pierde la configuración.

Con la siguiente instrucción se configura el *ssid* (nombre de la red) de la interfaz `wlan0`.

```
Soekris-1:/# iwconfig wlan0 essid EHAS5
```

Mientras que con esta se visualiza la configuración actual de todas las interfaces inalámbricas:

```
Soekris-1:/# iwconfig
lo      no wireless extensions.
eth0    no wireless extensions.
eth1    no wireless extensions.

wlan0   IEEE 802.11b ESSID:"EHAS5"
        Mode:MasterFrequency:2.412GHzAccess Point:00:02:6F:38:DE:71
        Bit Rate:11Mb/s Sensitivity=1/0
        Retry min limit:8 RTS thr:off Fragment thr:off
        Encryption key:6568-4173-31 Security mode:restricted
        Power Management:off
        Link Quality:0/0 Signal level:-69 dBm Noise level:-90 dBm
```

```
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:6314 Missed beacon:0
```

Después de hacer cambios en alguna de las interfaces de red por línea de comandos, la interfaz se debe desactivar y luego activar para que los respectivos cambios tengan efecto. Para ello se usan los comandos `ifdown` e `ifup`.

```
Soekris-1:/etc# ifdown eth0
```

```
Soekris-1:/etc# ifup eth0
```

### 3.6.2.3.3. Configurar el archivo `/etc/network/interfaces`

Para que los parámetros de red de las interfaces estén fijas, es decir, no se pierdan al reiniciar al enrutador, se deben editar sus archivos respectivos; para esto se puede usar el editor `vi`. El archivo principal es `/etc/network/interfaces` donde se pueden modificar los parámetros de cada una de las interfaces que consta el enrutador que se utilice. Para abrirlo se ejecuta:

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

El editor 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 hace `wq`, para salir simplemente se hace `q`, y si se desea salir forzosamente se hace `q!`.

Para la configuración de tarjetas con *driver Hostap* se debe añadir lo siguiente:

```
auto wlan0
iface wlan0 inet static
    address 192.168.1.2
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 192.168.1.255
    wireless-mode "Master o Managed"
    wireless-essid "nombre del identificador de la red"
    wireless-channel "canal elegido"
    wireless-rate "velocidad elegida"
    wireless-key s:"clave en formato ASCII"
```

Si hubiera varias, la primera `wlan0`, la segunda `wlan1`, etc.

Para la configuración de tarjetas con *driver Madwifi* se debe añadir lo siguiente:

```
auto ath0
iface ath0 inet static
    pre-up wlanconfig ath0 create wlandev wifi0 wlanmode
        "ap(Master) o sta(Managed)"
    pre-up iwpriv ath0 mode
        "0, 1, 2 o 3 para modo automatico, a,b o g"
    address 192.168.1.1
```

```
netmask 255.255.255.0
broadcast 192.168.1.255
wireless-essid "nombre del identificador de la red"
wireless-channel "canal elegido"
wireless-rate "velocidad elegida"
wireless-key s:"clave en formato ASCII"
```

Al igual que en el caso anterior, si hubiera varias interfaces: la primera `ath0`, segunda `ath1`, etc.

Como se puede observar se utiliza `athX` y no `wifiX`, debido a que `athX` es la interfaz virtual que se crea en la interfaz física sobre la que se configuran los parametros de red.

Para que los cambios efectuados en éste archivo se ejecuten, una vez salvados, se deben reiniciar las interfaces de red.

```
Soekris-1:/etc# /etc/init.d/networking restart
```

#### 3.6.2.3.4. Comando `route`

Después de configurar las interfaces de red, se debe configurar la tabla de rutas para que la información enviada entre computadoras de diferentes redes sepa como llegar a su destino y a su vez regresar en caso de haber respuesta. Esta configuración se logra con el comando `route`. Podemos observar la tabla de rutas actual con la siguiente instrucción:

```
Soekris-1:/# route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
10.10.3.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 wlan1
10.10.2.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 wlan0
10.10.1.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 eth1
200.16.6.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 eth0
0.0.0.0 200.16.6.10 0.0.0.0 UG 0 0 0 eth0
```

Si se tiene como destino la red `10.10.3.0`, el *gateway* correspondiente es la `wlan1`.

Si se tiene como destino la red `10.10.2.0`, el *gateway* correspondiente es la `wlan0`.

Si se tiene como destino la red `10.10.1.0`, el *gateway* correspondiente es el `eth1`.

Si se tiene como destino la red `200.16.6.10`, el *gateway* correspondiente es la `eth0`.

Por último, si se tiene como destino cualquier otra red, el *gateway* será la dirección `200.16.6.10` y se llegará través de la `eth0`. La `eth0` será el *gateway* por defecto.

Estas rutas o *gateway* para una interfaz (si es que es necesario) fueron establecidos al configurar las interfaces de red (`/etc/network/interfaces`), pero también se pueden introducir más rutas, teniendo como destino otras redes o computadoras pertenecientes a otras redes, como se indica a continuación:

```
Soekris-1:/# route add -net 192.168.5.0/24 gw 192.168.2.2
Soekris-1:/# route add default gw 192.168.1.1
Soekris-1:/# route -n
Kernel IP routing table
```

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
10.10.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	wlan1
10.10.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	wlan0
10.10.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
200.16.6.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
0.0.0.0	200.16.6.10	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0
0.0.0.0	192.168.1.1	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth1
0.0.0.0	200.16.6.10	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

En la primera instrucción que se ejecuta, se hace que la red 192.168.5.0 tenga como *gateway* la interfaz 192.168.2.2, la cual no pertenece a las interfaces de la placa, pero al estar wlan0 (192.168.2.1) en esta red entonces los datos provenientes de la red 192.168.5.0 saldrán a través de la wlan0 para llegar a su *gateway* 192.168.2.2. En la segunda instrucción se configura la interfaz con dirección 192.168.1.1 (eth1) como *gateway* por defecto.

Así como se pueden establecer rutas para llegar a distintas redes y computadoras, también se pueden borrar.

```
Soekris-1:/# route del -net 192.168.5.0/24 gw 192.168.2.2
```

```
Soekris-1:/# route del default gw 192.168.1.1
```

```
Soekris-1:/# route -n
```

```
Kernel IP routing table
```

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
10.10.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	wlan1
10.10.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	wlan0
10.10.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
200.16.6.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
0.0.0.0	200.16.6.10	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

### 3.6.2.3.5. Carga de los programas al inicio

Un inconveniente de la configuración manual es que las rutas configuradas se borran si se reinicia la placa, lo cual requiere la repetición del proceso de ingreso manual de las rutas. Para evitar ese inconveniente se crea un archivo que contenga las rutas que se cargan una vez que inicie el sistema operativo. Para ello se utiliza el comando `update-rc.d`, que se encarga de realizar ese proceso. El procedimiento es el siguiente:

Se crea el archivo `tabla_de_rutas` en el directorio `/etc/init.d` y se escriben las rutas:

```
Soekris-1:/# vi /etc/init.d/tabla_de_rutas
```

```
#!/bin/sh
```

```
route add -net 192.168.4.0/24 gw 192.168.4.1
```

```
route add -net 192.168.3.0/24 gw 192.168.3.2
```

```
route add default gw 192.168.3.1
```

A continuación se le da permiso de ejecución al archivo, para ello se usa la instrucción:

```
Soekris-1:/# chmod +x /etc/init.d/tabla_de_rutas
```

Por último, para cargar en el sistema, se ejecuta:

```
Soekris-1:/# update-rc.d tabla_de_rutas defaults
```

En el caso de una *Wrap* este comando no carga los archivos en el orden adecuado, por lo que habrá que añadir `08` al final. Este `08` sirve para cargar los archivos de configuración de la red antes de que se carguen el resto de aplicaciones que se encuentran en `/etc//init.d/`, ya que estos últimos, en muchos casos hacen uso de los primeros. Para ello, ejecutar:

```
Wrap-ehas-1:/# update-rc.d tabla_de_rutas defaults 08
```

Para probar que esto funcionó: reiniciar la *Soekris* y, con el comando `route -n`, verificar que la tabla de rutas ha sido cargada.

#### 3.6.2.4. Configuración específica tarjetas con chipset Atheros

Además, si se han instalado tarjetas con *driver Madwifi* hay que configurar varios de sus parámetros para asegurar su correcto funcionamiento. A continuación se detallan algunos, pero para más información consultar su página web:

[www.madwifi.org](http://www.madwifi.org)

##### 3.6.2.4.1. Diversidad

Este concepto hace referencia a la existencia de más de una antena para mejorar la calidad de recepción/transmisión. Muchas tarjetas inalámbricas tienen dos conectores para antena exterior. Aunque una antena transmita por sólo uno de los conectores puede ocurrir que se pierda una pequeña potencia por el otro. En estas ocasiones resulta conveniente desactivar la diversidad y activar una única antena para transmisión/recepción. En pruebas realizadas en laboratorio se han observado pérdidas de hasta 2dBs en el caso de tarjetas de *chipset Atheros*. Para ello se crea un *script* que lo realice automáticamente:

```
Soekris-1:/# vi /etc/init.d/diversidad
```

```
#!/bin/sh
echo 0 >/proc/sys/dev/wifi0/diversity
echo 1 >/proc/sys/dev/wifi0/rxantenna
echo 1 >/proc/sys/dev/wifi0/txantenna
```

Esto indica que en la tarjeta conectada a la interfaz *wifi0* del enrutador se ha eliminado la diversidad y que se ve a usar el conector 1 de la antena para transmisión y recepción. Si se pusiera 2 en *txantenna* y *rxantenna*, se utilizarían los dos conectores produciéndose la pérdida de potencia anteriormente descrita. Para averiguar cuál es se recomienda consultar la documentación de cada tarjeta, por ejemplo, en el caso de las tarjetas *CM9 de Ubiquity*, es el que indica *Main*.

Una vez creado y guardado el archivo, se debe repetir con él el proceso indicado en [3.6.2.3.5](#) para que se cargue al inicio, y de esta manera evitar repetir el proceso siempre que se reinicie la computadora.

### 3.6.2.4.2. Configuración *ACKtimeout* y *SlotTime*

Adicionalmente, hay que hallar los parámetros de *ACKtimeout* y *Slottime* óptimos para cada enlace. Para ello se utiliza el paquete de medición de ancho de banda *iperf* y la herramienta *athctrl*. La prueba se realiza de la siguiente manera:

En ambos lados del enlace se modifican los valores de *ACKtimeout* y *Slottime* en función de la distancia con la herramienta *athctrl* como se indica a continuación:

```
Soekris-1:/# athctrl -i "interfaz" -d "distancia"
```

El parámetro *interfaz* debe ser sustituido por *wifi0*, *wifi1*, *wifi2* dependiendo de donde esté ubicada la tarjeta que se encarga de realizar ese enlace. En el parámetro *distancia* hay que indicar la distancia en metros que separa ambos puntos.

Una vez asignada un distancia, se mide el ancho de banda con el *iperf*, tal y como se describe en 3.6.2.5.2 y se anota el valor de ancho de banda.

Se repite el proceso modificando el valor de la distancia en ambos extremos, alejándose por defecto y exceso de 1000 en 1000 metros de la distancia indicada en el primer paso. Cuando se haya obtenido el valor de distancia que optimiza el ancho de banda hay que programar el siguiente *script* en ambos lados del enlace con el fin de asignarle permisos y cargarlo al inicio, para que se ejecute en todo momento.

```
Soekris-2:/# vi /etc/init.d/distancia
```

```
#!/bin/sh
athctrl -i "interfaz" -d "distancia óptima"
```

Para poder ejecutar la herramienta *athctrl* en las placas *Wrap* hay que indicar el *PATH* en el *script* debido a un problema con los *drivers*:

```
Wrap-ehas-2:/# vi /etc/init.d/distancia
```

```
#!/bin/sh PATH=/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:
/usr/bin:/sbin:/bin:/usr/X11R6/bin:/
athctrl -i "interfaz" -d "distancia óptima"
```

Finalmente, y como se realiza con otros programas, se carga el archivo al inicio como se describe en 3.6.2.3.5.

### 3.6.2.4.3. Configuración con amplificadores

En el caso de que se haya tomado la decisión de utilizar amplificadores en las interfaces inalámbricas correspondientes a un determinado enlace hay que tener en cuenta que los amplificadores descritos en la sección 3.6.1.5 sólo aceptan una potencia máxima de 100mW y muchas de las tarjetas seleccionadas arrojan una potencia superior y pueden malograr el amplificador si son conectadas directamente a él. Por ello se debe estar reducir la potencia que éstas emiten.

En primer lugar se debe crear el archivo */etc/init.d/potencia* en los enrutadores que usen un amplificador. Para ello introducir el comando:

```
Soekris-1:/# vi /etc/init.d/potencia
```

y editarlo de la siguiente forma:

```
#!/bin/  
iwconfig ath0 txpower 10
```

Se debe elegir la interfaz inalámbrica adecuada, es decir la que se conectará al amplificador.

Para cargarlo al inicio, se realiza el procedimiento descrito en [3.6.2.3.5](#).

### 3.6.2.5. Comandos para comprobar la calidad de un enlace

Una vez se han configurado todos los parámetros, se puede comprobar si el enlace está activo con distintos comandos. A continuación se describen los más comunes:

#### 3.6.2.5.1. Comando ping

Este comando *GNU/Linux* permite enviar datagramas **ICMP** de petición de respuesta a una computadora o red de la cual se tenga su dirección **IP**.

```
Soekris-1:/# ping 200.15.7.130  
PING 200.15.7.130 (200.15.7.130) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=1 ttl=61 time=3.70 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=2 ttl=61 time=0.575 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=3 ttl=61 time=0.568 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=4 ttl=61 time=0.575 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=5 ttl=61 time=0.570 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=6 ttl=61 time=0.570 ms  
64 bytes from 200.15.7.130: icmp_seq=7 ttl=61 time=0.535 ms  
  
-- 200.15.7.130 ping statistics --  
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6000ms  
rtt min/avg/max/mdev = 0.535/1.013/3.704/1.099 ms
```

#### 3.6.2.5.2. Comando iperf

El comando *iperf* sirve para realizar mediciones del ancho de banda de un enlace. Para utilizarlo es necesario conectarse al otro extremo del enlace mediante el comando *ssh* y ejecutar el servidor *iperf* de la siguiente forma:

```
Soekris-2:/# iperf -s
```

Luego, desde la computadora actual se ejecuta lo siguiente:

```
Soekris-1:/# iperf -c "IP Soekris-2" -t 10 -i 1
```



Después de 10 segundos (-t 10) aparece una línea que indique el ancho de banda, por ejemplo:

```
[5] 0.0-10.1 sec 1.82 MBytes 1.52 Mbits/sec
```

### 3.6.2.5.3. Comando `traceroute`

Las conexiones entre las computadoras y las redes comprenden la interconexión de múltiples y diferentes equipos a través de *gateways*. El `traceroute` utiliza el campo “tiempo de vida” del protocolo **IP** para intentar obtener una respuesta de “tiempo excedido” de cada *gateway* a lo largo de la ruta hacia el cliente. Con ello se puede obtener la ruta que recorren los paquetes desde una computadora a otra a través de la red. Al igual que el `ping` y el `ssh`, el parámetro necesario es la dirección **IP** de la computadora a la que intentamos llegar. A continuación se presenta un ejemplo de este comando:

```
Soekris-1:/# traceroute 200.15.7.130
traceroute to 200.15.7.130 (200.15.7.130), 30 hops max, 38 byte packets
 1 200.15.7.1 (200.15.7.1) 0.329 ms 0.285 ms 0.222 ms
 2 10.0.0.2 (10.0.0.2) 0.300 ms 0.345 ms 0.285 ms
 3 10.0.0.6 (10.0.0.6) 0.462 ms 0.472 ms 0.341 ms
 4 200.15.7.130 (200.15.7.130) 0.452 ms 0.553 ms 0.397 ms
```

### 3.6.2.6. Configuraciones para VoIP

Para la comunicación entre teléfonos **IP** de distintos servidores de **VoIP** primero se establece una comunicación entre los servidores involucrados de manera transparente para el usuario, para luego transmitir la llamada a la estación cliente. Para ello se utilizan servidores *asterisk* ubicados en los enrutadores de algunos repetidores de la red.

A continuación, para clarificar su funcionamiento, se presentan dos ejemplos de como trabajan los servidores **VoIP**. Si una estación cliente realiza una llamada de teléfono a otra estación cliente de la misma zona, el servidor del repetidor acepta el pedido y verifica si el destinatario se encuentra en su zona o en otra. En el caso de que se encuentre en la misma zona, el servidor del repetidor intenta establecer la comunicación entre ambos teléfonos. Si después de 25 segundos la estación cliente no contesta, se pasa al servicio de buzón de voz (*voicemail*) para permitir dejar un mensaje. Este servicio es administrado por el servidor de la estación pasarela, por lo que, al usar este servicio, se está accediendo a ella, todo de forma transparente para el usuario. Si ahora una estación cliente llama a la estación pasarela, el servidor del repetidor acepta el pedido, busca la zona a la que pertenece el servidor de la estación pasarela y se comunica con él (lo intenta durante 22 segundos, si no contesta se escuchará tono de no disponible). Si el servidor de la estación pasarela está disponible, entonces aceptará el pedido del servidor del repetidor y se comunica con la estación cliente.

Toda esta “inteligencia” de los repetidores reside en el servidor *asterisk* que tienen instalado. La configuración del mismo se presenta a continuación.

#### 3.6.2.6.1. *asterisk*

*asterisk* es una *Private Business eXchange* (PBX), es decir, una centralita interna, diseñada en *software libre* con la que se pueden configurar varios servicios de telefonía **IP**. Estos servicios sirven para permitir la comunicación entre todos los teléfonos, *voicemail*, conferencia y llamadas/recepción hacia la telefonía pública. GTR-PUCP utiliza una versión propia del **S.O.** *Voyage* que incluye *asterisk*.

Sin embargo, si se quiere utilizar *asterisk* sobre otra distribución *GNU/Linux Debian*, su instalación se realiza ejecutando:

```
gtr-pucp@gtr-pucp: apt-get install asterisk
```

Una vez instalado, y dependiendo del servicio a implementar se configuran los archivos necesarios. Estos archivos se encuentran en la carpeta `/etc/asterisk/` del respectivo servidor, y se detallan a continuación:

- `/etc/asterisk/`. Aquí se encuentran los archivos de mensajes de voz.
- `/usr/share/asterisk/sounds/`. Aquí se encuentran los módulos de los canales, *codecs*, etc.
- `/usr/share/asterisk/mohmp3/`. Aquí se encuentran los archivos *log* de *Asterisk* generados por intentar o establecer una llamada.
- `/var/log/asterisk/cdr-csv/`. Aquí se encuentran los archivos de sonido formato *mp3*, utilizados por *musiconhold()*.
- `/usr/lib/asterisk/modules`. Aquí se encuentran los archivos de sonido formato *gsm* (para *voicemail*, conferencia y otros).
- `/var/spool/asterisk/voicemail/`. Aquí se encuentran los principales archivos de configuración para los distintos servicios que ofrece *asterisk*.
- `extensions.conf`. Aquí se programa cómo debe funcionar los servicios implementados.
- `sip.conf`. Aquí se configuran los clientes **SIP** (*ATA Handy Tone 486*).
- `iax.conf`. Aquí se configura el permiso de acceso a los otros servidores **SIP**.
- `voicemail.conf`. Aquí se crean los buzones de voz para los clientes y sus *passwords*.
- `meetme.conf`. Aquí se especifica los nombres de las salas de conferencias, y el *password*.
- `modules.conf`. Aquí se configuran o los módulos de *asterisk* no deben ser cargados o los que no.
- `musiconhold.conf`. Aquí se configura el orden en el que se utilizan los archivos *mp3* ubicados en `/usr/share/asterisk/mohmp3/`.
- `rtp.conf`. Aquí se especifica el rango de los puertos a utilizar.

Después de cualquier cambio en *extensions.conf* o *sip.conf* hacer:

```
Soekris-1:/# /etc/init.d/asterisk_inicio.sh restart
```

NOTA: Después de cualquier cambio en *extensions.conf* o *sip.conf* hacer:

```
Soekris-1:/# /etc/init.d/asterisk_inicio.sh restart
```

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

Para un conocimiento en detalle de las posibilidades de configuración de un servidor *asterisk*, se recomienda leer el manual que para tal fin ha redactado por Sandra Salmerón, investigadora de Fundación EHAS. Éste se puede obtener en la siguiente dirección:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/Asterisk.pdf>

Para trabajar con *asterisk*, actualizar o hacer modificaciones el usuario debe ser *root*.

### 3.6.2.6.2. Configuración de *asterisk* para ofrecer QoS

Para la implementación de QoS sobre redes *WiFi* descrita en 3.5.2.2.3, *asterisk* también tiene su papel. Al igual que hay que marcar `tos=0xb8` en la configuración de los ATA, también hay que asegurarse que *asterisk* tenga en sus ficheros de configuración `iax.conf` y `sip.conf`, lo siguiente:

```
[general]
tos=0xb8
```

*asterisk* no modifica el TOS de los teléfonos en caso de que su TOS se corresponda con el que hemos puesto en los ficheros de configuración (`iax.conf` y `sip.conf`), pero esto asegura que ante un descuido o reseteo de la configuración del dispositivo, *asterisk* remarque el TOS al valor deseado. Como ya se indicó, *asterisk* tiene que haberse ejecutado como *root* para que se pueda marcar el TOS.

## 3.7. Estación Pasarela

Como los servidores instalados en los enrutadores de los repetidores no manejan eficientemente archivos de sonido, los servicios de *voicemail* y conferencia los administra el servidor instalado en la estación final. Además, en ésta se encuentran las herramientas *software* y *hardware* encargadas de la comunicación con la RTPC.

### 3.7.1. Equipos

Esta estación se compone de los mismos equipos con los que cuenta una estación cliente a excepción del ATA. Es esta estación se hace necesario del uso de un dispositivos que cuenten con un puerto FXO, necesario para la conexión directa a la red telefónica. Algunos de ellos se detallan a continuación.

#### 3.7.1.1. Tarjeta *Digium*

Para la comunicación con la RTPC se utiliza la tarjeta PCI *Digium TDM13B* mostrada en la Figura 3.29. Esta tarjeta tiene 4 puertos: 1 FXS para conectar el cable de telefonía instalada por la

compañía telefónica y 3 **FXO**, de los que el puerto 1 es utilizado por el teléfono que se instale en esa estación, como se aprecia en la Figura 3.29.

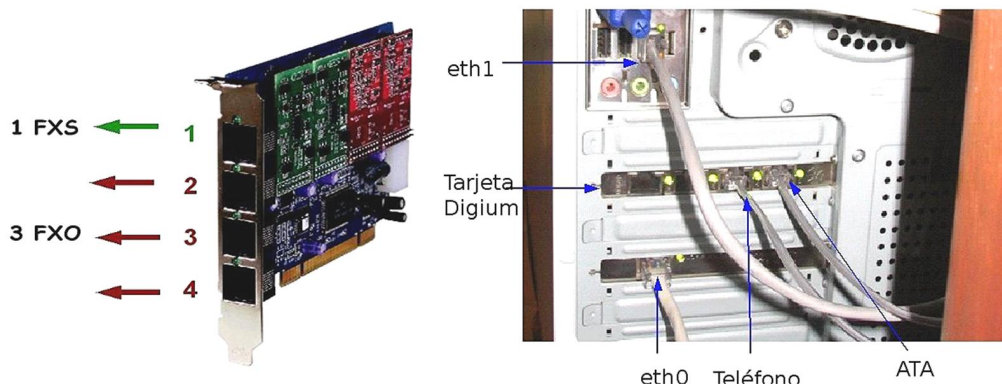


Figura 3.29: Tarjeta PCI Digium TDM13B.

### 3.7.2. ATA Sipura SPA-3000

El **ATA SPA-3000**, que se muestra en la Figura 3.30, posee un puerto para teléfono, un puerto para conectar una línea telefónica, un puerto *Ethernet* y uno para alimentación eléctrica, que debe ser de 5VDC. Se usa el puerto telefónico *Phone* (*Line 1* en su configuración *Web*) para conectar el teléfono analógico. El puerto *Line* (puerto **FXO**) se usa para conectar la línea telefónica contratada (*PSTN Line* en su configuración *Web*). El puerto *Ethernet* llamado **LAN** es el que se conecta al enrutador de la estación cliente con un cable directo.



Figura 3.30: ATA Linksys Sipura SPA-3000.

Las conexiones de este **ATA** se muestran en la Figura 3.31. El cable telefónico se conecta en el puerto *Phone*; el *led Status* indica el estado del sistema de red: si está trabajando conectado a una red se ilumina fijamente de color verde, si no indica lo contrario.

### 3.7.3. Configuraciones

Como se ha indicado, la estación pasarela es el que se encarga de conectar la red con el exterior. Para que esta conexión se realice adecuadamente es necesario realizar determinadas configuraciones. Éstas se indican a continuación



Figura 3.31: Conexiones ATA Linksys Sipura SPA-3000.

### 3.7.3.1. Configuración para la salida a *Internet*

Para configurar la salida a *Internet* de la red es necesario utilizar determinadas comandos *GNU/Linux* creados para tal fin. A continuación se detallan las más importantes.

#### 3.7.3.1.1. Comando `iptables`

Partiendo de que ya se han configurado las interfaces y las rutas, hay que configurar la salida a la red pública para tener acceso a *Internet*. Para esto se necesita realizar la configuración de la Traducción de Dirección de Red **NAT**. En *Linux* a **NAT** se le conoce como enmascaramiento **IP** y para configurarlo se utiliza con el comando `iptables` de la siguiente manera:

```
Soekris-2: # iptables -t nat -A POSTROUTING -s
192.168.3.0/24 -o eth0 -j SNAT --to-source 200.16.6.122
```

```
Soekris-2: # iptables -t nat -A POSTROUTING -s
192.168.4.0/24 -o eth0 -j SNAT --to-source 200.16.6.122
```

Estas tablas pueden ser modificadas utilizando el siguiente comando `iptables -t nat -n -L`.

```
Soekris-2: # iptables -t nat -n -L
```

```
Chain PREROUTING (policy ACCEPT)
target    prot opt source          destination
```

```
Chain POSTROUTING (policy ACCEPT)
target    prot opt source          destination
```

```
SNAT      all  --  192.168.3.0/24  0.0.0.0/0       to:200.16.6.122
SNAT      all  --  192.168.4.0/24  0.0.0.0/0       to:200.16.6.122
```

```
Chain OUTPUT (policy ACCEPT)
target    prot opt source          destination
```

Esta configuración se borrará si se reinicia la placa, por lo que será necesario cargarlo al inicio. Para ello, se crea un archivo donde estén las tablas de **NAT**:

```
Soekris-1:/# vi /etc/init.d/tabla_de_nat

#!/bin/sh
iptables -t nat -A POSTROUTING -s 192.168.3.0/24 -o eth0 -j SNAT
    --to-source 200.16.6.122
iptables -t nat -A POSTROUTING -s 192.168.4.0/24 -o eth0 -j SNAT
    --to-source 200.16.6.122
route add -net 192.168.4.0/24 gw 192.168.3.2
```

Y se carga al inicio, como se indicó en **3.6.2.3.5**.

### 3.7.3.1.2. Configurar el archivo `/etc/resolv.conf`

Después de configurar el acceso a la red pública se debe configurar el **DNS** para el caso que se necesite actualizar paquetes en la placa, esto se hace 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.

### 3.7.3.2. Configuración para Telefonía IP

Para la computadora en la que se instala el servidor, se suele utilizar una distribución *GNU/Linux Ubuntu*, ésta es la mejor opción ya que asegura todas las funcionalidades que se persiguen, es estable y de fuente abierta. Sin embargo, no incluye *asterisk* ni *Zaptel*. El primero, como ya se indicó en **3.6.2.6.1**, es una *PBX software* y su instalación se realiza de forma idéntica, y el segundo se encarga de manejar la tarjeta *Digium*, y su instalación se describe a continuación.

Además, se puede configurar **IAX** (*Inter-Asterisk eXchange Protocol*) para manejar conexiones **VoIP** entre servidores *asterisk*, y entre servidores y clientes que también utilizan protocolo **IAX**. De esta forma las centralitas GTR-PUCP y sus colaboradores pueden conectarse entre sí sin ningún costo. En el pasado también se utilizó **FWD** (comunicación por medio del *Free World Dialup*, <http://www.freeworlddialup.com/>), pero la calidad no satisfizo y se optó por la opción del **IAX**.

### 3.7.3.2.1. Instalación de Zaptel

Para instalar *Zaptel*, la forma de proceder, para el caso de trabajar con **S.O. Ubuntu** y el *Kernel 2.6.12-9-386*, es:

- Tener la seguridad de que usamos un *Kernel 2.6.x*.

```
root@ibm: uname -a
```

- Instalar los *headers* del *kernel* según la versión que estas ejecutando (Las cabeceras del núcleo llevan procedimientos necesarios para compilar programas estándar y para recompilar el núcleo)

```
root@ibm:
apt-cache search linux-headers | grep 2.6.12-9-386
apt-get install linux-headers-2.6.12-9-386
```

- Crear el link:

```
root@ibm: ln -s /usr/src/linux-headers-2.6.12-9-386
         /usr/src/linux-2.6.12-9-386
```

- Bajar el paquete *Zaptel* del servidor *FTP* de *Digium*, compilarlo e instalarlo: Antes de nada, se debe modificar el *Makefile* de las cabeceras y poner lo siguiente en la línea *EXTRAVERSION*:

```
root@ibm: vi /usr/src/linux-headers-2.6.12-9-386/Makefile
VERSION = 2
PATCHLEVEL = 6
SUBLEVEL = 12
EXTRAVERSION =-9-386
NAME=Woozy Numbat
```

Hecho esto, compilar el paquete *Zaptel*:

```
root@ibm: cd /usr/src
wget --passive-ftp
      ftp.digium.com/pub/zaptel/zaptel-1.2.2.tar.gz
tar zxvf zaptel-1.2.2.tar.gz
cd zaptel
make clean
make linux26
make install
```

- Añadir los módulos y cargarlos en cada boot:

```
root@ibm: modprobe zaptel
modprobe wctdm
```

Esto permite añadir los módulos útiles en nuestro caso. Para otra situación ver:



<http://www.voip-info.org/wiki-Asterisk+Zaptel+Installation>

Si se está usando una distribución *GNU/Linux Ubuntu* y la versión del *Zaptel* 1.2.2, los módulos se cargan directamente con cada arranque.

### 3.7.3.2.2. Configuración ATA Sipura SPA 3000

Este **ATA** sólo posee un puerto *Ethernet*, y de fábrica está configurado para generar una dirección **IP** dinámica para el equipo que a él se conecte. En él hay que realizar la configuración del **ATA**, la de red, la de **VoIP** y la configuración para comunicarse con la **RTPC**.

Action	Code	User Input	Behavior Notes
Enter IVR Menu	****	None	Ignore SIT or other tones until you hear, "Sipura configuration menu. Please enter option followed by the pound key or hang-up to exit."
Check DHCP	100#	None	IVR will announce if DHCP is enabled or disabled.
Set DHCP	101#	Enter 1 to enable Enter 0 to disable	Enter option followed by the pound key.
Check IP Address	110#	None	Enter option followed by the pound key.
Set IP Address	111#	Enter value using numbers on the telephone key pad. Use the * (star) key when entering a decimal point.	Enter value followed by the pound key. DHCP must be "Disabled" otherwise you will hear, "Invalid Option," if you try to set this value.
Check Net Mask	120#	None	Enter option followed by the pound key.
Set Net Mask	121#	Enter value using numbers on the telephone key pad. Use the * (star) key when entering a decimal point.	Enter value followed by the pound key. DHCP must be "Disabled" otherwise you will hear, "Invalid Option," if you try to set this value.
Check Gateway	130#	None	Enter option followed by the pound key.
Set Gateway	131#	Enter value using numbers on the telephone key pad. Use the * (star) key when entering a decimal point.	Enter value followed by the pound key. DHCP must be "Disabled" otherwise you will hear, "Invalid Option," if you try to set this value.

Figura 3.32: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 1.

