

# 16. La instalación de una red de telecomunicaciones

David Chávez Muñoz<sup>1</sup>, César David Córdova Bernuy<sup>1</sup>,  
River Quispe Tacas<sup>1</sup>, Luis Camacho Caballero<sup>1</sup> y  
Cynthia Piñas Baldeón<sup>1</sup>

Antes de proceder a la instalación de una red de telecomunicación rural, se recomienda realizar una muy breve verificación, con la intención no solamente de facilitar la tarea de instalación sino de garantizar la sostenibilidad de la iniciativa. A continuación los tres criterios que deben cumplirse:

- La red tiene que ser robusta y sencilla de usar, ya que los usuarios van a ser poco calificados y no van a contar con el apoyo continuo 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 convocarlos a lo largo del tiempo 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 de energía, ya que frecuentemente tendrá que depender de instalaciones de energías autónomas, que encarecen las instalaciones y aumentan las necesidades y costos de mantenimiento.

## 16.1. Instalación de las torres

Atendiendo a las recomendaciones y criterios de diseño que se han descrito en el Capítulo 11, se presentan a continuación una serie de recomendaciones y buenas prácticas para la instalación de torres como parte de la infraestructura de redes rurales de telecomunicación. El contenido está basado en la experiencia de campo del Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (GTR-PUCP), y debe considerarse solamente con carácter referencial, a falta de documentos y normativa específica en el lugar donde se proyecta la instalación.

---

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Perú

### 16.1.1. Consideraciones de seguridad

La instalación de torres es una actividad que conlleva riesgo para la salud y la integridad de las personas que participan en ella. Por tal razón, debe ser ejecutada con responsabilidad y contando con el concurso de trabajadores especializados. Se recomienda que en una instalación participe un mínimo de tres personas; una de ellas, como requisito indispensable, debe tener experiencia previa en todas las maniobras de la instalación. Una o dos personas subirán a la torre y siempre debe haber personal en tierra tanto para encargarse de las tareas de suministro como para atender la seguridad de toda la instalación, recomendando y tomando las acciones pertinentes, lo que incluye la suspensión de la instalación si se considera necesario. Para torres de más de 30 m de altura, es indispensable contar con radios de mano para facilitar la comunicación entre el equipo de tierra y el equipo sobre la torre.

Tomando como caso típico la instalación de torres ventadas o arriostradas, a continuación se detallan las normas mínimas de seguridad necesarias para realizar la instalación de forma segura:

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 correas 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 (ver Capítulo 11 para identificar los tipos de torre), 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 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.
7. Cada operación que se realice deberá tener como primera prioridad la seguridad y el cuidado de la salud e integridad de las personas, tanto las que están en la torre como las que se encuentran apoyando en tierra. Si se presenta la ocasión en la que se debe tomar una decisión comprometida, esta deberá ser tomada en coordinación con el grupo de trabajo y de ninguna manera de forma individual.

### 16.1.2. Especificaciones de montaje

A continuación, 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.

1. Los tramos de torre se fijan con pernos y su correspondiente tuerca (de 6 a 9 por unión). Se debe respetar siempre la elección de dos tramos blancos y dos rojos colocados sucesivamente.
2. Los vientos o riendas se fijan y se tensan cada dos tramos, para las torres menores de 30 m, y cada tres tramos para las torres mayores de 30 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" de pulgada, 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 suficiente para mantener templados los cables de retenida.
6. Se debe tener bastante cuidado respecto a la verticalidad de la torre. Las desviaciones respecto a la vertical en la cima de la torre no deben ser mayores que 2 cm en torres hasta de 45 m, de 2,5 cm en torres entre 45 y 66 m, y de 4 cm en torres desde 66 hasta 90 m.
7. El soporte para el pararrayos y las luces de balizaje se coloca sobre el último tramo de cada torre, empernado como si se tratase de un tramo más. Sobre el extremo superior se ubica la punta del pararrayos con su correspondiente aislador. Para la ubicación del cable de cobre conectado al pararrayos se debe tener en cuenta la ubicación y orientación de las antenas y paneles solares para que no interfieran.
8. Los aisladores para el cable del pararrayos están colocados cada 3 m.
9. Las antenas y accesorios han de colocarse según las especificaciones concretas de cada caso, teniendo en cuenta el reparto de peso para no incurrir en desviaciones excesivas sobre la vertical.

### 16.1.3. 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 (Figura 16.1), aunque no justamente debajo. Los materiales para los anclajes deben colocarse cerca de cada base de templadores.



Figura 16.1.: Instalación de una base de torre.

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. Cuando 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 verticalidad de la torre con plomada y nivel, corrigiendo las desviaciones mediante el reajuste de templadores.
10. Para subir el resto de tramos es necesario instalar una pluma con polea en el tercio superior del último tramo (Figura 16.2). El tramo de torre se amarra un poco más arriba 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.



Figura 16.2.: Instalación de un tramo de torre.

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. Tras instalar y templar el último tramo, se deben colocar los accesorios de la línea de vida.
13. Luego de instalada y templada la línea de vida, se debe hacer uso de ella para trabajar de manera más segura; enseguida 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). Después de 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 embocararlo 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 instalado 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.

## 16.2. Construcción de pozos de tierra y sistemas de protección

Estos sistemas tienen el objetivo de brindar protección a los equipos, las personas y la instalación misma, evitando que descargas atmosféricas produzcan daños o siniestros. Las siguientes recomendaciones de protección eléctrica están basadas en la normativa mencionada en el Capítulo 11:

- Se ha de instalar, en la parte más elevada de la torre, un sistema de prevención de descargas atmosféricas consistente en un pararrayos tetrapuntal tipo Franklin (Figura 16.3).

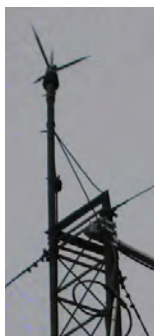


Figura 16.3.: Pararrayos tetrapuntal.

- Se ha de instalar un sistema de puesta a tierra con dos PAT (Pozos de Puesta a Tierra) (Figura 16.4), el del pararrayos y el del sistema de comunicaciones, unidos mediante un cable de cobre de baja resistencia. 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.



Figura 16.4.: Pozo de Puesta a Tierra.

- Se han de instalar protectores de línea en los cables coaxiales de las antenas, para proteger los equipos de comunicación ante la inducción de corrientes en el cable coaxial, producidas por descargas atmosféricas.

- Se ha de instalar una 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 16.5.



Figura 16.5.: Barra máster.

