

Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo

Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo

Por más información acerca de este proyecto, visítenos en <http://wndw.net/>

Primera edición, enero de 2006

Muchas de las denominaciones utilizadas por creadores y vendedores de productos para distinguirlos del resto, son reivindicadas como marcas registradas. Cuando ese tipo de denominaciones aparecen en este libro, y los autores tenían conocimiento de que existía esa exigencia, las mismas aparecen impresas en letras mayúsculas o con la letra inicial en mayúscula. Todas las otras marcas registradas son propiedad de sus respectivos dueños.

Los autores y el editor de este libro han tenido el debido cuidado en la preparación del mismo, pero no dan expresa ni implícitamente garantías de ningún tipo así como no asumen la responsabilidad por errores u omisiones. Tampoco se responsabilizan por incidentes o daños surgidos como resultado del uso de información contenida en este libro.

© 2006, Limehouse Book Sprint Team



Este trabajo fue publicado bajo la licencia: Creative Commons **Attribution-ShareAlike 2.5**.

Por más detalles acerca de sus derechos para utilizar y redistribuir este trabajo diríjase a: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

Tabla de Contenido

Sobre este Libro

¿Dónde Comenzar?

Propósito de este libro.....	2
Incorporar una red inalámbrica a una red preexistente.....	3
Protocolos de redes inalámbricas.....	4
Preguntas y Respuestas.....	5

Una Introducción Práctica a la Física de Radio

¿Qué es una onda de radio?.....	9
Polarización.....	13
El espectro electromagnético.....	14
Ancho de Banda.....	15
Frecuencias y canales.....	15
Comportamiento de las ondas de radio.....	16
Línea visual.....	23
Energía.....	26

Diseño de Redes

Diseñando la red física.....	29
La red lógica.....	33
Redes Internet.....	37
Redes mesh con OLSR.....	42
Estimando la capacidad.....	52
Planificar enlaces.....	55
Optimización del Tráfico.....	70
Optimización del enlace a Internet.....	81

Antenas y Líneas de Transmisión

Cables.....	87
Guías de Ondas.....	90
Conectores y adaptadores.....	92
Antenas y diagramas (patrones) de radiación.....	95
Teoría de los Reflectores.....	108
Amplificadores.....	109

Diseños prácticos de antenas.....	110
-----------------------------------	-----

Equipamiento para Redes

Cableado Inalámbrico.....	131
Eligiendo los componentes inalámbricos.....	133
Soluciones comerciales vs. Soluciones DIY (hágalo usted mismo).....	135
Productos inalámbricos profesionales.....	138
Construyendo un AP con una PC.....	144

Seguridad

Seguridad física.....	158
Amenazas a la red.....	160
Autenticación.....	163
Privacidad.....	169
Monitoreo.....	177

Construyendo un Nodo en Exteriores

Cajas herméticas.....	187
Suministro de energía.....	188
Consideraciones de montaje.....	190
Seguridad.....	196
Alineación de antenas en un enlace a larga distancia.....	197
Protección contra rayos y fluctuaciones de tensión eléctrica.....	199
Energía solar y eólica.....	201

Resolución de Problemas

Formando su equipo.....	213
Técnicas adecuadas para la resolución de problemas.....	216
Problemas comunes de las redes.....	218

Estudios de Casos

Consejos generales.....	229
Estudio de caso: Cruzando la brecha con un simple puente en Timbuctú.....	233
Estudio de caso: Encontrando una base sólida en Gao.....	235
Estudio de caso: Spectrópolis, Nueva York.....	239
Estudio de caso: La búsqueda de acceso a Internet asequible en zonas rurales de Mali.....	244
Estudio de caso: Usos comerciales en África del Este.....	252
Apéndice A: Recursos.....	261
Apéndice B: Asignación de Canales.....	267

Sobre este Libro

Este libro es parte de un conjunto de materiales sobre el mismo tema: Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. Aunque no todos los materiales están disponibles en el momento de esta edición, los mismos van a incluir:

- Libros impresos
- Una versión electrónica gratuita en formato PDF (Portable Digital Format) del texto que puede ser distribuida libremente
- Una lista de correo electrónico para la discusión de conceptos y técnicas descritas en el libro
- Casos de estudio adicionales, materiales de entrenamiento e información relacionada

Para consultar estos y otros materiales, visite nuestro sitio web en: <http://wndw.net/>

El libro y el archivo PDF están publicados bajo una licencia de **Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5**. Esto le permite a cualquier persona hacer copias e incluso venderlas con el fin de obtener beneficios económicos, siempre y cuando la autoría sea atribuida correctamente a los escritores y que todos los trabajos derivados se pongan a disposición bajo los mismos términos. Todas las copias o trabajos derivados **deben** incluir un enlace visible a nuestro sitio web, <http://wndw.net/>. Por más información acerca de estos términos vea el sitio <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>.

Las copias impresas pueden ser ordenadas desde el servicio de impresión a demanda Lulu.com. Para conocer los detalles sobre cómo ordenar una copia impresa puede consultar el sitio web (<http://wndw.net/>). El PDF va a ser actualizado periódicamente y solicitándolo desde el servicio de impresión a demanda se asegura que usted va a recibir siempre la última revisión.

El sitio web va a incluir más casos de estudio, referencias a páginas externas, así como actualizaciones del equipamiento. Aquellos voluntarios que quieran aportar ideas son bienvenidos. Por favor suscríbese a la lista de correo electrónico y envíe sus comentarios.

Los materiales de entrenamiento fueron escritos para cursos dados por la Association for Progressive Communications (APC Asociación para el Progreso de las Comunicaciones) y el Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP, Centro Internacional de Física Teórica). Para más detalles acerca de esos cursos y sus materiales de trabajo vea la página web <http://www.apc.org/wireless/> y <http://wireless.ictp.it/>. Información adicional fue suministrada por la International Network for the Availability of Scientific Publications (INASP, Red internacional para la Disponibilidad de Publicaciones Científicas), <http://www.inasp.info/>. Algunos de esos materiales han sido incorporados directamente en este libro.

Créditos

Este libro se inició como el proyecto BookSprint en la versión 2005 del WSFII, en Londres, Inglaterra (<http://www.wsfii.org/>). Un equipo central de siete personas construyó los lineamientos iniciales durante el transcurso del evento, presentó los resultados en la conferencia y escribió el libro en el curso de unos pocos meses. Rob Flickenger actuó como autor principal y editor. A lo largo del proyecto el grupo central solicitó activamente la contribución y la retroalimentación de la comunidad de redes inalámbricas.

Grupo Central

- **Corinna “Elektra” Aichele.** Los intereses principales de Elektra incluyen: sistemas autónomos de energía y sistemas de comunicación inalámbrica (antenas, redes inalámbricas de largo alcance y redes mesh). Realizó una pequeña distribución de Linux basada en Slackware orientada a redes mesh. Esta información es por supuesto redundante si uno lee el libro... <http://www.scii.nl/~elektra>
- **Rob Flickenger** fue el autor principal, editor e ilustrador de este libro. Ha estado escribiendo profesionalmente desde el 2002. Escribió y editó varios libros incluyendo, *Building Wireless Community Networks* y *Wireless Hacks*, de los cuales existen las versiones en español, *Construyendo Redes Inalámbricas Comunitarias* y *Trucos Inalámbricos*, publicados por O'Reilly Media. Co-fundó Metrix Communication LLC (<http://metrix.net/>), una compañía de equipamiento inalámbrico dedicada a las redes inalámbricas ubicuas y al desarrollo de software y estándares libres. Antes de convertirse en miembro activo de SeattleWireless (<http://seattlewireless.net/>), fue uno de los fundadores principales del proyecto NoCat (<http://nocat.net/>).

El objetivo último de Rob es la realización de Infinite Bandwidth Everywhere for Free (Ancho de banda infinito y gratuito en todas partes). Algunas de las aventuras vividas a lo largo del camino para la realización este objetivo están publicadas en <http://constructiveinterference.net/>

- **Carlo Fonda** es miembro de la Radio Communications Unit (Unidad de Radiocomunicaciones) del Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP, Centro Internacional de Física Teórica) en Trieste, Italia.
- **Jim Forster** ha dedicado su carrera al desarrollo de software, trabajando mayormente en redes y sistemas operativos en compañías de productos. Tiene experiencia en la puesta en marcha de varias compañías fallidas en Silicon Valley, así como de una exitosa, Cisco Systems. Luego de trabajar mucho en el desarrollo de productos, sus actividades más recientes se centran en proyectos y políticas para mejorar el acceso a Internet en los países en vías de desarrollo. Puede ser contactado en jrforster@mac.com.
- **Ian Howard**. Luego de viajar alrededor del mundo como paracaidista del ejército canadiense, Ian Howard decidió cambiar su arma por una computadora.