**Configuración de red por el voice prompt:** Para poder configurar este **ATA** desde su página *Web* será necesario asignarle una dirección **IP** a través del teléfono analógico. Para ingresar al *voice prompt* del **ATA** se tecléa \*\*\*\*# y se procede a marcar el número de la Tabla que aparece en la Figura 3.32 de acuerdo a lo que se necesita. Inicialmente se debe activar que el **ATA** tenga dirección **IP** estática por lo que se debe marcar 101# y después 0. Para guardar la configuración pedirá que se marque 1. Para poner la dirección **IP**, la máscara de red y el *gateway* se ingresa la opción y después se ingresa el valor. Por ejemplo, para ingresar 192.168.35.206, se marcará así 192\*168\*35\*206# y después 1 para guardar la configuración. Si hay problemas se hace un *hard reset*. Para esto se ingresa al *voice prompt* y se marca 73738# y después 1.

**Configuración del ATA por su pagina Web:** A través de un navegador *Web* ingrese a la página del **ATA** de acuerdo a la dirección **IP** ingresada por el *voice prompt*. En la página, que aparece en la Figura 3.33, en la parte superior derecha se muestran los tipos de configuración. Ésta puede ser: *Admin Login*, *Basic* o *Advanced* (inicialmente se muestra el *Basic*). Acceder a *Admin Login* y proceder con la configuración.



Figura 3.33: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 2.

**Configuración de red del ATA:** Acceder a *System*. En esta sección se activa la contraseña de ingreso del ATA y se configurarán los parámetros de red:

- **System Configuration:** En *Enable Web Server* verificar que este en *yes* y en *User Password* poner la contraseña para ingresar al ATA.
- **Internet Connection Type:** En *DHCP* verificar que esté en *no* e indicar los parámetros de red (dirección IP, máscara de red y gateway).

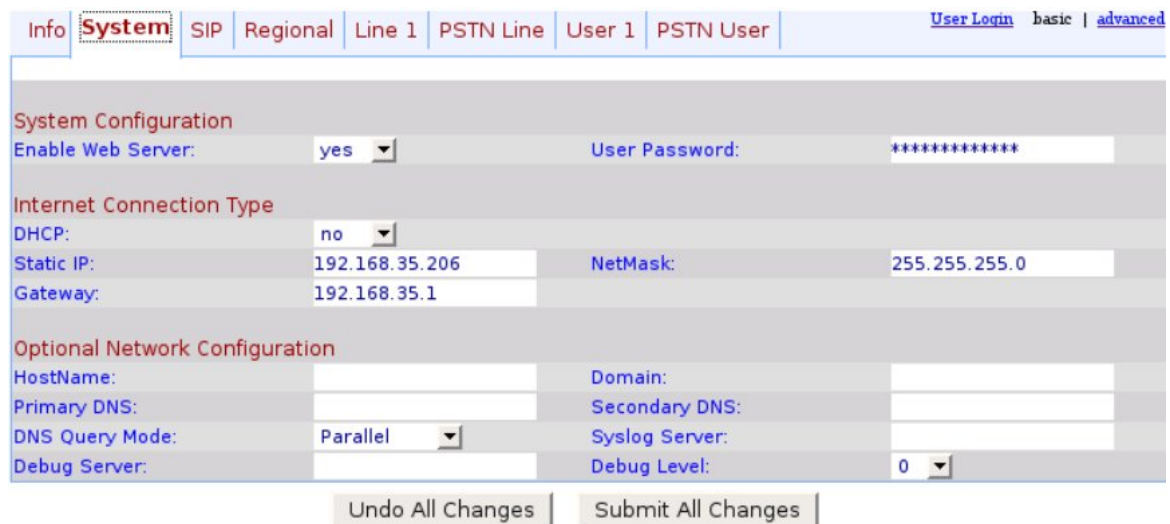


Figura 3.34: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 3.

A modo de ejemplo de este apartado se presenta la captura de pantalla de la Figura 3.34

**Configuración VoIP:** Acceder a *Advanced* ⇒ *Line 1* y aparecerá una pantalla similar a la que se muestra en la Figura 3.35.

Allí configurar:

*Line Enable:* Verificar que este en *yes*.

*SIP Settings:*

- *SIP Port*: Verificar que este con el 5060.

*Proxy and Re-registration:*

- *Proxy*: Poner la dirección **IP** del servidor **VoIP**.
- *Register*: Poner en *yes*.
- *Make Call Without Reg*: Poner en *no*.
- *Ans Call Without Reg*: Poner en *no*.

*Subscriber Information:*

- *Display name*: Poner el número telefónico del **ATA**.
- *User ID*: Lo mismo que lo anterior.
- *Password*: Indicar el *password* del **ATA**.

*Audio Configuration:*

- *Preferred Codec*: Poner el G726-32
- *DTMF Tx Method*: Poner AVT

*Dial Plan:*

- *Dial Plan*: Deja vacío.

**Configuración RTPC del ATA**: Acceder a *Advanced* ⇒ *PSTN Line* modificar:

*Line Enable*: Verificar que esté en *yes*.

*SIP Settings:*

- *SIP Port*: Verificar que este con el 5061.

*Proxy and Registration:*

- *Proxy*: Poner la dirección **IP** del servidor **VoIP**.
- *Register*: Poner *yes*.
- *Make Call Without Reg*: Poner en *no*.
- *Ans Call Without Reg*: Poner en *no*.

*Subscriber Information:*

- *Display name*: Poner el nombre que aparece en el receptor cuando se realiza una llamada.
- *User ID*: Lo mismo que lo anterior.
- *Password*: Indicar el *password* del ATA.

Info	System	SIP	Provisioning	Regional	Line 1	PSTN Line	User 1	PSTN User
<p>Line Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p><b>Streaming Audio Server (SAS)</b></p> <p>SAS Enable: <input type="checkbox"/> no      SAS DLS Refresh Intvl: 30</p> <p>SAS Inbound RTP Sink: <input type="text"/></p> <p><b>NAT Settings</b></p> <p>NAT Mapping Enable: <input type="checkbox"/> no      NAT Keep Alive Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>NAT Keep Alive Msg: NOTIFY      NAT Keep Alive Dest: SPROXY</p> <p><b>Network Settings</b></p> <p>SIP TOS/DiffServ Value: 0x68      Network Jitter Lev: high</p> <p>RTP TOS/DiffServ Value: 0xb8</p> <p><b>SIP Settings</b></p> <p>SIP Port: 5060      SIP 100REL Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>EXT SIP Port: <input type="text"/></p> <p>SIP Proxy-Require: <input type="checkbox"/></p> <p>SIP Debug Option: none</p> <p>Restrict Source IP: <input type="checkbox"/> no      Auth Resync-Reboot: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>Refer Target Bye Delay: 0      SIP Remote-Party-ID: <input type="checkbox"/> no</p> <p>Refer-To Target Contact: <input type="checkbox"/> yes      RTP Log Intvl: 0</p> <p>Referor Bye Delay: 4      Referor Bye Delay: 4</p> <p>Referee Bye Delay: 0      Referee Bye Delay: 0</p> <p><b>Call Feature Settings</b></p> <p>Blind Attn-Xfer Enable: <input type="checkbox"/> no      MOH Server: <input type="text"/></p> <p>Xfer When Hangup Conf: <input type="checkbox"/> yes</p> <p><b>Proxy and Registration</b></p> <p>Proxy: 192.168.35.207      Use Outbound Proxy: <input type="checkbox"/> no</p> <p>Outbound Proxy: <input type="text"/></p> <p>Registrar: <input type="checkbox"/> yes      Use OS Proxy in Dialog: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>Registrar Expires: 3600      Make Call Without Reg: <input type="checkbox"/> no</p> <p>Use DNS SRV: <input type="checkbox"/> no      Ans Call Without Reg: <input type="checkbox"/> no</p> <p>Proxy Fallback Intvl: 3600      DNS SRV Auto Prefix: <input type="checkbox"/> no</p> <p><b>Subscriber Information</b></p> <p>Display Name: 220      User ID: 220</p> <p>Password: xxxxxxxxxxxx      Use Auth ID: <input type="checkbox"/> no</p> <p><b>Audio Configuration</b></p> <p>Preferred Codec: 0726-32      Silence Supp Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>Use Pref Codec Only: <input type="checkbox"/> no      Silence Threshold: medium</p> <p>0729a Enable: <input type="checkbox"/> yes      Echo Canc Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>0723 Enable: <input type="checkbox"/> no      Echo Canc Adapt Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>0726-16 Enable: <input type="checkbox"/> no      Echo Supp Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>0726-24 Enable: <input type="checkbox"/> no      FAX CED Detect Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>0726-32 Enable: <input type="checkbox"/> no      FAX CNO Detect Enable: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>0726-40 Enable: <input type="checkbox"/> no      FAX Passthru Codec: 0711u</p> <p>DTMF Process INFO: <input type="checkbox"/> yes      FAX Codec Symmetric: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>DTMF Process AVT: <input type="checkbox"/> yes      FAX Passthru Method: NSE</p> <p>DTMF Tx Method: AVT      FAX Process NSE: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>Hook Flash Tx Method: None      Release Unused Codec: <input type="checkbox"/> yes</p> <p>Symmetric RTP: <input type="checkbox"/> yes</p> <p><b>Gateway Accounts</b></p> <p>Gateway 1: <input type="text"/></p> <p>OW1 Auth ID: <input type="text"/></p> <p>Gateway 2: <input type="text"/></p> <p>OW2 Auth ID: <input type="text"/></p> <p>Gateway 3: <input type="text"/></p> <p>OW3 Auth ID: <input type="text"/></p> <p>Gateway 4: <input type="text"/></p> <p>OW4 Auth ID: <input type="text"/></p> <p>OW1 NAT Mapping Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>OW1 Password: <input type="text"/></p> <p>OW2 NAT Mapping Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>OW2 Password: <input type="text"/></p> <p>OW3 NAT Mapping Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>OW3 Password: <input type="text"/></p> <p>OW4 NAT Mapping Enable: <input type="checkbox"/> no</p> <p>OW4 Password: <input type="text"/></p> <p><b>VoIP Fallback To PSTN</b></p> <p>Auto PSTN Fallback: <input type="checkbox"/> yes</p> <p><b>Dial Plan</b></p> <p>Dial Plan: (fx.)</p> <p>Enable IP Dialing: <input type="checkbox"/> no</p> <p><b>FXS Port Polarity Configuration</b></p> <p>Idle Polarity: Forward      Caller Conn Polarity: Forward</p> <p>Caller Conn Polarity: Forward</p>								
<input type="button" value="Undo All Changes"/> <input type="button" value="Submit All Changes"/>								

Figura 3.35: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 4.

#### Audio Configuration:

- Preferred Codec: Poner el G726-32

#### Dial Plans:

- Dial Plan 2: Poner (S0 <:101 >)

#### VoIP-To-PSTN Gateway Setup:

- *VoIP-To-PSTN Gateway Enable*: Verificar que esté en *yes*.

#### *PSTN-To-VoIP Gateway Setup*:

- *PSTN-To-VoIP Gateway Enable*: Verificar que esté en *yes*.
- *PSTN Ring Thru Line 1*: Poner en *no*.

#### *FXO Timer values (sec)*:

- *PSTN Answer Delay*: Poner en 1.

La pantalla que aparece es como la que se muestra en la Figura 3.36.

The screenshot shows the configuration page for a PSTN Line. The interface is organized into several sections with various settings, many of which are dropdown menus or text input fields.

- Line Enable:** yes
- NAT Settings:**
  - NAT Mapping Enable: no
  - NAT Keep Alive Msg: NOTIFY
  - NAT Keep Alive Enable: no
  - NAT Keep Alive Dest: \$PROXY
- Network Settings:**
  - SIP TOS/Diffserv Value: 0x68
  - RTP TOS/Diffserv Value: 0xb8
  - Network Jitter Level: high
- SIP Settings:**
  - SIP Port: 5061
  - EXT SIP Port: (empty)
  - SIP Proxy-Require: (empty)
  - SIP Debug Option: none
  - Restrict Source IP: no
  - Refer Target Bye Delay: 0
  - Refer-To Target Contact: yes
  - SIP 100REL Enable: no
  - Auth Resync-Reboot: yes
  - SIP Remote-Party-ID: no
  - RTP Log Intvl: 0
  - Referor Bye Delay: 4
  - Referee Bye Delay: 0
- Proxy and Registration:**
  - Proxy: 192.168.35.207
  - Outbound Proxy: (empty)
  - Register: yes
  - Register Expires: 3600
  - Use DNS SRV: no
  - Proxy Fallback Intvl: 3600
  - Use Outbound Proxy: no
  - Use OS Proxy In Dialog: yes
  - Make Call Without Reg: no
  - Ans Call Without Reg: no
  - DNS SRV Auto Prefix: no
- Subscriber Information:**
  - Display Name: 100
  - Password: xxxxxxxxxxxx
  - Auth ID: (empty)
  - Mini Certificate: (empty)
  - SRTP Private Key: (empty)
  - User ID: 100
  - Use Auth ID: no
- Audio Configuration:**
  - Preferred Codec: 0726-32
  - Use Pref Codec Only: no
  - 0729a Enable: yes
  - 0723 Enable: no
  - 0726-16 Enable: no
  - 0726-24 Enable: no
  - 0726-32 Enable: no
  - 0726-40 Enable: no
  - DTMF Process INFO: yes
  - DTMF Process AVT: yes
  - Release Unused Codes: yes
  - Symmetric RTP: yes
  - Silence Supp Enable: no
  - Echo Canc Enable: yes
  - Echo Canc Adapt Enable: yes
  - Echo Supp Enable: yes
  - FAX CED Detect Enable: yes
  - FAX CNG Detect Enable: yes
  - FAX Passthru Codec: 0711u
  - FAX Codec Symmetric: yes
  - FAX Passthru Method: NSE
  - DTMF Tx Method: AVT
  - FAX Process NSE: yes
- Dial Plans:**
  - Dial Plan 1: (xx.)
  - Dial Plan 2: (50 < :101 >)
  - Dial Plan 3: (xx.)
  - Dial Plan 4: (xx.)
  - Dial Plan 5: (xx.)
  - Dial Plan 6: (xx.)
  - Dial Plan 7: (xx.)
  - Dial Plan 8: (xx.)
  - Dial Plan 9: (xx.)
- VoIP-To-PSTN Gateway Setup:**
  - VoIP-To-PSTN Gateway Enable: yes
  - VoIP PIN Max Retry: 3
  - Line 1 VoIP Caller DP: 1
  - Line 1 Fallback DP: none
  - VoIP Caller Auth Method: none
  - One Stage Dialing: yes
  - VoIP Caller Default DP: 1

Figura 3.36: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 5.

**Acortar el tiempo de espera en una llamada:** Acceder a *Regional* y aquí ubicar *Control Timer Values (sec)* ⇒ *Interdigit Long Timer* y poner a 4 y en *Control Timer Values (sec)* ⇒ *Interdigit Short Timer* poner en 3. Estos campos aparecen en la captura de pantalla de la Figura 3.37

Control Timer Values (sec)			
Hook Flash Timer Min:	.1	Hook Flash Timer Max:	.9
Callee On Hook Delay:	0	Reorder Delay:	5
Call Back Expires:	1800	Call Back Retry Intvl:	30
Call Back Delay:	.5	VMWI Refresh Intvl:	0
Interdigit Long Timer:	4	Interdigit Short Timer:	3
CPC Delay:	2	CPC Duration:	0

Figura 3.37: Configuración ATA Linksys Sipura SPA-3000. Paso 6.

Cuando se haya terminado la configuración no olvidar hacer clic en *Submit All Changes* para guardar los cambios efectuados.



La etapa de diseño es una 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 se detalla en la sección 4.3 de este capítulo.

Para la realización de 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 mismo describe el proceso de instalación de los pararrayos y de las antenas son descritos 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 pueda 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 línea 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 cuánto 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 256/64 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 64 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 3.6.1.2, y como ya se ha indicado sus potencias varían entre 80mW y 600mW y sus sensibilidades oscilan entre -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 *Wrap* y *Soekris*, descritas en 3.6.1.1, se sospecha que no podrían soportar más 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, *fading*, 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 de variabilidad: 90 % del tiempo, 80 % de ubicaciones, 80 % 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.

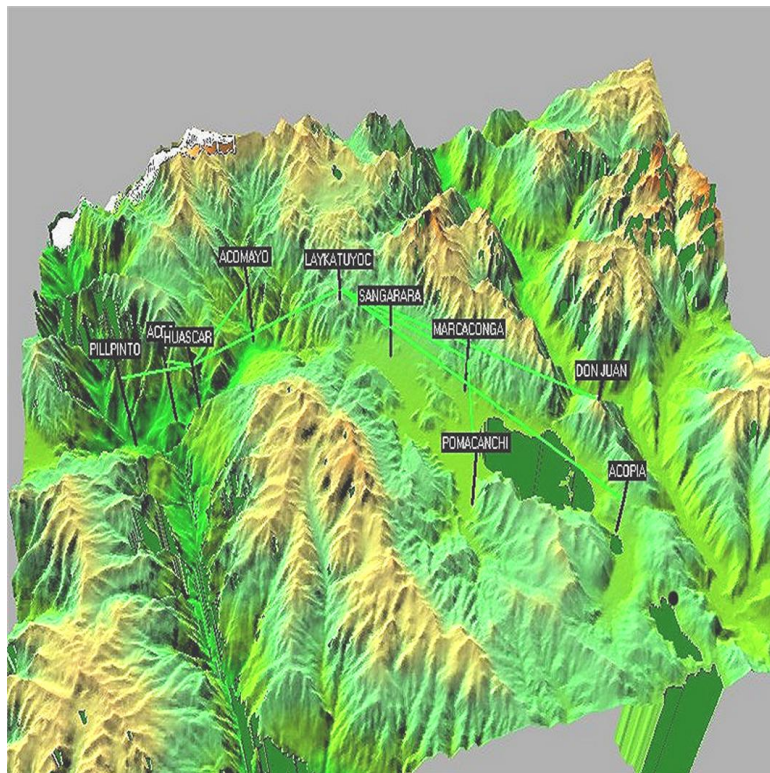


Figura 4.1: Mapas SRTM para Radio Mobile.

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.

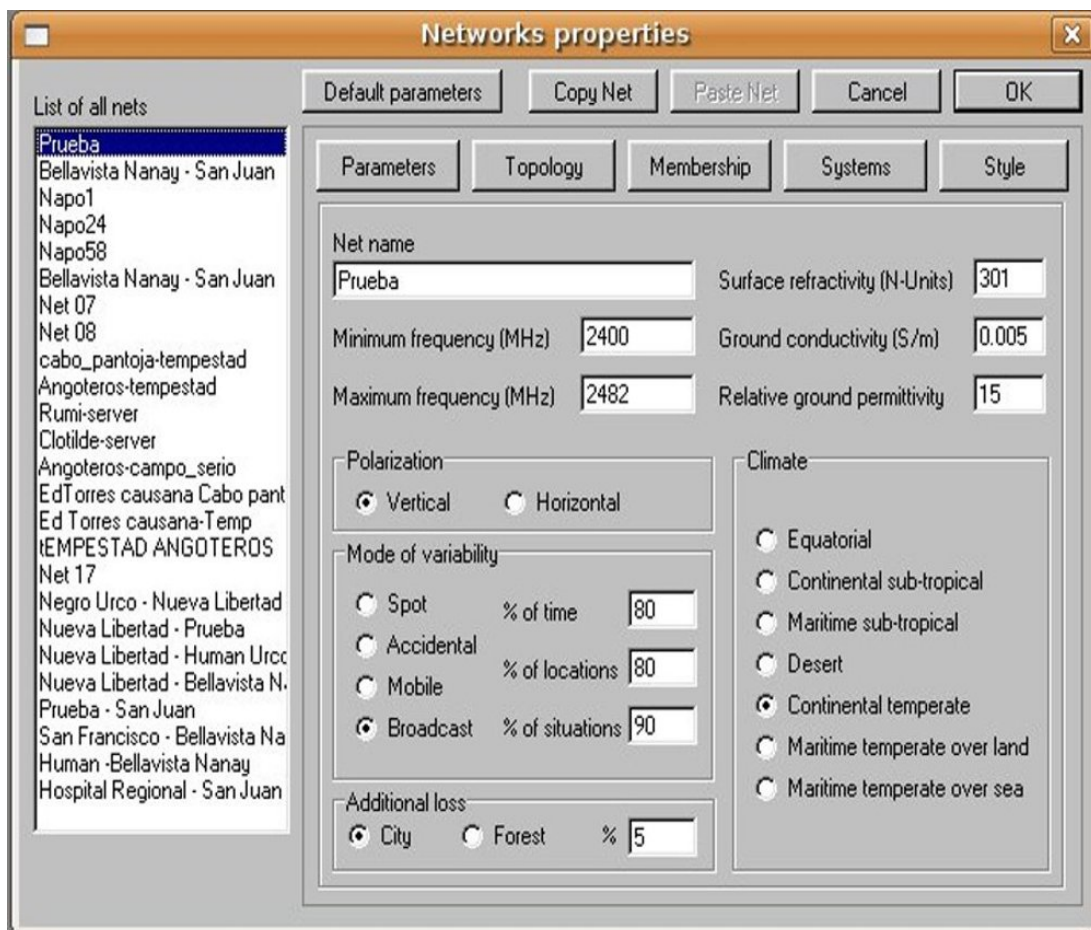


Figura 4.2: Configuración Variabilidad en Radio Mobile.

**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*).

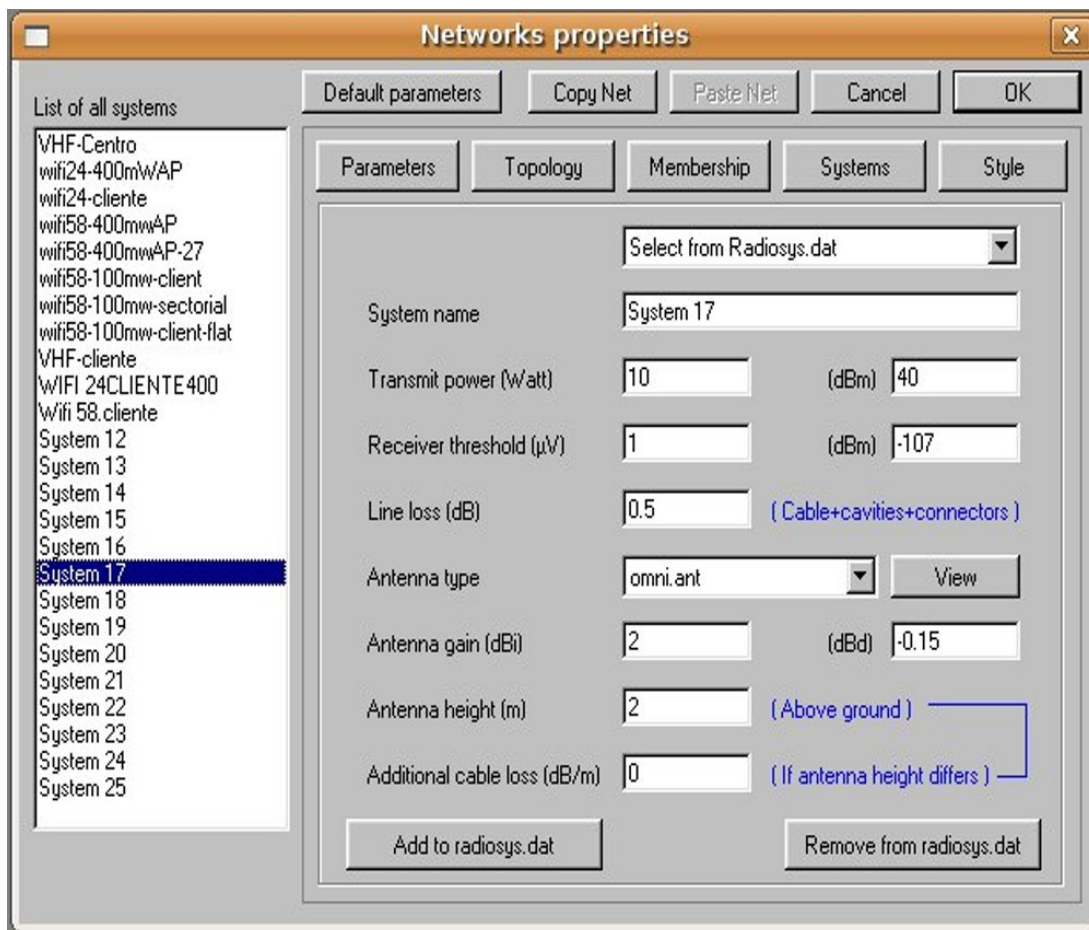


Figura 4.3: Introducción de las características de los equipos en Radio Mobile.

**Ubicación de las estaciones:** *Radio Mobile* permite introducir las coordenadas de las estaciones finales propuestas. Para ello hay que dirigirse a *File*  $\Rightarrow$  *Unit Properties*  $\Rightarrow$  *Enter LAN 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

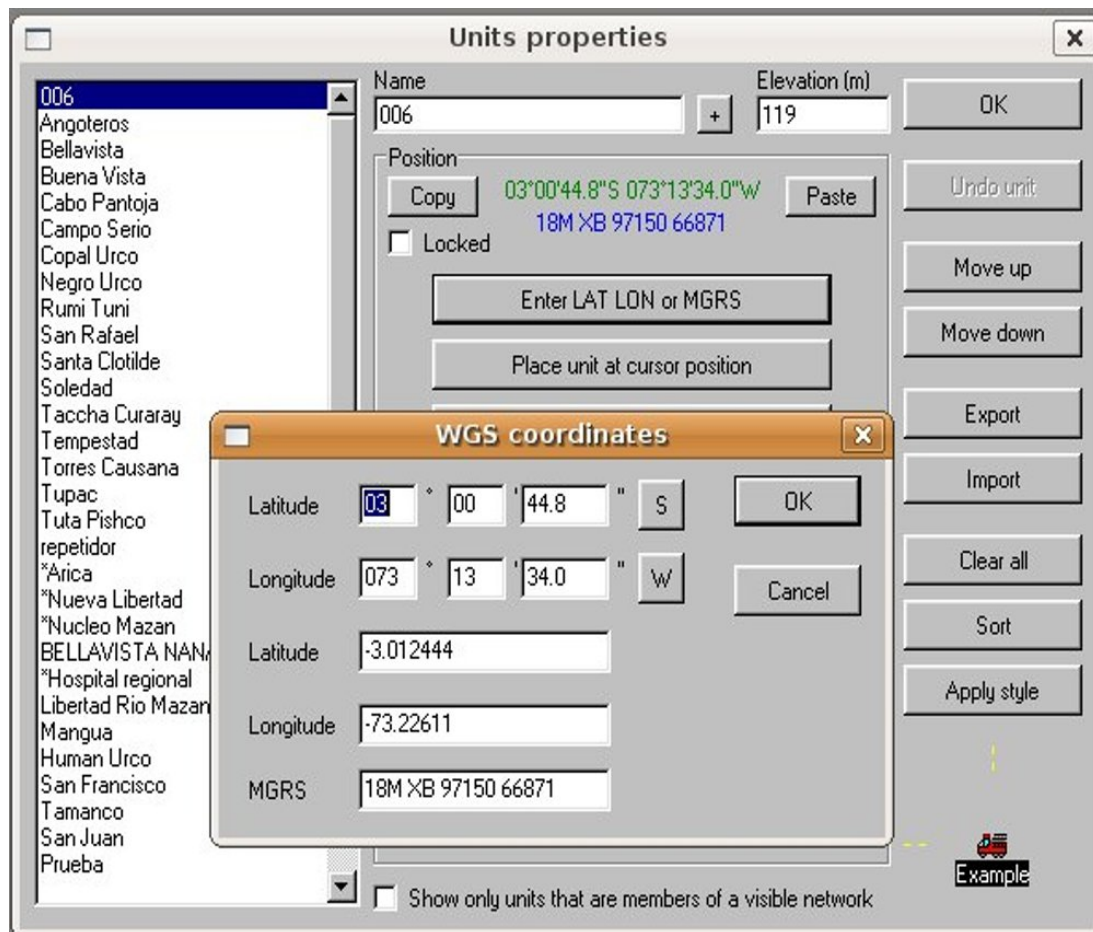


Figura 4.4: Introducción de las coordenadas de las estaciones en Radio Mobile.

conformarán 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.



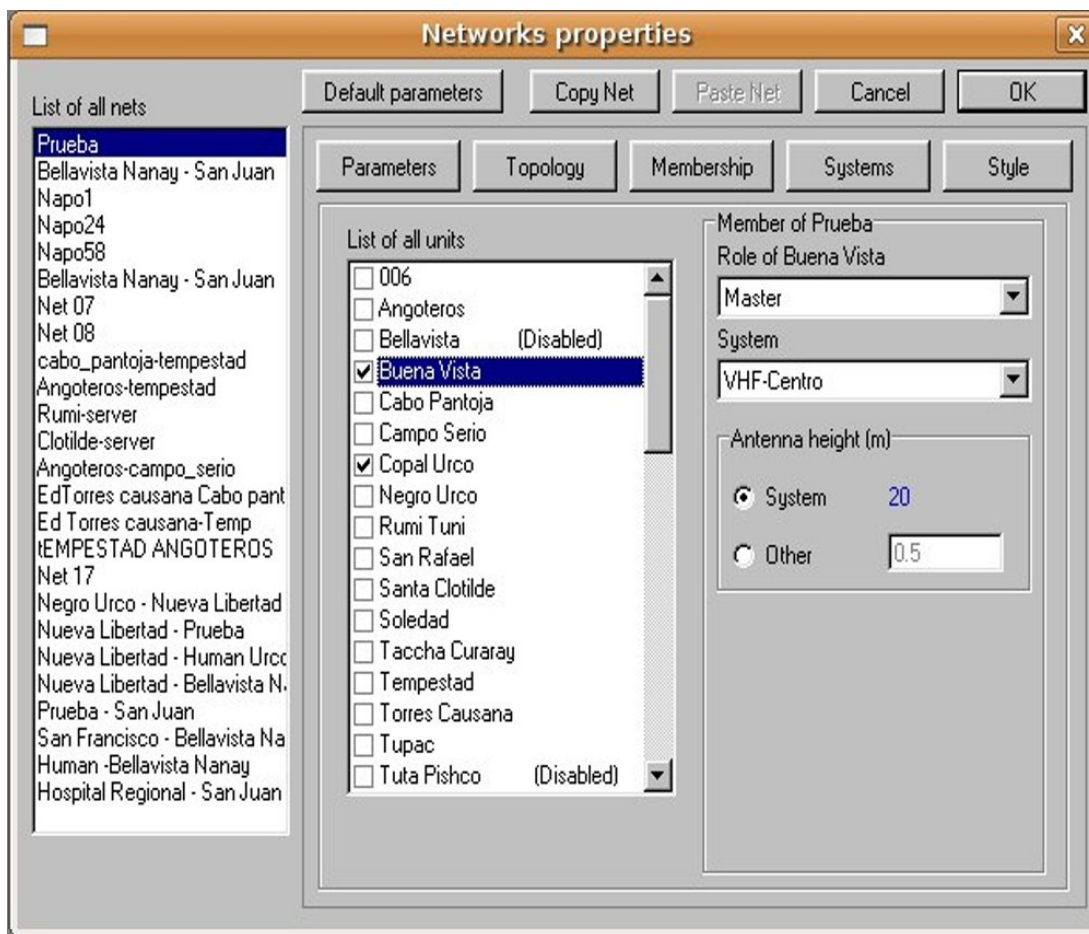


Figura 4.5: Introducción de las características de los enlaces en Radio Mobile.

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.