### 16.2.1. Consideraciones para la instalación

Se presentan las siguientes consideraciones a tener en cuenta a la hora de realizar la instalación del sistema de protección eléctrica:

- Aislar la punta pararrayos Franklin de la estructura de la torre, mediante una base aislante.
- 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 Figura 16.6.

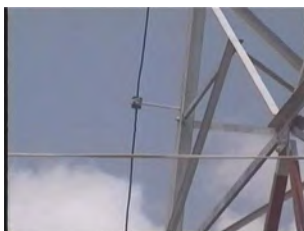


Figura 16.6.: Vista del cable de bajada del pararrayos aislado de la estructura.

- 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 16.7.



Figura 16.7.: 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 las computadoras y el terminal del protector de línea (ver Figura 16.8). Además, esta barra debe estar conectada al sistema de puesta a tierra de comunicaciones.

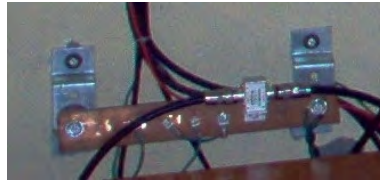


Figura 16.8.: Protector de línea instalado en la barra máster.

- Los cables que van conectados a la barra máster deben ser aislados (nunca cable desnudo) para evitar falso contacto con las estructuras que se encuentren alrededor.
- La separación entre los sistemas de puesta a tierra debe ser de, por lo menos, 6 metros (cuanto más separados, mejor).

### 16.2.2. Materiales y cantidades a emplear

Para una instalación típica, se puede considerar como base la relación de materiales y suministros que aparece en la Tabla 16.1.

## 16.3. Instalación de los sistemas de alimentación solar

Este sistema es el encargado de proporcionar energía eléctrica a la instalación mediante los siguientes elementos (Figura 16.9):

- Panel solar.
- Llaves termomagnéticas.
- Controlador de corriente.
- Banco de baterías.
- Caja y cables de interconexión internos y externos.

### 16.3.1. Paneles solares

Comúnmente se instalan 2 ó 3 paneles por estación (aunque eso depende del diseño especificado en el Capítulo 11). Estos elementos deben quedar fijos a sus estructuras



Material	Cantidad	Descripción
Pararrayos	1	Del tipo Franklin tetrapuntal
Base aisladora del pararrayos	1	Base aisladora con tuerca para el pararrayos, ubicada 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 y sirve para aislar éste de la estructura de la torre
Cable de cobre	$h+6$ m	Cable de cobre desnudo 1/0 AWG de 50 mm <sup>2</sup> de sección
Cable de cobre desnudo 8 AWG	10 m	Para unir la estructura de la torre con el pozo de comunicaciones
Cable de cobre aislado 8 AWG	20 m	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 0,8 mm x 7 cm	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 65 gr	2	Empleada para la unir el cable de cobre al fleje de la PAT
Molde para soldadura exotérmica	1	Para unir el cable de cobre 1/0 AWG con el fleje de cobre
Masilla para soldadura exotérmica		Sirve para hacer una buena soldadura y evitar fugas de oxígeno durante la operación
Barra máster de 25 x 5 x 300 mm	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 de 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

h= Altura de la torre en metros

Tabla 16.1.: Materiales y suministros a emplear para la instalación del sistema de protección eléctrica.

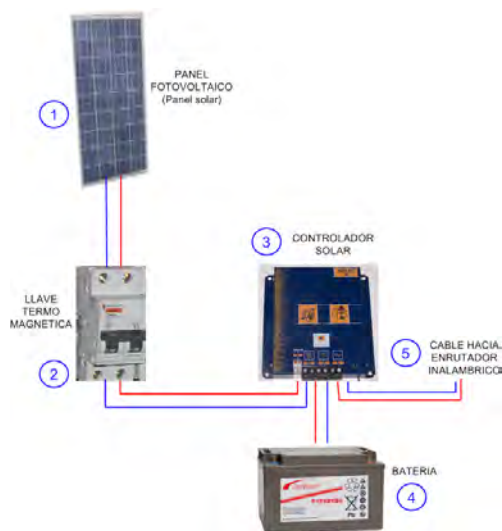


Figura 16.9.: Elementos del sistema de energía.

de soporte tanto en tierra como en las torres (ver figuras 16.10 y 16.11). Al no requerir mantenimiento frecuente, es suficiente realizar cada inicio de mes una limpieza de su superficie, para lo cual debe adecuarse una escalera tipo tijera o un andamio, evitando apoyar cualquier elemento (como una escalera simple) en sus bordes por riesgo a 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.

El panel solar se debe montar sobre un soporte metálico en la torre. El controlador, las llaves termomagnéticas, las baterías y los cables de interconexión internos se deben instalar en el interior de una caja metálica con aislamiento térmico.

La Figura 16.10 muestra detalles de la fijación de paneles fotovoltaicos izados en la torre, y la Figura 16.11 para el caso de paneles fotovoltaicos que se instalan en tierra junto a los equipos de ofimática.



Figura 16.10.: Fijación de paneles fotovoltaicos izados en la torre.



Figura 16.11.: Fijación de paneles fotovoltaicos en tierra.

### 16.3.2. Baterías

Las baterías son elementos críticos dentro del sistema autónomo de energía. Desde su instalación, se debe trazar el objetivo de mantener su buen estado, lo cual es fundamental para prolongar su vida útil y para el correcto funcionamiento del sistema. Las operaciones básicas para la instalación y el mantenimiento de las baterías son sencillas pero el éxito radica en su repetición y cumplimiento periódico a lo largo de toda la vida de la instalación.

Su instalación en conjunto se llama "banco de baterías". Normalmente se colocan dos baterías por establecimiento cliente y cuatro en el caso de los servidores, y son la fuente de la energía que consumen la radio, la computadora, las luminarias, la impresora y cualquier otro dispositivo eléctrico o electrónico instalado.

Antes de la instalación y también al inicio de cada semana de trabajo es necesario realizar una inspección física de las baterías, teniendo cuidado para detectar problemas tales como rajaduras, deformaciones o daños en los cables conectados. En esa misma revisión se debe verificar el nivel del agua al interior de las baterías, siendo su estado normal aproximadamente cuatro centímetros por debajo del borde del orificio destapado (ver figuras 16.12 y 16.13). Finalmente se debe revisar si las conexiones de los cables se mantienen firmes, debiendo reasegurarlas si fuese necesario.