Después de graduarse en ciencias del medio ambiente en la Universidad de Waterloo, escribió en una propuesta, "La tecnología inalámbrica tiene la oportunidad de eliminar la brecha digital. Las naciones pobres, que no tienen la infraestructura para la interconectividad como nosotros, ahora van a ser capaces de crear una infraestructura inalámbrica. Como recompensa, Geekcorps lo envió a Mali como el Gerente de Programas de Geekcorps Mali, donde lideró un grupo que dotó estaciones de radio con interconexiones inalámbricas y diseñó sistemas para compartir contenidos.

Actualmente es consultor en varios programas de Geekcorps.

- **Tomas Krag** dedica sus días al trabajo en wire.less.dk, una organización sin fines de lucro, con base en Copenhague, que fundó con su amigo y colega Sebastian Büttrich a principios del 2002. wire.less.dk se especializa en soluciones con redes inalámbricas y tiene su foco principal en redes inalámbricas de bajo costo para los países en desarrollo.

Tomas también está asociado al Tactical Technology Collective <http://tacticaltech.org/>, una organización sin fines de lucro con base en Ámsterdam "para fortalecer los movimientos de redes y tecnología social en países en transición y en vías de desarrollo, así como promover el uso efectivo, consciente y creativo de las nuevas tecnologías por parte de la sociedad civil." Actualmente sus energías están avocadas al Wireless Roadshow (<http://www.thewirelessroadshow.org/>), un proyecto que ayuda a socios de la sociedad civil en los países en desarrollo a planificar, construir y mantener soluciones de conectividad basadas en frecuencias libres y tecnologías abiertas.

- **Marco Zennaro**, también conocido como [marcusgennaro](http://marcusgennaro.com), es un ingeniero electrónico que trabaja en el ICTP en Trieste, Italia. Un radioaficionado que ha estado utilizando BBSes desde que era un adolescente, es feliz de conjugar ambas actividades trabajando en el campo de las redes inalámbricas. Aún lleva consigo su Apple Newton.

Además del grupo central, otras personas han contribuido en la escritura, sugerencias y la edición del libro, brindando sus habilidades para hacer de este proyecto lo que es.

Colaboradores

- **Sebastián Büttrich** (*wire.less.dk*) posee conocimientos generales en tecnología con formación en programación científica y física. Originario de Berlín, Alemania, trabajó con IconMedialab en Copenhague desde 1997 a 2002. Posee un Ph.D. en física cuántica de la Universidad Técnica de Berlín. Su conocimiento en física incluye campos tales como radio frecuencia y espectroscopía de microondas, sistemas fotovoltaicos y matemáticas avanzada.

También es músico profesional.

- **Kyle Johnston**, <http://www.schoolnet.na/>
- **Adam Messer**. Habiéndose capacitado originalmente como científico de insectos, Adam Messer se metamorfoseó en un profesional de las telecomunicaciones luego de que una conversación inesperada en 1995 lo llevó a fundar uno de los primeros ISPs (Proveedores de Servicios de Internet) de África. Siendo pionero en proveer servicios inalámbricos en Tanzania, Messer trabajó once años en África del este y del sur en comunicaciones de voz y datos tanto para nuevas empresas como para multinacionales de celulares. En la actualidad reside en Amán, Jordania.
- **Ermanno Pietrosevoli** ha estado involucrado en la planificación y construcción de redes de computadoras durante los últimos veinte años. Como presidente de la Fundación Escuela Latinoamericana de Redes “EsLaRed”, www.eslared.org.ve, ha estado enseñando comunicaciones de datos en varios países, manteniendo su base en Mérida, Venezuela.
- **Dana Spiegel** es consultor independiente de software y fundador de sociableDESIGN (www.sociableDESIGN.com), una firma consultora que se especializa en software social y tecnologías inalámbricas. Se desempeña como director ejecutiva y como miembro de la junta directiva de NYCwireless (www.nycwireless.net), una organización sin fines de lucro de la ciudad de Nueva York que se dedica al desarrollo de redes inalámbricas públicas gratuitas. También escribe el blog Wireless Community (www.wirelesscommunity.info).

Brindaron su Apoyo

- **Lisa Chan** (<http://www.cowinanorange.com/>) fue la editora principal.

- **Richard Lotz** (<http://greenbits.net/~rlotz/>) realizó revisiones técnicas y sugerencias. Trabaja en proyectos de SeattleWireless y prefiere dejar su nodo (y su casa) desconectados.
- **Casey Halverson** (<http://seattlewireless.net/~casey/>) realizó revisiones técnicas y sugerencias.
- **Catherine Sharp** (<http://odessablue.com/>) colaboró en la edición.
- **Matt Westervelt** (<http://seattlewireless.net/~mattw/>) realizó revisiones técnicas y colaboró en la edición. Es el fundador de SeattleWireless (<http://seattlewireless.net>), y un difusor de FreeNetworks por todo el mundo.

Dejó el mundo corporativo para comenzar Metrix Communication LLC (<http://metrix.net>), una compañía creada para proveer a los activistas de las redes libres con productos para redes inalámbricas de alta calidad basados en estándares. De niño, miró mucho Plaza Sésamo y tiene una firme creencia (quizás errónea) de que la cooperación puede resolver muchos de los problemas del mundo.

La Traducción al Castellano

El equipo Booksprint quiere agradecer la enorme contribución realizada por colegas y amigos alrededor del mundo quienes hicieron posible que el libro "Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo" esté disponible en varios idiomas.

La traducción al castellano fue realizada por Alexandra Dans, y revisada por Guido Iribarren, Bernabé García, Magdalena Bergamino, Javier Vito Spezzi, Miguel Angel Argañaraz, Bruce Schulte, Lourdes Pietrosevoli y Sylvia Cadena. Todas sus contribuciones fueron editadas por Ermanno Pietrosevoli, nuestro Editor General, quien se encargó de garantizar que los conceptos técnicos fueran preservados y expresados correctamente. Este esfuerzo colectivo fue coordinado a través de WiLAC, <http://www.wilac.net>.

Desde la coordinación, quiero agradecer especialmente a Joaquín Moreno Dans, el bebé al que Alexandra dió a luz en el medio de todo este proceso, por el tiempo que le quitamos al lado de su madre (que fue una cantidad!), a su esposo Sebastián, y a su hija Julieta por el apoyo y la comprensión.

El Equipo de Traducción al Castellano quiere agradecer a nuestras organizaciones y familias que nos han permitido dedicar tiempo y energía para hacer esto posible:

- BuenosAiresLibre <http://www.buenosairesibre.org>
- MontevideoLibre, <http://www.montevideolibre.org>

- Fundación EsLaRed, <http://www.eslared.org.ve>
- WiLAC, <http://www.wilac.net>
- Instituto para la Conectividad en las Américas - ICA
<http://www.icamericas.net>

Agradecimientos especiales

El equipo quiere agradecer a los organizadores de WSFII por proveer el espacio, apoyo y el ancho de banda ocasional que sirvió como incubadora para este proyecto. Queremos agradecer especialmente a los gestores de las redes comunitarias en cualquier lugar, quienes dedican mucho de su tiempo y energía para alcanzar la promesa de una Internet global. Sin ustedes las redes comunitarias no podrían existir.

1

¿Dónde Comenzar?

Este libro fue realizado por un equipo de personas quienes, cada una en su campo, son participantes activas en la inacabable tarea de expandir la cobertura de Internet más allá de lo que nunca ha llegado. La masiva popularidad de las redes inalámbricas ha llevado a una disminución continua del costo del equipamiento, mientras que la capacidad del mismo continúa incrementándose. Creemos que aprovechando este contexto, las personas van a comenzar a formar parte en la construcción de su propia infraestructura de comunicaciones. Esperamos no sólo convencer al lector de que esto es posible, sino también, mostrarle cómo hemos logrado que esas redes funcionen ofreciendo la información y herramientas necesarias para emprender una red en su comunidad.

La infraestructura inalámbrica puede ser construida a muy bajo costo en comparación con las alternativas tradicionales de cableado. Pero construir redes inalámbricas se refiere sólo en parte al ahorro de dinero. Proveyendo a su comunidad con un acceso a la información más sencillo y económico, la misma se va a beneficiar directamente con lo que Internet tiene para ofrecer. El tiempo y el esfuerzo ahorrado gracias a tener acceso a la red global de información, se traduce en bienestar a escala local, porque se puede hacer más trabajo en menos tiempo y con menos esfuerzo.

Así mismo, la red se transforma el algo más valioso cuanto más gente esté conectada a ella. Las comunidades que se conectan a Internet a una alta velocidad participan en el mercado global, donde las transacciones suceden alrededor del mundo a la velocidad de la luz. Las personas de todo el mundo se están encontrando con que el acceso a Internet les brinda una voz para discutir sus problemas, políticas, y cualquier cosa que sea importante en sus vidas, de una forma con la cual el teléfono y la televisión simplemente no pueden competir. Lo que hasta hace poco sonaba a ciencia ficción se está

transformando en realidad, y esta realidad se está construyendo sobre redes inalámbricas.