Se recomienda la lectura del manual de *Radio Mobile* que se puede descargar en la siguiente dirección para un mejor conocimiento de las múltiples opciones que permite este *software*:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/RMW.doc>

#### 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

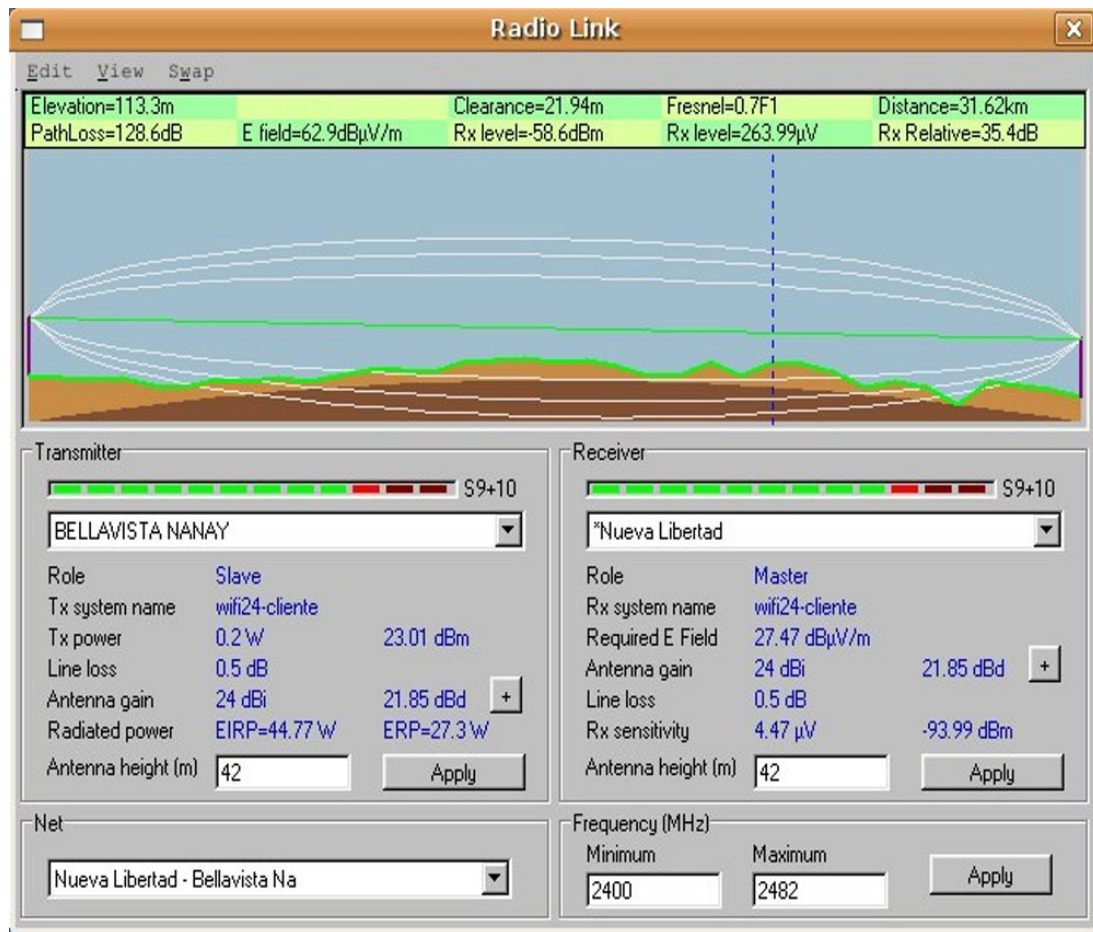


Figura 4.6: Características de los enlaces en Radio Mobile.

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 más crítico 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 aceptables 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

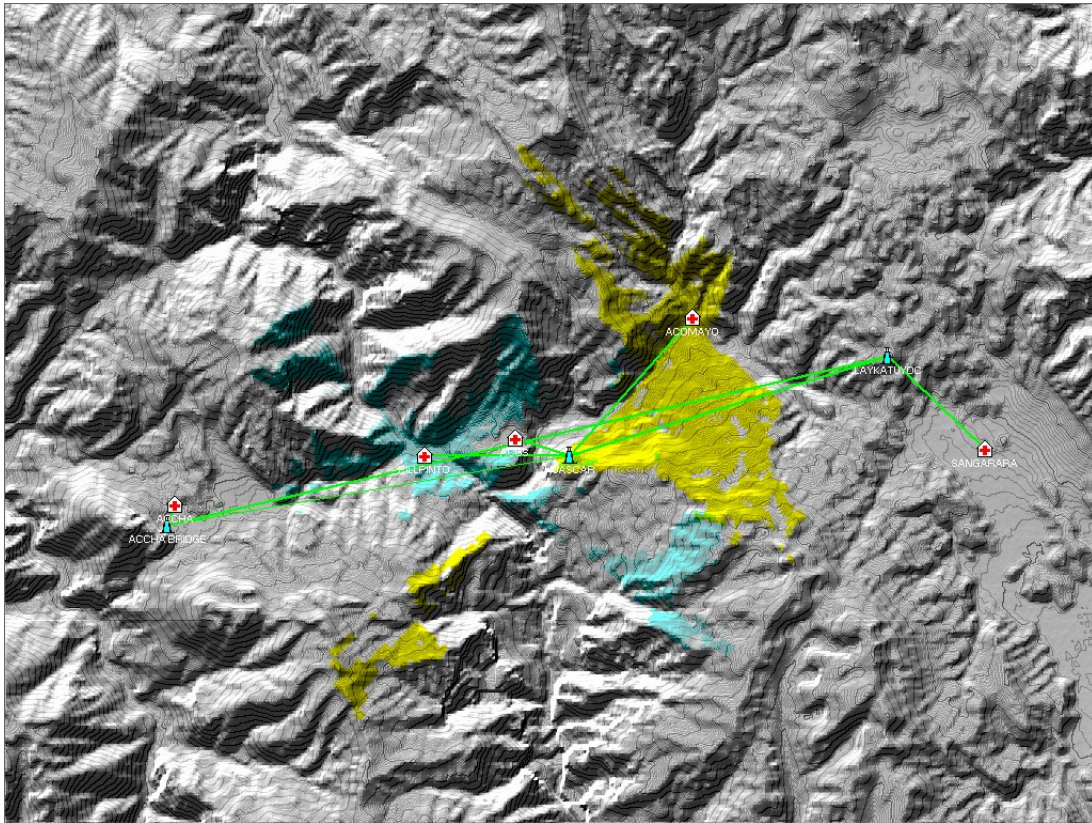


Figura 4.7: Áreas de cobertura de dos estaciones en Radio Mobile.

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 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 la 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 atiende a un menor número de estaciones finales.

En una estación con *WiFi* se podrán tener varios sistemas en cascada (conectados por *Ethernet*), 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 que introduce 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.

Tanto la versión actual del simulador, como de la interfaz para facilitar el uso del primero, están disponibles en [http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/Ns2\\_long\\_dist.tar.gz](http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/Ns2_long_dist.tar.gz) junto con un manual en el que se detalla la instalación de ambos programas, el uso de la herramienta y los resultados que se pueden obtener con ella.

#### 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, detallados en 3.6.2.2.1 y 3.6.2.5.1, respectivamente.
- *traceroute* para comprobar el correcto funcionamiento, detallado en 3.6.2.5.3.
- *iperf*, para medir el ancho de banda, navegación y descargas para comprobar la salida a Internet y el comportamiento de la telefonía, detallado en 3.6.2.5.2.

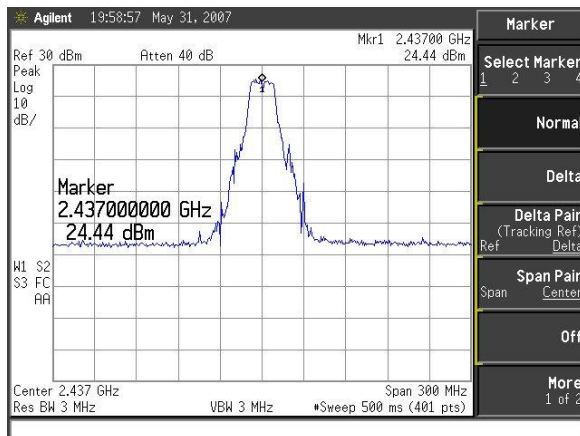
También se prueban las prestaciones *hardware* de los equipos para afinar aún más el diseño, es decir, mediante el uso de un analizador de espectros, por ejemplo el *Agilent ESA-4404*, se miden las pérdidas en los cables y conectores, las potencias reales de transmisión de las tarjetas en los canales seleccionados y las pérdidas de retorno y el **ROE** de cada una de las antenas que se instalarán. Esto se lleva a cabo 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.

#### 4.1.8. Recomendaciones para instalaciones exteriores

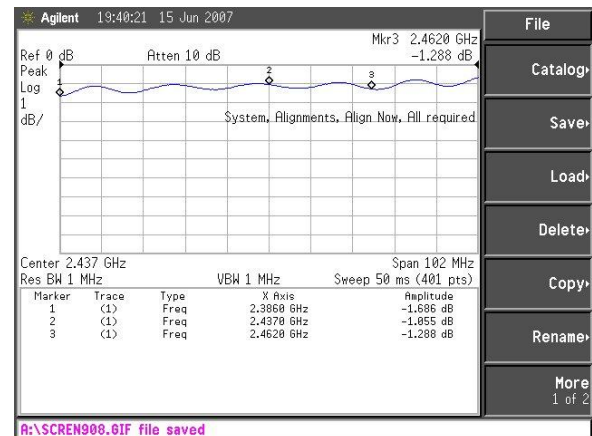
A continuación se presentan algunas buenas prácticas de montaje de equipos en exteriores, típicamente instaladas en torres. Las recomendaciones tratan de evitar que la humedad, el polvo, el viento o el calor dañen los equipos.

##### 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



(a) Potencia de transmisión tarjeta inalámbrica.



(b) Pérdidas en cable coaxial

Figura 4.8: Mediciones con el analizador de espectros.



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.

#### 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.



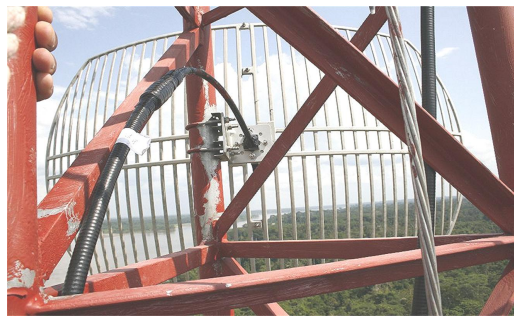


Figura 4.10: *Instalación de antena de grilla.*

#### 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 la Figura 4.11 se muestra un ejemplo de vulcanizado de dispositivos.

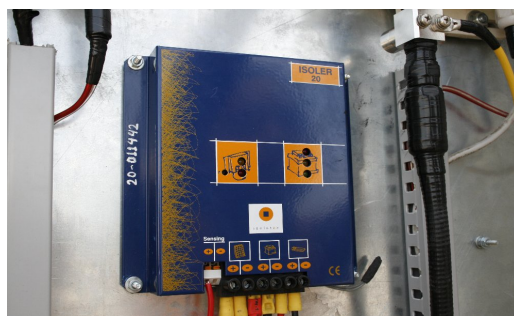


Figura 4.11: *Vulcanización de los dispositivos.*

#### 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`. Ambos comandos han sido explicados en las secciones 3.6.2.2.1 y 3.6.2.5.1, respectivamente.

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 `iwconfig` detallado en 3.6.2.3.2.

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 deben 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 ([http://www.logicsupply.com/products/m1\\_atx](http://www.logicsupply.com/products/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 considerando 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  $4270 \text{ Wh/m}^2$ : ( $G_{dm} (10^\circ) = 4270 \text{ Wh/m}^2$ ).
- 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  $1000 \text{ W/m}^2$ .
- 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:

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

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:

$$\# \text{ paneles} = \frac{E_{GFV}}{P_{nom} \cdot G_{dm}} \quad (4.2)$$

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:

$$C_{nom}(Wh) = L \cdot (1 + \eta_G) \frac{N_{da}}{Pd_{max}} \quad (4.3)$$

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:

$$\# \text{ baterías} = \frac{C_{nom}}{C \cdot V} \quad (4.4)$$

### 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:
    - Voltaje de Máxima Potencia ( $V_{mp}$ ).
    - Voltaje de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ).
    - Corriente de Corto Circuito ( $I_{sc}$ ).
    - 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.



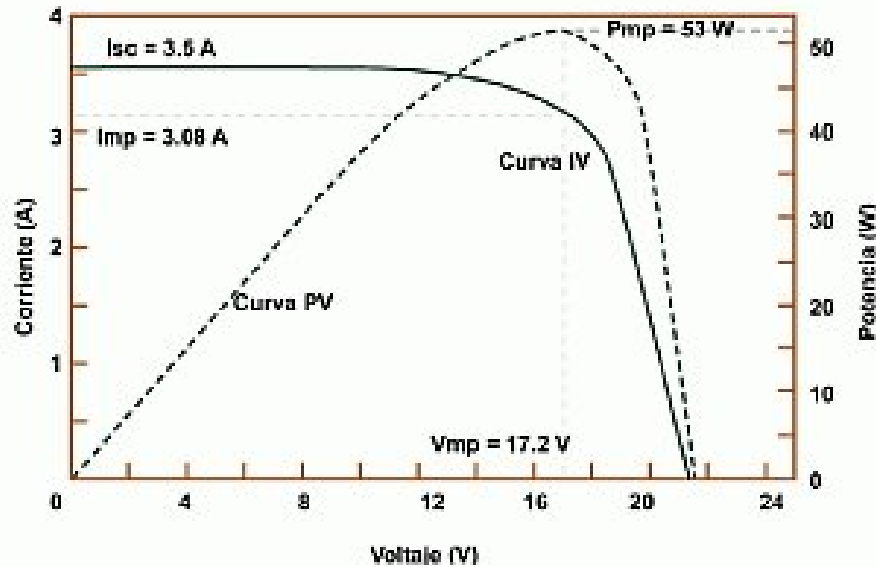


Figura 4.12: Curva típica de corriente – voltaje de un panel solar..

#### 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.
- 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 un 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, por otro 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 siguientes 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 Datos VHF	Cliente	Repetidor Voz VHF	Pasarela	Wrap
Modulo fotovoltaico 75Wp	2	3	6	2	1
Soporte de módulos fotovoltaicos	1	1	1	1	1
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 mm<sup>2</sup> 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.
3. 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.

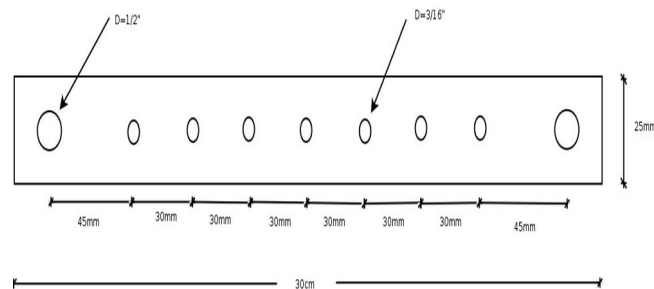


Figura 4.13: Barra máster.

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.



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

- 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



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



- 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.
- 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.

Fórmula de *Wenner*:

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

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

$$\rho = 2\pi AR \quad (4.6)$$

donde:

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

A = distancia entre electrodos (m)

B = profundidad del electrodo (m)

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

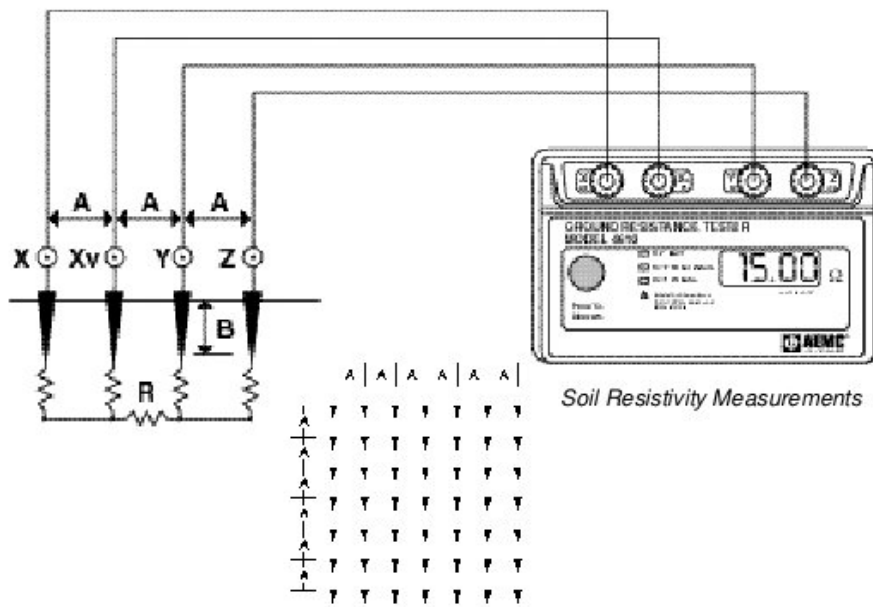


Figura 4.16: Medición de la resistividad del suelo..

### 4.3.5. Dimensionamiento de pozo a tierra horizontal

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

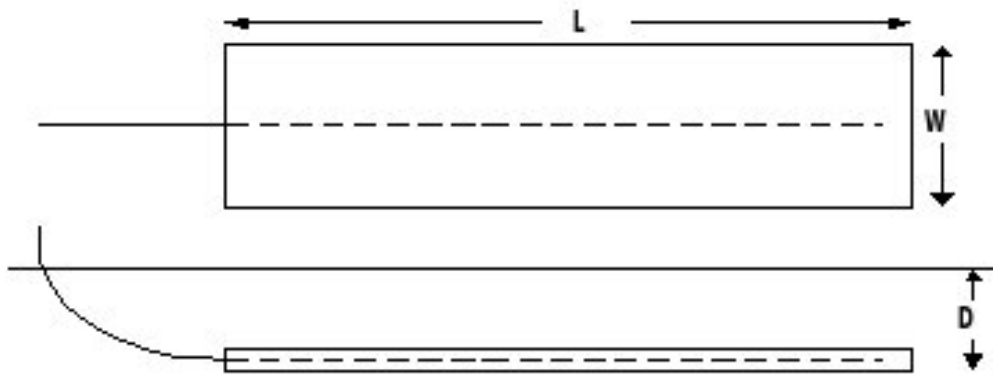


Figura 4.17: Diagrama de la disposición del pozo horizontal.

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:

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

$R_p$  = 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 pararrayos	1	Base aisladora con tuerca para el pararrayos, ubicado entre el pararrayos y la estructura de la torre.
Separadores laterales	$(h/3)+1$	Para separar el cable de cobre desnudo 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	$h+6$	Cable de cobre desnudo 1/0 AWG o de 50 mm <sup>2</sup> de sección.
Cable de cobre desnudo 8AWG	10	Para unir la estructura de la torre con el pozo de comunicaciones.
Cable de cobre aislado 8AWG	20	Para unir el pozo de comunicaciones con la barra máster de comunicaciones.
Bentonita	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 0.8mm x 7cm.	20	Se necesitan 2 flejes de 10 metros cada uno, para cada PAT.
Saco de sal, 50 kg.	2	Se usa 1 saco de sal por cada 10 m de fleje.
Soldadura exotérmica 65gr.	2	Empleado para la unir el cable de cobre al fleje de la PAT.
Molde para soldadura exotérmica.	1	Para unir cable de cobre 1/0 AWG con fleje de cobre.
Masilla para soldadura exotérmica.		Sirve para hacer un buen soldado y evitar fugas de oxígeno durante la operación de soldado.
Barra máster de 25x5x300mm	1	Barra de cobre electrolítico de gran pureza.
Cable GPT 12 AWG verde	10	Para conectar los terminales de puesta a tierra 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 diámetro x 1/2”.	3	Tornillos de bronce para fijar los terminales de puesta a tierra a la barra máster.
Aislador para barra máster.	2	Para aislar y montar la barra máster en la 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.
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:
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

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

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.
2. 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.

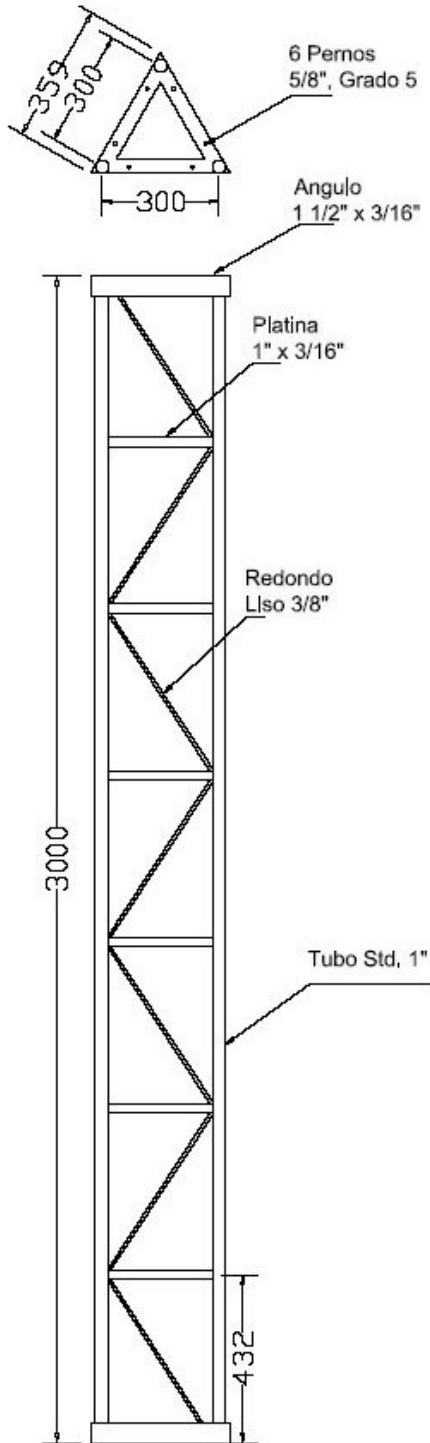
10. Para subir el resto de tramos es necesario instalar una pluma con polea en el tercio superior del último tramo. El tramo de torre se amarra algo por encima de la mitad y se iza por encima del tramo instalado. El operario que está amarrado al último tramo, dirige el nuevo hasta embocarlo en los tres 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 usar 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 sujetarán a la torre con cintillos de PVC para intemperie.

#### 4.4.3. Elementos de una torre

A continuación se presentarán 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

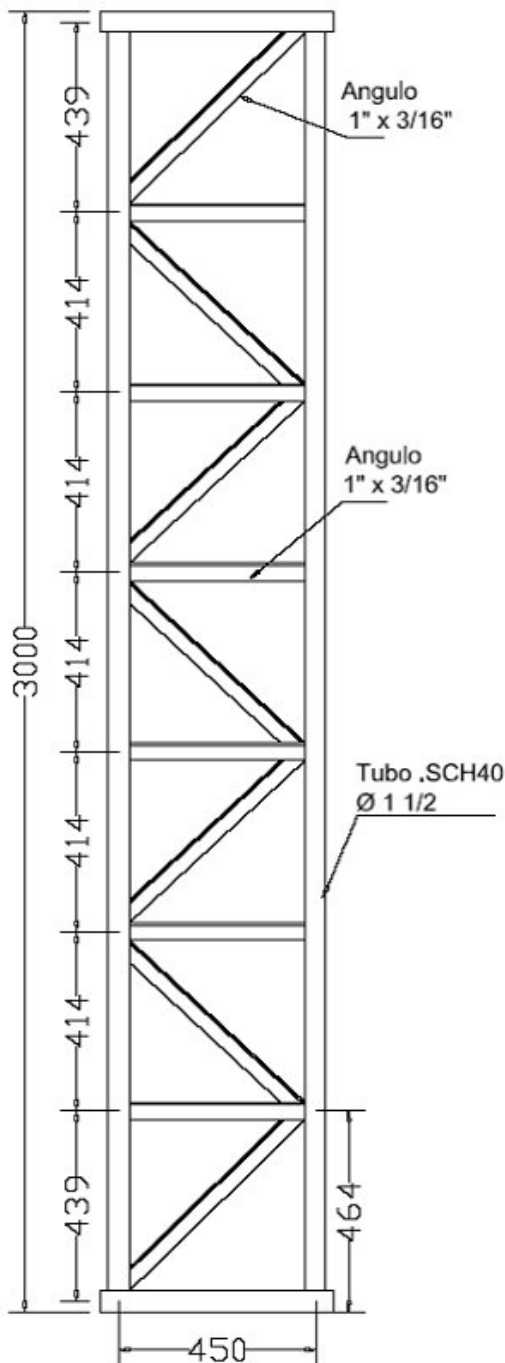
**Características:**

- 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/m<sup>2</sup>

**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

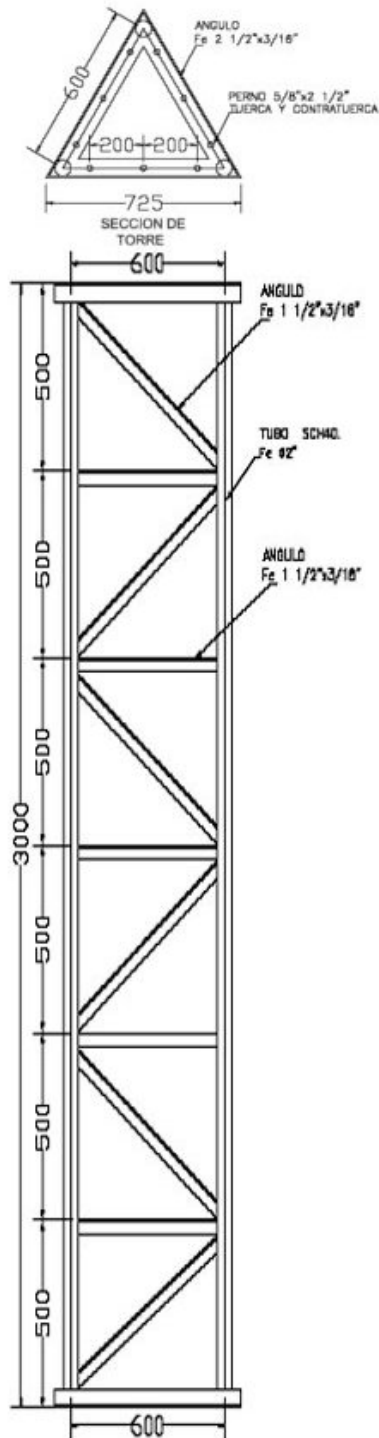
**Características:**

- 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 gr/m<sup>2</sup>

**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

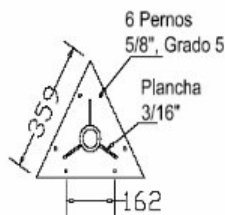
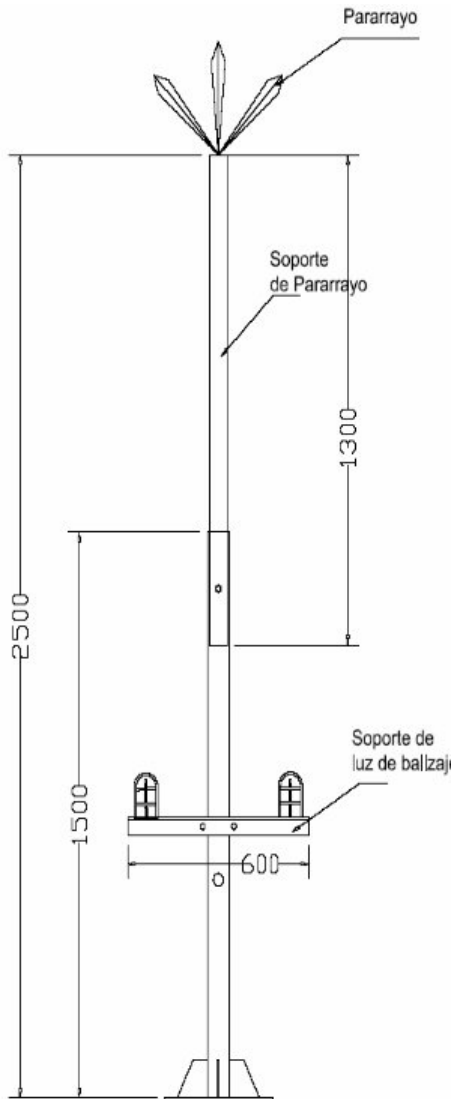
**Características:**

- 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" x 2.5", grado 5 (ASTM A325)
- Material base: acero ASTM A36
- Acabado: galvanizado en caliente ASTM A 123, 550gr/m<sup>2</sup>

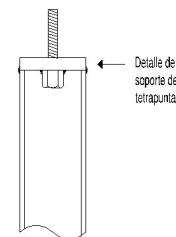
**Cada tramo de torre de 30 metros está constituido por los siguientes elementos:**

- 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



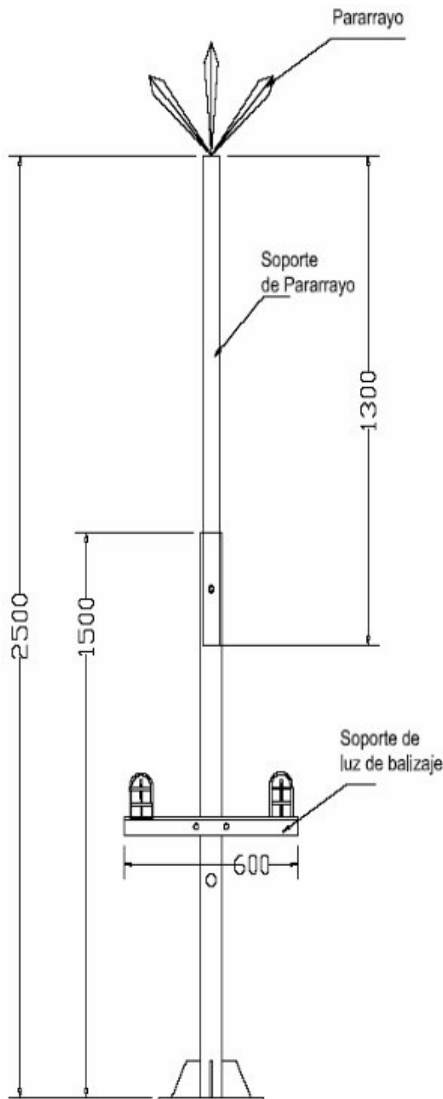
Nota: El extremo superior del tubo de 1.25” deberá contar con un eje roscado que permita alojar al aislador para el pararrayos tetrapuntal.



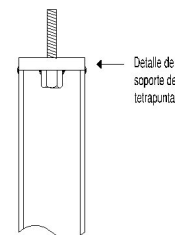
Compuesto por:

- 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/m<sup>2</sup>.

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



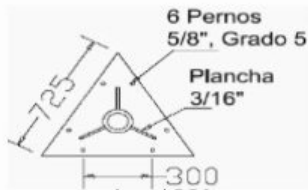
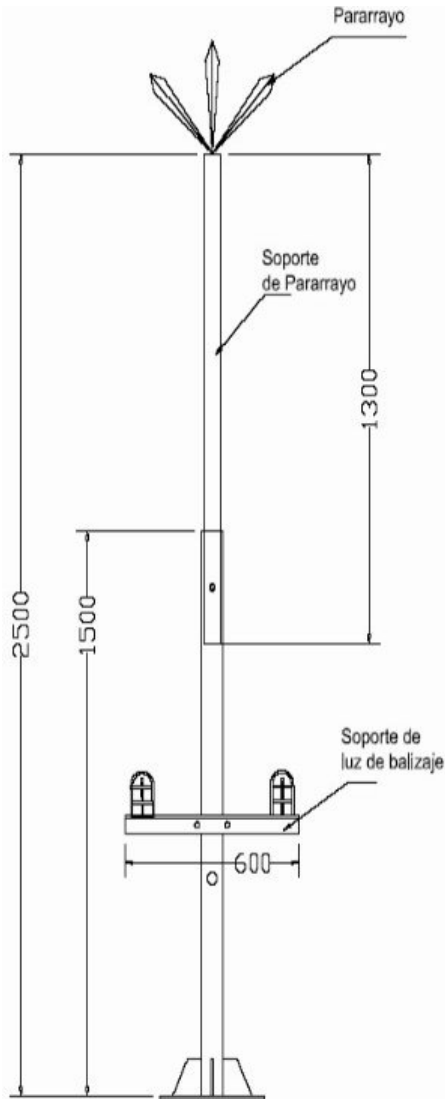
Nota: El extremo superior del tubo de 1.25" deberá contar con un eje roscado que permita alojar al aislador para el pararrayos tetrapuntal.



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  $2'' \times 3/16'' \times 600\text{mm}$  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,  $550 \text{ gr/m}^2$ .