**ATENCIÓN:** Cuando se quiere revisar el nivel de agua de la batería, se debe tener cuidado, porque el líquido de la batería es corrosivo, especialmente para las telas y causa daño a la piel.

Primero desenrosque la tapa blanca y en forma lenta destape para poder verificar el nivel del líquido (espere unos segundos si es que ve humo), como se observa en la figura.

Figura 16.12.: Destapando la batería.

Los bornes de las baterías y los extremos de los cables conectados deben estar permanentemente cubiertos con vaselina. Este elemento debe ser renovado sin falta al inicio de cada mes (ver Figura 16.14). Verificar también que las baterías se encuentren siempre en posición vertical.



Luego de haber destapado la batería, habrá que fijarse en el interior de la batería, si el nivel del agua es el adecuado, se observará un brillo que cubre las placas de plomo, indicando que el nivel está bien, en caso contrario se debe reponer líquido.

No coloque ningún palito, ni meta su dedo para poder medir el nivel del agua, recuerde que el líquido es corrosivo por lo que las baterías están almacenadas dentro de una caja de madera y además están cerradas.

Figura 16.13.: Revisión del nivel de líquido en la batería.



Borne

Dedo + baselina

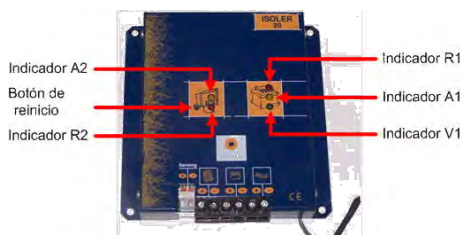
Para que se logre una buena protección de los bornes, se tiene que untar toda la base con baselina.

Una vez terminado no olvide que todos los bornes deben estar bien ajustados.

Figura 16.14.: Untando con vaselina los bornes de la batería.

### 16.3.3. Regulador

La instalación de este elemento es sencilla y no requiere, normalmente, un mantenimiento posterior. Es importante, sin embargo, prestarle permanente atención a su estado. Téngase presente el significado de las luces en cada posición (aunque eso depende del modelo instalado). En el modelo de la Figura 16.15, un ISOLER 20 de ISOFOTÓN [213], hay dos grupos de indicadores luminosos (LED), unos referentes al funcionamiento del equipo mismo (amarillo A2 y rojo R2) y los otros destinados 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.



Indicador A2

Botón de reinicio

Indicador R2

Indicador R1

Indicador A1

Indicador V1

Figura 16.15.: Regulador instalado en la red Napo.

### 16.3.4. 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 comunicaciones. En el ejemplo que presenta la Figura 16.16 se puede observar la instalación del regulador, de la llave termomagnética, de un enrutador, de un adaptador de telefonía analógica a digital (ATA) y de su correspondiente convertidor de tensión.

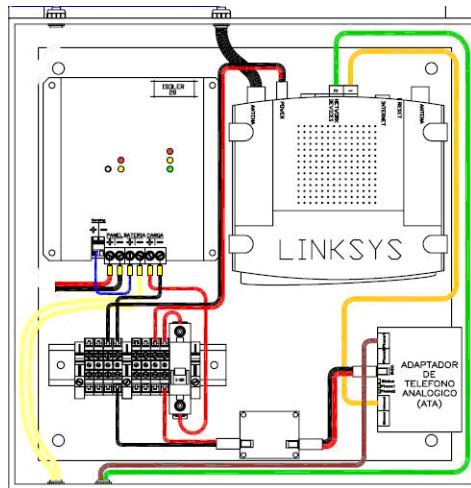


Figura 16.16.: Caja de distribución de energía con regulador, enrutador y ATA.

Adicionalmente a los equipos mencionados, en este elemento se instala una bornera que permite conectar los cables que alimentarán a los diversos dispositivos. Así por ejemplo, en la figura, el ATA se alimenta a través de un par de cables, rojo y negro, que salen de la bornera, pasan primero a través del convertidor y luego se conectan al ATA. Igualmente el enrutador Linksys [214] se alimenta con un par de cables, pero directamente a 12 V ya que trabaja con este voltaje. Al ATA hay que conectar dos cables más; uno telefónico (marrón) que lo une al terminal telefónico Panasonic y se conecta por el puerto que dice "Phone1" (Teléfono1); el otro es un cable de red (amarillo) que lo comunica con el enrutador Linksys, en el puerto rotulado "Internet". De la misma manera, al enrutador debe llegar otro cable de red (verde) desde la computadora, que se conecta a cualquiera de los puertos rotulados del 1 al 4. Este es el camino de entrada y salida de los datos. Finalmente, del enrutador sale un cable (negro) hacia la antena que se encuentra en el tejado del puesto de salud. El resto de cables que se observan conectados al regulador son los correspondientes a la batería y los paneles solares. Durante el día, la corriente generada por los paneles solares llega hasta el regulador y éste la distribuye a los distintos dispositivos; la que sobra la envía a la batería para almacenarla. Durante la noche, el regulador obtiene corriente de la batería para abastecer a los equipos que estén encendidos.

### 16.3.5. 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 lo que utilizan los equipos mencionados. El inversor cuenta con dos luces como indicadores de funcionamiento: la luz verde encendida indica buen funcionamiento, y la luz roja encendida indica mal funcionamiento (cuando se observe este estado debe apagarse el equipo). En la red Napo se han instalado inversores marca XANTREX modelos Prowatt y PortaWatt [215], ambos de 150 watts (ver Figura 16.17).



Figura 16.17.: Inversor de 12 VDC a 110 VAC.

Finalmente, como elementos secundarios pero de gran utilidad, se deben mencionar las luminarias, que se usan para iluminar los ambientes cuando ya no se cuenta con luz solar. En la red Napo se instalan dos luminarias de 13 watts de potencia y 12 V DC, en todos los establecimientos de salud.

## 16.4. Instalación y configuración de los enrutadores de la red troncal y de la red de acceso

Como se ha detallado en capítulos anteriores, una red inalámbrica de telecomunicación rural tiene varios tipos de segmentos o tramos: segmentos satelitales y segmentos terrestres. Dentro de los segmentos terrestres tenemos a su vez segmentos de red troncal (conformados básicamente por radios sobre torres) y segmentos de acceso (que enlazan radios sobre torres con radios dentro de las edificaciones). Se darán a continuación las recomendaciones para la instalación y configuración de estos dos últimos segmentos de red. La Figura 16.18 ilustra esta clasificación tomando como ejemplo la red Napo.