Pero aún sin acceso a Internet, las redes inalámbricas comunitarias tienen un gran valor. Les permiten a las personas colaborar en proyectos a largas distancias. Comunicaciones de voz, el correo electrónico y otros datos pueden ser intercambiados a un bajo costo. Involucrando a las personas de la comunidad en la construcción de la red, el conocimiento y la confianza se extienden a toda la comunidad y la gente comienza a comprender la importancia de tomar parte en su infraestructura de comunicaciones. En última instancia, la gente se hace consciente de que las redes de comunicaciones se hacen para permitirles conectarse unos con otros.

En este libro nos enfocaremos en las tecnologías inalámbricas de redes de datos que operan en la familia de estándares 802.11. Aunque dicha red puede transmitir datos, voz y video (tal como el tráfico tradicional de Internet), las redes descritas en este libro son redes de datos. No cubrimos GSM, CDMA u otras tecnologías inalámbricas de voz, ya que el costo de utilizar esas tecnologías va mucho más allá del alcance de la mayoría de los proyectos de las comunidades.

Propósito de este libro

El objetivo general de este libro es ayudarlo a usted a construir tecnologías de comunicación accesibles para su comunidad por medio del buen uso de todos los recursos disponibles. Utilizando equipamiento económico disponible, se pueden construir redes de alta velocidad de transmisión que conecten áreas remotas, proveer acceso de banda ancha donde ni siquiera existe la conexión por discado y conectarlo a usted y a sus vecinos a Internet. Utilizando materiales locales y fabricando partes usted mismo se pueden armar enlaces de red confiables con muy poco presupuesto. Más aún, trabajando con su comunidad usted puede construir una infraestructura de telecomunicaciones que beneficie a todos los que participen en ella.

Este libro no es una guía para configurar una tarjeta de radio en su laptop o seleccionar los productos adecuados a la red de su hogar. El énfasis está puesto en el armado de infraestructuras de enlace con la intención de ser utilizadas como el eje de redes inalámbricas de amplio alcance. Con este objetivo en mente, la información es presentada desde varios puntos de vista, incluyendo factores técnicos, sociales y económicos. Los estudios de casos presentados muestran los intentos de instalación de esas redes, los recursos utilizados, y los resultados obtenidos en dichos intentos.

Desde los primeros experimentos con transmisión de chispas con bobinas interrumpidas al final del siglo antepasado, la tecnología inalámbrica ha sido

un área que ha evolucionado rápidamente. Si bien en este libro proporcionamos ejemplos específicos de cómo construir enlaces de datos de alta velocidad, las técnicas descritas en el mismo no intentan reemplazar las infraestructuras de cableado existentes (tales como el sistema telefónico y la fibra óptica). Por el contrario, estas técnicas permiten incrementar la capacidad de esos sistemas, y proveer conectividad en áreas donde la fibra u otro tipo de cable son una solución poco práctica.

Esperamos que este texto le sea útil para solucionar sus necesidades específicas de comunicación.

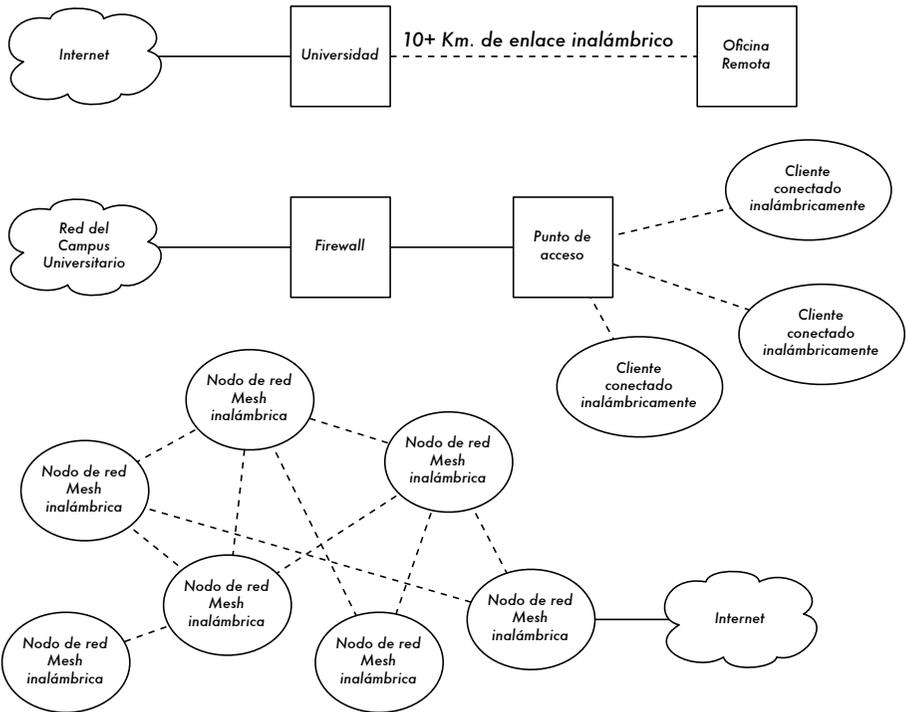


Figura 1.1: Algunos ejemplos de redes inalámbricas.

Incorporar una red inalámbrica a una red preexistente

Si usted es el administrador de una red, puede preguntarse cómo puede incorporar una red inalámbrica a su infraestructura de red actual. La tecnología inalámbrica puede ayudar de muchas formas, desde ser una simple extensión (como una red cableada Ethernet de varios kilómetros) hasta ser un concentrador (*hub*) inalámbrico que le permite conectar un gran número

de computadoras. Aquí le brindamos algunos ejemplos de cómo puede beneficiarse su red de la tecnología inalámbrica.

Protocolos de redes inalámbricas

La tecnología principal utilizada actualmente para la construcción de redes inalámbricas de bajo costo es la familia de protocolos 802.11, también conocida en muchos círculos como Wi-Fi. La familia de protocolos de radio 802.11 (802.11a, 802.11b, and 802.11g) han adquirido una gran popularidad en Estados Unidos y Europa. Mediante la implementación de un set común de protocolos, los fabricantes de todo el mundo han producido equipamiento altamente interoperable. Esta decisión ha resultado ser de gran ayuda para la industria y los consumidores. Los compradores pueden utilizar equipamiento que implementa el estándar 802.11 sin miedo a “quedar atrapado con el vendedor”. Como resultado, pueden comprar equipamiento económico en un volumen que ha beneficiado a los fabricantes. Si por el contrario estos últimos hubieran elegido implementar sus propios protocolos, es poco probable que las redes inalámbricas fueran económicamente accesibles y ubicuas como lo son hoy en día.

Si bien nuevos protocolos como el 802.16 (también conocido como WiMax) van a ser capaces de solucionar algunas limitaciones observadas en el protocolo 802.11, les queda un largo camino para alcanzar la popularidad y el precio de ese equipamiento. Como los productos que soportan WiMax apenas están entrando al mercado en el momento que se escribe este libro, nos vamos a enfocar fundamentalmente en la familia 802.11.

Existen muchos protocolos en la familia 802.11 y no todos están relacionados específicamente con el protocolo de radio. Los tres estándares implementados actualmente en la mayoría de los equipos disponibles son:

- **802.11b.** Ratificado por IEEE el 16 de setiembre de 1999, el protocolo de redes inalámbricas 802.11b es probablemente el más asequible hoy en día. Millones de dispositivos que lo utilizan han sido vendidos desde 1999. Utiliza una modulación llamada Espectro Expandido por Secuencia Directa –**Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**– en una porción de la banda ISM desde 2400 a 2484 MHz. Tiene una tasa de transmisión máxima de 11Mbps, con una velocidad real de datos utilizable mayor a 5Mbps.
- **802.11g.** Como no estuvo finalizada sino hasta junio de 2003, el protocolo 802.11g llegó relativamente tarde al mercado inalámbrico. A pesar de esto, el protocolo 802.11g es hoy por hoy el estándar de facto en la redes inalámbricas utilizado como una característica estándar en virtualmente todas las laptops y muchos de los dispositivos handheld. Utiliza el mismo rango ISM que 802.11b, pero con el esquema de modulación denominado

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) –Multiplexaje por División de Frecuencias Ortogonales. Tiene una tasa de transmisión máxima de 54Mbps (con un rendimiento real de hasta 25Mbps), y mantiene compatibilidad con el altamente popular 802.11b gracias al soporte de las velocidades inferiores.

- **802.11a.** También ratificado por la IEEE el 16 de septiembre de 1999 el protocolo 802.11a utiliza OFDM. Tiene una tasa de transmisión máxima de 54Mbps (con un rendimiento real de hasta 27Mbps). El 802.11a opera en la banda ISM entre 5725 y 5850MHz, y en una porción de la banda UNII entre 5.15 y 5.35GHz. Esto lo hace incompatible con el 802.11b o el 802.11g, y su alta frecuencia implica un rango más bajo comparado con el 802.11b/g al mismo nivel de potencia. Si bien esta porción del espectro es relativamente inutilizada comparada con la de 2.4GHz, desafortunadamente su uso es legal sólo en unos pocos lugares del mundo. Realice una consulta a sus autoridades locales antes de utilizar equipamiento 802.11a, particularmente en aplicaciones externas. Esto mejorará en el futuro, pues hay una disposición de la unión Internacional de comunicaciones (UIT) instando a todas las administraciones a abrir el uso de esta banda. El equipo es bastante barato, pero no tanto como el 802.11b/g.