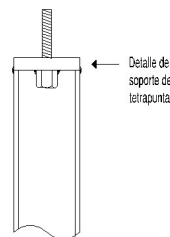
## 4.4.3.6. Soporte de pararrayos para tramo tipo C



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  $2'' \times 3/16'' \times 600\text{mm}$  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,  $550 \text{ gr/m}^2$

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

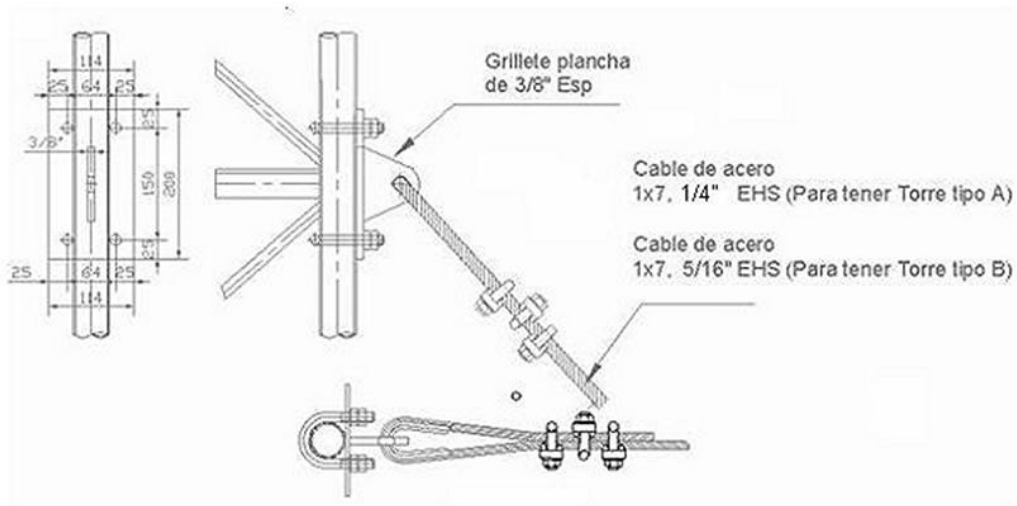
Características:

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

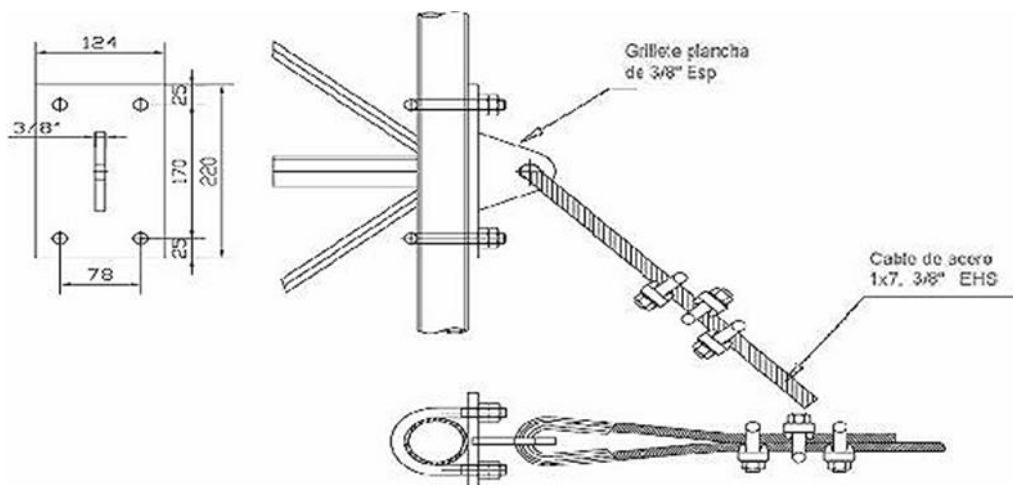
Características:

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).

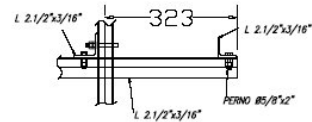
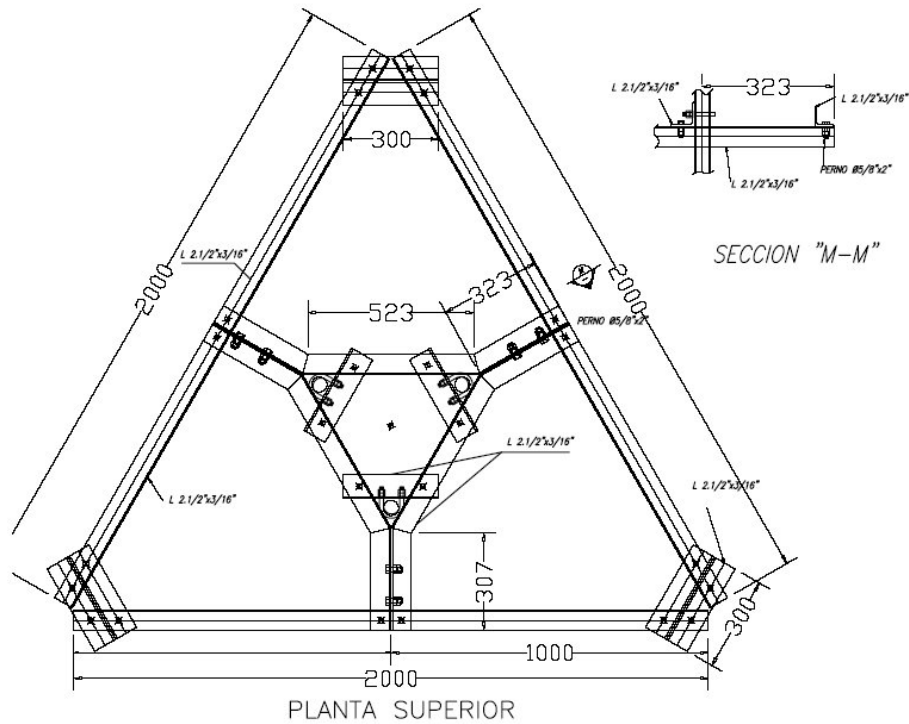


### 4.4.6. Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo B

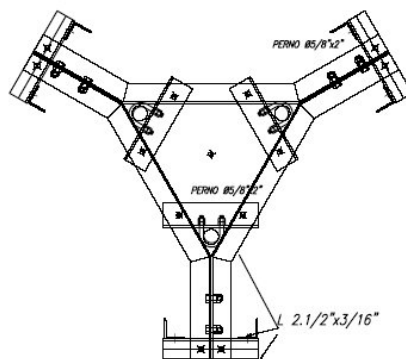
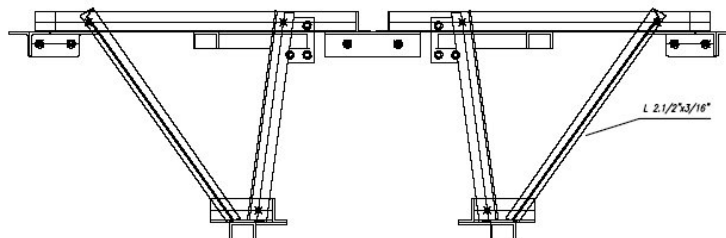
Compuesto por:

Ángulos de 2.5" x 3/16".

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



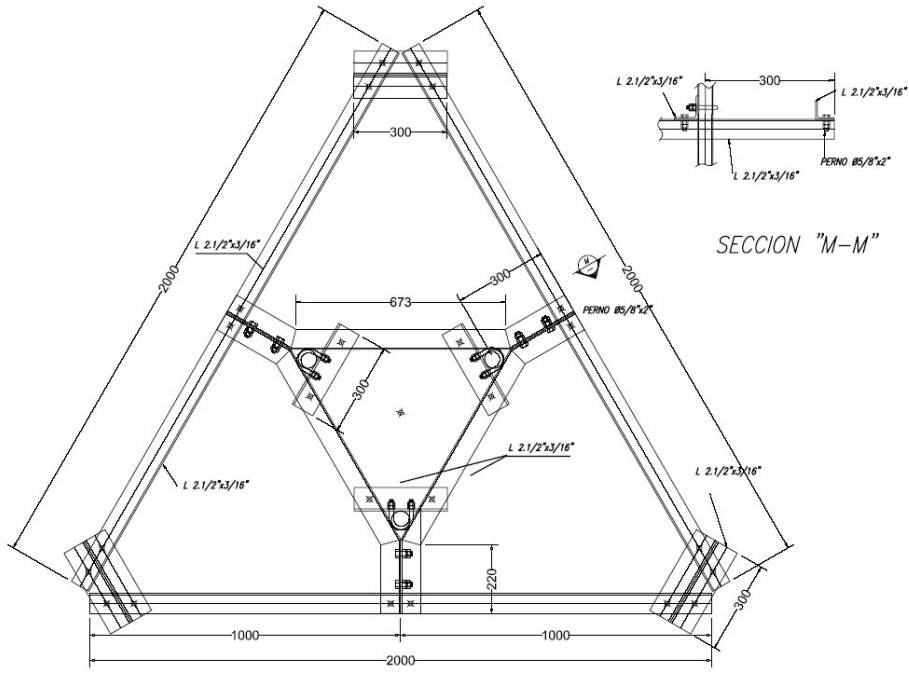
SECCION "M-M"



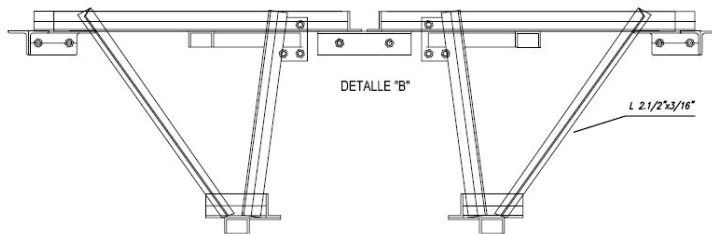
PLANTA INFERIOR ESTABILIZADOR

4.4.7. Triángulo antirrotación para tramo de torre tipo C

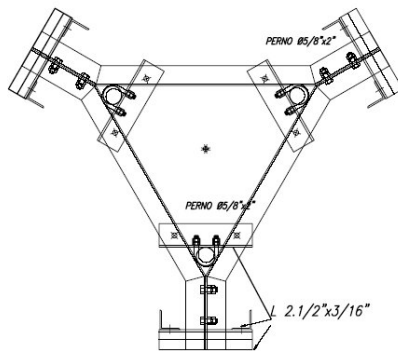
Compuesto por:  
 Ángulos de 2.5" x 3/16".  
 Pernos de ensamble de 5/8" x 2".



PLANTA SUPERIOR



DETALLE 'B'



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

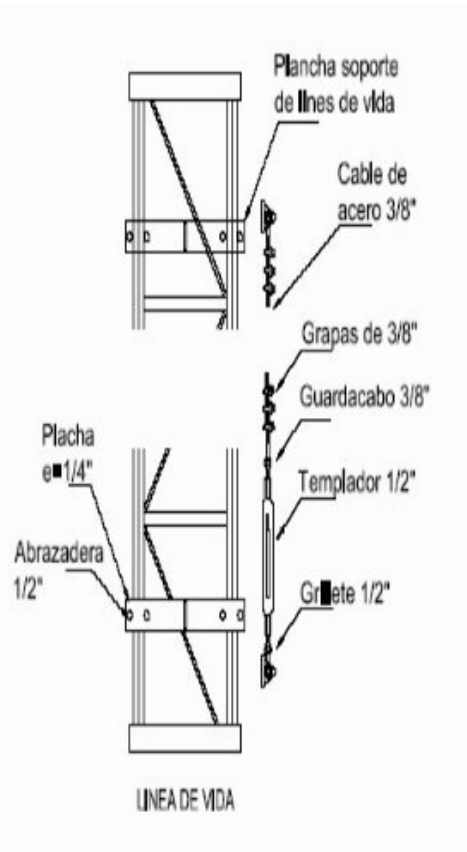


Cable de acero galvanizado tipo retenida de 7 hilos, torcido izquierdo.

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 correa 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 y mantenimiento de la red

Para garantizar el correcto funcionamiento de las redes desplegadas durante la mayor cantidad de tiempo posible, es necesario solucionar las posibles complicaciones que surjan con los equipos instalados con la mayor celeridad. Estas complicaciones, que pueden provocar que la red caiga durante un tiempo indeterminado, son, en muchos casos, inevitables. Sin embargo, el uso de determinadas herramientas puede 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. La aplicación utilizada por GTR-PUCP para la gestión de las redes que ha desplegado será descrita en la primera parte de este capítulo.

Además, un correcto cuidado físico de los equipos que conformen la red es imprescindible para prevenir que estos se deterioren con el tiempo y así reducir la ocurrencia de los fallos. Por lo tanto, la gestión y el mantenimiento de la red se desarrolla en un doble ámbito: *software* y *hardware*. Las tareas que se deben realizar para llevar a cabo este mantenimiento correctamente serán indicadas en la segunda parte de este capítulo.

### 5.1. *Software* de gestión de la red

El sistema de gestión de red utilizado por GTR-PUCP en sus redes ha contribuido a detectar y a diagnosticar problemas que afectan al buen funcionamiento de las mismas, permitiendo, además, conocer el uso que los usuarios hacen de los servicios ofrecidos.

#### 5.1.1. Introducción

En principio se buscó una forma de gestionar las estaciones cliente HF y VHF, y los enrutadores instalados en los nodos *WiFi*, estaciones cliente y repetidores, de forma diferente, ya que a los últimos se les presupone conectividad permanente a *Internet*, mientras que a las primeras no. Pero como incluso los enrutadores pueden tener períodos sin conexión se estableció que en el sistema de gestión de redes, el gestor no debería depender de la conectividad permanente con los equipos gestionados para poder realizar sus tareas de monitoreo y control. Además, se determinó que los equipos gestionados deberían recolectar su propia información de gestión y enviarla en el momento en el que tengan conexión. Estos dos aspectos determinaron que la mejor alternativa para lograr la comunicación entre el gestor y los equipos gestionados era el correo electrónico. Por lo que la arquitectura de gestión para

las redes utilizado por GTR-PUCP sigue el esquema mostrado en la Figura 5.1.



Figura 5.1: Arquitectura de gestión de red.

Para los enrutadores *WiFi* se pensó en utilizar el protocolo *SNMP*, uno de los más extendidos entre las herramientas de gestión de red, ya que por su baja complejidad es muy adecuado para este contexto. Entonces, se buscó un agente *SNMP* que fuera libre, que permitiera la gestión de las tarjetas inalámbricas utilizadas y que además funcionara bajo los sistemas operativos utilizados en los enrutadores. Se encontraron las *MIBs* (Management Information Base), es decir, los controladores de los equipos utilizados en redes de telecomunicaciones, de los *chipset* de las tarjetas inalámbricas con las que trabaja GTR-PUCP para el agente *Net-SNMP*, por lo que se probó su compatibilidad con los sistemas operativos usados en cada caso (*Pebble* o *Voyage*). Una vez comprobada, se estudiaron diferentes herramientas de *software* libre como *MRTG*, *Cricket* y *Cacti*, y en los tres casos, se observó que eran necesarias algunas adaptaciones, como incorporar el correo electrónico como el mecanismo de comunicación entre el gestor y las estaciones.

En este punto, se valoró la posibilidad de desarrollar una aplicación propia adecuada a las necesidades de gestión de las redes que GTR-PUCP despliega. Para esta aplicación se utilizó *RRDtool*, en la que se basan las aplicaciones citadas anteriormente. Esta herramienta trabaja con bases de datos *Round Robin*, las cuales tienen un tamaño determinado y un comportamiento circular, es decir, cuando se escribe el último dato, se sobrescribe el primero que se escribió y así sucesivamente. Además esta herramienta permite crear, actualizar, extraer y representar datos, etc. de dichas bases de datos. En vista de la potencia de esta herramienta se realizó un prototipo que permitía conocer, vía *Web*, los enrutadores gestionados y sus clientes. En este prototipo, además, se utilizó el correo electrónico para la comunicación entre el gestor y los equipos gestionados, para ello se desarrollaron diferentes módulos en *Perl* y *PHP*. En la Figura 5.2 se muestra una imagen del prototipo realizado.

Para la gestión de estaciones *HF* y *VHF* se decidió utilizar comandos del sistema y *logs* para obtener la información de gestión necesaria. Además, se evaluaron herramientas de monitoreo de redes como *Nagios* y *Zabbix*, que son de *software* libre, muy potentes y populares. Al compararlos, se comprobó que *Nagios* era una herramienta más desarrollada que *Zabbix*, ya que se creó con anterioridad. Sin embargo, gracias al trabajo constante de su grupo de desarrolladores, y a sugerencias y contribuciones realizadas por sus usuarios, *Zabbix* está creciendo rápidamente. Además, *Nagios* tiene la particularidad de que sus funcionalidades adicionales se encuentran en módulos independientes, que, por un lado, lo convierten en una herramienta extensible, pero que, por otro, implican el manejo de diferentes aplicaciones para conseguir la funcionalidad deseada. Por el contrario, *Zabbix* contiene toda su funcionalidad en un único paquete, por lo que no requiere de módulos adicionales. Además, su arquitectura es bastante modular y flexible, lo que permite, en el caso en que fuera necesario, añadir casi cualquier funcionalidad adicional requerida. Teniendo en cuenta esto, se realizó un primer prototipo a partir de la versión 1.0 de *Zabbix* a la que se añadió, entre otras funcionalidades, el soporte para la comunicación a través de correo electrónico. En la Figura 5.3 se observa una imagen de *Zabbix* 1.0 modificado que muestra la carga del procesador de un equipo en una hora.

Una vez analizadas las posibilidades para la gestión de enrutadores *WiFi* y de estaciones *HF* y *VHF*, se decidió integrar los componentes desarrollados para ambos sistemas de gestión e incluir

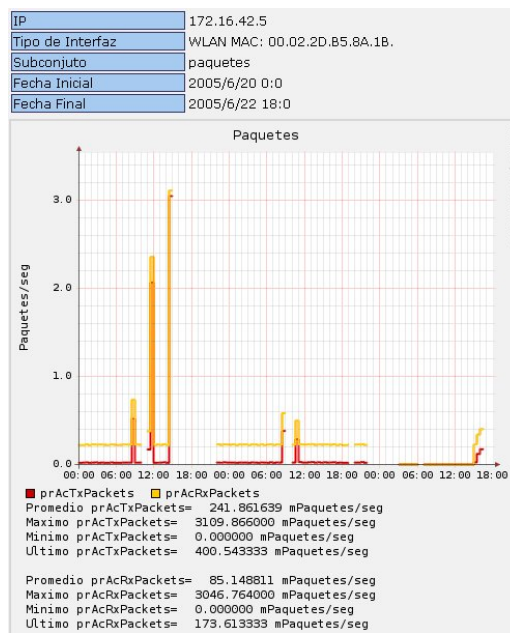


Figura 5.2: Prototipo con RRDTOol y SNMP.

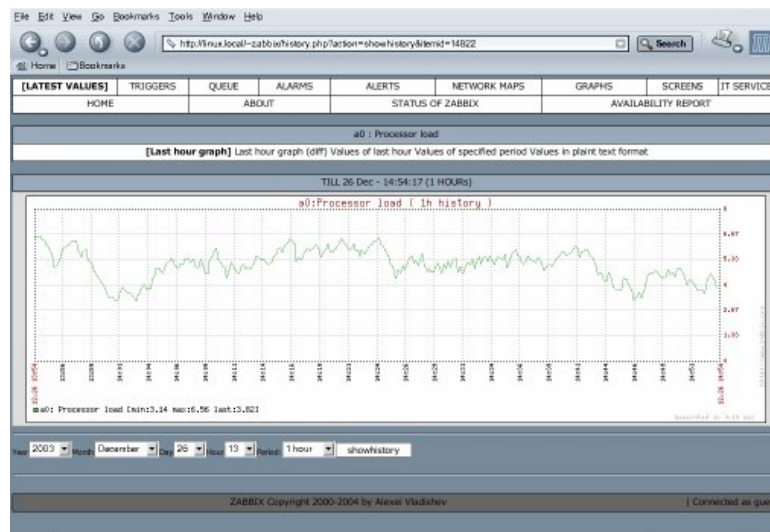


Figura 5.3: Zabbix 1.0 modificado.

algunas mejoras, para, de esta manera, realizar una gestión más homogénea de las redes desplegadas por GTR-PUCP. Para ello, se decidió utilizar de base la versión 1.1 de *Zabbix*, que presentaba notables mejoras con respecto a la versión anterior.

Además, hubo que realizar otros cambios, ya que cuando se probaron las **MIBs SNMP** de *Avant-com* con nuevas versiones de los *drivers* para las tarjetas inalámbricas, las **MIBs** no funcionaban. A esto había que sumar que la empresa no iba a lanzar nuevas versiones de las **MIBs** para esos *drivers*, por lo que se tuvo que estudiar la forma en la que ese agente **SNMP** obtenía la información de gestión de las tarjetas inalámbricas y sus clientes. Finalmente, se obtuvo el componente que permitía hacer la gestión en los enrutadores y se integró con los demás componentes de las estaciones. Es decir, no se utilizó **SNMP** sino que se utilizaron directamente los comandos y *logs* del sistema para obtener la

información de gestión de las tarjetas inalámbricas.

### 5.1.2. Zabbix 1.1

Como se comentó anteriormente, *Zabbix* es una herramienta de monitoreo de redes. Permite el *polling* y *trapping* de datos de los equipos gestionados, es decir, que los datos puedan ser solicitados por el gestor, o puedan ser proporcionados por el equipo gestionado sin petición del gestor. Esta herramienta permite desplegar datos, gráficos, mapas, además, realizar la configuración de la herramienta vía *Web* y notificar la ocurrencia de eventos predefinidos.

Además, cuenta con diferentes utilidades, aunque, en este caso sólo se utilizaron *zabbix-server* y *zabbix-sender*. El primero es el que se encarga de toda la funcionalidad de la herramienta, es el que lleva a cabo todas las tareas del gestor, y *zabbix-sender* es una utilidad de línea de comandos que permite insertar el valor de una variable en la base de datos de una forma más sencilla. Esta utilidad es muy importante porque permite al gestor insertar los valores de los datos obtenidos del procesamiento de los *logs* de gestión que llegan como adjuntos en los correos electrónicos.

Asimismo, *Zabbix* permite el manejo de usuarios y grupos de usuarios de la herramienta, equipos y grupos de equipos gestionados, variables a monitorear, disparadores de eventos, alertas, alarmas, acciones cuando se producen eventos, datos históricos de las variables monitoreadas, mapas y gráficos, entre otros aspectos, que le aportan una gran versatilidad.

Si se tiene alguna duda de su funcionamiento, *Zabbix* cuenta con una extensa documentación y con un foro y unas listas de correo que hacen posible intercambiar experiencias con otros usuarios, solucionar problemas de una manera más rápida, realizar sugerencias, reportar fallos y publicar parches para algún caso en particular.

### 5.1.3. Arquitectura del equipo gestionado

Como se observó en la arquitectura de gestión de red de la Figura 5.1, éste está conformado por un gestor y distintos equipos gestionados. En la Figura 5.4 se muestra de nuevo dicha arquitectura, pero detallando en ella los componentes del equipo gestionado.

Los componentes, *hardware* y *firmware*, así como el **S.O.** *Debian* (*Pebble* o *Voyage*), ya han sido previamente descritos en los capítulos anteriores.

El paquete *ehas-netman* es el que se encarga de realizar las tareas de monitoreo y control, en otras palabras, es el agente de gestión, y está compuesto de dos módulos: *recolección de datos* y *envío de correo*. El *módulo de recolección de datos* se encarga de obtener toda la información de gestión necesaria en los momentos adecuados, mientras que el *módulo de envío de correo* se encarga de comprimir la información de gestión y enviarla como adjunto en un correo electrónico cuando corresponda al gestor.

El paquete *ehas-netman* es una dependencia de *ehas-station* por lo que se instala automáticamente con él. Además, dispone de múltiples opciones de configuración, que se detallan en el manual que se encuentra en la siguiente dirección:

<http://download.ehas.org/docs/ehas-netman/ehas-netman.html/>

Los paquetes *ehas-station/ehas-router*, permiten configurar todos los aspectos de un equipo y lograr su adecuado funcionamiento, en **HF** y **VHF** el primero y en **WiFi** el segundo. El paquete *ehas-router* era la versión para enrutadores **WiFi** de *ehas-station*, pero como posteriormente se vio que

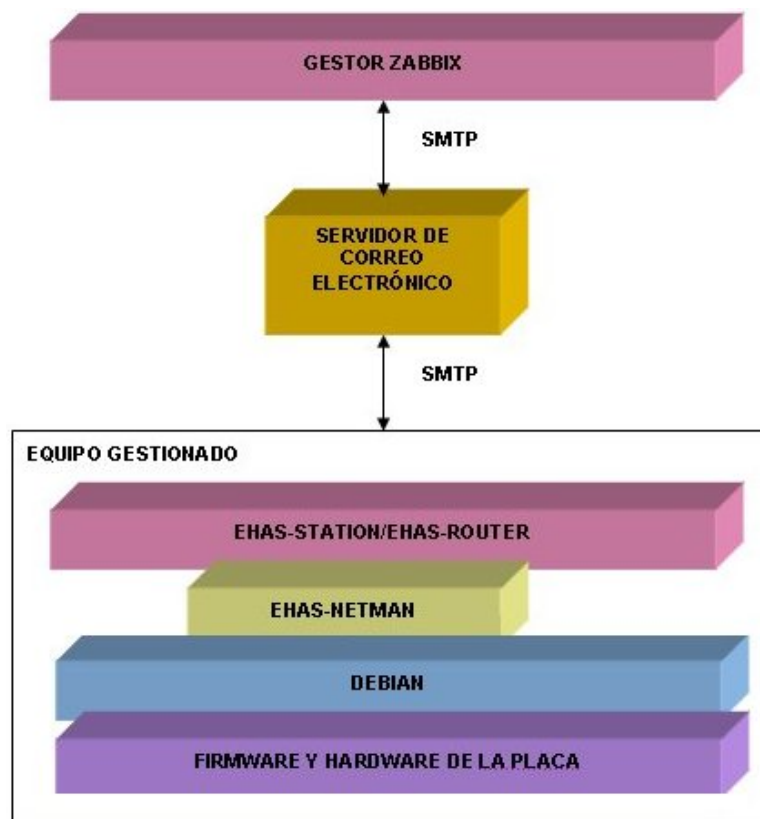


Figura 5.4: Arquitectura del equipo gestionado.

mantener dos paquetes muy parecidos era poco conveniente, se pasó a usar *ehas-station* incluso en enrutadores *WiFi*. La instalación y configuración de *ehas-station* para HF y VHF fue descrita en profundidad en la sección 2.4.2.5. Para enrutadores *WiFi* se configura igual, simplemente no hay que crear conexiones radio.

Como ya se indicó, *ehas-station* contiene a *config-ehas*, una aplicación que permite configurar una estación a través de una interfaz gráfica. El paquete *config-ehas* permite configurar si el envío de *logs* está activo, el correo electrónico al que se envían los *logs*, el modelo de la estación o del enrutador y el tiempo en el que se envía el correo que indica que la estación está “alive”, que puede ser cada 2 horas, 8 horas, 2 días, 6 días o 15 días. Además, *config-ehas* permite establecer las interfaces de red que se desea monitorear: *loopback*, *Ethernet*, *WiFi* y determinar si el monitoreo diario de correo electrónico, placa de interfaz, conexiones de radio, conexiones por módem y telefónicas está activo.

Además, tanto las estaciones HF y VHF como los enrutadores *WiFi* deben tener instalado *grunt-ehas*, *Procmal* (un agente de entrega de correo) y *Postfix* (un agente de transferencia de correo). En el enrutador *WiFi* no se utiliza *Postfix* sino *Masqmail* debido a que éste último es más simple, más liviano y por lo tanto más adecuado para los enrutadores inalámbricos, aunque, también se comprobó que *Postfix* funciona correctamente en los enrutadores. *Masqmail* al igual que *Postfix* maneja *aliases* y trabaja con *Procmal*.

El paquete *grunt-ehas* es básicamente, una modificación del paquete *grunt* incluido en cualquier distribución *Debian*. Éste permite mandar comandos (con *grunt*) firmados digitalmente con *GPG*, leer los correos de *grunt* (con *gruntreceive*, normalmente se pone una redirección en */etc/aliases*), comprobando que la firma digital es correcta, y ejecutar el comando pedido. *grunt-*

*ehas* utiliza esta misma base y además permite utilizarlo como *root*, permite “fallos” en el tiempo de los mensajes (necesario si el ordenador perdió la hora correcta) y llamarlo desde un *script*, además de desde un terminal. Este paquete es también una dependencia de *ehas-station*, por lo que se instala automáticamente con él.

#### 5.1.4. Arquitectura del gestor de red

Además de las características descritas anteriormente, una de las principales ventajas de *Zabbix* es que su arquitectura se basa en el paradigma **MVC** (Modelo-Vista-Control), que permite separar la lógica de control de la visualización y los datos en el gestor, como se muestra en la Figura 5.5.

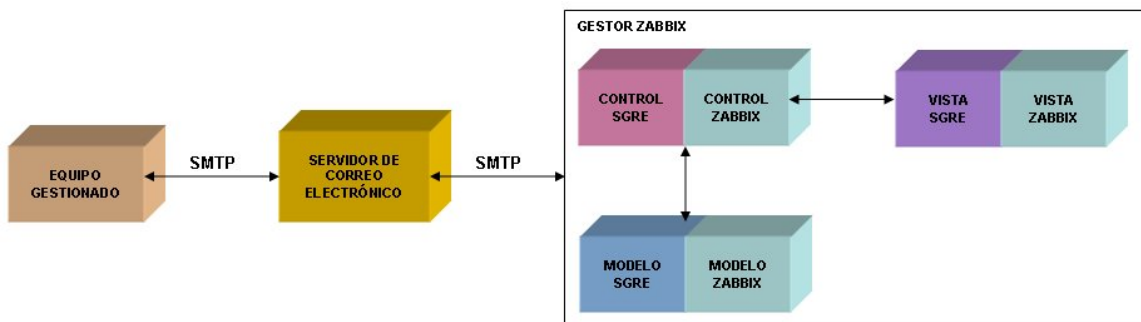


Figura 5.5: Arquitectura interna de Zabbix 1.1.

En esta Figura, no solamente aparecen sus componentes modelo, vista y control sino que junto a cada uno de ellos se encuentra un componente modelo, vista y control del sistema de gestión de redes, **SGRE** (Sistema de Gestión de Redes EHAS), necesarios para realizar adiciones y mejoras a *Zabbix* que consiguen que el sistema de gestión permita realizar las tareas de monitoreo y control sobre las redes.

El componente control **SGRE** se complementa con el componente control *Zabbix* para mantener toda la lógica de control necesaria del sistema de gestión. Está compuesto de los siguientes módulos: *recepción de correo*, *procesamiento de correo*, *adición de equipos* y *procesamiento de logs*.

El módulo de *recepción de datos* se encarga de recibir los correos electrónicos que contienen información de gestión y descomprimir los adjuntos. El de *procesamiento de correo* se encarga de determinar si el equipo ya existe en el sistema de gestión y si no es así realiza diversas acciones para adicionar el equipo de forma automática a través del módulo de *adición de equipo*. Finalmente, el *módulo de procesamiento de logs* se encarga de obtener todos los datos de gestión y de ejecutar las acciones necesarias para almacenarlos en la base de datos de forma adecuada. El componente control **SGRE** junto con el componente control *Zabbix* son el punto de unión entre el componente vista **SGRE** y *Zabbix*, y el componente modelo **SGRE** y *Zabbix*.

El componente modelo **SGRE** se complementa con el componente modelo *Zabbix* para manipular los datos de la base de datos del sistema de gestión. Para ello hace uso del módulo de *almacenamiento de datos*. Éste permite adicionar un equipo al sistema de gestión de redes: variables, disparadores de eventos, acción por eventos y gráficos. Además, permite insertar los datos que llegan en los *logs* de gestión a la base de datos.