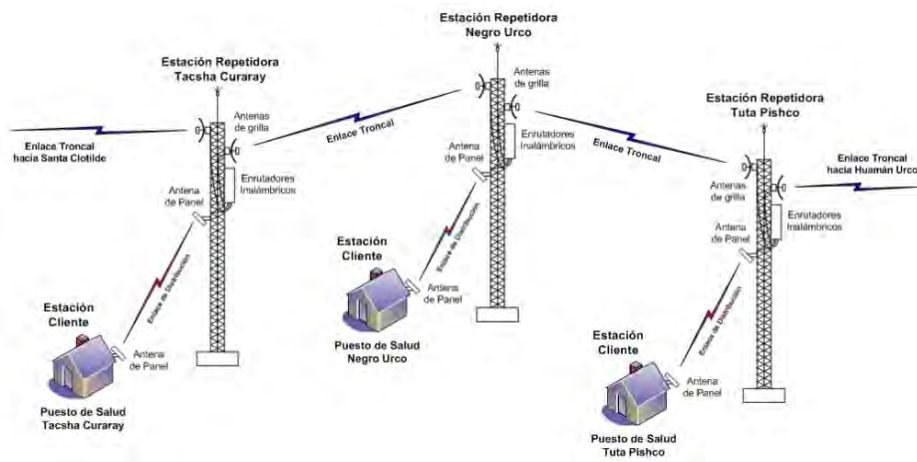


Figura 16.18.: Segmentos troncal y de acceso en la red Napo.

### 16.4.1. Instalación y configuración de los enrutadores de la red troncal

Los enrutadores son los elementos más importantes de la red troncal. En este tipo de redes se escogen enrutadores como plataforma para la integración de dispositivos Wi-Fi de todo tipo. Se trata básicamente de ordenadores empotrados de arquitectura x86 de propósito específico. Carecen de subsistemas innecesarios en un dispositivo de comunicaciones, como los de vídeo y sonido, y tienen algunas mejoras comparativas. El sistema operativo que funciona en estas placas es básicamente una distribución Linux [216], como es el caso del Voyage GTR, implantado en la red Napo, basado en la distribución Linux Debian, la cual ha sido reducida al mínimo número de paquetes razonable y a la que se han "extirpado" los documentos. El resultado, aun así, es bastante voluminoso, unos 150 MB, pero suficientemente pequeño para caber sin problemas en una memoria *Compact Flash* de al menos 512 MB. Luego de instalar el sistema operativo se integran todos los dispositivos en lo que formará el enrutador inalámbrico WRAP [217] (ver Figura 16.19).

Luego de tener ensamblado y configurado el enrutador se procederá a su instalación. Antes de instalar los enrutadores WRAP se les debe colocar los protectores de línea, ya que esta tarea, junto con la de la vulcanización de los conectores, será más sencilla en tierra firme. Debe verificarse el tipo de conector adecuado para las conexiones. En todos los enrutadores se tienen que colocar protectores de línea conectados a sus respectivos "pigtaills".

El esquema que muestra la Figura 16.20 se tomará como ejemplo de instalación de equipos en una estación repetidora de la red troncal. Esta instalación consta de dos enrutadores WRAP de exterior. La distancia entre las cajas WRAP, definida como  $d_2$  en la figura, debe ser de aproximadamente 1,5 metros. Para la colocación del cable cruzado de red que conectará los enrutadores, y el cable de energía de los mismos, se



Figura 16.19.: Enrutador integrado con placa WRAP.

procederá de la siguiente manera:

- Transportarlos cuidadosamente hacia su ubicación en la torre.
- Destapar cuidadosamente el enrutador WRAP a instalar (guardar en un lugar seguro todos los tornillos).
- Introducir cuidadosamente el cable de red en el conector Ethernet. Luego ajustar la prensa estopa, de ser el caso.
- Asegurar la conexión del cable de energía en el enrutador. Luego conectar el cable de energía a la caja de energía y a su respectiva bornera, pero mantener la llave termomagnética de la caja de energía en OFF, es decir, el interruptor de energía debe estar apagado.
- Verificar por última vez las conexiones entre los elementos del enrutador y sus conexiones al exterior. Finalmente, colocar los tornillos y cerrar la caja de exterior.
- Luego de instalar la primera caja se procederá a instalar la segunda de la misma manera.

Posteriormente, se instalarán las antenas y se procederá a su alineamiento, según se detalla más adelante. Si por condiciones climáticas se suspende temporalmente todo el proceso de instalación, se deben dejar vulcanizados los conectores de las antenas que se hayan instalado, para evitar la filtración de agua por el conector, lo cual sería perjudicial para el comportamiento de la antena.

Los cables coaxiales que conectarán las antenas con los enrutadores deben ser del menor tamaño posible, por ejemplo 1,5 metros. Si se definen como d1 y d3 las distancias entre



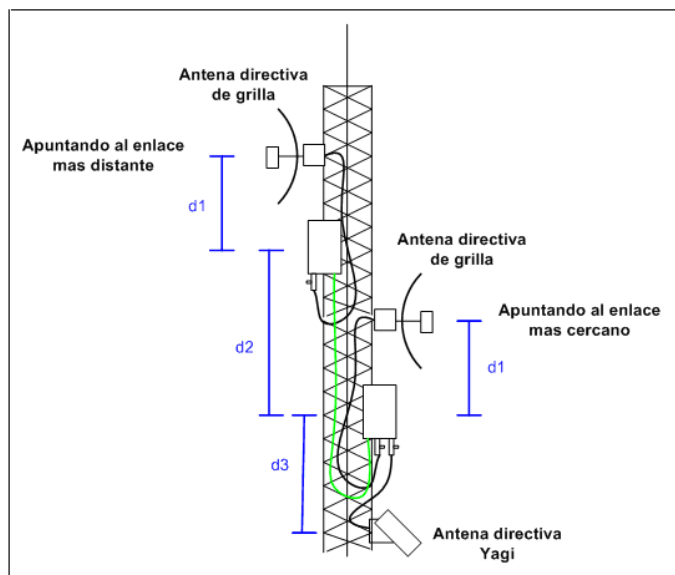


Figura 16.20.: Esquema de instalación de equipos en la estación repetidora de la red troncal.

los enrutadores y las antenas directivas de grilla y directiva Yagui respectivamente, se pueden seguir las siguientes recomendaciones para el montaje de las antenas:

- La distancia  $d1$  estará entre 60 y 80 cm. El cable coaxial se colocará con cintillos siguiendo los elementos de la torre, y a su vez deberá formar una curva cóncava hacia abajo al conectarse con el enrutador. La antena se colocará por encima del enrutador.
- La distancia  $d2$  será de 1,5 metros aproximadamente, dependiendo del tipo de torre. Para la conectividad entre enrutadores se usa un cable cruzado de red. Este cable no solo recorrerá una distancia vertical, también recorrerá una distancia horizontal, ya que las placas se colocarán en distintos vértices de la sección de la torre (por ello la distancia vertical tiene que ser menor que la longitud del cable). Este cable también debe ser protegido con tubo corrugado y ajustado con cintillos a los elementos de la torre (además también debe tener una curvatura cóncava hacia abajo en la WRAP colocada en la posición inferior).
- La distancia  $d3$  también estará entre 60 y 80 cm. Esta vez la antena se colocará en posición inferior a la placa. El cable coaxial será del mismo tipo que el usado con las antenas del enlace troncal. Este cable también será ajustado con cintillos y tendrá un recorrido a través de los elementos de la torre.