Además de los estándares mencionados anteriormente, hay fabricantes que ofrecen extensiones que permiten velocidades de hasta 108Mbps, mejor encriptación, y mayor rango. Desafortunadamente esas extensiones no funcionan entre productos de diferentes fabricantes, y adquirirlos lo va a atar a un vendedor específico. Nuevos productos y estándares (tales como 802.11n, 802.16, MIMO, y WiMAX) prometen incrementos significantes en velocidad y alcance, pero recién se están comenzando a comercializar y la disponibilidad e interoperabilidad entre marcas no está clara.

Dada la ubicuidad del equipo, un mejor rango, y la naturaleza libre de licencias de la banda ISM 2.4GHz, este libro se va a concentrar en el armado de redes utilizando los protocolos 802.11b y 802.11g.

Preguntas y Respuestas

Si usted es nuevo en el armado de redes inalámbricas seguramente tenga varias preguntas acerca de lo que la tecnología puede hacer, así como cuánto cuesta. Aquí listamos algunas preguntas frecuentes con la referencia a las páginas que contienen las respuestas y sugerencias.

Energía

- ¿Cómo puedo suministrar energía a mi equipo de radio si no hay electricidad disponible? **Capítulo 7.**

- ¿Debo colocar un cable eléctrico hasta la punta de la torre? **Capítulo 7.**
- ¿Cómo puedo utilizar paneles solares para dar energía a mi nodo inalámbrico manteniéndolo activo durante la noche? **Capítulo 7.**
- ¿Por cuánto tiempo va a funcionar mi punto de acceso con una batería? **Capítulo 7.**

Administración

- ¿Cómo puedo monitorear y gestionar puntos de acceso remotos desde mi oficina? **Capítulo 6.**
- ¿Qué debo hacer cuando la red falla? **Capítulos 6 y 8.**
- ¿Cuáles son los problemas más comunes encontrados en las redes inalámbricas y cómo puedo solucionarlos? **Capítulo 8.**

Distancia

- ¿Cuál es el rango de mi punto de acceso? **Capítulo 3.**
- ¿Existe alguna fórmula que me permita saber cuán lejos puedo llegar con un punto de acceso dado? **Capítulo 3.**
- ¿Cómo puedo saber si un lugar alejado puede ser conectado a Internet utilizando un enlace inalámbrico? **Capítulo 3.**
- El fabricante dice que mi punto de acceso tiene un rango de alcance de 300 metros. ¿Eso es cierto? **Capítulo 3.**
- ¿Cómo puedo proveer de conectividad inalámbrica a muchos clientes remotos esparcidos alrededor de la ciudad? **Capítulo 3.**
- ¿Es verdad que puedo llegar a mucha más distancia utilizando una lata o una lámina de aluminio como antena? **Capítulo 4.**
- ¿Puedo utilizar una red inalámbrica para conectarme a un sitio remoto y compartir una conexión central única a Internet? **Capítulo 3.**
- Parece que mis enlaces inalámbricos son demasiado largos. ¿Puedo colocar un repetidor en el medio para mejorarlos? **Capítulo 3.**
- ¿Debo utilizar un amplificador? **Capítulos 3 y 4.**

Instalación

- ¿Cómo puedo instalar mi AP para uso interior junto a la antena en mi techo? **Capítulo 7.**

- ¿Realmente es útil agregar un “protector de rayos” y una puesta a tierra al mástil de mi antena, o no es tan necesario? **Capítulos 5 y 7.**
- ¿Puedo construir el mástil por mi mismo? ¿Cómo puedo hacerlo? **Capítulo 7.**
- ¿Por qué mi antena funciona mucho mejor cuando la coloco en otra orientación? **Capítulo 4.**
- ¿Qué canal debo utilizar? **Capítulo 2.**
- ¿Las ondas de radio atraviesan edificios y árboles? ¿Qué pasa con las personas? **Capítulo 2.**
- ¿Las ondas de radio atraviesan una colina que esté en el camino? **Capítulo 2.**
- ¿Cómo construyo una red mesh? **Capítulo 3.**
- ¿Qué tipo de antena es la mejor para mi red? **Capítulo 4.**
- ¿Puedo construir un punto de acceso utilizando un PC reciclado? **Capítulo 5.**
- ¿Cómo puedo instalar Linux en mi AP? ¿Por qué debo hacerlo? **Capítulo 5.**

Dinero

- ¿Cómo puedo saber si un enlace inalámbrico es adquirible con una cantidad limitada de dinero? **Capítulo 5.**
- ¿Cuál es la mejor AP por el menor precio? **Capítulo 5.**
- ¿Cómo puedo localizar y cobrar a los clientes por el uso de mi red inalámbrica? Páginas **Capítulo 6.**

Socios y Clientes

- ¿Si soy un proveedor de conexión, aún necesito el servicio de un ISP? ¿Por qué? **Capítulo 3.**
- ¿Con cuántos clientes puedo cubrir mis costos? **Capítulo 9.**
- ¿Cuántos clientes va a soportar mi red inalámbrica? **Capítulo 3.**
- ¿Qué debo hacer para que mi red inalámbrica funcione más rápido? **Capítulo 3.**
- ¿Mi conexión a Internet es tan rápida como puede serlo? **Capítulo 3.**

Seguridad

- ¿Cómo puedo proteger mi red inalámbrica del acceso no autorizado? **Capítulo 6.**
- ¿Es cierto que una red inalámbrica siempre es insegura y está abierta al ataque de piratas informáticos (hackers)? **Capítulo 6.**
- ¿Es cierto que el uso de software libre hace que mi red sea menos segura? **Capítulo 6.**
- ¿Cómo puedo ver qué está sucediendo en mi red? **Capítulo 5.**

2

Una Introducción Práctica a la Física de Radio

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Desde la perspectiva del usuario, las conexiones inalámbricas no son particularmente diferentes de cualquier otra conexión: el navegador web, el correo electrónico y otras aplicaciones funcionan como se esperaba. Pero las ondas de radio tienen algunas propiedades inesperadas en comparación con una red cableada Ethernet. Por ejemplo, es muy sencillo ver el camino que esta última toma: localice el conector de su computadora, siga el cable hacia el otro extremo, ¡y lo habrá encontrado! También se puede confiar en que desplegar muchos cables Ethernet unos al lado de otro no va a causar problemas, ya que los cables confinan efectivamente las señales dentro de sí.

Pero ¿Cómo saber por dónde están circulando las ondas emanadas de su tarjeta inalámbrica? ¿Qué sucede cuando esas ondas rebotan en los objetos del lugar o, en el caso de un enlace externo, en los edificios? ¿Cómo pueden utilizarse varias tarjetas inalámbricas en la misma área sin interferir unas con otras?

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

¿Qué es una onda de radio?

En general estamos familiarizados con las vibraciones u oscilaciones de varias formas: Un péndulo, un árbol meciéndose con el viento, las cuerdas de una guitarra –son todos ejemplos de oscilaciones.

Lo que tienen en común es que algo, como un medio o un objeto, está vibrando de forma periódica, con cierto número de ciclos por unidad de tiempo. Este tipo de onda a veces es denominada onda mecánica, puesto que son definidas por el movimiento de un objeto o de su medio de propagación.

Cuando esas oscilaciones viajan (esto es, cuando las vibraciones no están limitadas a un lugar) hablamos de ondas propagándose en el espacio. Por ejemplo, un cantante crea oscilaciones periódicas de sus cuerdas vocales al cantar. Estas oscilaciones comprimen y descomprimen el aire periódicamente, y ese cambio periódico de la presión del aire sale de la boca del cantante y viaja a la velocidad del sonido. Una piedra arrojada a un lago causa una alteración que viaja a través del mismo como una **onda**.

Una onda tiene cierta **velocidad**, **frecuencia** y **longitud de onda**. Las mismas están conectadas por una simple relación:

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

La longitud de onda (algunas veces denotada como **lambda**, λ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el siguiente. La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. La velocidad se mide en metros/segundo, la frecuencia en ciclos por segundo (o Hertz, abreviado **Hz**), y la longitud de onda, en metros.

Por ejemplo, si una onda en el agua viaja a un metro por segundo y oscila cinco veces por segundo, entonces cada onda tendrá veinte centímetros de largo:

$$1 \text{ metro/segundo} = 5 \text{ ciclos/segundos} * \lambda$$

$$\lambda = 1 / 5 \text{ metros}$$

$$\lambda = 0,2 \text{ metros} = 20 \text{ cm}$$

Las ondas también tienen una propiedad denominada **amplitud**. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos, y puede ser asimilada a la “altura” de una onda de agua. La relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud se muestra en la Figura 2.1.