El componente vista **SGRE** se complementa con el componente vista *Zabbix* para desplegar la información de gestión de una forma agradable para los usuarios del sistema de gestión. Está compuesto por los módulos de monitoreo y control. El módulo de monitoreo permite desplegar información



de gestión adicional a la que despliega *Zabbix*, mientras que el módulo de control permite ejecutar comandos sobre uno o varios equipos gestionados de forma segura.

El gestor, además de tener *Zabbix*, debe tener instalado *Procmail* y *Postfix*, y, si se desea gestionar el gestor, todos los paquetes que se mencionaron para un equipo gestionado. En el gestor existe un usuario que es a quien se envían los correos electrónicos de gestión.

Una vez se desarrollaron y comprobaron las funcionalidades de los componentes modelo, vista y control *Zabbix* junto con los componentes modelo, vista y control **SGRE** se decidió realizar dos paquetes *Debian* llamados *zabbix* y *ehas-zabbix* para facilitar el proceso de instalación del gestor. Estos dos paquetes contienen, respectivamente, *Zabbix*, y las adiciones y mejoras que se realizaron a esta herramienta para realizar las tareas de monitoreo y control sobre las redes desplegadas por GTR-PUCP.

### 5.1.5. Tipos de *log*

El equipo gestionado maneja los siguiente tipos de *logs*: *log con información del sistema*, *log con información de corto plazo*, *log de "alive"* y *log diario*. La información que éstos contienen y que se describe a continuación, se obtiene mediante la ejecución de comandos ejecutados remotamente por el gestor o internamente en el equipo gestionado. El paquete *ehas-netman* es el que se encarga de obtener la información de cada uno de esos *logs* en el momento correspondiente. Esto lo lleva a cabo haciendo uso del paquete *cron*, que permite la programación de tareas en el sistema. Además, *ehas-netman* realiza diferentes operaciones sobre los *logs* y los envía comprimidos como adjunto en un correo electrónico al gestor. A continuación se describe la información de gestión que contiene cada uno de los *logs* del equipo gestionado.

#### 5.1.5.1. Log con información del sistema

Este *log* se envía cada 15 días y contiene información necesaria para la gestión de la red como:

- |                         |                                             |
|-------------------------|---------------------------------------------|
| 1. Nombre del equipo    | 7. Sistema de archivos                      |
| 2. Paquetes instalados  | 8. Buses                                    |
| 3. Tabla de particiones | 9. Impresoras conectadas al equipo          |
| 4. Memoria              | 10. Información de configuración del equipo |

#### 5.1.5.2. Log con información de corto plazo

Este *log* se encarga de recopilar la información de lo que está ocurriendo en cada momento en las placas.

- Temperatura y estado de la **CPU**. Para ello se utiliza **ACPI** (Interfaz Avanzada de Configuración y Energía) y se registra la temperatura y el estado de la **CPU**.
- Tiempo de encendido. Se registra el intervalo de tiempo en el que la estación estuvo encendida.
- Información general de las interfaces: dirección **IP**, dirección **MAC**, paquetes, bytes y errores de transmisión y recepción, etc., para las interfaces inalámbricas: punto de acceso, frecuencia, tasa de bits, señal, ruido, y potencia de transmisión, etc.



- Para las tarjetas con *chipset Prism*: descartes, errores de **FCS** en recepción, y tramas y octetos, *unicast* y *multicast* de transmisión y recepción, etc.
- Para las tarjetas *chipset Atheros*: además de los de las tarjetas con *chipset Prism*, errores a nivel físico, tramas de transmisión descartadas, tramas transmitidas sin **ACK**, fallas de **CRC** en recepción, reintentos fallidos en transmisión, etc.
- Para los clientes de las tarjetas *chipset Prism*: bytes transmitidos y recibidos, señal, ruido, tasa de bits, paquetes a 1, 2, 5 y 11 Mbps de transmisión y recepción, etc.,
- Para los clientes de las tarjetas *chipset Atheros*: además de los de las tarjetas con *chipset Prism*, señal, ruido, entre otros.

### 5.1.5.3. Log de “alive”

Este *log* indica si el nodo en cuestión está “vivo”, es decir, si está funcionando. Si el período de “alive” es inferior a 1 día la información de gestión de las interfaces monitoreadas se envía como adjunto en este correo, pero si el período de “alive” es superior a 1 día esa información se envía junto con la información de gestión diaria.

### 5.1.5.4. Log diario

- Información de configuración de gestión.
- Estado de discos duros. Permite saber si hubo algún problema o si va a haber alguno en las próximas horas. Para ello se utiliza la aplicación *smartools* que proporciona información de los discos duros.
- “Crashes”. Indica las reiniciaciones no adecuadas del sistema.
- Se informa también del espacio total, usado y disponible en bytes e inodos, los cuales almacenan archivos regulares, directorios, y enlaces simbólicos.
- Estadísticas de la **CPU**. Se analizan los datos registrados en el *log* que contiene información de corto plazo y se determinan las temperaturas mínima y máxima y sus *timestamps* (fecha de creación o modificación en los archivos) inicial y final de los datos registrados. Además, a partir de la temperatura promedio se determina el estado de la **CPU**, para ello se tienen en cuenta los estados especificados por **ACPI** en función de la temperatura.
- Estadísticas de encendido. Se leen los datos almacenados en el *log* que contiene información de corto plazo y se determinan los intervalos de tiempo en los que el computador estuvo encendido.
- Correo electrónico, placa de interfaz y conexiones por módem. Se obtiene la información registrada en el sistema, se determina el número de correos entrantes y salientes, así como, las cuentas de correo con el número de correos que han enviado o recibido. Para la placa de interfaz se obtiene el nivel de batería, y para cada una de las conexiones de radio, el **ROE** y la temperatura de cada una de ellas.

- Telefonía. Se utiliza un *log* de *asterisk*, que como ya se detalló en la sección 3.6.2.6.1, es una herramienta que permite integrar la RTPC e Internet, y se determina los tipos de llamadas, extensiones desde las que se han realizado llamadas y de las cuales se han recibido, la cantidad de éstas, entre otros datos.
- Cola de correo. Se determina el número de mensajes, el tamaño en bytes de esos mensajes y el tiempo más largo que un mensaje ha estado en la cola de correo.
- Cola de correo UUCP (Unix to Unix CoPy). Se determina el número de mensajes, el tamaño en bytes de esos mensajes y el tiempo más largo que un mensaje ha estado en la cola de correo de las estaciones HF y VHF que son las que utilizan el protocolo UUCP para el envío y la recepción de correo electrónico.
- Conexiones por radio. Se utiliza la información registrada en el sistema para cada conexión tanto HF como VHF, y se calcula el tiempo de uso del proxy, se determina la BER HF y VHF, y el *timestamp* inicial y final de los datos medidos. Para VHF indica la velocidad de transmisión y de recepción teniendo en cuenta que la velocidad VHF sólo puede tener ciertos valores. Para HF también se indica su velocidad de transmisión y de recepción, así como la SNR, tanto máximas, como mínimas, y los *timestamps* en los que se producen esos valores. Además, se calculan los promedios de cada uno de esos datos y se determina los *timestamps* inicial y final en los que se realizaron las medidas.
- Impresoras. Se obtiene el número de trabajos, el tamaño en bytes de esos trabajos y el tiempo más largo que un trabajo ha estado en la cola de impresión.
- Estadísticas de UUCP. Se determina la velocidad en bps, los bytes y los segundos que han tomado las comunicaciones por UUCP.
- Estadísticas de *uucall*. Se determina los segundos que han demorado las autenticaciones, así como también, la velocidad en bps, los bytes y los segundos que han tomado las transferencias que utilizan *uucall*.
- Usuarios. Se determina el número de cuentas de usuario que existen en el sistema.

### 5.1.6. Instalación y Configuración

*Zabbix* se puede descargar de su sitio Web: <http://www.zabbix.com>. En la sección de descarga se encuentran las fuentes de *Zabbix*, además de un paquete *Debian*. Con respecto al paquete *Debian*, el propio sitio Web de *Zabbix* recomienda no utilizarlo, entonces teniendo en cuenta que se disponía de las fuentes y que se quería que el proceso de instalación y configuración de *Zabbix* y de las adaptaciones que se le realizaron fuera simple, se creó el paquete *Debian* de *Zabbix* que instala y configura *Zabbix* en su versión más estable hasta el momento en el que se realizó este trabajo, y además se creó el paquete *Debian* *ehas-zabbix* que contiene las adaptaciones que se le realizaron a esta versión de *Zabbix*. Ambos paquetes, fueron desarrollados por Arnau Sánchez y Eva Juliana Maya Ortiz.

En el gestor se instala *zabbix* y *ehas-zabbix* y en los equipos gestionados, en las estaciones cliente y en los enrutadores se instala *ehas-station*. Este paquete es una aplicación desarrollada para que los equipos gestionados envíen su información de gestión al gestor en un correo electrónico. El proceso de instalación y configuración se explicará a continuación.

### 5.1.6.1. Gestor

El gestor puede ser cualquier equipo de la red que pueda enviar y recibir correos de los equipos que va a gestionar y que además tenga conexión de red permanente para acceder a él en cualquier momento y conocer vía *Web* el funcionamiento de la red. Los pasos para instalar y configurar el gestor son:

1. En `/etc/apt/sources.list` comprobar que se encuentre:

```
deb http://debian.ehas.org/debian stable contrib
deb-src http://debian.ehas.org/debian stable contrib
```

Que son los repositorios donde se encuentran los paquetes del sistema de gestión.

2. Ejecutar `apt-get update`
3. Ejecutar `apt-get install zabbix`  
Al instalar el paquete `zabbix`, si es necesario, también se instalan los paquetes: `apache`, `php`, `php4-cgi`, `php4-cli`, `php4-dev`, `php4-gd`, `php4-mysql`, `libapache-mod-php4`, `phpmyadmin`, `mysql-client-4.1`, `mysql-admin` y `mysql-server-4.1`.
4. Ejecutar `apt-get install ehas-zabbix`  
Al instalar el paquete `ehas-zabbix`, si es necesario, también se instalan los paquetes: `procmail`, `mpack`, `grunt-ehas` y `gnupg`.
5. Obtener los archivos que contiene las claves pública y privada del sistema de gestión. Estos archivos son proporcionados por el encargado del sistema de gestión
6. Importar la clave pública y privada para los usuarios `www-data` y `sgr`:

```
su www-data
cd <ruta a los archivos que contienen las claves>
gpg -import <nombre archivo clave pública>
gpg -import <nombre archivo clave privada>
su sgr
cd <ruta a los archivos que contienen las claves>
gpg -import <nombre archivo clave pública>
gpg -import <nombre archivo clave privada>
```

7. Comprobar que las claves se importaron correctamente:

```
gpg -list-keys
gpg -list-secret-keys
gpg -list-public-keys
```

Al ejecutar estos comandos se despliegan dos claves: `ehasgrunt` que permite ejecutar comandos en un equipo con un *password* y `ehasgrunt-netman` que permite solicitar al equipo el envío de información del sistema necesaria para la adición automática del equipo en el sistema de gestión de red.

8. En `/etc/mysql/my.cnf` cancelar las líneas de `logs`:

```
#log = /var/log/mysql.log
#log = /var/log/mysql/mysql.log
#log-slow-queries = /var/log/mysql/mysql-slow.log
#log-bin = /var/log/mysql/mysql-bin.log
```

No se crean `logs` de `MySQL` porque ocupan mucho espacio y la versión de `MySQL` que se utiliza, aunque fue la última en el momento en el que se realizó este trabajo, no realiza su rotación de forma adecuada.

9. En `/etc/php4/apache/php.ini` editar las líneas:

```
memory_limit = 32M
post_max_size = 32M
```

10. Cambiar la contraseña del usuario `root`.

La contraseña del usuario `root` se puede cambiar a través de `phpmyadmin` o de consultas directas a `MySQL`.

Para acceder a `phpmyadmin` se puede acceder a: `http://servidor zabbix/phpmyadmin`. Siendo “`servidor zabbix`” el nombre del servidor. La interfaz inicial de `phpMyAdmin` se muestra en la Figura 5.6.

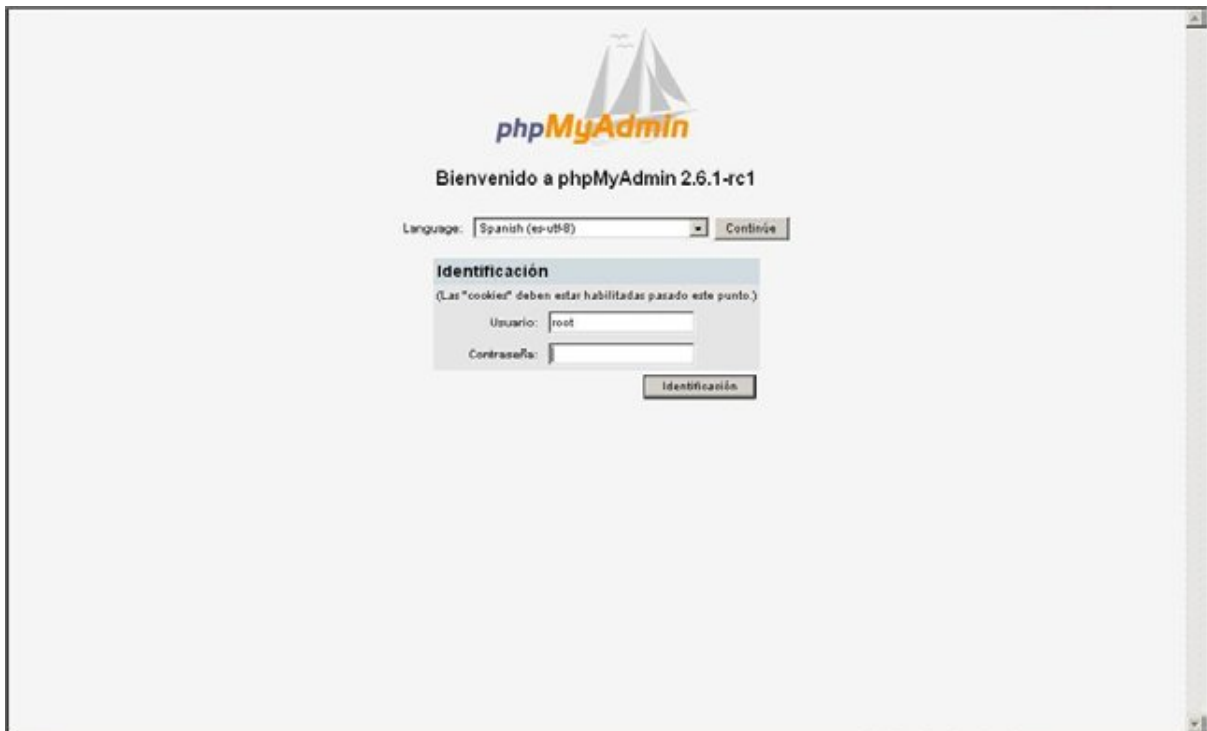


Figura 5.6: Interfaz inicial `phpMyAdmin`.

En esta interfaz se encuentra el formulario de identificación que permite ingresar a `phpmyadmin`. Por defecto:

Usuario: `root`

Contraseña: (vacío)

Al insertar estos datos y hacer clic en el botón de identificación se despliega una interfaz como se muestra en la Figura 5.7.



Figura 5.7: Identificación usuario en `phpMyAdmin`.

En el lado izquierdo de esta interfaz se encuentra una primera ventana con una lista desplegable que contiene las bases de datos con las que se podría trabajar. En el lado derecho de esta interfaz se encuentran dos columnas, una contiene opciones de `MySQL` y otra de `phpMyAdmin`.

Al acceder al enlace para privilegios que es la quinta opción de la lista de `MySQL` se despliega una interfaz como se muestra en la Figura 5.8.

En esta interfaz se puede adicionar, modificar o eliminar usuarios que tienen acceso a las bases de datos. Si se desea adicionar un usuario se utiliza la opción: nuevo usuario. Si se desea eliminar usuarios, se seleccionan y enseguida se puede seleccionar la opción: borre los usuarios y vuelva a cargar los privilegios posteriormente, y luego se hace clic en el botón *Continuar*. Si se desea modificar un usuario, por ejemplo, en este caso, el usuario `root` del servidor local, se hace clic en el icono que se encuentra al final de la fila del usuario. Al hacer clic en este enlace se despliega una interfaz como se muestra en la Figura 5.9.

En esta interfaz se encuentra la sección de cambio de contraseña en la que se debe escribir la contraseña dos veces y enseguida hacer clic en el botón *Continuar*. De esta forma la contraseña

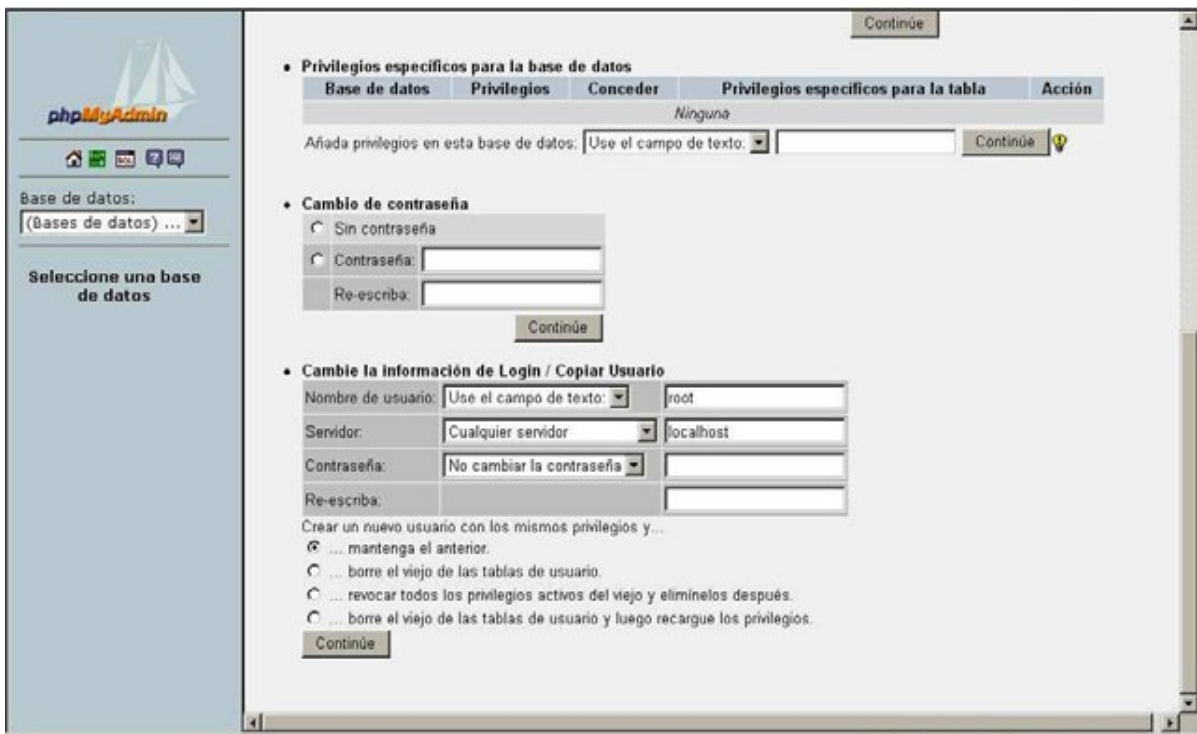


Figura 5.8: Modificación de permisos en phpMyAdmin.

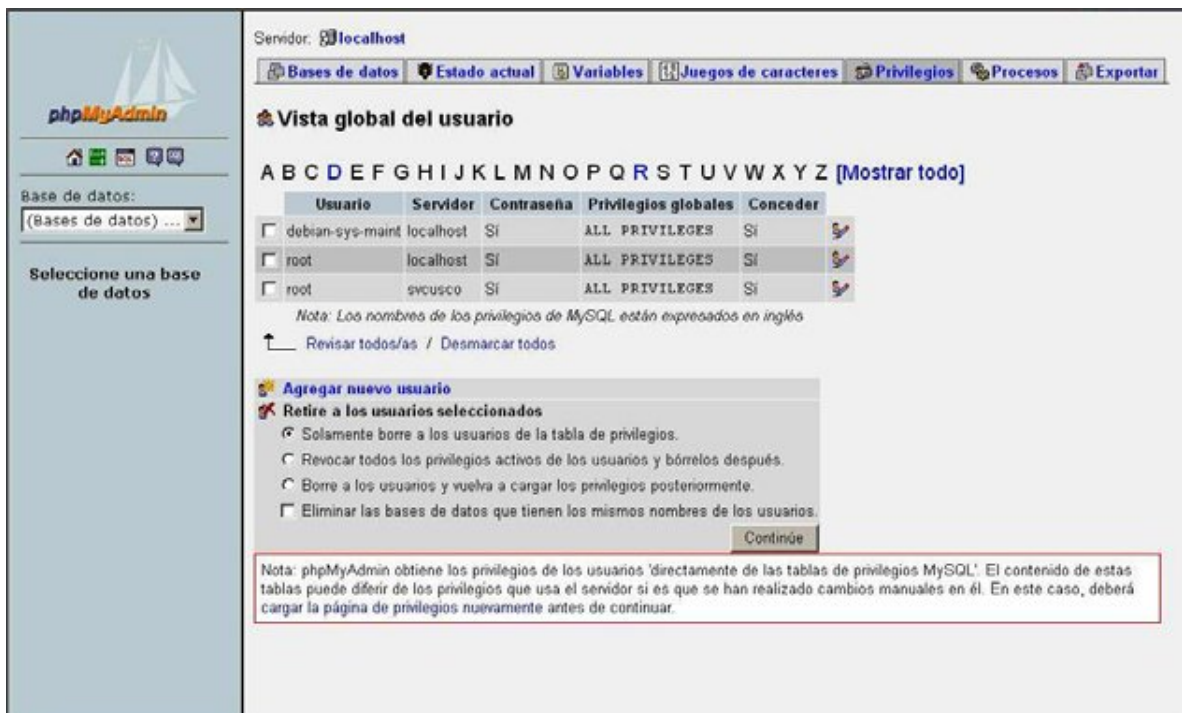


Figura 5.9: Modificación de usuarios en phpMyAdmin.

del usuario *root* para acceder a cualquier base de datos es la que se haya especificado. Otra forma para cambiar la contraseña del usuario *root* es:

```
1.mysql -u root mysql
2.mysql >update root set password="nueva contraseña"
3.mysql >flush privileges;
```

## 11. Configurar la contraseña de *root* en:

```
/var/www/zabbix/include/db.inc.php
/etc/zabbix/zabbix_trapper.conf
/etc/zabbix/zabbix_server.conf
```

### DB.INC.PHP

En `db.inc.php` buscar la sección *user* y *password*:

```
// DATABASE CONFIGURATION
// $DB_TYPE          ="POSTGRESQL";
   $DB_TYPE          ="MYSQL";
   $DB_SERVER         ="localhost";
   $DB_DATABASE      ="zabbix";
   $DB_USER           ="root";
   $DB_PASSWORD      ="contraseña ";
// END OF DATABASE CONFIGURATION
```

### ZABBIX\_SERVER.CONF

En `zabbix_server.conf` buscar *user* y *password*:

```
# Database host name
# Default is localhost
#DBHost=localhost
# Database name
DBName=zabbix
# Database user
DBUser=root
# Database password
# Comment this line if no password used
#DBPassword=<password>
DBPassword=contraseña
```

Este archivo permite configurar el servidor de `zabbix`, `zabbix-server`, que es el que se encarga del funcionamiento del sistema de gestión. En este archivo se puede configurar además:

- El puerto por el que el servidor recibe los datos de `zabbix_sender`.

```
# Listen port for trapping. Default port number 10051
# This parameter must be between 1024 and 32767
ListenPort=10051
```



- El nivel de *debug*.

```
# Specifies debug level
# 0 - debug is not created
# 1 - critical information
# 2 - error information
# 3 - warnings (default)
# 4 - for debugging (produces lots of information)
DebugLevel=3
```

- El nombre del *log*.

```
# Name of log file
# If not set, syslog is used
LogFile=/tmp/zabbix_server.log
```

### ZABBIX\_TRAPPER.CONF

En `zabbix_trapper.conf` buscar *user* y *password*:

```
# Database host name
# Default is localhost
#DBHost=localhost
# Database name
DBName=zabbix
# Database user
DBUser=root
# Database password
# Comment this line if no password used
#DBPassword=<password>
DBPassword=contraseña
```

Este archivo permite configurar el emisor de `zabbix`, `zabbix-sender`, que es el que se encarga de insertar los datos que envían los equipos gestionados al gestor por su propia iniciativa. En este archivo se puede configurar además:

- Nivel de *debug*.

```
# Specifies debug level
# 1 - critical information
# 2 - warnings (default)
# 3 - for debugging (produces lots of information)
DebugLevel=2
```

- Tiempo máximo que puede tomar un procesamiento.

```
# Spend no more than Timeout seconds on processing
# Must be between 1 and 30
Timeout=3
```

- Nombre del *log*.

```
# Name of log file
# If not set, syslog will be used
LogFile=/tmp/zabbix_trapper.log
```

## 12. Reiniciar `mysql`

```
/etc/init.d/mysql restart
```

## 13. Reiniciar el servidor de *Zabbix*

```
/etc/init.d/zabbix-server restart
```

Una vez que se cambia la contraseña de `root` y se introduce en `db.inc.php`, `zabbix_server.conf` y `zabbix_trapper.conf`, al reinstalar el paquete `ehas-zabbix`, se debe ingresar esta nueva contraseña.

## 14. Ejecutar `tzconfig` para seleccionar la zona horaria.

## 15. Ejecutar `date` para ajustar la fecha.

## 16. En `/etc/crontab` adicionar:

```
*/5 * * * * root      ntpdate -u ntp.ubuntulinux.org
                pool.ntp.org pool.ntp.org pool.ntp.org >
/dev/null 2>&1
```

Para evitar que el reloj del equipo se desajuste.

## 17. En el gestor se encuentran varios directorios y archivos importantes.

`/var/spool/ehas-zabbix`: contiene un directorio por cada subdominio. Por ejemplo, si el dominio de la red gestionada es: `pe.ehas.org`. En el directorio `/var/spool/ehas-zabbix` se encuentra el directorio `org` que contiene el directorio `pe`, el directorio `pe` contiene el directorio `ehas` que a su vez contiene un directorio por cada equipo, entonces, por ejemplo, si en la red gestionada hay un equipo que se llama `svcusco.pe.ehas.org`, en este directorio se encuentra un directorio que se llama `svcusco` que contiene a su vez tres directorios: *fixed*, *stillalive* y *daily* que almacenan los *logs* de cada tipo enviados por el equipo.

`/tmp/ehas-zabbix.log`: archivo de *log* que contiene mensajes sobre tareas realizadas por el sistema de gestión o mensajes de error generados al realizar estas tareas.

`/tmp/procmail.log`: archivo de *log* que contiene información sobre los *logs* enviados por los equipos gestionados que han llegado al gestor.

El sistema de gestión de red basa su funcionamiento en el servicio de correo electrónico de la red gestionada como se explicó anteriormente, entonces se requiere que tanto el gestor como las estaciones envíen y reciban correo electrónico adecuadamente, por tanto hay que configurar:

### a) En `/etc/hosts` comprobar que se encuentre:

```
127.0.0.1    localhost
```

```
Dirección IPnombre host           nombre host.dominio
```

- b) En `/etc/hostname` comprobar que se encuentre el nombre del equipo.
- c) En `/etc/resolv.conf` comprobar que se encuentren las líneas: *search* y *domain* para establecer los DNSs de la red.
- d) En `/etc/bind` realizar la configuración adecuada a la red gestionada para que el servicio de DNS funcione adecuadamente. Al realizar algún cambio se debe ejecutar:

```
/etc/init.d/bind restart
```

- e) En `/etc/postfix/main.cf` realizar la configuración adecuada a la red gestionada para que el servicio de correo *postfix* funcione adecuadamente. Al realizar algún cambio se debe ejecutar:

```
/etc/init.d/postfix restart
```

- f) En `/etc/postfix/transport` realizar la configuración adecuada a la red gestionada para que el servicio de correo *postfix* funcione adecuadamente. Al realizar algún cambio se debe ejecutar:

```
postmap /etc/postfix/transport
```

- g) En `/etc/postfix/relay` realizar la configuración adecuada a la red gestionada para que el servicio de correo *Postfix* funcione adecuadamente. Al realizar algún cambio se debe ejecutar:

```
postmap /etc/postfix/relay
```

### 5.1.6.2. Equipo gestionado

Los equipos gestionados del sistema de gestión de red pueden ser estaciones VHF, HF o enrutadores inalámbricos. Como se dijo anteriormente en este capítulo para su gestión es necesaria la instalación del paquete *ehas-station*. La configuración e instalación del mismo para VHF y HF fue descrita en profundidad en la sección 2.4.2.5. Para enrutadores WiFi se configura igual, simplemente no hay que crear conexiones radio.

### 5.1.7. Funcionalidades del sistema de gestión de redes

A continuación se describen de forma general las funcionalidades que ofrece el sistema de gestión de redes desarrollado. Una explicación más detallada se realiza en el manual de usuario que se encuentra en la siguiente dirección:

<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/ftp/wifi/Zabbix.pdf>

El sistema de gestión puede tener varios usuarios con diferentes permisos. Si el usuario no es administrador tiene acceso a la sección de *Monitorización*, *Gestión de Configuración* y *Reportes*, mientras que si es administrador, además, tiene acceso a la sección de *Configuración*.

La sección de *Configuración* permite configurar el servidor de correo electrónico que se va a utilizar y tener diferentes opciones entre las que se destacan las de adicionar o eliminar distintos elementos del gestor como: las imágenes que se van a utilizar como iconos, los fondos de los mapas,

los usuarios y grupos de ellos, los equipos y sus variables, disparadores de eventos y acciones por eventos. Además, permite modificar las características de algunos de ellos. Para los usuarios se pueden modificar sus permisos, su contraseña, su idioma, las cuentas de correo a las que se pueden mandar las alertas y los períodos de tiempo en que se enviarán. Para los equipos se pueden modificar sus variables, disparadores de eventos y acciones por eventos. Además, permite realizar gráficos con variables de diferentes equipos, configurar colores y tipos de gráficos y realizar mapas, en éstos se pueden ubicar equipos y establecer enlaces entre ellos, que se pueden asociar con un disparador de eventos y según el estado del disparador obtener diferentes colores los cuales sirven para saber si hay o no alarmas en una forma visual. Finalmente, esta sección permite adicionar, modificar o eliminar pantallas en las que se pueden tener gráficos de una o varias variables, tablas de datos y mapas.

Por otro lado, la sección de *Monitorización* permite observar los últimos datos y disparadores de eventos de un grupo de equipos, así como, los datos de una variable en cualquier período de tiempo y además, si son de tipo numérico, su gráfico. Esta sección permite observar los eventos, es decir, los cambios de estado de un disparador de eventos, y además, las acciones (los correos electrónicos enviados por la activación de un disparador de eventos). Adicionalmente, la sección de *Monitorización* permite observar los mapas, gráficos y pantallas configurados, las redes de forma jerárquica, la información de sistema y los *logs* diarios. Finalmente, esta sección presenta la opción de acceder a la sección de control que permite la ejecución de comandos sobre uno o varios equipos con y sin contraseña. En la Figura 5.10 se muestra un gráfico de los bytes transmitidos por la estación Red Cusco Sur durante las 24h previas a la solicitud del gráfico.