Se recomienda hacer un planeamiento y reconocimiento preliminar antes de subir con los equipos. Este planeamiento debe concluir con un esquema de instalación, indicando posiciones y distancias. Los cables coaxiales deben estar sujetos a la torre en aristas diferentes a las que sirven para el descenso del cable del pararrayos (para disminuir

la probabilidad de inducción de corrientes en la señal de radiofrecuencia en los cables coaxiales). Una vez colocadas las antenas y los enrutadores (con los protectores de línea instalados y vulcanizados previamente), se procederá a la colocación de los cables coaxiales que unen los enrutadores con las antenas. En el enrutador del enlace troncal, el cable coaxial conectará al protector de línea (el único) con una antena direccional. En el enrutador del enlace de distribución, un conector se conectará al cable coaxial de la antena direccional usada para el otro enlace troncal, mediante su respectivo protector de línea; el otro conector se conectará mediante un protector de línea, al cable coaxial correspondiente a la antena del enlace de distribución. Los protectores de línea, a su vez, también se conectarán a la torre mediante un cable en su tercera toma. Este cable se sujetará al protector con un terminal "O".

### 16.4.2. Instalación y configuración de los enrutadores de la red de acceso

Luego de que el enrutador inalámbrico de la estación cliente esté configurado, se tiene que realizar el cableado correspondiente. La Figura 16.21 detalla el cableado de radiofrecuencia (no incluye cables de red, es decir, el cableado de la LAN) de la estación cliente.

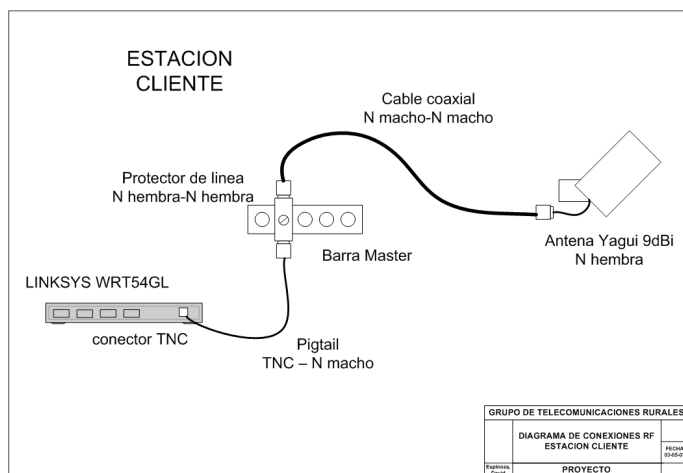


Figura 16.21.: Diagrama de conexiones RF de la estación cliente.

En el esquema se pueden apreciar los dispositivos RF y la descripción de sus conectores. En la instalación de este cableado se debe tener en cuenta:

- Conexión enrutador-*pigtail*. Colocar el *pigtail* en el conector adecuado.
- Conexión *pigtail*-protector de línea. Asegurarse de que el conector del *pigtail* ingrese lo suficiente para que exista buen contacto con el protector de línea.
- Conexión protector de línea-cable coaxial. Asegurarse de que el conector del cable coaxial ingrese lo suficiente para que exista buen contacto con el protector

de línea.

- Tendido del cable coaxial. El cable debe ser desplegado de manera que no forme ángulos cerrados (menos de 90 grados) en su trayectoria (podrían producir que el conductor central se quiebre). Al llegar a la antena, el cable debe hacer un suave arco cóncavo hacia abajo (para evitar que cuando llueva, el agua que fluye sobre el cable ingrese al interior de la estación).
- Conexión cable coaxial-antena. Asegurarse de que el conector del cable coaxial ingrese lo suficiente para que exista buen contacto con el cable de la antena.
- Aislamiento de conexiones exteriores. La conexión del cable coaxial con la antena se encontrará, habitualmente, en el exterior, expuesta a la lluvia y la intemperie, por lo cual deberá ser vulcanizada.
- Polarización de la antena. La antena en la estación cliente tiene que estar polarizada (vertical u horizontalmente) de la misma manera que la antena en la estación repetidora, para optimizar la transmisión de la señal. Para que se tenga la misma polarización, basta con que sean ensambladas y montadas de la misma manera.

## 16.5. Pruebas y certificación de la instalación

Una vez concluida la fase de instalación de una red de telecomunicación rural inalámbrica, es necesario ejecutar un conjunto ordenado de pruebas para asegurar que todos los componentes y servicios están debidamente operativos. Cuando este paso se supera con éxito, se puede certificar la operatividad de la instalación. Se verán a continuación las recomendaciones para efectuar dicho conjunto de pruebas que llamaremos "protocolo de pruebas postinstalación".

### 16.5.1. Herramientas básicas de diagnóstico

Para la gestión y operación de equipos de comunicación (computadoras y enrutadores) se necesita acceder a la interfaz de comandos de estos equipos. Esto se puede hacer directamente en la computadora, pero no así en los enrutadores. Para acceder a los enrutadores se debe hacer uso del comando Linux **ssh**, generalmente ejecutado desde un terminal de comandos en la computadora. Este terminal de comandos es provisto por la aplicación "terminal", a la que se puede ingresar desde el menú Aplicaciones→Accesorios→Terminal.