Las ondas en el agua son fáciles de visualizar. Simplemente tire una piedra en un lago y verá las ondas y su movimiento a través del agua por un tiempo. En el caso de las ondas electromagnéticas, la parte que puede ser más difícil de comprender es: ¿Qué es lo que está oscilando?

Para entenderlo, necesitamos comprender las fuerzas electromagnéticas.

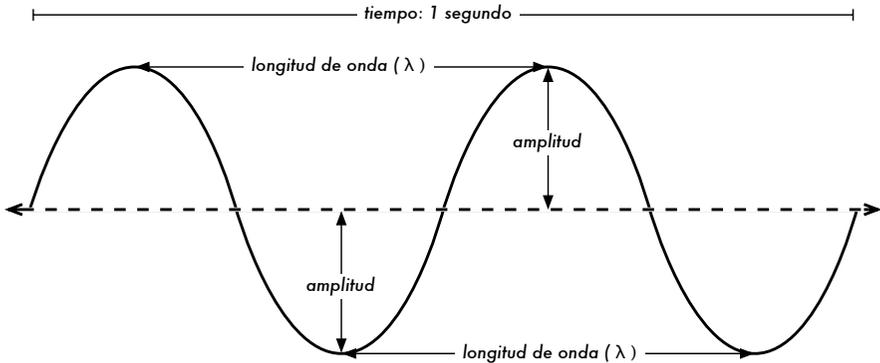


Figura 2.1: Longitud de onda, amplitud, y frecuencia. En este caso la frecuencia es 2 ciclos por segundo, o 2 Hz.

Fuerzas electromagnéticas

Las fuerzas electromagnéticas son fuerzas entre cargas y corrientes eléctricas. Nos percatamos de ellas cuando tocamos la manija de una puerta después de haber caminado en una alfombra sintética, o cuando rozamos una cerca eléctrica. Un ejemplo más fuerte de las fuerzas electromagnéticas son los relámpagos que vemos durante las tormentas eléctricas. La **fuerza eléctrica** es la fuerza entre cargas eléctricas. La **fuerza magnética** es la fuerza entre corrientes eléctricas.

Los electrones son partículas que tienen carga eléctrica negativa. También hay otras partículas, pero los electrones son responsables de la mayor parte de las cosas que necesitamos conocer para saber como funciona un radio.

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

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

Volvamos a la relación:

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

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

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

$$c = f * \lambda$$

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

Potencias de diez

En física, matemáticas e ingeniería, a menudo expresamos los números como potencias de diez. Encontramos esos términos por ejemplo en giga-hertz (GHz), centi-metros (cm), micro-segundos (μ s), y otros.

Potencias de diez			
Nano-	10^{-9}	1/1000000000	n
Micro-	10^{-6}	1/1000000	μ
Milli-	10^{-3}	1/1000	m
Centi-	10^{-2}	1/100	c
Kilo-	10^3	1 000	k
Mega-	10^6	1 000 000	M
Giga-	10^9	1 000 000 000	G

Conociendo la velocidad de la luz, podemos calcular la longitud de onda para una frecuencia dada. Tomemos el ejemplo de la frecuencia para redes inalámbricas del protocolo 802.11b, la cual es:

$$f = 2,4 \text{ GHz}$$

$$= 2.400.000.000 \text{ ciclos / segundo}$$

$$\text{Longitud de onda } \lambda = c / f$$

$$= 3*10^8 / 2,4*10^9$$

$$= 1,25*10^{-1} \text{ m}$$

$$= 12,5 \text{ cm}$$

La frecuencia y la longitud de onda determinan la mayor parte del comportamiento de una onda electromagnética, desde las antenas que construimos hasta los objetos que están en el camino de las redes que intentamos hacer funcionar. Son responsables por muchas de las diferencias entre los estándares que podamos escoger. Por lo tanto, comprender las ideas básicas de frecuencia y longitud de onda ayuda mucho en el trabajo práctico con redes inalámbricas.

Polarización

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

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

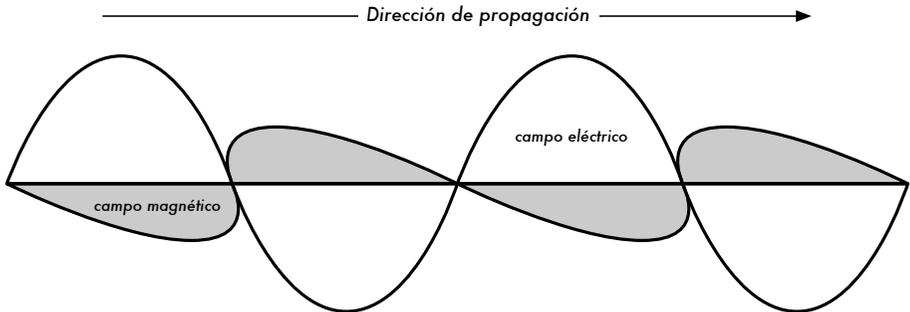


Figura 2.2: El campo eléctrico y el campo magnético complementario de una onda electromagnética. La polarización describe la orientación del campo eléctrico.

La polarización lineal es solo un caso especial, y nunca es perfecta: en general siempre tenemos algunos componentes del campo también en otras direcciones. El caso más general es la polarización elíptica, cuyos extremos son la polarización lineal (una sola dirección) y la polarización circular (ambas direcciones con igual intensidad).

Como se puede imaginar, la polarización es importante cuando alineamos las antenas. Si ignoramos la polarización, podemos tener muy poca señal aún teniendo las mejores antenas. A esto se le denomina desadaptación de polarización.

El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas abarcan un amplio rango de frecuencias (y correspondientemente, de longitudes de onda). Este rango de frecuencias y longitudes de onda es denominado espectro electromagnético. La parte del espectro más familiar a los seres humanos es probablemente la luz, la porción visible del espectro electromagnético. La luz se ubica aproximadamente entre las frecuencias de $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz and $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondientes a longitudes de onda desde cerca de 400 nm (violeta/azul) a 800 nm (rojo).

Normalmente también estamos expuestos a otras regiones del espectro electromagnético, incluyendo los campos de la red de distribución eléctrica **CA (Corriente Alterna)**, a 50/60 Hz, Rayos-X / Radiación Roentgen, Ultravioleta (en las frecuencias más altas de la luz visible), Infrarrojo (en las frecuencias más bajas de la luz visible) y muchas otras. **Radio** es el término utilizado para la porción del espectro electromagnético en la cual las ondas pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna a una antena. Esto abarca el rango de 3 Hz a 300 GHz, pero normalmente el término se reserva para las frecuencias inferiores a 1 GHz.

Cuando hablamos de radio, la mayoría de la gente piensa en la radio FM, que usa una frecuencia de alrededor de 100 MHz. Entre la radio y el infrarrojo encontramos la región de las microondas –con frecuencias de 1 GHz a 300 GHz, y longitudes de onda de 30 cm a 1 mm.

El uso más popular de las microondas puede ser el horno de microondas, que de hecho trabaja exactamente en la misma región que los estándares inalámbricos de los que estamos tratando. Estas regiones caen dentro de las bandas que se están manteniendo abiertas para el uso general, sin requerir licencia. Esta región es llamada **banda ISM (ISM Band)**, que significa Industrial, Científica y Médica, por su sigla en inglés. La mayoría de las otras regiones del espectro electromagnético están altamente controladas por la legislación mediante licencias, siendo los valores de las licencias un factor económico muy significativo. Esto atañe específicamente a aquellas partes del espectro que son útiles para la difusión masiva (como lo son la televisión y la radio), así como también para comunicaciones de voz y datos. En la mayoría de los países, las bandas ISM han sido reservadas para el uso libre.

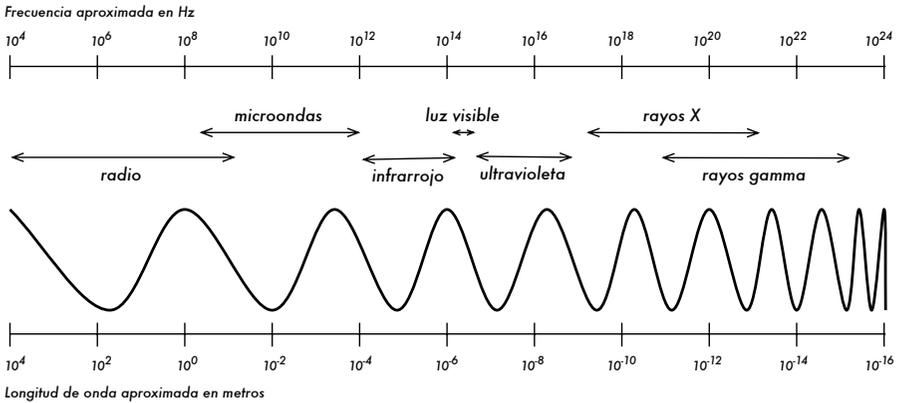


Figura 2.3: El espectro electromagnético.