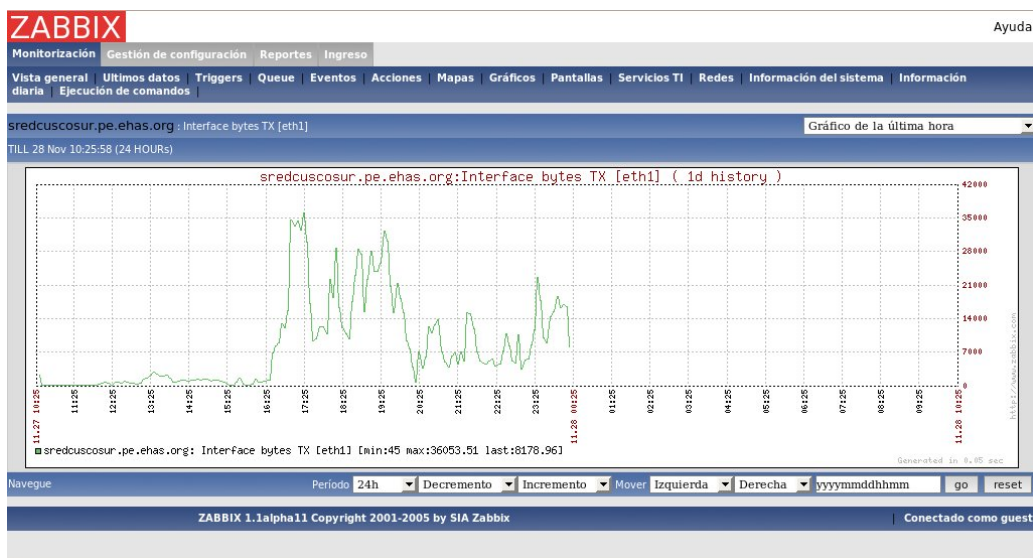


Figura 5.10: Bytes transmitidos en las últimas 24h.

La sección de *Gestión de Configuración* permite tener un inventario de los equipos, ya que permite observar el tipo, nombre, sistema operativo, número serial, etiqueta, dirección **MAC**, *hardware*, *software*, contacto, localidad y notas específicas de cada equipo.

Finalmente, la sección de *Reportes* muestra, entre otras cosas, los estados de los disparadores de eventos tanto en tablas como en gráficos.

## 5.2. Mantenimiento de la red

A parte de tener un *software* que permita conocer el estado de la red en cualquier momento, también es necesario llevar a cabo distintas tareas de mantenimiento para mantener la red funcionando durante la mayor cantidad de tiempo posible. Este mantenimiento puede ser de dos tipos: preventivo y correctivo. El primero, como su propio nombre indica, sirve para prevenir la aparición de problemas y el segundo para solucionar los que, inevitablemente, se presenten. A continuación se describen ambos y se detallan las tareas a llevar a cabo en cada caso.

### 5.2.1. Mantenimiento preventivo

En esta sección se presentan los procedimientos para efectuar un mantenimiento preventivo básico en los equipos instalados, por ello la mayoría de ellas deberían poder ser ejecutadas por los usuarios después de haber sido capacitados para ello (en la sección 6.2 se aporta más información al respecto). Todas las actividades descritas son simples, rápidas y de permanente ejecución. El desatender estas tareas originaría una disminución en la vida útil de los componentes de la red y la aparición de frecuentes fallas que podrían desembocar en problemas de mayor gravedad. Siguiendo con la subdivisión de la red en diferentes subsistemas planteada en 4, en esta sección se describirán las acciones de mantenimiento preventivo que hay que realizar en cada uno de ellos.

#### 5.2.1.1. Subsistema de Telecomunicaciones

El mantenimiento preventivo de este subsistema se basa en verificar el buen estado físico de las conexiones, el deterioro de ellas convergería en un deterioro del nivel de señal recibido.

##### 5.2.1.1.1. Verificación del nivel de señal recibido

Se debe acceder de manera remota al enrutador y ejecutar el comando `iwconfig`, descrito en 3.6.2.3.2 y tomar nota del nivel de señal recibido. Este nivel de señal se debe mantener constante lo cual indica que la señal no se ha degradado, es decir, no hay pérdidas que se hayan incrementado con el paso del tiempo.

##### 5.2.1.1.2. Mantenimiento y limpieza del cableado

Para poder llevar a cabo con mayor precisión y eficiencia las verificaciones anteriores, se debe mantener libre de polvo, hongos, moho, etc. ya que al menos en la parte de los conectores vulcanizados debemos asegurarnos que no existan filtraciones de agua. Debe asegurarse que la antena mantiene los sellos de silicona en los orificios de la antena *Yagi*, pero esta limpieza se debe hacer sin desalinearse la antena.

#### 5.2.1.2. Subsistema de Energía

El mantenimiento preventivo básico para el subsistema de energía se centra en el cuidado y vigilancia del estado de tres elementos: las baterías, el regulador y los paneles solares:

### 5.2.1.2.1. Baterías

Mantener las baterías en buen estado es fundamental para prolongar su vida útil y para el correcto funcionamiento del sistema. Las directivas básicas para el mantenimiento de las baterías se presentan a continuación.

Al inicio de cada semana es necesario realizar una inspección física de las baterías para detectar posibles problemas tales como rajaduras, deformaciones o daños en los cables conectados. Si se detecta algo anormal, el hecho y sus posibles causas se deben registrar y comenzar a tramitar su reemplazo o reparación. En esa misma revisión se debe verificar el nivel del agua de las baterías, siendo su estado normal aproximadamente cuatro centímetros por debajo del borde del orificio destapado, como se muestra en la Figura 5.11. Finalmente se debe revisar si la conexión de los cables se mantiene firme, debiendo reasegurarla si fuese necesario.



Figura 5.11: *Revisión del nivel de líquido en la batería.*

Los bornes de las baterías y los extremos de los cables conectados siempre deben estar cubiertos con vaselina, este elemento debe ser renovado al inicio de cada mes, de forma permanente. El proceso se describe en la imagen de la Figura 5.12

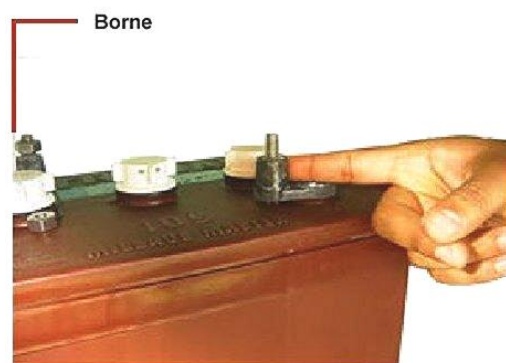


Figura 5.12: *Untar con vaselina los bornes de la batería.*

Llegado el momento, antes del cumplimiento de su tiempo de vida (5 años aproximadamente), se deberá efectuar el reemplazo de las baterías.

A continuación se presenta el procedimiento para efectuar esta actividad en el caso de usar el *Regulador Isofoton Isoler 20*:

- Se apagan todos los equipos encargados de las comunicaciones.

- Se posiciona la llave termomagnética de la carga en posición de apagado (*OFF*) y en el regulador se desconectan los cables que ocupan las posiciones quinta y sexta empezando desde la izquierda.
- En el regulador, se desconecta el cable que va a la bornera *Sensing* del regulador y después se desconectan los cables que van a los paneles solares, estos cables están ubicados en los bornes primero y segundo empezando desde la izquierda.
- En el regulador, se desconectan los cables que van a las baterías, estos cables corresponden a los bornes tercero y cuarto empezando desde la izquierda.
- En el banco de baterías, se desconectan de los bornes los cables que vienen desde el regulador y finalmente el cable que une a ambas baterías.
- Se conecta la batería nueva.

#### 5.2.1.2.2. Paneles solares

Estos elementos no requieren mantenimiento frecuente, es suficiente realizar cada inicio de mes una limpieza de su superficie, por lo que debe adecuarse una escalera tipo tijera o un andamio, evitando apoyar cualquier elemento (como una escalera simple) en sus bordes por riesgo de producir daños en los módulos. Para efectuar la limpieza se debe utilizar agua limpia, sin residuos de tierra o similares y un paño al que se le puede agregar cualquier sustancia apropiada para limpiar vidrios.

#### 5.2.1.2.3. Regulador para instalaciones fotovoltaicas aisladas

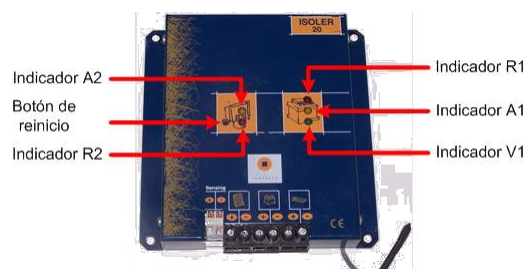


Figura 5.13: Regulador Regulador Isofoton Isoler 20.





Este elemento no requiere, formalmente, un mantenimiento, pero la permanente observación de su estado puede ayudar a evitar problemas mayores. A continuación se describen los dos modelos utilizados.

El modelo *Regulador Isofoton Isoler 20* consta de dos grupos de *leds*, uno destinado al funcionamiento del equipo (amarillo A2 y rojo R2) y el otro destinado a informar sobre el estado de la batería (rojo R1, amarillo A1 y verde V1). Adicionalmente, el regulador dispone de un botón para reiniciarlo en caso de alarmas o fallas.



Amarillo A2: Indica el modo de carga mediante parpadeos cíclicos: uno indica en flotación, dos carga profunda y tres parpadeos indica modo de igualación.



-  Rojo R2: El encendido de esta luz indica la existencia de un problema grave, se debe comunicar la situación de forma urgente y apagar los equipos en uso.
-  Rojo R1: El encendido de esta luz indica que la batería tiene baja carga, apagar los equipos durante el resto del día. Luego se procederá a pulsar el botón de reinicio (*RESET*). Si persiste, existe un fallo con el subsistema eléctrico que debe reportarse al instalador.
-  Amarillo A1: La oscilación de esta luz indica que las baterías están cerca de la media carga, debe reducirse el consumo para evitar su descarga.
-  Verde V1: El parpadeo de esta luz indica estado próximo a plena carga de las baterías, quedando fijo en caso de que el regulador se desacople el sistema de alimentación.





Además, debe tenerse en cuenta que el terminal negativo del punto de conexión *Sensing* siempre debe estar bloqueado mientras que su terminal positivo siempre debe estar conectado al polo positivo de la bornera de la batería.

Las alarmas típicas son de cortocircuito (se iluminan los indicadores R2 y A2) y de sobre tensión en la batería (se iluminan los indicadores R2, V1, A1 y R1). En el primer caso, se debe pulsar el botón *RESET*, pero el segundo caso indica un mal funcionamiento del equipo, por lo que se deberá comenzar a gestionar su reemplazo lo antes posible.

Para el regulador solar *Ener10 de Total Energie*, que se muestra en la Figura 5.14, se recomienda la verificación del cableado: cada cable debe estar correctamente conectado en su respectiva bornera (verificación de continuidad) y si es necesario, se debe ajustar nuevamente. Debe tenerse siempre en cuenta la polaridad y evitar contactos entre cables de distintas polaridades. Los cables de color rojo siempre corresponden a la polaridad positiva y los cables de color negro o azul corresponden a la polaridad negativa; excepto en el caso de la batería. El controlador solar indica por medio de un *led* el estado de funcionamiento de este subsistema. A continuación se describen los distintos significados de estos *leds*.



Figura 5.14: Indicadores del funcionamiento del controlador.

-  Verde parpadeando: Los paneles están alimentando de corriente al sistema, por lo que la batería se está cargando.
-  Verde encendido: La batería está totalmente cargada. Indica que todo está bien, el sistema está cargado.
-  Amarillo parpadeando. La batería está con baja carga y hay riesgo de cortarse el suministro. Se recomienda desactivar los equipos.
-  Rojo parpadeando: La batería está totalmente descargada y no hay suministro, la energía regresará cuando se cargue la batería.



Rojo encendido: Sobrecarga o corocircuito. Revisar todo en busca de cortocircuitos y revisar las cargas por si existe un exceso de consumo.

#### 5.2.1.2.4. Medición de voltaje en los elementos del sistema

Los principales parámetros que deben medirse al realizar una visita de mantenimiento preventivo son los voltajes de los tres pares de bornes del regulador y el voltaje de salida del inversor. Para efectuar las mediciones de voltaje es necesario disponer de un multímetro.

- Medición de voltajes en el regulador:
  - Los bornes del regulador se miden dos a dos de acuerdo a los dispositivos que van conectados.
  - Observando el regulador de frente se tiene desde el extremo izquierdo: Borne negativo y luego borne positivo de los paneles solares; borne negativo y luego borne positivo de las baterías y finalmente borne negativo y luego borne positivo de las cargas.
  - Entre cada pareja de bornes es necesario efectuar la medición, debiendo medirse los bornes de la carga tanto con la llave termo magnética en posición de encendido como de apagado, registrándose los resultados obtenidos.
  - Para efectuar estas medidas debe recordarse que todos son valores de voltaje continuo con niveles que no superan los 20 V.
  - Valores típicos a obtener son: paneles solares entre 14 y 18 V; baterías entre 12 y 13.7 V y la carga entre 12 y 13.5 V.
- Medición de voltaje en el inversor:
  - Antes de efectuar la medición es necesario apagar la impresora y el monitor de la computadora y desenchufarlos del tomacorriente.
  - Es suficiente encender o mantener encendido el inversor y medir el voltaje en cualquiera de las salidas del tomacorriente. El voltaje que debe verse en la pantalla es 110 voltios. Debe recordarse que este es un valor de voltaje alterno, por lo que es necesario seleccionar adecuadamente la escala en el multímetro.
  - La lectura tomada debe ser registrada.

#### 5.2.1.3. Subsistema de Protección Eléctrica

El mantenimiento preventivo del sistema de puesta a tierra consiste en asegurar una firme conexión de los cables que llegan a la barra máster y además realizar una periódica humidificación de los pozos **PAT**. Esta actividad se realiza al inicio de cada mes y consiste en verter agua con sal en la boca del pozo o a lo largo del mismo según sea del tipo vertical u horizontal respectivamente. Es suficiente el vertido de 30 l de agua (aproximadamente cuatro baldes comunes) en temporada de lluvia y 60 l de agua (aproximadamente ocho baldes comunes) en temporada seca. El pozo **PAT** (sea para el pararrayos o para los equipos) debe mantener la resistencia inicial (en las estaciones finales debe mantener los  $10\Omega$  y en los repetidores no debe pasar de los  $15\Omega$ )

Además, donde se cuenta con corriente alterna (220-250 V) en caso de cortes inesperados del suministro el fusible del estabilizador (4A) podría quemarse, por lo que se debe verificar esta posibilidad. Tener siempre un suministro de fusibles, son muy baratos.

#### 5.2.1.4. Subsistema de Infraestructura

El mantenimiento preventivo básico de la infraestructura metálica instalada se reduce a la inspección, al inicio de cada mes, del estado de la ferretería de sujeción de los vientos y del estado general de las bases de concreto, la torre y el soporte de los paneles, en busca de posibles deterioros o daños que puedan haberse producido de forma inesperada o por antigüedad. Durante esas inspecciones es necesario untar con grasa de uso automotriz la ferretería de los vientos, para retardar la corrosión de esos elementos. Además se debe verificar el estado del tendido del cable del pararrayos y el adecuado templado de los cables de acero que constituyen los vientos de las torres, si se detectan deficiencias en este último caso, se debe comunicar las mismas a los responsables de mantenimiento de la red.



Figura 5.15: *Ferretería de sujeción de vientos de torre.*

## 5.2.2. Mantenimiento correctivo

### 5.2.2.1. Consideraciones generales

El mantenimiento correctivo atiende fallas que se han producido en la red y por tanto, uno de los parámetros más importantes para su evaluación es el tiempo de respuesta ante fallos. Sin embargo, debido a la complejidad de los sistemas instalados, es conveniente simplificar al máximo el proceso de atención de averías mediante la disposición de un adecuado grupo de repuestos que permitan agilizar la reposición de los servicios que hubiesen podido sufrir cortes o deterioros.

Por otro lado, si bien las fallas tienen un carácter aleatorio, la experiencia permite prever la ocurrencia de algunas circunstancias que, a su vez, deriven en la aparición de averías en la red, así como detectar de forma rápida y certera el origen real de las mismas.

### 5.2.2.2. Fallas típicas en el Subsistema de Telecomunicaciones de redes *WiFi*

En el caso de la red *WiFi*, ésta es la base para que los distintos servicios implementados funcionen adecuadamente, por lo que, en caso de fallas, se debe verificar, en principio, si la red está funcionando.

#### 5.2.2.2.1. Comprobar la conexión

Esto se logra ejecutando el comando `ping` descrito en 3.6.2.5.1 hacia los equipos que conforman el tramo de red para la estación final o el repetidor en la que se presente el problema. Para hacer `ping` se necesita abrir un terminal de comandos (puede ser en cualquier **S.O.** *GNU/Linux* o *Windows*) escribir el comando `ping` seguido de la dirección **IP** de la estación remota y observar el resultado (si no se detiene la ejecución del comando se presionan las teclas `< CtrlyC >`):

```
node@node-station: $ ping 192.168.1.27
```

Si se verifica que no hay acceso a la red, se debe revisar el cableado, es decir, revisar las conexiones del cable de red de los equipos y verificar que estén bien sujetos. Se deben verificar los cables de red y de telefonía especialmente si están firmemente conectados. Además habrá que comprobar la configuración de red de los equipos, descrita en los apartados de especificaciones software de las tecnologías presentadas.

#### 5.2.2.2.2. Comprobaciones para telefonía **IP**

La Telefonía **IP** es una aplicación más de la red *WiFi*, por lo que primeramente se debe verificar la red y ver si los equipos involucrados (prueba del `ping`) están en red o no. De esta forma se sabrá si la red está activa o no hay conexión en algún tramo. Teniendo en cuenta lo anterior se deben realizar las pruebas de llamada. En el caso que la red esté activa y no así el servicio de telefonía, se debe verificar la configuración de botones del teléfono, el cual debe dar tono de marcado si se encuentra conectado al **ATA**: si no hay tono se debe revisar el cable telefónico que los une en ambos extremos, si existe tono pero no se dispone del servicio la primera opción es reiniciar el **ATA**, es decir apagarlo y luego encenderlo. Para ello, se debe apagar y encender el estabilizador (asegurándose que la computadora se encuentre apagada) después de 2 minutos se debe verificar el tono y realizar una llamada de prueba. En caso de que no haya servicio hay que verificar que los *leds* del **ATA**, como se explicó en la sección 3.5.1.4.1, porque podría existir un problema con el servidor *asterisk*.

#### 5.2.2.2.3. Verificación de la conexión de alimentación de los equipos

Después de asegurarse que el voltaje de las borneras, y por lo tanto el de alimentación, es el adecuado, verifique que el cable de alimentación esté bien conectado al enrutador y al **ATA**.

#### 5.2.2.2.4. Verificación del funcionamiento de *asterisk*

Los servidores *asterisk* pueden estar en funcionamiento durante meses, pero cada cierto tiempo (por ejemplo, semanalmente) se debe estar monitorear si están activos o no. Para iniciar el servicio de *asterisk* deber escribir:

```
Soekris:/# asterisk
```

estando en modo demonio, y se observa si *asterisk* está activo con:

Soekris:/# ps -le | grep asterisk. Si está funcionando debe aparecer una o varias líneas con la palabra *asterisk*, como se muestra a continuación:

```
Soekris:/# ps -le | grep asterisk
5 S      0 11578      1 0      79      0 - 11333 -
? 00:43:25: asterisk
```

*asterisk* posee una un interfaz de comandos para su administración (CLI). Para acceder a ésta hay que escribir:

```
yuri:/# asterisk -vvvvr
```

Y suponiendo que *asterisk* está corriendo, deberá aparecer:

```
yuri:/# == Parsing '/etc/asterisk/asterisk.conf': Found
== Parsing '/etc/asterisk/extconfig.conf': Found
Asterisk 1.0.7-BR1stuffed-0.2.0-RC7k,
Copyright (C) 1999-2004 Digium.
Written by Mark Spencer <markster@digium.com>
Connected to Asterisk 1.0.7-BR1stuffed-0.2.0-RC7k
currently running on yuri (pid = 3705)
Verbosity was 0 and is now 5
yuri*CLI>
```

Dentro de la CLI existen diversos comandos que se pueden observar escribiendo *help*; por ejemplo, para recargar *asterisk* se escribe CLI >reload o teclear:

```
yuri:/# asterisk -rx "reload"
```

Es probable que *asterisk* no se ejecute al hacer # *asterisk* por lo cual se debe comprobar si está corriendo o no. Para ello ejecutar # *asterisk -vvvvc* (e iniciar *asterisk* con CLI), con esto se observará que módulo o archivo está dando problemas. Si no hay problemas se ingresará directamente al CLI (aparecerá CLI >). Para salir del CLI >, es necesario escribir *stop now* para detener *asterisk*, y después ejecutar *asterisk* en modo demonio, como se explicó anteriormente.

Si el servidor *asterisk* que administra un ATA respectivo no está en funcionamiento, es probable que el led del ATA (después de reiniciarlo o simplemente encenderlo) muestre el color rojo parpadeando lentamente. Cuando *asterisk* está en funcionamiento el color rojo debe desaparecer (*asterisk* registró al ATA), si continua el ATA mostrando este color, se debe revisar su configuración (verificar si el ATA está en la red, hacer ping, etc).

### 5.2.2.3. Fallas típicas en el Subsistema de Telecomunicaciones de redes VHF/HF

En el caso de la red VHF/HF se pueden presentar distintas fallas, se presentan en la Tabla 5.2.2.3, junto con sus posibles soluciones.

Síntoma	Problema	Solución
La radio se recalienta demasiado.	El cable coaxial está mal conectado a la radio.	Desconectar el cable coaxial de la radio y volver a conectar con cuidado.
	Los conectores de la antena están húmedos.	Desconectar la antena, secar los conectores, volver a conectar.
La radio se recalienta demasiado.	El cable coaxial está quebrado.	Cambiar el cable coaxial.
	El cable coaxial está pelado.	Poner cinta vulcanizante y/o aislante.
	El protector de línea está defectuoso.	Reemplazar el protector de línea.
La radio se mantiene en el estado de transmisión.	La radio está bloqueada.	Apagar la radio y volver a encender después de unos minutos.
Hay interferencias en la comunicación	Hay algún transmisor instalado en la comunidad.	Informar al encargado de mantenimiento.

### 5.2.2.3.1. phonepatch

Si hay problemas con `phonepatch` puede comprobar que los tonos estén llegando al servidor `phonepatch` como se indica a continuación:

```
yuri:/# killall asterisk-phonepatch
yuri:/# asterisk-phonepatch
using default phonepatch: phonepatch1
phonepatch[daemon]-create_pidfile:/var/run/asterisk/phonepatch1.pid
phonepatch[daemon]-getconf:ctcss_decoder_mintime not defined,
    default returned:0.0
phonepatch[daemon]-getconf:carrier_threshold_signal not defined,
    default returned:0.1
phonepatch[daemon]-getconf:carrier_tail_time not defined,
    default returned: 1.0
phonepatch[daemon]-getconf:carrier_max_time not defined,
    default returned: 30.0
phonepatch[daemon]-getconf:carrier_wait_time not defined,
    default returned: 5.0
radio - soundcard fragment size: 512 bytes
radio - new carrier state: off radio - set PTT: off
phonepatch[daemon]-open_radio:soundcard opened: /dev/dsp (8000 sps)
phonepatch[daemon]-open_radio:radio control opened: serial:/dev/ttyUSB0
phonepatch[daemon]-loop_daemon:waiting askfortone DTMF button: *
radio - new carrier state: on
```

Aquí el programa esperará, si teclea algún dígito (presionando cualquier botón del **PTT**) debe aparecer radio - new carrier state: on y si no lo mismo pero con off, continuando a la espera.

Para salir de este modo, presionar  $\langle CTRL + C \rangle$  y ejecutar asterisk-phonepatch de la siguiente forma:

```
yuri:/# /etc/init.d/asterisk-phonepatch start
```

#### 5.2.2.4. Detección de fallas comunes en el resto de subsistemas

A continuación se presentan algunas fallas comunes que se han detectado durante el uso de las redes desplegadas por GTR-PUCP.

Síntoma	Problema	Solución
No enciende ningún equipo.	El interruptor del tablero de energía está apagado.	Poner en estado de encendido el interruptor termo magnético del tablero de energía.
	El cable de conexión en el tablero de energía está desconectado o flojo.	Poner en estado de apagado el interruptor del tablero de energía, ajustar los pernos de los cables de alimentación del tablero de energía y volverlo a poner en estado de encendido.
No enciende ningún equipo.	Las luces del regulador están en rojo.	Poner en estado de apagado el interruptor del tablero de energía. Verificar si hay algún cable que hace falso contacto, aislar el cable, luego presionar el botón "reset" del regulador y volver a poner en estado de encendido el interruptor del tablero de energía. Informar al encargado de mantenimiento.
	No enciende ninguna luz del regulador.	Revisar si los cables del tablero de energía están bien conectados al regulador.
	Ha caído un rayo.	Informar al encargado de mantenimiento.
No enciende la computadora.	El interruptor que está en la parte posterior de la <b>CPU</b> está en estado de apagado.	Poner en estado de encendido el interruptor de la <b>CPU</b> .
	El fusible está quemado.	Cambiar fusible de la <b>CPU</b> .
	Se ha movido el cable de alimentación.	Ajustar bien el cable de alimentación de la <b>CPU</b> .
	El cable de alimentación está dañado.	Informar al encargado de mantenimiento.
	La batería está baja	Esperar que la batería se cargue



Se enciende la computadora pero no carga el sistema operativo.	El disco duro está dañado.	Informar al encargado de mantenimiento.
No enciende el monitor	El inversor está apagado.	Encender el inversor.
	En el inversor se enciende una luz roja.	Esperar que se cargue la batería.
	El cable de alimentación del monitor está desconectado.	Conectar el cable de alimentación del inversor.
Se oscurece el monitor después de un tiempo de funcionamiento.	El monitor se ha calentado demasiado.	Apagar el monitor, esperar a que se enfríe, encender y bajar el nivel de brillo del monitor por de bajo de 50
No se pueden enviar ni recibir correos.	Está desconfigurado el programa de correos.	Informar al encargado de mantenimiento.
	No hay enlace con el servidor.	Comunicar al encargado de mantenimiento
No enciende la impresora.	El cable de alimentación está flojo o suelto.	Conectar bien el cable de alimentación de la impresora.
	El inversor está apagado.	Encender el inversor.
No enciende la luminaria.	Está quemada la luminaria.	Reemplazar la luminaria.
Se escucha entrecortado la comunicación.	Las baterías están bajas.	Esperar que se carguen bien.
	Saturación del enlace	Esperar algunos minutos a que disminuya el tráfico en la red.
Las baterías no se cargan lo suficiente.	El nivel de líquido de las baterías no es el apropiado.	Agregar agua destilada a las baterías y esperar que se carguen.
	Los paneles están sucios.	Limpiar los paneles con mucho cuidado.
	Están sulfatados los bornes de la batería.	Limpiar los bornes de la batería ajustar bien y agregarle vaselina.
Se ha quedado colgada o bloqueada la computadora	El cable de red está desconectado o flojo	Asegurar que el cable de red esté conectado correctamente con el enrutador.
	Se activa el protector de pantallas	Ingresar el nombre de usuario y clave.



## 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 (especialmente de telecomunicaciones) es una característica específica de los entornos rurales de países en vías de desarrollo. En este contexto, todas las iniciativas para generalizar 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 los beneficios o prestaciones a través del tiempo para hacer sostenible el aporte realizado. Cabe señalar que, tanto para las iniciativas mencionadas como en 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 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 proporción a la hostilidad del medio geográfico y al aislamiento del entorno socio cultural en el que se despliega.

Por otro lado, si bien es lógico 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 y la existencia de una voluntad política para hacer cumplir los nuevos procesos y 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 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 la situación global del país (realidad socio-cultural y económica) y por tanto, es un tema bastante complejo, se plantea aquí un análisis que identifica cinco aspectos interrelacionados y complementarios entre sí, como forma de comprender esta realidad. 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 o 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 implementadas, lo que depende directamente de la identidad de los beneficiarios. En el caso de instituciones públicas se hace necesario un proceso formal para considerar en su presupuesto los gastos previstos para la red (recursos humanos, actividades, repuestos), sin embargo, es muy probable que solo una parte del monto global pueda ser realmente asumido por las mismas. Este es un importante tema a considerar durante las formulaciones de proyectos.

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. Este es el caso en el que más posibilidades se tiene para asegurar un respaldo económico, lo que pasa, previamente, por una negociación con esa entidad con el fin de lograr los acuerdos que sean necesarios.

Una segunda e importante característica de los Proyectos de implementación de redes (que deviene en una debilidad si no son adecuadamente formulados) 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.

Finalmente, el costo del equipamiento utilizado y el de su mantenimiento, es un factor que debe ser tomado en cuenta al momento de formular el proyecto y definir el presupuesto para evaluar su viabilidad real a futuro.

En la experiencia del GTR-PUCP el beneficiario ha sido generalmente una institución pública (el Ministerio de Salud (MINSA)) y la orientación de los proyectos desarrollados, en colaboración con organizaciones socias, ha sido la de basar la solución en sistemas abiertos y *software libre*.

### 6.1.2. Aspecto Tecnológico

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, por lo que es necesario atender a un tema importante: En las zonas rurales casi no existen recursos humanos preparados para asimilar adecuadamente los conocimientos necesarios para realizar una efectiva transferencia tecnológica. Dependiendo del caso, 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 el cual debe ser adquirido durante la ejecución del proyecto.

Es especialmente importante para la sostenibilidad de las redes que la tecnología empleada disponga de soporte en el mercado local, tanto en el tema de repuestos como en el de servicios, lo cual reduce el espectro de posibles soluciones tecnológicas y dificulta los procesos de mantenimiento, expansión o réplica de la experiencia.

Un aspecto adicional a tener en consideración, en algunos casos, es la posible fragilidad de las soluciones frente al medio en el que se instala. Dependiendo de la coherencia de la formulación, de las características del grupo beneficiario y de la robustez de la solución, éste puede ser un factor determinante para la viabilidad en el tiempo del proyecto o iniciativa ejecutada: definitivamente no es el mismo tratamiento el requerido para instalaciones en zonas montañosas de gran altura que en entornos de selva tropical húmeda. En estos casos, el entorno puede incluir al factor humano, pues está comprobado que un elevado porcentaje de fallas en sistemas de telecomunicaciones se originan justamente en la actividad de los usuarios.

### 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 las comunicaciones (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.

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 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 institucional como a nivel personal.

Si el beneficiario lo constituye una comunidad o parte de la misma, hay aspectos importantes a tener en cuenta como por ejemplo sus características culturales y como las mismas influirán en la participación de los miembros en el uso de los sistemas o servicios implementados. Es similar el caso de las organizaciones sociales de base comunitaria las cuales no suelen tener propensión para

articularse adecuadamente con otras organizaciones similares que se encuentren dentro del ámbito del proyecto.

Un último punto a considerar es que poco a poco 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, no siendo 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 prolongado.

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**.

#### 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 expectativa de colaboración y participación de las instituciones locales en la ejecución de los mismos, dependiendo de sus objetivos, envergadura y del espacio tecnológico y social en el que se piense intervenir.

#### 6.1.5. Aspecto Normativo

Finalmente, es posible mencionar que en algunos contextos, es necesario considerar un aspecto adicional que es el 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 pasa por la subvención permanente, semi-permanente o periódica de los recursos necesarios para asegurar la correcta operación de la red instalada, para lo cual se requiere que la organización que implementa la iniciativa o proyecto disponga de los recursos (básicamente económicos) necesarios para este fin o que los obtenga en forma regular de la misma o diversas fuentes. La opción alternativa es conseguir que sean los beneficiarios directamente los que, en el corto, mediano o incluso largo plazo, asuman o contraten las actividades requeridas y provean de los recursos necesarios para las mismas, directamente o mediante convenios de colaboración. En este caso, las redes serían, efectivamente, autosostenibles, lo cual es el objetivo último y más importante a conseguir.

Dentro del primer esquema, el apoyo del gobierno (local, regional o central), de una institución pública o de una organización privada con presupuesto permanente 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.

El segundo esquema es el más frecuente para proyectos o iniciativas que implementan redes inalámbricas y es por esto que, generalmente, los beneficiarios son instituciones u organizaciones sociales sólidas y con cierta trayectoria. 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.

Según lo anterior se presentan, a continuación, un conjunto de estrategias de gestión, identificadas y aplicadas en la experiencia que el GTR-PUCP ha tenido en el marco de los proyectos del Programa EHAS. Dichas estrategias, bien podrían ser tomadas en cuenta para la ejecución de iniciativas o proyectos que impliquen el despliegue de redes inalámbricas en entornos rurales, siempre en la consideración que no se pretende agotar, con esto, las posibles alternativas 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 en tres aspectos específicos: sostenibilidad técnica (transferencia tecnológica) sostenibilidad económica y sostenibilidad administrativa.