Al abrir un terminal se mostrará un cursor que puede terminar en los símbolos \$ o #. El \$ indica que se tiene permisos como usuario simple de esa computadora, y el # indica que se dispone de permisos como usuario administrador (en Linux, el usuario administrador por defecto es root). Desde este terminal es posible realizar tareas administrativas a través de comandos; por ejemplo, para el acceso por ssh:

```
root@pc-ehas:~# ssh root@ip-equipos
```

Donde `ip-equipo` es la dirección IP del equipo al que se desea acceder. Una vez ejecutado este comando se pide el ingreso de la contraseña del equipo.

```
root@10.0.10.1's password:
```

Si es la primera vez que se está ingresando al equipo desde esa computadora, aparecerá un mensaje antes de pedir el ingreso de la contraseña; sólo se debe responder "yes" a la pregunta:

```
The authenticity of host '10.0.10.12 (10.0.10.12)' can't be established.  
DSA key fingerprint is 58:f1:94:a0:c1:47:65:14:f0:ca:70:d7:a7:11:c6:70.  
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes  
root@10.0.10.1's password:
```

Una vez que se ingresa la contraseña, ya se accede a la interfaz de comandos del equipo remoto, listo para hacer tareas administrativas.

Algunos enrutadores, como por ejemplo el WRT54GL [214], poseen una interfaz Web de administración. Para acceder a ésta se escribe la dirección IP del enrutador en la barra de direcciones del navegador.

Otro comando importante es **ping**, con el que podemos saber si un equipo de la red está activo o no. Este comando realiza peticiones de respuesta al equipo cuya dirección IP o nombre se indica; por ejemplo:

```
root@pc-ehas:~# ping 192.168.5.1  
root@pc-ehas:~# ping 10.0.2.1  
root@pc-ehas:~# ping www.google.com.pe
```

Si el equipo está activo enviará un mensaje similar al mostrado a continuación:

```
root@pc-ehas:~# ping 10.0.2.1  
PING 10.0.2.1 (10.0.2.1) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.047 ms  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.044 ms  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.045 ms  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.045 ms  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms  
64 bytes from 10.0.2.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.048 ms  
  
--- 10.0.2.12 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 4999ms  
rtt min/avg/max/mdev = 0.044/0.045/0.048/0.008 ms
```

Si no está activo mostrará un mensaje similar al siguiente:

```
root@pc-ehas:~# ping 10.0.1.2
PING 10.0.2.1 (10.0.2.1) 56(84) bytes of data.
From 10.0.2.12 icmp_seq=1 Destination Host Unreachable
From 10.0.2.12 icmp_seq=2 Destination Host Unreachable
From 10.0.2.12 icmp_seq=3 Destination Host Unreachable
From 10.0.2.12 icmp_seq=4 Destination Host Unreachable
From 10.0.2.12 icmp_seq=5 Destination Host Unreachable
From 10.0.2.12 icmp_seq=6 Destination Host Unreachable

--- 10.0.2.1 ping statistics ---
 8 packets transmitted, 0 received, +6 errors, 100% packet loss, time
7024ms, pipe 3
root@pc-ehas:~#
```

Para detener la ejecución del comando ping se usa la combinación Ctrl + C.

Otro comando importante es **ifconfig**, con el cual se observan los parámetros de las distintas interfaces de red del equipo; por ejemplo para una computadora se tendría:

```
root@pc-ehas:~# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet HWaddr 00:D0:59:D9:B2:5C
          inet addr:10.0.2.12 Bcast:10.255.255.255 Mask:255.0.0.0
          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)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING MTU:16436 Metric:1
          RX packets:93 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:93 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:8183 (7.9 KiB) TX bytes:8183 (7.9 KiB)
```

Existen diversos comandos en Linux que son útiles para la gestión de redes en general. En los siguientes apartados se verán algunos de ellos aplicados a tareas de administración de dispositivos.

### 16.5.2. Verificación de equipos activos en la red

Mediante esta verificación se puede averiguar qué equipos de la red están activos, y para esto se usa el comando ping. Cabe resaltar que este comando sólo tiene como parámetro la dirección IP del equipo del que se desea saber si está activo o no. Siempre teniendo como ejemplo la red Napo, los equipos sobre los que se puede consultar la actividad son la computadora, el enrutador WRT54GL [214], los enrutadores ALIX [218]

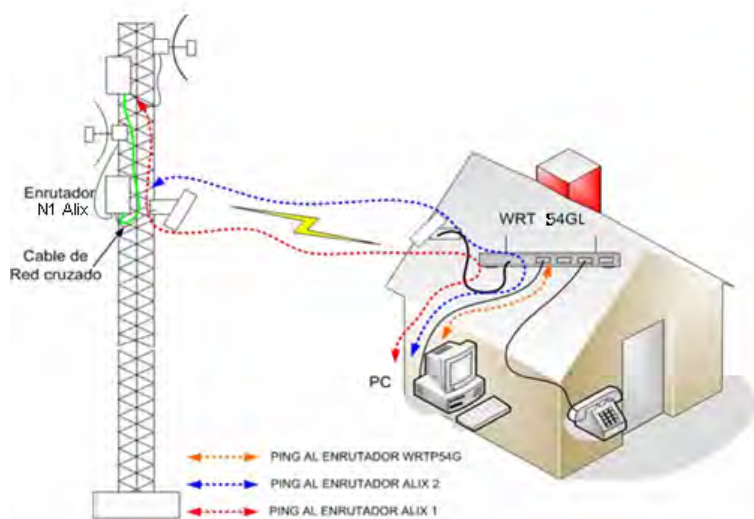


Figura 16.22.: Prueba de conectividad local desde la computadora.

y cualquier otro que tenga una dirección IP y que pertenezca a la red. Esta prueba se hace desde cualquier equipo que brinde una interfaz de comandos.

Inicialmente, las pruebas de conectividad se tienen que realizar desde la computadora de la estación cliente hacia los miembros de la red local. En la Figura 16.22 se muestra con líneas punteadas de distintos colores cómo se prueba la conectividad de la computadora con los enrutadores inalámbricos. La secuencia a seguir sería:

- ping al WRT54GL
- ping al N1 Alix
- ping al N2 Alix

Luego de probar la conectividad con los dispositivos de la red local, se puede pasar a la verificación de los enlaces con otras estaciones repetidoras y por lo tanto con otras redes de distribución. Esta vez la prueba de ping se puede hacer accediendo remotamente a alguno de los enrutadores de la estación repetidora respectiva (Figura 16.23).