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

Ancho de Banda

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

Se puede ver fácilmente que el ancho de banda que definimos aquí está muy relacionado con la cantidad de datos que puedes transmitir dentro de él – a más lugar en el espacio de frecuencia, más datos caben en un momento dado. El término ancho de banda es a menudo utilizado por algo que deberíamos denominar tasa de transmisión de datos, como en “mi conexión a Internet tiene 1 Mbps de ancho de banda”, que significa que ésta puede transmitir datos a 1 megabit por segundo.

Frecuencias y canales

Miremos un poco más de cerca como se utiliza la banda 2,4 GHz en el estándar 802.11b. El espectro está dividido en partes iguales distribuidas sobre la banda en **canales** individuales. Note que los canales son de un ancho de 22MHz, pero están separados sólo por 5MHz. Esto significa que los canales adyacentes se superponen, y pueden interferir unos con otros. Esto se representa visualmente en la Figura 2.4.

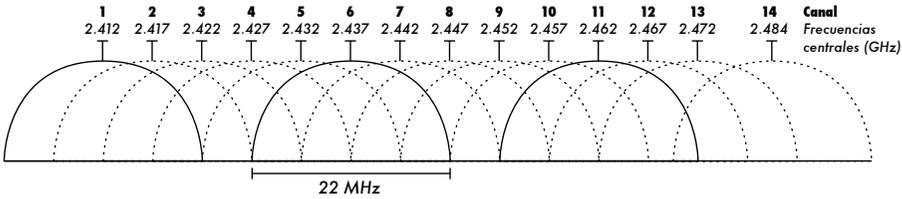


Figura 2.4: Canales y frecuencias centrales para 802.11b. Note que los canales 1, 6, y 11 no se superponen.

Para una lista completa de canales y sus frecuencias centrales para 802.11b/g y 802.11a, vea el Apéndice A.

Comportamiento de las ondas de radio

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

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

Todas estas reglas, simplificadas al máximo, son más fáciles de comprender con un ejemplo.

Las ondas más largas viajan más lejos

Suponiendo niveles iguales de potencia, las ondas con longitudes de onda más larga tienden a viajar más lejos que las que tienen longitudes de onda más cortas. Este efecto es visto a menudo en la radio FM, cuando comparamos el rango de un transmisor de radio FM a 88MHz con el rango a 108MHz. Los transmisores de frecuencia más baja tienden a alcanzar distancias mucho más grandes a la misma potencia.

Las ondas más largas rodean los obstáculos

Una onda en el agua que tiene 5 metros de largo no va a ser detenida por un trozo de madera de 5 mm que esté sobresaliendo de la superficie. Sin embargo, si la pieza de madera fuera de 50 metros (por ej. un barco), se interpondría en el camino de la onda. La distancia que una onda puede viajar depende de la relación entre la longitud de onda de la misma y el tamaño de los obstáculos en su camino de propagación.

Es difícil visualizar las ondas “atravesando” objetos sólidos, pero ese es el caso con las ondas electromagnéticas. Cuanto más larga la longitud de onda (y por lo tanto una frecuencia más baja) las ondas tienden a penetrar objetos mejor que las que tienen longitudes de onda más corta (y por consiguiente una frecuencia más alta). Por ejemplo, la radio FM (88-108MHz) puede atravesar edificios y otros obstáculos fácilmente, mientras que las ondas más cortas (cómo los teléfonos GSM operando a 900MHz o 1800MHz) tienen más dificultades en penetrar edificios. Este efecto es debido en parte a los diferentes niveles de potencia utilizados por la radio FM y el GSM, pero también debido a las longitudes de onda más cortas de las señales GSM.

Las ondas más cortas pueden transmitir más datos

Cuanto más rápida sea la oscilación o ciclo de la onda, mayor cantidad de información puede transportar –cada oscilación o ciclo- puede ser utilizado por ejemplo para transmitir un bit digital, un '0' o un '1', un 'sí' o un 'no'.

Existe otro principio que puede ser aplicado a todos los tipos de ondas y que es extremadamente útil para comprender la propagación de ondas de radio. Este principio es conocido como el **Principio de Huygens**, nombrado en honor de Christiaan Huygens, matemático, físico y astrónomo holandés, que vivió entre 1629 y 1695.

Imagínese que toma una vara y la introduce verticalmente en un lago en calma, haciendo que el agua ondee y baile. Las ondas se alejarán de la vara –el lugar donde la introdujo en el agua– formando círculos. Ahora, donde las partículas de agua están oscilando y bailando, harán que las partículas vecinas hagan lo mismo: desde cada punto de perturbación, se origina una nueva onda circular. Esto es, de una forma simple, el principio de Huygens. Según wikipedia.org:

“El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de la propagación de ondas en el límite de campo lejano. Establece que cada punto de un frente de onda que avanza es, de hecho, el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas; y que esa onda avanzando como un todo puede ser concebida como la suma de todas las ondas secundarias surgiendo de puntos en el medio ya atravesado. Esta visión de la propagación de ondas ayuda a comprender mejor la variedad de fenómenos de las ondas, tales como la difracción.”

Este principio se aplica tanto para las ondas de radio como para las ondas en el agua, para el sonido y para la luz –sólo que la longitud de onda de la luz es muy corta como para que los seres humanos podamos ver sus efectos directamente.

Este principio va a ayudarnos a comprender tanto la difracción como las zonas Fresnel, la necesidad de línea visual, y el hecho de que algunas veces las ondas voltean las esquinas, más allá de la línea visual.

Veamos entonces qué sucede con las ondas electromagnéticas cuando viajan.

Absorción

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenúan. La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y, por supuesto, del material. El vidrio de una ventana obviamente es transparente para la luz, mientras que el vidrio utilizado en los lentes de sol filtra una porción de la intensidad de la luz y bloquea la radiación ultravioleta.

A menudo se utiliza el coeficiente de absorción para describir el impacto de un material en la radiación. Para las microondas, los dos materiales más absorbentes son:

- **Metal.** Los electrones pueden moverse libremente en los metales, y son capaces de oscilar y por lo tanto absorber la energía de una onda que los atraviesa.
- **Agua.** Las microondas provocan que las moléculas de agua se agiten, capturando algo de la energía de las ondas¹.

En la práctica de redes inalámbricas, vamos a considerar el metal y el agua como absorbentes perfectos: no vamos a poder atravesarlos (aunque capas finas de agua podrían permitir que una parte de la potencia pase). Son a las microondas lo que una pared de ladrillo es a la luz. Cuando hablamos del agua, tenemos que recordar que se encuentra en diferentes formas: lluvia, niebla, vapor y nubes bajas, y todas van a estar en el camino de los radioenlaces. Tienen una gran influencia y en muchas circunstancias un cambio en el clima puede hacer caer un radioenlace.

Existen otros materiales que tienen un efecto más complejo en la absorción de radiación.

1. Un mito común es que el agua "resuena" a 2,4GHz, que es la frecuencia utilizada por los hornos de microondas. En realidad, el agua aparentemente no tiene ninguna frecuencia "resonante". El agua gira y se agita en presencia de radiaciones y se calienta en la presencia de ondas de radio de alta potencia a cualquier frecuencia. La frecuencia ISM de 2,4GHz no requiere licencia y por lo tanto es una buena elección para utilizarla en hornos de microondas.

Para los **árboles** y la **madera**, la cantidad de absorción depende de cuánta cantidad de agua contienen. La madera vieja y seca es más o menos transparente, la madera fresca y húmeda va a absorber muchísimo.

Los plásticos y materiales similares generalmente no absorben mucha energía de radio pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material. Antes de construir un componente de plástico (por ejemplo, una protección climática para los dispositivos de radio y sus antenas), es siempre una buena idea verificar que el material no absorba la energía de radio alrededor de 2,4GHz. Un método simple de medir la absorción del plástico a 2,4GHz es poner una muestra en un horno microondas por un par de minutos. Si el plástico se calienta, entonces absorbe la energía de radio y no debe ser utilizado.

Finalmente, hablemos de nosotros mismos: los humanos (como otros animales) estamos compuestos mayormente de agua. En lo que a redes inalámbricas se refiere, podemos ser descritos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma fuerte absorción. Orientar un punto de acceso en una oficina de forma que su señal deba pasar a través de mucha gente es un error clave cuando instalamos redes en oficinas. Lo mismo sucede en clubes nocturnos, cafés, bibliotecas e instalaciones externas.

Reflexión

Al igual que la luz visible, las ondas de radio son reflejadas cuando entran en contacto con materiales que son apropiados para eso: para las ondas de radio, las principales fuentes de reflexión son el metal y las superficies de agua. Las reglas para la reflexión son bastante simples: el ángulo en el cual una onda incide en una superficie es el mismo ángulo en el cual es desviada. A la luz de las ondas de radio, una reja densa de metal actúa de igual forma que una superficie sólida, siempre que la distancia entre las barras sea pequeña en comparación con la longitud de onda. A 2,4GHz, una rejilla metálica con separación de un centímetro (1cm) entre sus elementos va a actuar igual que una placa de metal.