### **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 refiere no solamente participación en los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo, sino también actividades de capacitación y asesoría en la adaptación de la organización beneficiaria a las nuevas posibilidades y servicios ofrecidos por las redes implementadas, es decir, tiene como fin último garantizar una adecuada transferencia tecnológica hacia los beneficiarios. Lamentablemente, es poco frecuente que en los proyectos sea considerada esta estrategia, debido al relativamente breve periodo de tiempo 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 propuso en dos años. Según esto, es fundamental prever y disponer del fondo financiero y del recurso humano requeridos para tal fin.

Para el periodo de acompañamiento tecnológico deben definirse, desde la formulación, las actividades necesarias según el modelo a aplicar y un presupuesto global anualizado que defina un estimado de inversión. 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 de los técnicos en mantenimiento. 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, se requiere prever personal y recursos para este fin. Los procedimientos a seguir para estas atenciones deben ser formalizados y documentados.

#### **Reforzamientos en la capacitación a usuarios.**

Resulta conveniente efectuar charlas de reforzamiento a los usuarios de los sistemas instalados en forma periódica, manteniendo 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 muy conveniente que se mantenga un vínculo durante y aún después del periodo de acompañamiento. Los medios para la absolución de consultas podrían ser vía telefónica o correo electrónico o incluso en banda HF, dependiendo de las características de la solución implementada.

## **2. Elaboración y ejecución de un plan de capacitación permanente**

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 capacitación debería tener la característica de permanente en el sentido que se extendería, al menos, durante el plazo de ejecución del proyecto o de implementación de la red, pues está demostrado que es bajo el aprovechamiento en cursos aislados que no tienen reforzamientos posteriores, mas aún en casos en los que los beneficiarios no tienen conocimiento previo de TIC o sistemas informáticos. Además, resulta conveniente entregar material impreso y/o en medios digitales para que sirva como apoyo en la ejecución de las actividades que realizarán tanto los usuarios como los técnicos de mantenimiento (de ser el caso)

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 encargarse de esta actividad. Teniendo en cuenta 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 a lo mencionado, 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.

Finalmente, dependiendo de las características del proyecto o iniciativa, puede ser pertinente la identificación y capacitación de personal local que asuma la responsabilidad de replicar la formación recibida a nuevos grupos de usuarios, lo que haría, efectivamente, permanente el proceso de aprendizaje del conjunto de personas que forman la organización o colectivo beneficiario.

En el caso de los proyectos implementados por el GTR-PUCP, se ha dado mucha importancia a este aspecto, 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, al interior del GTR-PUCP, se siguen efectuando investigaciones y pruebas con el fin de agregar nuevas herramientas para el aprendizaje de los usuarios y su asesoría posterior. Actualmente, estas investigaciones pasan por la implementación de un servidor *moodle* disponible para los usuarios de las redes implementadas, el uso de tutoriales audiovisuales e interactivos y otros desarrollos (más básicos) para el caso de redes de menores prestaciones (VHF/HF).

### 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. Sería muy importante si se disponen del tiempo y recursos necesarios para asesorar y monitorizar este proceso al menos al inicio.

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 operatividad 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 han definido 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 la tabla siguiente se muestran los objetivos definidos:

SERVICIO	INDICADOR	META ANUAL
Voz	Operatividad (de la Red)	95 %
	Disponibilidad (por establecimiento)	90 %
Datos	Operatividad (de la Red)	85 %
	Disponibilidad (por establecimiento)	85 %

- Incidencia de averías: se estableció un indicador denominado Tasa de Incidencia de Averías (TIA) el cual se define como la relación (en porcentaje) entre la cantidad de averías ocurridas en la red respecto a la cantidad de sistemas instalados y es evaluada en forma trimestral y anual:

ÍNDICE MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TRIMESTRAL	META ANUAL
TIA Global de la Red	<15 %	<25 %

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 de la red. Un ejemplo de este tipo de plataforma es el sistema de gestión implementado para las redes instaladas en el marco del Proyecto PAMAFRO, el cual ya ha sido mencionado anteriormente (<http://pamafro.ehas.org/>)

#### 4. **Promoción y 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 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 contemplar una serie de actividades:

##### **Identificación de posibles soluciones y fuentes de financiamiento.**

Esta actividad se inicia en etapas previas del proyecto y busca su concreción luego de la instalación y puesta en operación de los sistemas. Mediante un análisis de las realidades existentes 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 presentan dos cuadros en los que se muestran los resúmenes de los presupuestos sobre mantenimiento preventivo y correctivo elaborados para la Red EHAS ALIS (2005) desplegada en Cusco. Solo es necesario hacer dos consideraciones:

- El presupuesto previsto para cumplir con las actividades de mantenimiento preventivo de la Red ha sido calculado en base de los costos estimados para los materiales con tiempo de vida menor o igual a quince años y para los desplazamientos del personal necesarios para las visitas a todas las estaciones finales y repetidores.
- El presupuesto previsto para cumplir con las actividades de mantenimiento correctivo de la Red ha sido calculado en base de los costos estimados para los materiales considerados de importancia crítica o equipos activos con posibilidad de falla y para los desplazamientos de personal que se requiera.

ITEM	GASTOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MONTO ANUAL
1	Materiales y equipos	3681.88
2	Desplazamientos (10 viajes desde Cusco hasta Pillpinto, 15 galones ida y vuelta)	18000.00
3	Viáticos del personal de RedSur (10 viajes/2 personas/10 días al año)	1400.00
4	Viáticos técnicos de apoyo (10 viajes/1 persona/20 días al año)	1400.00
5	Herramientas (renovación trienal)	1116.67
	<b>TOTAL</b>	<b>9398.54</b>

ITEM	GASTOS MANTENIMIENTO CORRECTIVO	MONTO ANUAL
1	Equipos	4226.75
2	Desplazamientos (1 viaje mensual, 10 galones por viaje)	1440.00
3	Viáticos del personal de Cusco (2 personas/24 días al año cada una)	3360.00
	<b>TOTAL</b>	<b>9026.75</b>

**Coordinación con beneficiarios directos e indirectos.**

Los objetivos son, primero, sensibilizar a las autoridades de la organización o colectivo respecto al tema de mantenimiento de la red y, en segundo lugar, proponer y suscribir (de ser posible) acuerdos o convenios que materialicen el compromiso que llegase a ser expresado. Para esto se deberían efectuar reuniones de coordinación con todos los actores locales beneficiarios del sistema. En este ámbito será en el que se defina el modelo a tomar para la sostenibilidad económica de la red.

**Coordinación con otras instituciones (de ser el caso).**

De ser viable o requerirse, 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 falencia común en las zonas rurales es la falta de recursos humanos con el conocimiento suficiente para realizar las actividades técnicas requeridas en el mantenimiento de las redes, a pesar de que se puedan efectuar cursos de capacitación. Por este motivo, resulta de gran importancia la identificación de instituciones tecnológicas de educación superior o empresas privadas, dedicadas al rubro de telecomunicaciones, que cuenten con ese conocimiento y que tengan el interés (pedagógico, científico o comercial) de participar en esas actividades. A continuación, se presentan las actividades generales orientadas a gestionar (y en lo posible a concretar) los convenios de colaboración referidos:

- En primera instancia, se identifican como posibles instituciones colaboradoras a universidades o institutos superiores con carreras referidas a las **TIC** o pequeñas y 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 establecer, 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 con el mismo inicio del proyecto.

## 6. Promoción del uso de los sistemas en actividades y procesos propios del beneficiario

Desde el punto de vista de la sostenibilidad y vigencia en el tiempo 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 toda la tecnología instalada: 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 HF con los correspondientes en VHF o WiFi. Se hace mención a esta característica puesto que la experiencia indica que, en primera instancia, el servicio de voz es el más utilizado, visto, además, por los usuarios como de importancia crítica por lo que seguramente comunicarían en caso de fallos y 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 el caso de GTR-PUCP, se previó que los sistemas de comunicación de voz y datos podrían ser usados intensamente en varios de los procesos clínicos y 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.
- Sistemas de telemedicina.
- Sistema de telefonía para redes **VHF**.
- Sistema de Referencia y Contrarreferencia.
- Asesoría especializada según nivel de complejidad y capacitación del personal en temas médicos.

#### **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 el desarrollo y la integración de las zonas rurales, 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 establecer redes sostenibles (o auto sostenibles).

Una segunda conclusión es que la identificación de los beneficiarios con los objetivos del proyecto o iniciativa 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 y no asumen un compromiso real respecto a su uso y cuidado, el aporte 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 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.



## Ejemplo de redes desplegadas

En el presente capítulo se detallan 3 redes instaladas por GTR-PUCP, como ejemplo de aplicación de los capítulos previos. Ellas tres fueron realizadas en el marco del Programa EHAS, y sirven para el desarrollo de servicios de formación a distancia y mejora de los procesos de vigilancia epidemiológica, gestión de medicamentos y transferencia de pacientes

En la actualidad, GTR-PUCP a través de todos sus proyectos ejecutados ha logrado conectar al exterior a alrededor de 100 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 7.2. 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 7.3. 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 SIDA, 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 el departamento Cusco, en las provincias de Quispicanchi y Acomayo, en las cuales se instaló una red Wifi que se detalla en la sección 7.1. En este escenario, el acceso es por carretera, muchísimo más fácil que el anterior caso. 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.

Este último proyecto 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](http://ec.europa.eu/europeaid/where/latin-america/regional-cooperation/alis/index_en.htm)).

## 7.1. Red EHAS-@LIS

### 7.1.1. Descripción general de la red

La red EHAS-@LIS implementada Cusco interconecta a 12 establecimientos de salud del **MINSA** ubicados en las provincias de Quispicanchi y Acomayo con la Red de Servicios Cusco Sur y el Hospital Regional del Cusco 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 Cusco | 7. Pomacanchi |
| 2. Urcos         | 8. Marcaconga |
| 3. Urcos         | 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 Cusco mediante la instalación de una computadora, a través del repetidor allí instalado, ver Figura 7.1.

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 Cusco (Red de Servicios Cusco Sur y teléfono **IP** del Hospital)
2. Josjojahuarina1 (Ccatca y Kcauri)
3. Josjojahuarina2 (Urcos)
4. Huiracochan (Urcos)
5. Don Juan
6. Laykatuyoc (Pomacanchi, Acopia, Marcaconga y Sangrará)

## 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 7.1, donde además aparecen otros detalles que se comentaran a lo largo de esta sección, como los canales elegidos o la velocidad de éstos.

### 7.1.2. 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.

Una vez hecho todo ese trabajo previo se pudo simular la que sería la red definitiva. En la Figura 7.2 ve el diseño simulado en el entorno de *Radio Mobile*, con mapas digitales de la zona incluidos.

#### 7.1.2.1. 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.





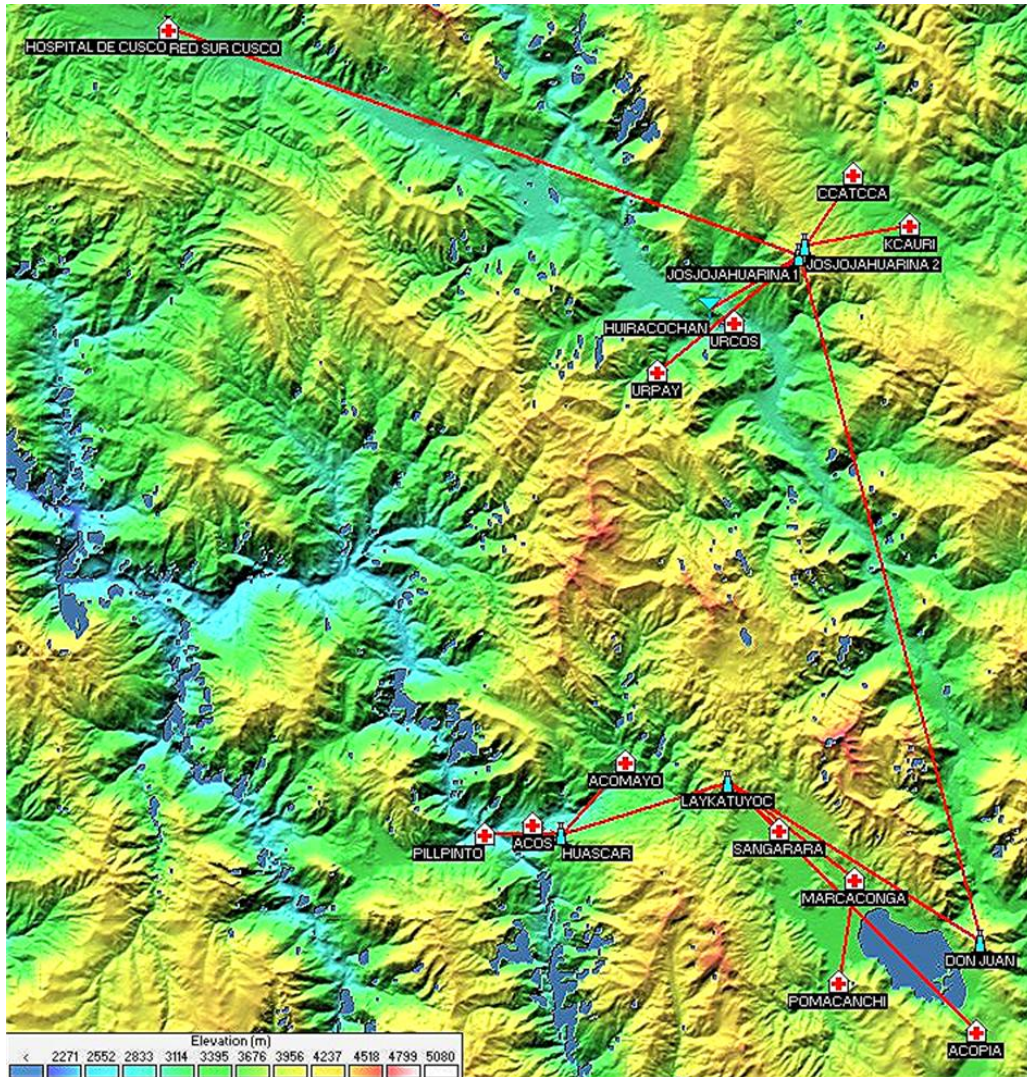


Figura 7.2: *Diseño Radio Mobile.*

- 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 de enrutamiento y mejor control de restricciones y accesos. También permite ampliaciones del sistema de direccionamiento sin afectar a la configuración establecida.

La configuración de las interfaces y la construcción de las tablas de rutas se realizó utilizando los comandos descritos en la sección 3.6.2.3.

A continuación se recoge el plan de direccionamiento seguido en la red:

Puestos de Salud (interfaces cableadas):

PUESTOS DE SALUD	SOEKRIS		EQUIPOS FINALES	
	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 DE SALUD	SOEKRIK	
	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	SOEKRIK		EQUIPOS FINALES
	eth0	eth1	
			ATA
Hospital Cusco	192.168.51.2		
	192.168.51.1	192.168.51.129	192.168.51.130
Josjojahuarina 1	192.168.52.2	192.168.58.1	
	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	SOEKRIK		
	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

### 7.1.2.2. Características de los enlaces

En la Figura 7.1 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 7.1, 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.

### 7.1.3. 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.

#### 7.1.4. Descripción de las estaciones

En esta sección se describe con detalle las estaciones y los repetidores que conforman esta red. El estudio se realiza a partir de los diferentes subsistemas que conforman cada nodo: infraestructura, telecomunicaciones, seguridad eléctrica y energía.

##### 7.1.4.1. 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.

##### 7.1.4.1.1. 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 7.3, 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 línea entre ATA y el teléfono analógico.

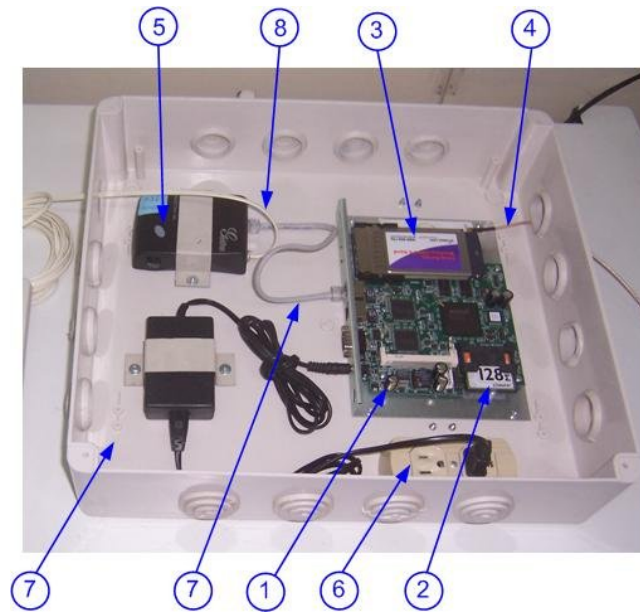


Figura 7.3: Caja Interior de Telecomunicaciones.

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, se 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.

### 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 panel *HG5819P* de 19 dBi.

El 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.

#### 7.1.4.1.2. 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 m<sup>2</sup> y un ángulo de 45 grados. El pararrayos tetrapuntal está conectado al pozo **PAT** mediante un cable de cobre desnudo de 50mm<sup>2</sup> 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 línea 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.

#### 7.1.4.1.3. 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 `eth0` de la placa *Soekris* (caja interior de telecomunicaciones), para así conectarse a la red inalámbrica.

#### 7.1.4.1.4. 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 7.4



Figura 7.4: Montaje de antena en pared.

### 7.1.4.2. Repetidor

Están ubicados en los cerros Josjojahuarina, Huiracochan, Don Juan, Laykatuyoc, Huascar y en el Hospital Cusco. 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 Don Juan y Laykatuyoc el acceso es complicado, debiendo efectuarse caminatas de varias horas, en los otros casos es posible acceder con movilidad. Los repetidores no necesitan del subsistema informático, pero sí 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 energía eléctrica convencional.

#### 7.1.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones

En la Tabla 7.1.4.2.1 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 7.5.

Ítem	Descripción	Cantidad
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

#### 7.1.4.2.2. Subsistema de Energía

Se emplean paneles solares para la provisión de energía debido a que en los cerros no se cuenta con líneas de suministro de energía eléctrica convencional. Los equipos que conforman este subsistema se presentan en la Tabla 7.1.4.2.2 y se muestran en la Figura 7.6.



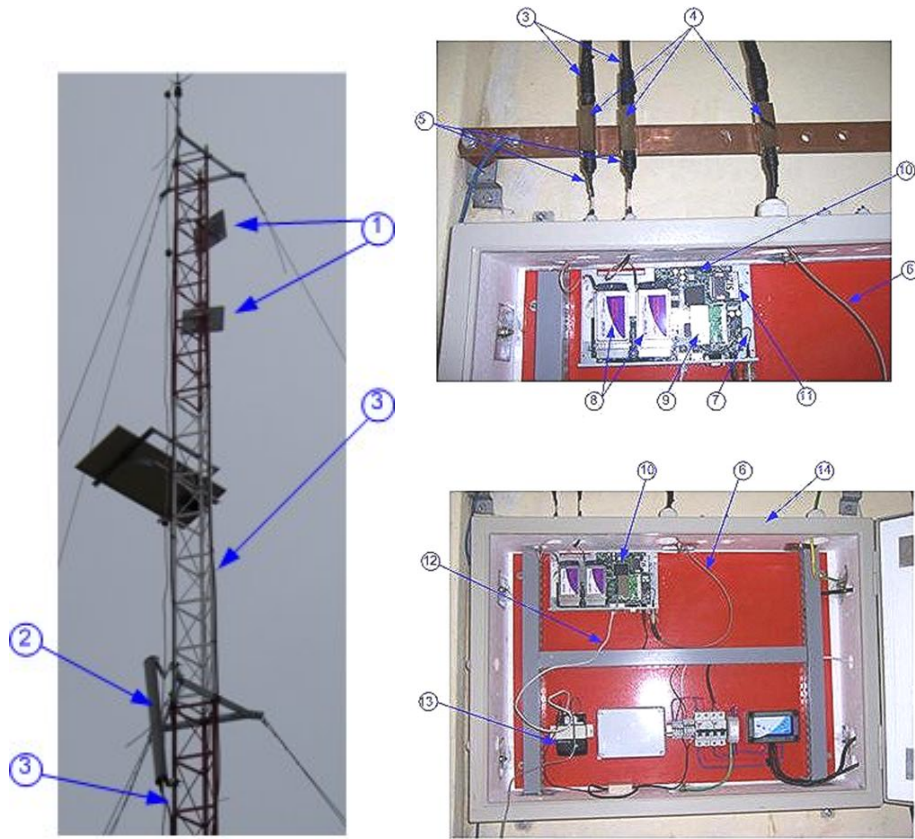


Figura 7.5: Repetidor Huascar.

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).



Figura 7.6: Partes de subsistema de energía en caja metálica.



### 7.1.4.2.3. 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.

### 7.1.4.2.4. 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 Cusco 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 7.7.



Figura 7.7: Torre y caseta de un repetidor.

### 7.1.4.3. 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 *voice-mail* 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.

#### 7.1.4.3.1. Características de la conexión a *Internet*

Para la conexión a *Internet* de la Red EHAS-@LIS la Red de Servicios Cusco 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.

#### 7.1.4.3.2. 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 Cusco Sur y el Hospital del Cusco, 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 7.1.4.3.2.

Servidor	Equipo de cómputo	Ubicación	IP	Zona
svcusco	PC PIV	Red Cusco Sur	200.121.30.234	Cusco
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 7.1.4.3.2, los servicios de *voicemail* y conferencia los administra el servidor *svcusco*.

Servicios	Descripción	Número telefónico
Conferencia	Sala 160 Pin: 7852	160
	Sala 161 Pin: 4567	161
Buzón de voz	Cada puesto tiene su clave	150
Llamadas a la RTPC	Tarjeta 147	147
	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 Cusco Sur.

#### 7.1.4.3.3. Aplicación de la herramienta de gestión de red

En la red EHAS-@LIS Cusco, el sistema de gestión de redes descrito en 5.1 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.

## 7.2. Red WiFi PAMAFRO EHAS

### 7.2.1. 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**.



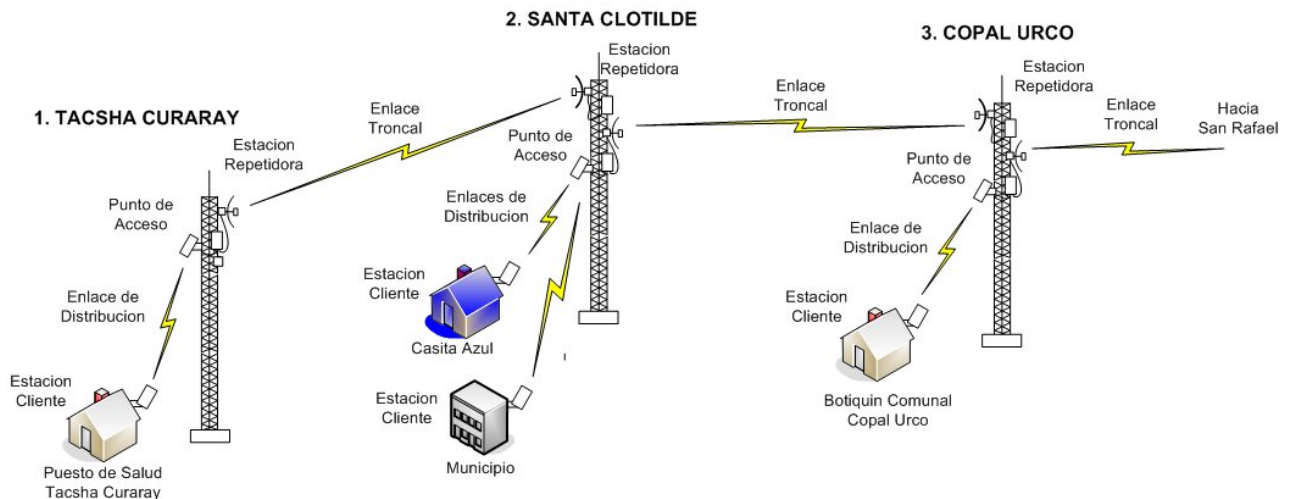


Figura 7.9: Esquema de la red troncal y las redes de distribución.

## 7.2.2. 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 pérdidas 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.

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 7.10 se muestran los resultados obtenidos con el *Radio Mobile* para la red.

### 7.2.2.1. 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)



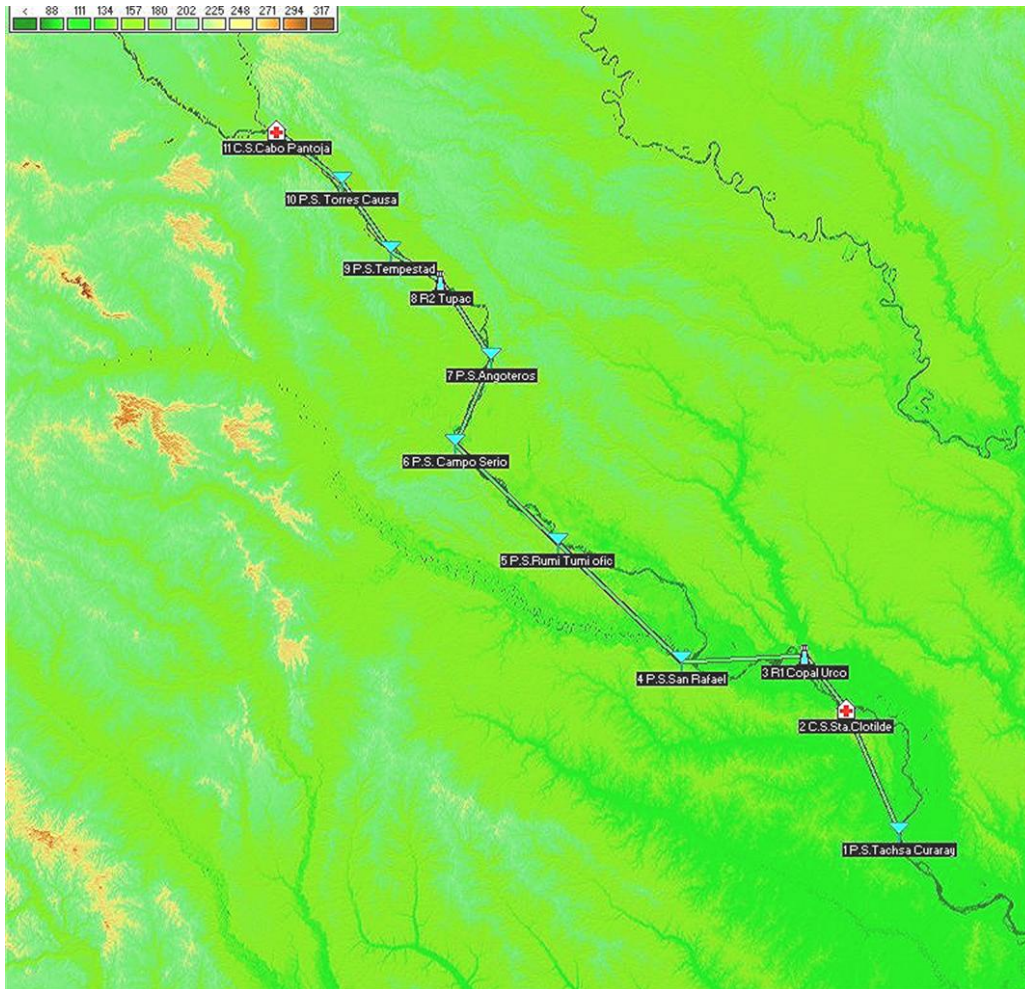


Figura 7.10: Diseño de la red en el Radio Mobile.

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 **ATA**s instalados en ellas.

PUESTOS DE SALUD	Dirección <b>IP</b>		
	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.

### 7.2.2.2. Características de los enlaces

En la Figura 7.11 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 alternadamente en los enlaces troncales y el 1 para los de distribución.

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.

### 7.2.3. 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.

### 7.2.4. Descripción de las estaciones

#### 7.2.4.1. 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:

Direccionamiento IP de la red del Napo

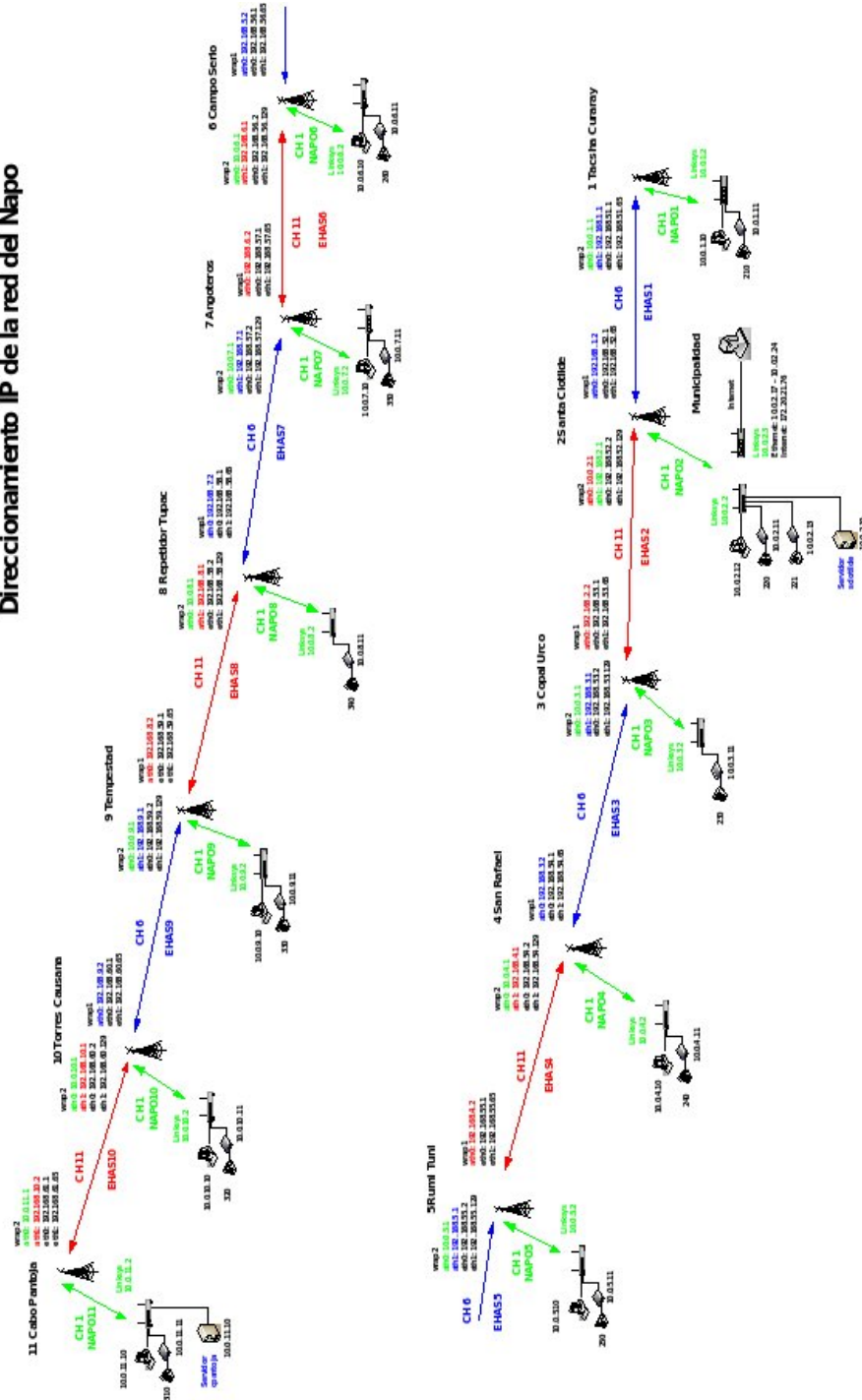


Figura 7.11: Direccionamiento IP de la red WiFi PAMAFRO EHAS.

- 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.

#### 7.2.4.1.1. 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 3.5.1.1.

##### 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 direccional *Yagi* de 9dBi. Esta antena, la HG2409Y de *Hyperlink*, descrita en 3.5.1.2, 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 7.12.