### 16.5.3. Prueba del nivel de señal recibida

En los enlaces troncales y de distribución, de acuerdo con la topología de la infraestructura implementada, los enrutadores del repetidor y los locales se han configurado como puntos de acceso (*Access Point*, AP) y como estaciones cliente (*Station*, STA) respectivamente. Cada uno de estos enrutadores o equipos de radio funcionará como transmisor y receptor, debido a que la transmisión de datos es bidireccional. Para que el enlace se produzca, el nivel de recepción en ambos equipos debe ser mejor que el nivel de sensibilidad. Supóngase, por ejemplo, que el nivel de sensibilidad de las

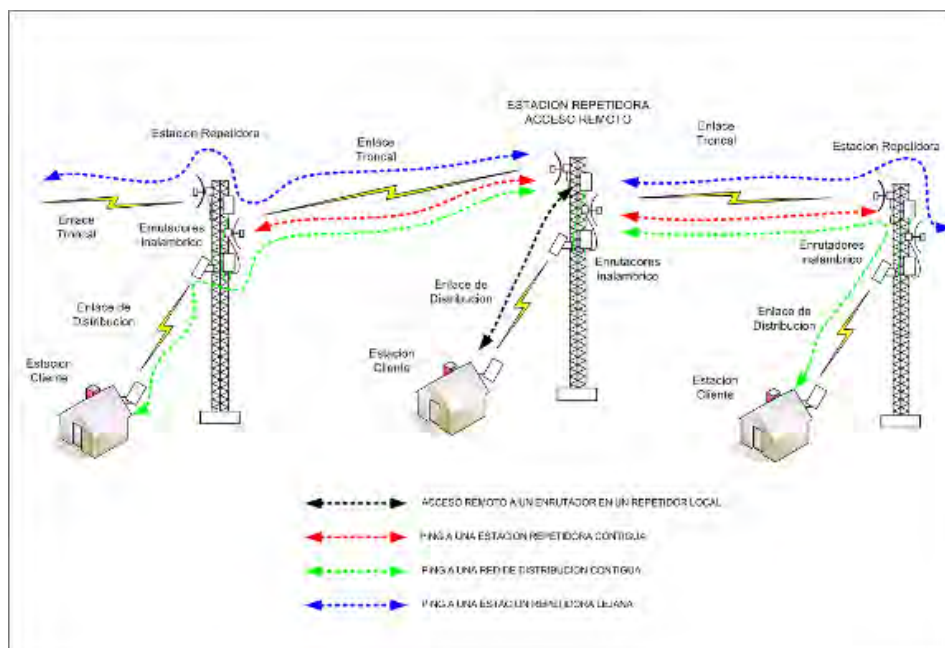


Figura 16.23.: Prueba de conectividad con otros puntos de la red.

interfaces inalámbricas de los enlaces troncales tiene un valor de  $-95$  dBm (ver las especificaciones de los equipos instalados); en ese caso, el nivel de recepción mínimo que se considera aceptable para establecer enlaces estables y con un buen ancho de banda (mayor que 3 Mbps) es 20 dB por encima del nivel de sensibilidad, es decir, unos  $-74$  dBm.

Un comando que se puede utilizar para determinar el nivel de la señal recibida es **iwconfig**, a ejecutarse desde la línea de comandos de uno de los enrutadores que forman el enlace. La sintaxis del comando acepta que se indique la interfaz sobre la cual se efectuará la prueba; de lo contrario entrega la información de todas las interfaces detectadas.

Como ejemplo, se desea saber el nivel de señal en el enlace EHAS19 conformado por las estaciones Negro Urco N2 Alix (ath0 SR2 sta) y Tuta Pishco N1 Alix (ath0 SR2 ap). Para esto se accede a Negro Urco N2 Alix y a Tuta Pishco N1 Alix (hay que ver las IP en las tablas correspondientes) y se ejecuta el comando `iwconfig ath0` tanto en Negro Urco N2 Alix como en Tuta Pishco N1 Alix. Lo que se observe en Negro Urco N2 Alix será la señal emitida por Tuta Pishco N1 Alix, y lo que se lee en Tuta Pishco N1 Alix será la señal enviada por Negro Urco N2 Alix.

A continuación se presenta el resultado para una medición del nivel de señal recibida usando el comando `iwconfig`:

```
wrap-ehas-1:/# iwconfig
lo          no wireless extensions.
eth0        no wireless extensions.
eth1        no wireless extensions.
ath0        IEEE 802.11g ESSID:"NAP05"
            Mode:Master Frequency:2.412GHz Access Point:00:02:6F:38:DE:71
            Bit Rate:6Mb/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:-95 dBm
            Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
            Tx excessive retries:0 Invalid misc:6314 Missed beacon:0
ath1        IEEE 802.11g ESSID:"EHAS1"
            Mode:Managed Frequency:2.436 GHz
            AccessPoint:00:06:6D:AB:CD:19
            Bit Rate:6Mb/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:-72 dBm Noise level:-95 dBm
            Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
            Tx excessive retries:0 Invalid misc:119 Missed beacon:0
```

Debe tenerse en cuenta que el comando `iwconfig` sólo da respuesta para interfaces inalámbricas (en nuestro caso `ath0` y `ath1`). En el ejemplo, en la información relativa a la interfaz `ath0`, que corresponde al AP en el enlace de distribución, se observa entre otros: el ESSID, que indica el nombre del enlace al que pertenece; el parámetro `Mode`, que indica si es AP (*Master*) o STA (*Managed*); la dirección MAC del Access Point (si la interfaz es *Master* la dirección MAC será la de la misma interfaz, y si es *Managed* la MAC será la del AP a la que está enlazada); y `Signal level`, el nivel de señal de recepción, que en este caso es de -69 dBm. Por su parte, la interfaz inalámbrica `ath1`, que corresponde a un STA (*Managed*) del enlace troncal, muestra un nivel de -72 dBm, mayor que el de -74 dBm indicado como mínimo.

#### 16.5.4. Alineamiento de antenas

El alineamiento de las antenas se realiza tanto en los enlaces troncales como en los enlaces de distribución (acceso). Por ejemplo, en la red Napo, cada enlace EHASX (troncal) o NAPOX (distribución) ha sido alineado encontrando la mejor señal posible. Técnicamente, alinear antenas significa mover las dos antenas que forman el enlace para encontrar el mejor nivel de señal. Obviamente, alinear antenas en enlaces cortos es más sencillo que en enlaces largos.