A pesar de que las reglas de reflexión son bastante simples, las cosas pueden complicarse mucho cuando imaginamos el interior de una oficina con varios objetos pequeños de metal de formas variadas y complicadas. Lo mismo sucede en las situaciones urbanas: mire alrededor en su ciudad e intente ubicar todos los objetos de metal. Esto explica el por qué el **efecto multitrayectoria (multipath)**, (es decir el que las señales lleguen al receptor a través de diferentes caminos, y por consiguiente en tiempos diferentes), juega un rol tan importante en las redes inalámbricas. La superficie del agua, con olas y encrepaduras que cambian su orientación todo el tiempo, hace que sea prácticamente imposible calcular precisamente la reflexión.

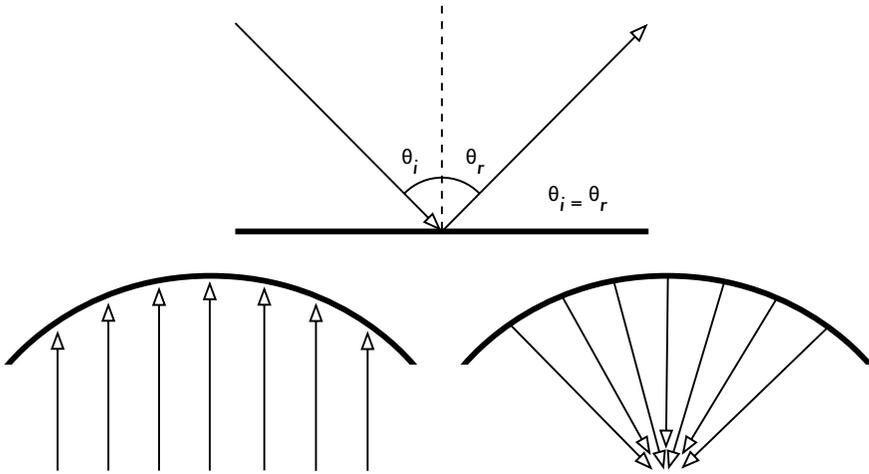


Figura 2.5: Reflexión de ondas de radio. El ángulo de incidencia es siempre igual al ángulo de reflexión. Una antena parabólica utiliza este efecto para concentrar las ondas de radio que caen sobre su superficie en una dirección común.

Debemos agregar que la polarización tiene un impacto: las ondas de diferente polarización en general van a ser reflejadas de forma diferente.

Utilizamos la reflexión en ventaja nuestra en la construcción de las antenas: por ej. poniendo grandes parábolas detrás de nuestro transmisor/receptor para recoger las ondas de radio y concentrarlas en un punto.

Difracción

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

Imagine una onda en el agua viajando en un frente de onda plano, tal como una ola llegándose a una playa oceánica. Ahora ponemos en su camino una barrera sólida, como una cerca de madera, para bloquearla. Luego practicamos una estrecha rendija en esa pared, como una pequeña puerta. Desde esta abertura va a comenzar una onda circular, y por supuesto va a alcanzar puntos que están en una línea directa detrás de esa abertura, pero también a ambos lados de ella. Si miramos este frente de onda —y pudiera ser también una onda electromagnética— como un haz de luz, sería difícil explicar cómo logra alcanzar puntos que están ocultos por una barrera. Cuando lo modelamos como un frente de onda, el fenómeno tiene sentido.

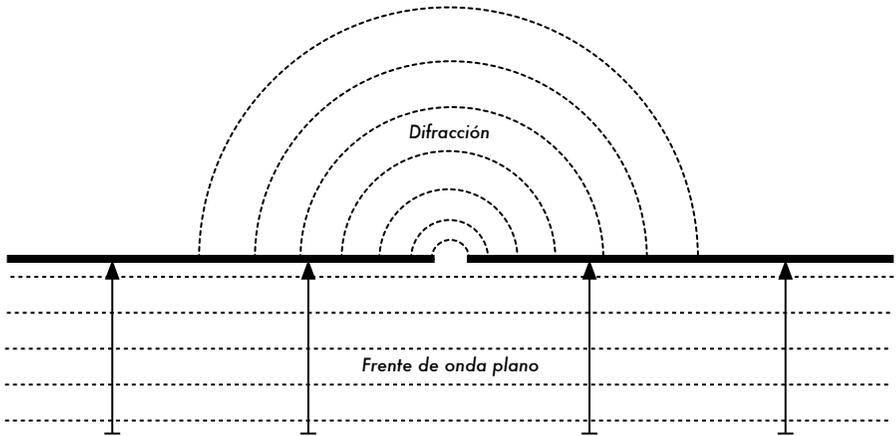


Figura 2.6: Difracción a través de una ranura pequeña.

El Principio de Huygens provee un modelo para comprender este comportamiento. Imagine que en un momento determinado, cada punto del frente de onda puede ser considerado como el punto de inicio de otra onda esférica (*wavelet*). Esta idea fue desarrollada más adelante por Fresnel, y si describe adecuadamente el fenómeno todavía es tema de debate. Pero para nuestros propósitos el modelo de Huygens describe el efecto bastante bien.

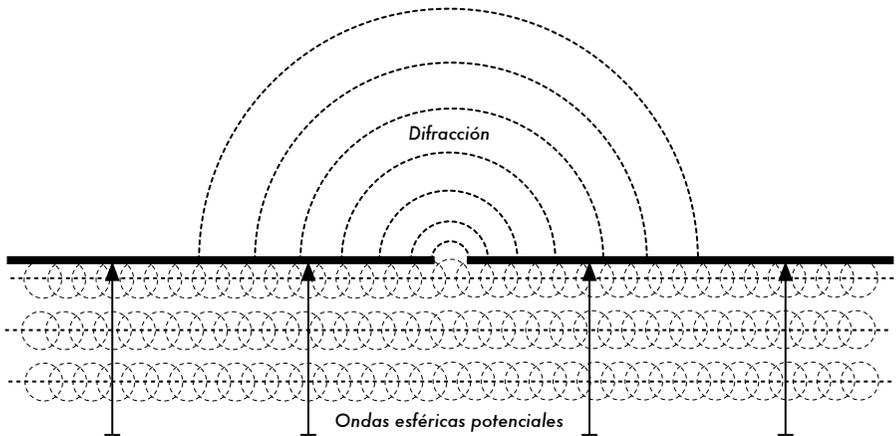


Figura 2.7: El Principio de Huygens.

Es por medio del efecto de difracción que las ondas van a “doblar” las esquinas, o van a atravesar una abertura en una barrera. La longitud de onda de la luz visible es muy pequeña como para que los humanos puedan observar este efecto directamente. Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando chocan contra paredes, picos de montañas y otros obstáculos. La obstrucción provoca que la onda cambie su dirección y doble en las esquinas.

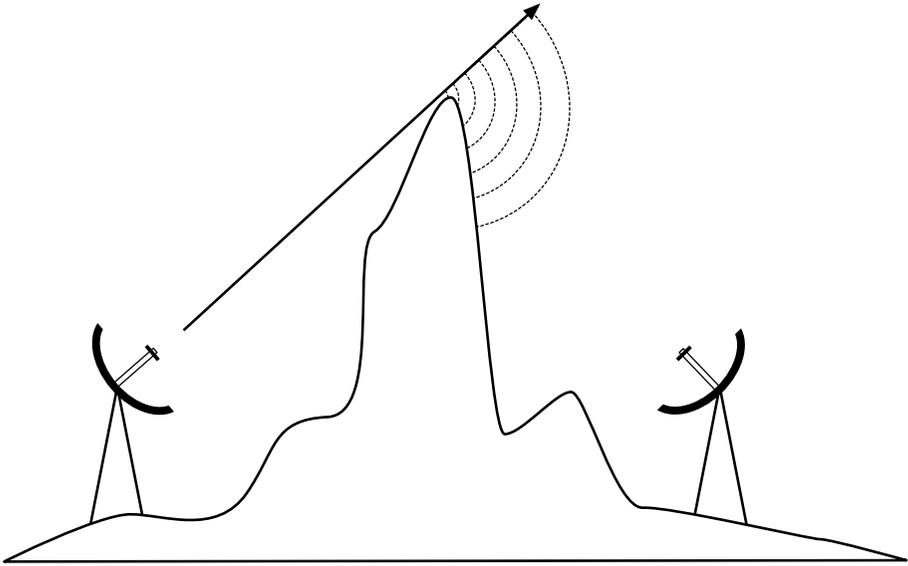


Figura 2.8: Difracción en la cima de una montaña.

Tenga en cuenta que en la difracción se genera una pérdida de potencia: la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca. Pero en algunas aplicaciones muy específicas, se puede aprovechar el efecto de difracción para rodear obstáculos.