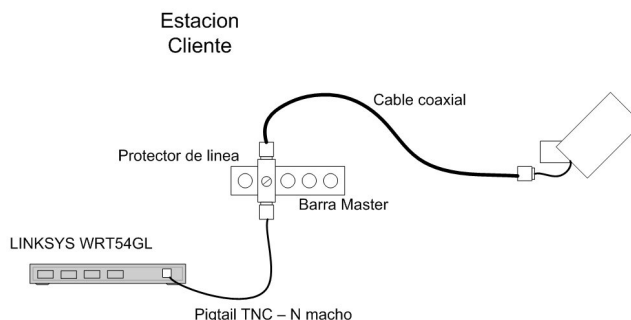


Figura 7.12: Cableado RF del enrutador Linksys.

### 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 **3.5.1.4.1**. 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**.

#### 7.2.4.1.2. 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 instalados. 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 **7.13**, 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 7.13: *Convertidor 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.

#### 7.2.4.1.3. 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 7.14.
- 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 7.15.
- 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.



Figura 7.14: Pozo de Puesta a Tierra.

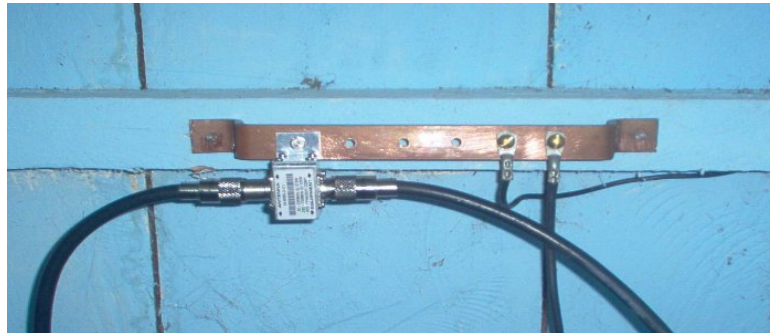


Figura 7.15: Protector de línea instalado en barra Master.

#### 7.2.4.1.4. 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 diversas labores administrativas que necesita realizar. En la Tabla 7.2.4.1.4 se detallan los elementos que lo componen:

Componentes	Partes	Marca y modelo
Monitor		Samsung SyncMaster 540N
Computadora	Memoria RAM	Kingston DDR PC2100 DIMM
	Placa madre	EPIA M10000 Mini ITX
	Disco Duro	Toshiba, MK4032GAX 40Gb IDE
	Chasis (case) incluye cables de poder	Micronics, Mic C2750
	Lectora CD	LG Combo CD-RW 52x32x52 y DVD 16x
	Lectora de disquetes	SONY, 1.44 Mb
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.

### 7.2.4.2. 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.

#### 7.2.4.2.1. Subsistema de Telecomunicaciones

En la Figura 7.16 se presenta un esquema típico del subsistema de telecomunicaciones en la estación repetidora.

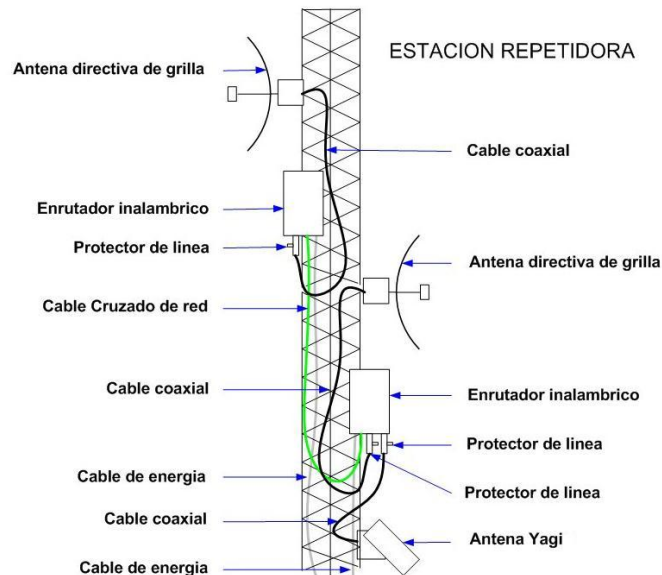


Figura 7.16: Esquema subsistema de telecomunicaciones en una estación repetidora.

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 usan antenas directivas de grilla y para el caso de los enlaces de distribución se usan las antenas *Yagi*. Éstas, junto con el resto de los elementos de este subsistema, se presentan a continuación.



## Enrutadores Wrap

Los enrutadores inalámbricos cuentan con el siguiente equipamiento:

- |                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| 1. placa Wrap 1E                         | 7. pigtail uFL-N macho  |
| 2. caja de exterior metálica impermeable | 8. cable de energía     |
| 3. memoria CF de 512MB                   | 9. cable de red cruzado |
| 4. tarjeta inalámbrica SR2 (400mW)       | 10. prensa estopa       |
| 5. tarjeta inalámbrica CM9 (80mW)        | 11. prensa estopa       |
| 6. pigtail uFL-N macho                   |                         |

En la Figura 7.17 se pueden apreciar los elementos del enrutador inalámbrico.

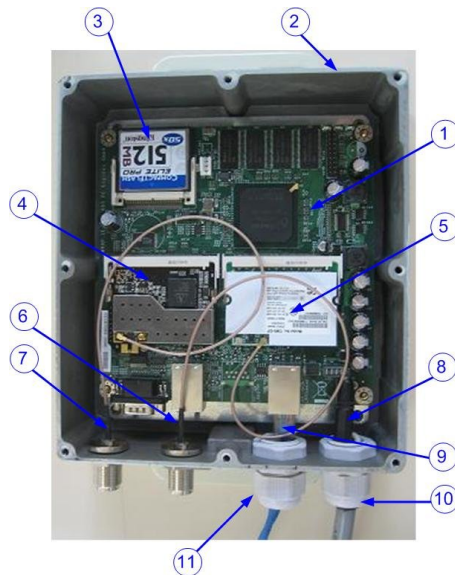


Figura 7.17: Elementos del enrutador inalámbrico.

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 7.18 podemos apreciar el esquema de conexiones entre ambos.

## Antenas

Las antenas que se usaran en esta red son:

- Antena de grilla de 24dBi, modelo HG2424G de Hyperlink, descrita en 3.6.1.4, para los enlaces troncales.
- Antena Yagi de 9dBi, modelo HG2409Y de Hyperlink, descrita en 3.5.1.2, para los enlaces de distribución.

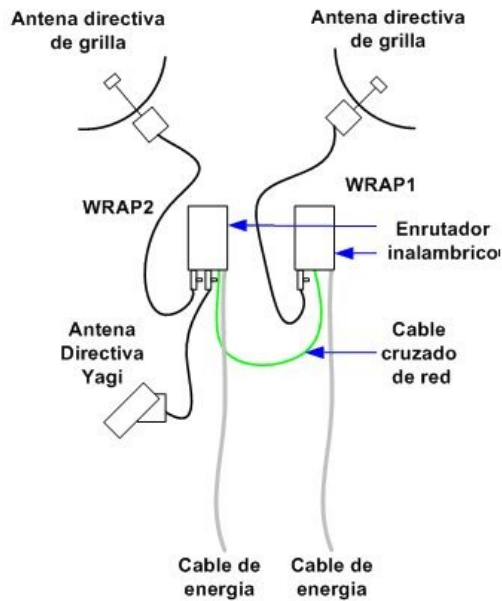


Figura 7.18: Esquema de conexiones en una estación repetidora.

## Amplificadores

Los amplificadores son dispositivos que como su nombre mismo indica amplifican una señal de entrada. En el esquema de la Figura 7.19 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.

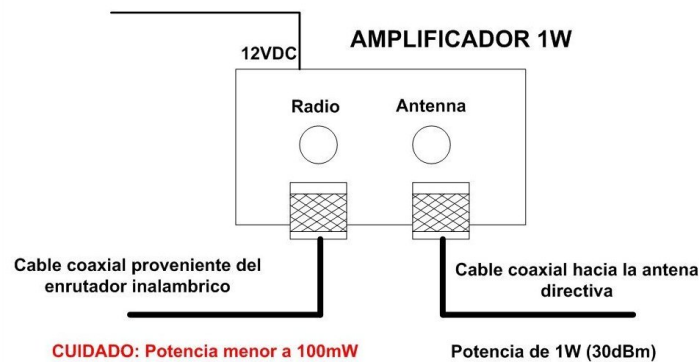


Figura 7.19: Esquema de conexiones del amplificador.

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 7.20.

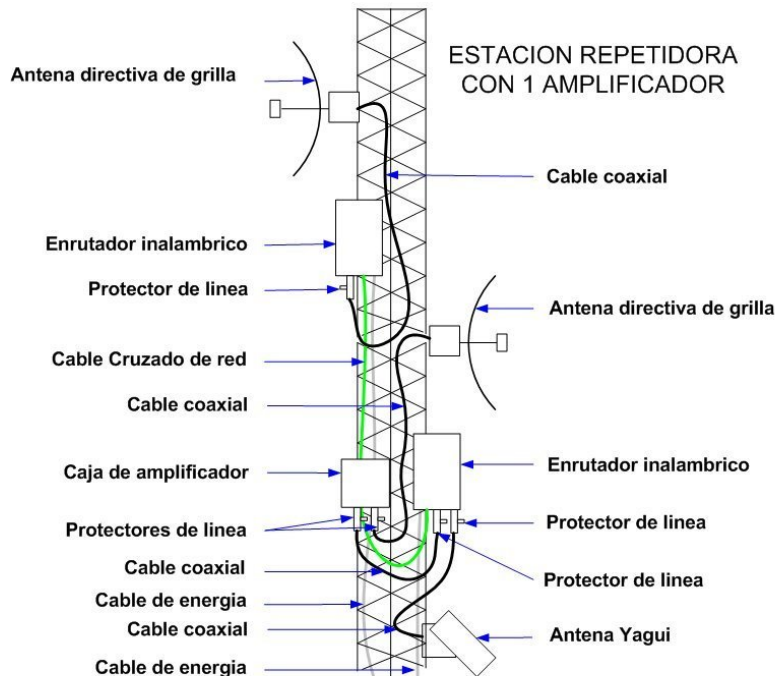


Figura 7.20: Estación repetidora con 1 amplificador.

### 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 :  $50\Omega$
- Perdida por metro : 0.24dB
- Conectores usados : N macho

#### 7.2.4.2.2. 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 embargo, 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 7.21 se presenta el esquema del subsistema de energía:

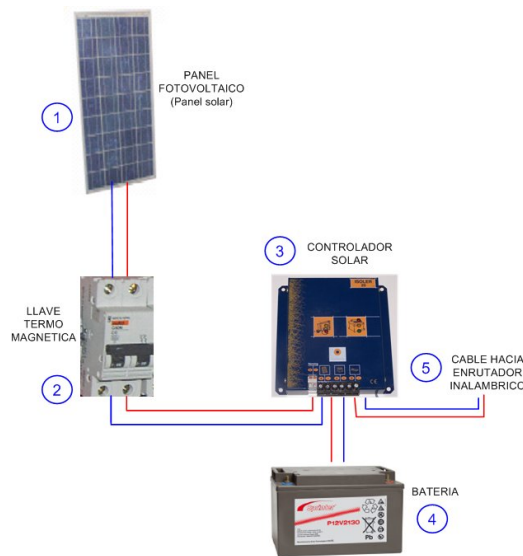


Figura 7.21: Elementos del subsistema de energía.

#### 7.2.4.2.3. 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 más 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 mm<sup>2</sup> 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 7.22.

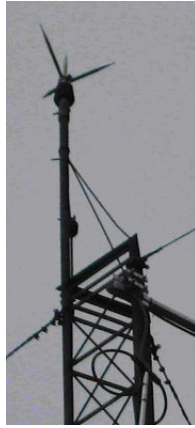


Figura 7.22: Pararrayos tetrapuntal.

#### 7.2.4.2.4. 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 7.23.



Figura 7.23: Torre ventada y antenas.

### 7.2.4.3. Estación Pasarela

#### 7.2.4.3.1. 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**, 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 pudo saber que enlace sufrirá una pérdida 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 7.11	Todos
Correo de voz	Servidores involucrados	110 - buzón clave para cada uno	Todos

#### 7.2.4.3.2. 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.

#### 7.2.4.3.3. 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.ahas.org` (servidor ubicado en Lima), vea la Figura 7.24.

Servidor `lima.pe.ahas.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

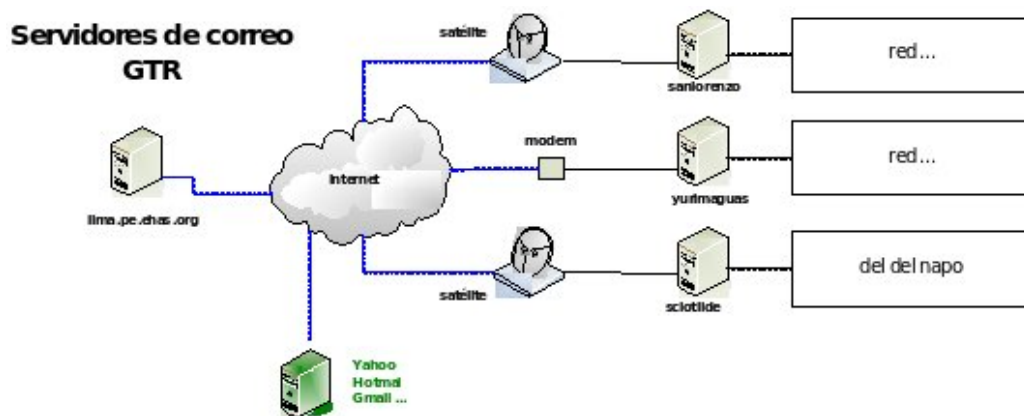


Figura 7.24: Servidores de correo del EHAS-GTR.

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.

## 7.3. Redes VHF PAMAFRO EHAS

### 7.3.1. 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 7.25 (Morona), 7.26 (Pastaza Bajo) y 7.27 (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 7.2, 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.

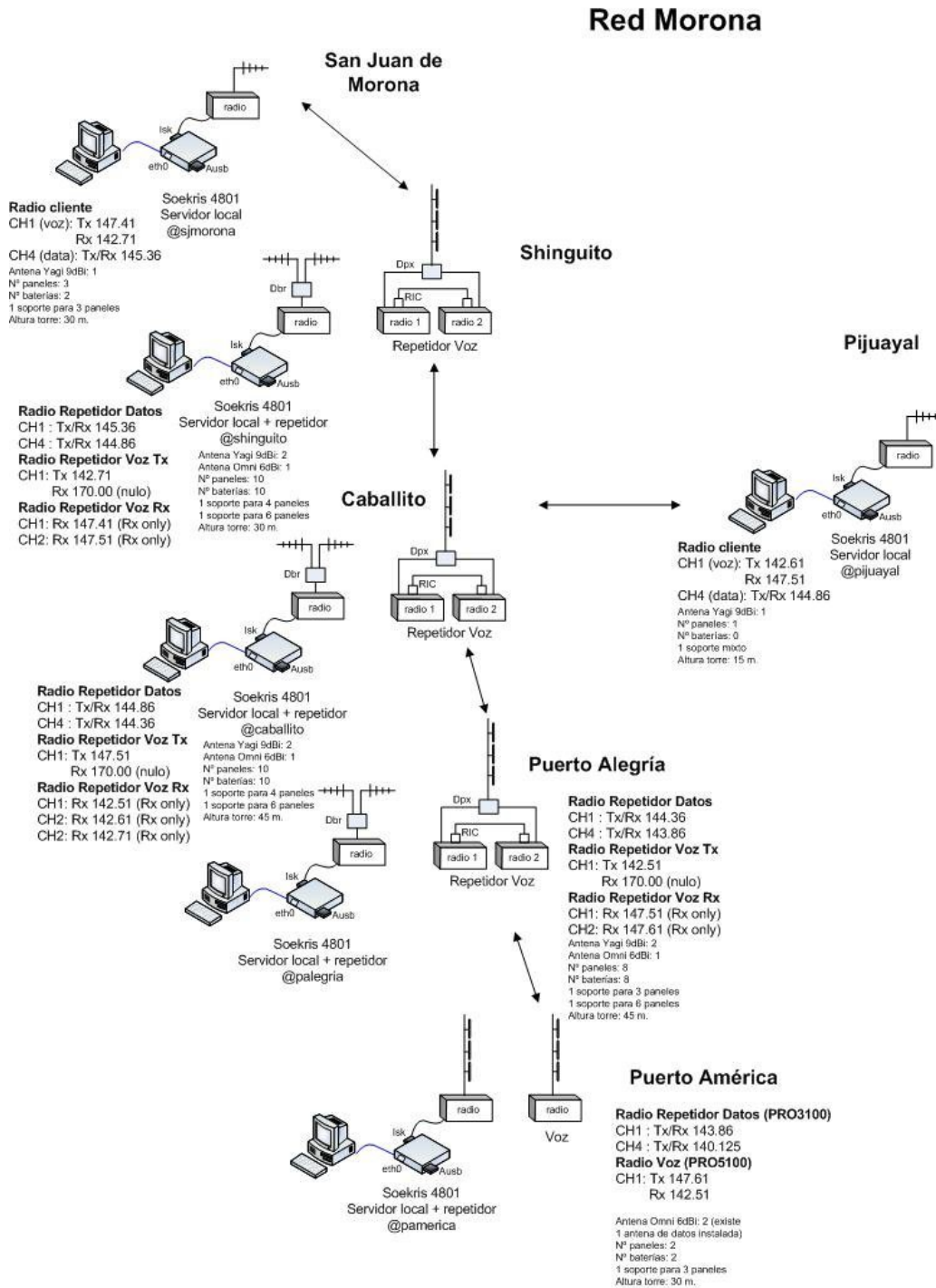


Figura 7.25: Red Morona.

## Red Pastaza Bajo

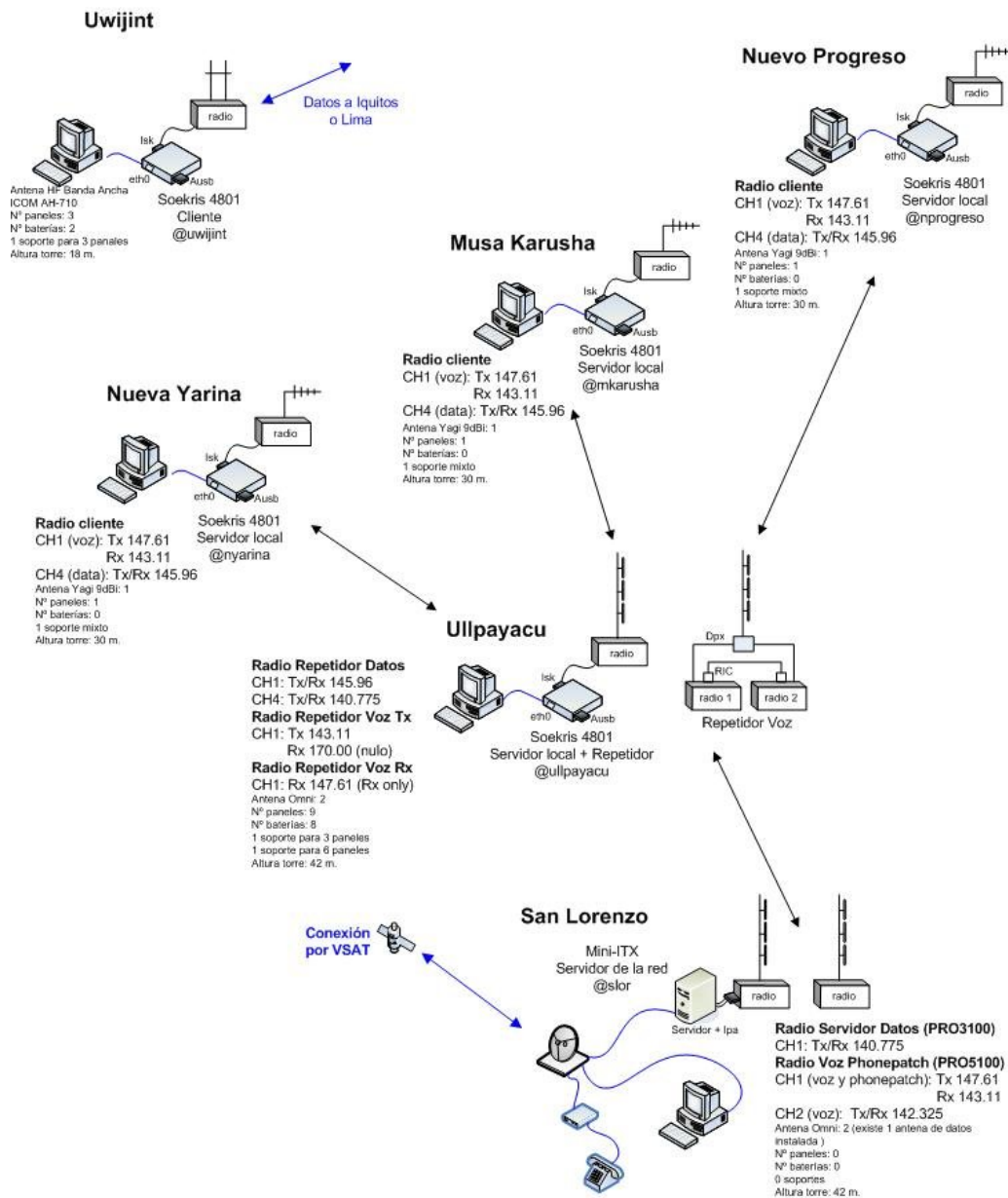


Figura 7.26: Red Pastaza Bajo.

## 7.3.2. 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.

Red Pastaza Alto

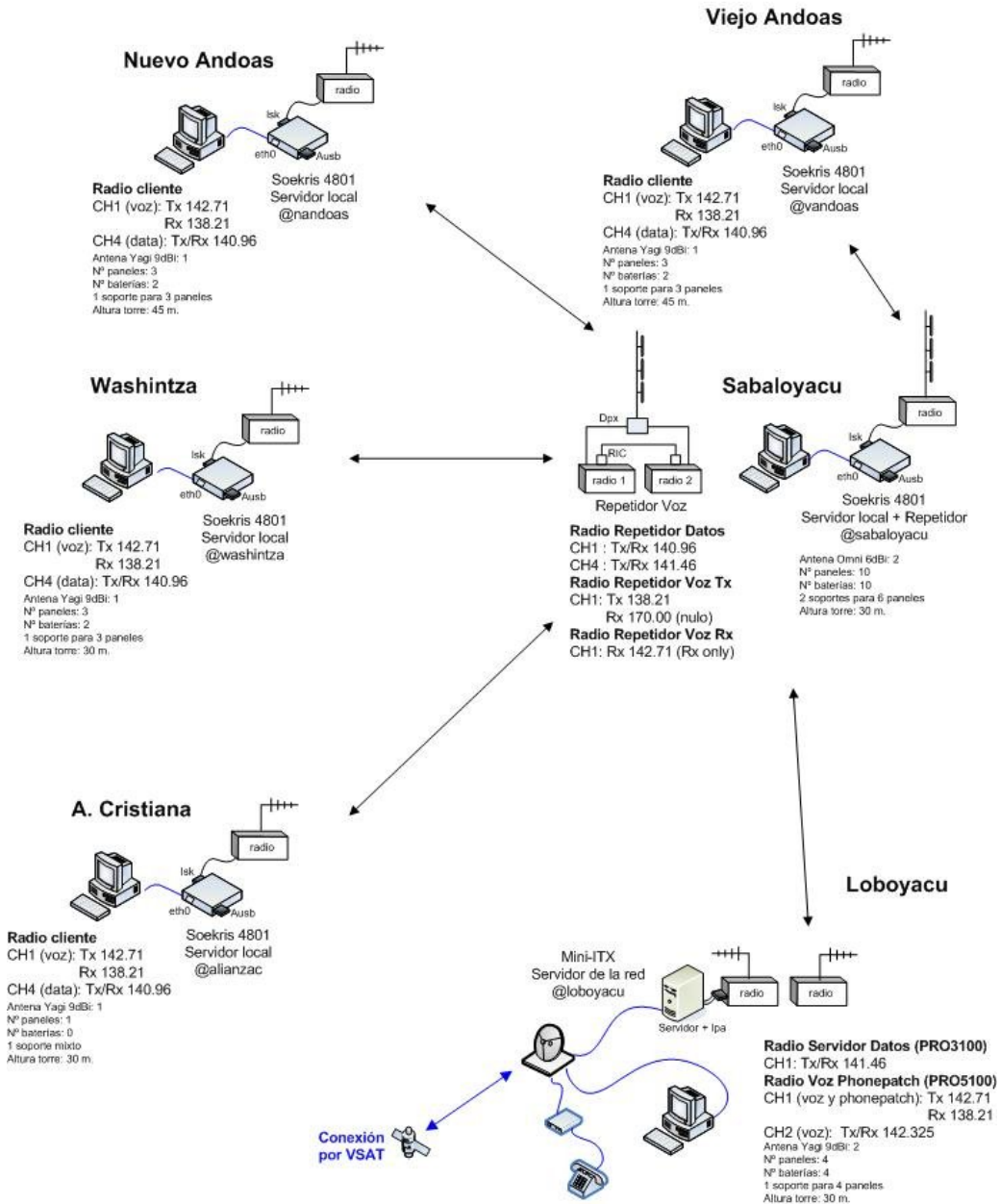


Figura 7.27: Red Pastaza Alto.

7.3.3. Servicios de red

7.3.3.1. 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.

### 7.3.3.2. 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 a cualquier destino. Esto se logra ya que la computadora embebida controla las radios VHF y HF a 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 explícita de los beneficiarios de la red.

## 7.3.4. Descripción de las estaciones

### 7.3.4.1. 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 7.2.4.1, a continuación sólo se describen en profundidad el subsistema de telecomunicaciones y el subsistema de energía.

#### 7.3.4.1.1. 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 la 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 *Heliac*, 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.

#### 7.3.4.1.2. 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.

#### 7.3.4.2. 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 7.25, 7.26 y 7.27. A continuación se detallan los subsistemas de los que se compone.

##### 7.3.4.2.1. 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.

##### 7.3.4.2.2. 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 7.28.

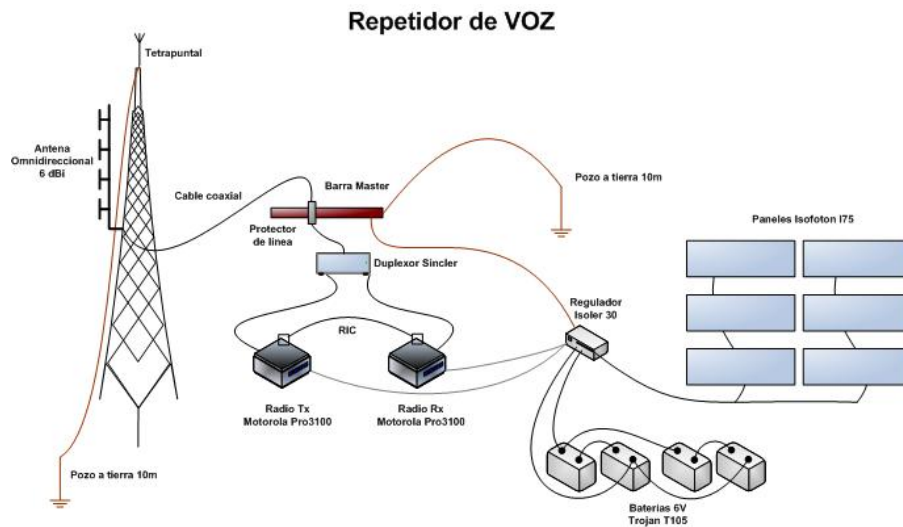


Figura 7.28: Repetidor de voz.

### 7.3.4.3. 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.

#### 7.3.4.3.1. 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.



### 7.3.4.4. 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.

#### 7.3.4.4.1. 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*.

#### 7.3.4.4.2. 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 7.29

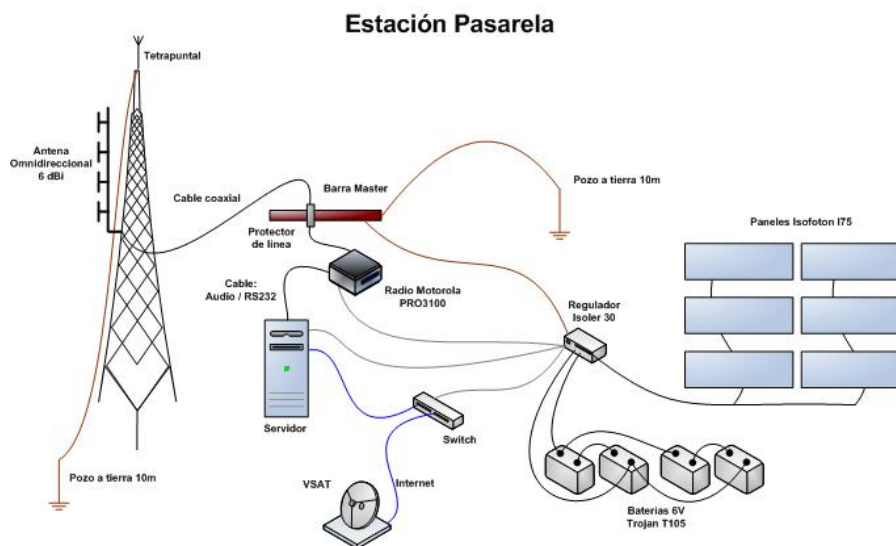


Figura 7.29: Repetidor de datos.

#### 7.3.4.4.3. 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.

#### 7.3.4.5. 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 7.30 se presenta un esquema con sus componentes.

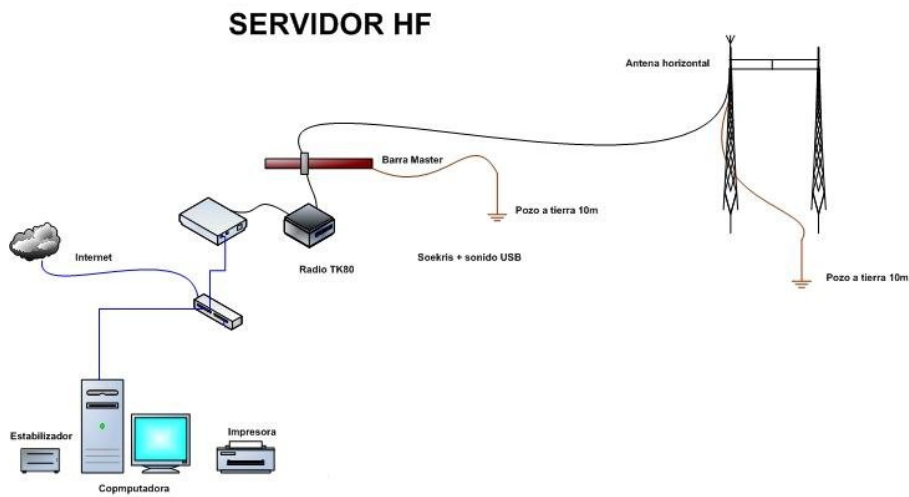


Figura 7.30: *Nodo pasarela HF.*



**A/D** Analógico Digital.

**ACK** Acknowledgment code.

**ACPI** Interfaz Avanzada de Configuración y Energía.

**ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line.

**AFSK** Audio frequency-shift Keying.

**ANSI** American National Standards Institute.

**ATA** Analog Telephone Adapter.

**AX.25** Protocolo de nivel de enlace habitualmente usado por radio aficionados 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 Analógico.

**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 Frequency.

**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](http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?product_id=27123).

**IEEE 81.2** [http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?product\\_id=27125](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 podemos 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 Frequency.

**UUCP** Unix to Unix CoPy.

**VHF** Very High Frequency.

**VoIP** Voice Over IP, Voz sobre IP.

**VSAT** Very Small Aperture Terminals.

**WAN** Wide Area Network.

**WiFi** Wireless Fidelity.

**WiMAX** Worldwide Interoperability for Microwave Access.

**WLAN** Wireless LAN.









**Grupo de  
Telecomunicaciones  
Rurales:  
Diez años de  
investigación,  
desarrollo e  
innovación en  
tecnologías  
apropiadas para  
zonas rurales.**



ISBN: 978-9972-42-843-2



9 789972 428432