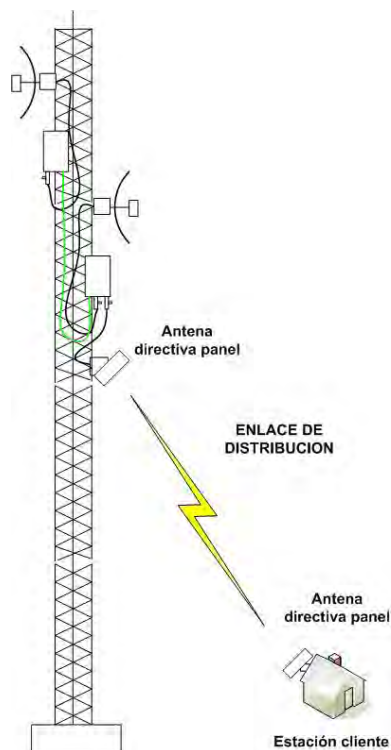


Figura 16.24.: Ejemplo de alineamiento de antenas en un enlace de distribución.

#### 16.5.4.1. Alineamiento en los enlaces de distribución

En los enlaces de distribución (Figura 16.24), el alineamiento se puede hacer con tres operarios: uno debe estar en la torre, otro en la estación cliente, y el tercero debe acceder desde la computadora a los enrutadores y observar los niveles de señal. Los tres deben estar comunicados para encontrar el mejor posicionamiento de las antenas.

Luego de haber instalado las antenas, cables, protectores de línea y los enrutadores, se procede al establecimiento del enlace entre el enrutador del repetidor y el de la estación cliente. Para ello se deberá seguir la siguiente secuencia:

- Desde la computadora de la estación cliente, se accede de manera remota al enrutador WRT54GL por medio del comando ssh. Luego se procede a probar la conectividad con el enrutador N1 Alix mediante el comando ping.
- Una vez verificada la conectividad entre los enrutadores, se procede a abrir un nuevo terminal para acceder de manera remota al enrutador N1 Alix mediante ssh.
- En este momento se tendrán dos terminales abiertos, uno para cada enrutador, y se ejecuta el comando iwconfig en ambos.

El resultado de esta prueba debe ser similar al ejemplo mostrado a continuación y, según sea el caso, se mostrará NAPO1, NAPO2, y así sucesivamente, y del mismo modo EHAS1, EHAS2, etc.

```

sclotilde-ln2:/# iwconfig
lo          no wireless extensions.
eth0       no wireless extensions.
eth1       no wireless extensions.
ath0       IEEE 802.11g ESSID:"NAPO2"
           Mode:Master Frequency:2.412GHz Access 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
ath1       IEEE 802.11g ESSID:"EHAS2"
           Mode:Managed Frequency:2.432GHz AccessPoint:00:04:6F:38:CD:44
           Bit Rate:2Mb/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:-75 dBm Noise level:-90 dBm
           Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
           Tx excessive retries:0 Invalid misc:119 Missed beacon:0

```

Para realizar el alineamiento, el parámetro más importante a revisar es Signal level, que en el ejemplo es de -69 dBm.

Como se ha mencionado, 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 en la dirección exacta de la otra antena. Es necesario, por lo tanto, alinear ambas antenas, una cada vez, en forma alternada y al menos dos veces. Manteniendo establecidas las conexiones, se debe observar 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 el mejor nivel de señal recibido en el enrutador local. Luego, se procederá a hacer otro barrido en el eje vertical. Los movimientos deben ser suaves, procurando 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.
- A continuación, se moverá de la misma manera la antena del enrutador N1 Alix hasta conseguir el mejor nivel de señal posible. Este nivel se observará en la consola de acceso remoto a la N1 Alix. Si se llega a perder la conexión se deberá realizar el mismo proceso explicado anteriormente.
- El proceso se debe repetir para afinar el alineamiento.

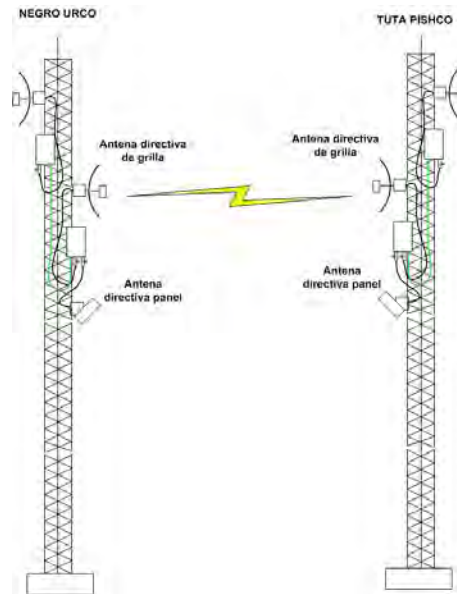


Figura 16.25.: Ejemplo de alineamiento de antenas en un enlace troncal.

- Finalmente, se ajustarán las abrazaderas de las antenas teniendo cuidado de no variar la alineación conseguida.

#### 16.5.4.2. Alineamiento en los enlaces troncales

En los enlaces troncales (Figura 16.25), el alineamiento se puede efectuar con cuatro operarios, dos por cada repetidor. De estos dos, uno debe estar en la torre y el otro en la estación cliente. Si fuese posible, los dos operarios ubicados en las torres deben comunicarse en forma directa, mientras que los operarios en las estaciones clientes deben acceder a sus respectivos enrutadores ALIX y monitorizar el nivel de señal mientras se mueven las antenas, siempre una cada vez. A diferencia de los enlaces de distribución, las antenas de los enlaces troncales están muy distantes y no se verán a simple vista, por lo cual se tendrá que contar, al menos, con una brújula, un catalejo y un par de radios portátiles VHF en cada lado del enlace.

El alineamiento inicial se realizará orientando las antenas con ayuda de la brújula, de acuerdo con los datos definidos en el diseño de la red. Se recomienda no ajustar completamente las antenas, a fin de facilitar un alineamiento más preciso, para lo cual se asume que con el alineamiento inicial se ha conseguido enlazar ambas estaciones repetidoras y sólo se debe mejorar el nivel de recepción. El procedimiento es el siguiente:

- Acceder a los enrutadores inalámbricos a enlazar. Las personas ubicadas en las computadoras de las estaciones cliente deben acceder en forma remota al enrutador ALIX ubicado en su lado del enlace troncal que se está alineando.

- Observar el nivel de señal de las interfaces inalámbricas involucradas en el enlace troncal.
- Para realizar el alineamiento propiamente dicho se procede en forma similar a la descrita para los enlaces de distribución, con la salvedad de que, en este caso, la coordinación se realiza entre las cuatro personas involucradas.
- Por último, debe tenerse en cuenta que el ajuste final de los cables coaxiales de las antenas debe ser manual, sin uso de herramientas como llaves hexagonales o autoajustables.