Interferencia

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

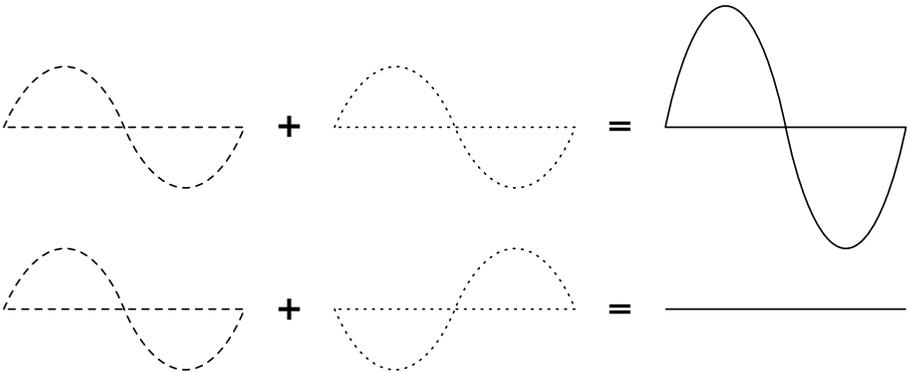


Figura 2.9: Interferencia constructiva y destructiva.

Esto es sencillo de entender cuando dibujamos dos ondas senoidales y sumamos las amplitudes. Cuando un pico coincide con el otro pico, tenemos un resultado máximo ($1 + 1 = 2$). Esto es denominado **interferencia con-**

estructiva. Cuando un pico coincide con un valle, tenemos una completa aniquilación ($(1 + (-)1 = 0)$), se denomina **interferencia destructiva**.

Puede probar esto creando dos olas circulares en el agua mediante dos varitas: verá que cuando dos olas se cruzan, hay áreas con picos de onda más grandes y otras que permanecen casi planas y en calma.

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

En la tecnología inalámbrica, la palabra Interferencia es usada típicamente en un sentido amplio, para disturbios desde otras fuentes RF (radio frecuencia), por ejemplo canales adyacentes. Entonces, cuando los constructores de redes inalámbricas hablan de interferencia, generalmente se refieren a todos los tipos de alteraciones generadas por otras redes y otras fuentes de microondas. La interferencia es una de las fuentes de dificultades principales en el despliegue de enlaces inalámbricos, especialmente en ambientes urbanos o en espacios cerrados (como en un local para conferencias) donde muchas redes pueden competir por el uso del espectro.

Siempre que las ondas de igual amplitud y fases opuestas se crucen en el camino, son eliminadas y no se pueden recibir señales. El caso más común es que las ondas se combinen y generen una nueva forma de onda que no puede ser utilizada efectivamente para la comunicación. Las técnicas de modulación y el uso de canales múltiples ayuda a manejar el problema de la interferencia, pero no lo elimina completamente.

Línea visual

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

Las cosas se ponen un poco más complicadas cuando estamos tratando con microondas. Recuerden que la mayoría de las características de propagación de las ondas electromagnéticas son proporcionales a la longitud de onda. Este es el caso del ensanchamiento de las ondas a medida que avanzan. La luz tiene una longitud de onda de aproximadamente 0,5 micrómetros, las microondas usadas en las redes inalámbricas tienen una longitud de onda de unos pocos centímetros. Por consiguiente, los haces de microondas son más anchos –necesitan más espacio.

Note que los haces de luz visibles también se ensanchan, y si los dejamos viajar lo suficiente, podemos ver los resultados a pesar de su pequeña longitud de onda. Cuando apuntamos un láser bien enfocado a la luna, el haz se extenderá abarcando más de 100 metros de radio cuando alcance su superficie. Puede observar este efecto por usted mismo utilizando un apuntador láser económico y un par de binoculares en una noche clara. En lugar de apuntar a la luna, hágalo sobre una montaña distante o una estructura desocupada (como una torre de agua). El radio de su haz va a incrementarse con la distancia.

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

La zona de Fresnel

La teoría exacta de las zonas de Fresnel es algo complicada. Sin embargo el concepto es fácilmente entendible: sabemos por el principio de Huygens que por cada punto de un frente de onda comienzan nuevas ondas circulares. Sabemos que los haces de microondas se ensanchan. También sabemos que las ondas de una frecuencia pueden interferir unas con otras. La teoría de zona de Fresnel simplemente examina a la línea desde A hasta B y luego al espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto B. Algunas ondas viajan directamente desde A hasta B, mientras que otras lo hacen en trayectorias indirectas. Consecuentemente, su camino es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre los rayos directos e indirectos. Siempre que el desplazamiento de fase es de una longitud de onda completa, se obtiene una interferencia constructiva: las señales se suman óptimamente. Tomando este enfoque, y haciendo los cálculos, nos encontramos con que hay zonas anulares alrededor de la línea directa de A a B que contribuyen a que la señal llegue al punto B.

Tenga en cuenta que existen muchas zonas de Fresnel, pero a nosotros nos interesa principalmente la zona 1. Si ésta fuera bloqueada por un obstáculo, por ej. un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino lejano será atenuada. Entonces, cuando planeamos enlaces inalámbricos, debemos asegurarnos de que esta zona va a estar libre de obstáculos. En la práctica en redes inalámbricas nos conformamos con que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre.

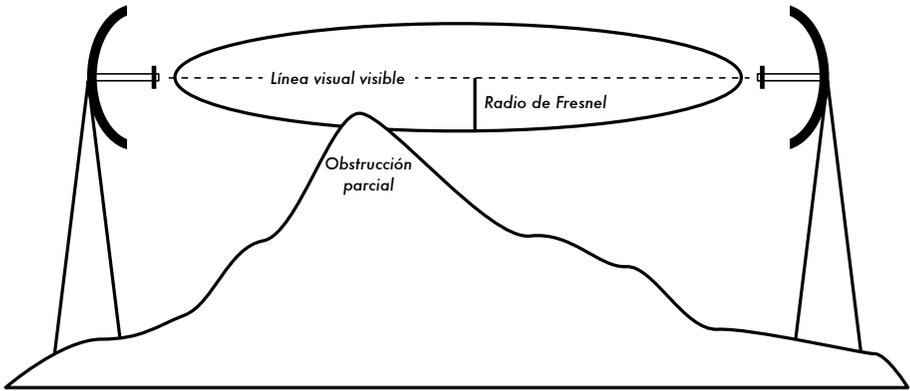


Figura 2.10: La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace, aunque la línea visual no está obstruida.

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

$$r = 17,31 * \text{sqrt}((d1*d2)/(f*d))$$

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

Por ejemplo, calculemos el tamaño de la primera zona de Fresnel en el medio de un enlace de 2km, transmitiendo a 2437MHz (802.11b canal 6):

$$\begin{aligned} r &= 17,31 \text{ sqrt}(1 * (1000 * 1000) / (2437 * 2000)) \\ r &= 17,31 \text{ sqrt}(1000000 / 4874000) \\ r &= 7,84 \text{ metros} \end{aligned}$$

Suponiendo que ambas torres tienen 10 metros de altura, la primera zona de Fresnel va a pasar justo a 2,16 metros sobre el nivel del suelo en el medio del enlace. Pero, ¿cuán alta puede ser una estructura en este punto para despejar el 60% de la primera zona?

$$\begin{aligned} r &= 0,6 * 17,31 \text{ sqrt}((1000 * 1000) / (2437 * 2000)) \\ r &= 4,70 \text{ metros} \end{aligned}$$

Restando el resultado de los 10 metros, podemos ver que una estructura de 5,30 metros de alto en el centro del enlace aún permite despejar el 60% de la primera zona de Fresnel. Esto es normalmente aceptable, pero en el caso de que hubiera una estructura más alta habría que levantar más nuestras antenas, o cambiar la dirección del enlace para evitar el obstáculo.

Energía

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

Vamos a volver con más detalles sobre la potencia de transmisión, pérdidas, ganancia y sensibilidad del radio en el capítulo tres. Ahora vamos a discutir brevemente cómo se define y calcula la potencia **P**.

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

$$P \sim E^2$$

En la práctica, medimos la potencia por medio de algún tipo de receptor, por ej. una antena y un voltímetro, un medidor de potencia, un osciloscopio, o inclusive una tarjeta inalámbrica y una computadora portátil. La potencia es proporcional al cuadrado del voltaje de la señal.

Calcular en dBs

La técnica sin duda más importante para calcular la potencia es por **decibeles (dB)**. No hay física nueva en esto —es solamente un método conveniente que hace que los cálculos sean muy simples.

El decibel es una unidad sin dimensión², esto es, define la relación entre dos medidas de potencia. Se define como:

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

...donde **P1** y **P0** pueden ser de los dos valores cualquiera que queremos comparar. Típicamente, en nuestro caso, se tratará de potencia.

¿Por qué es tan práctico el uso de decibeles? Muchos fenómenos de la naturaleza se comportan de una manera que nosotros llamamos exponencial. Por ejemplo, el oído humano escucha un sonido dos veces más fuerte que otro si el primero tiene diez veces su intensidad física.

2. Otro ejemplo de unidad sin dimensión es el porcentaje (%) el cual también puede utilizarse en todo tipo de cantidades o números. Mientras que otras medidas tales como pies y gramos son absolutas, las unidades sin dimensión representan una relación.

Otro ejemplo, muy relacionado con nuestro campo de interés, es el de la absorción. Imaginemos una pared en el camino de nuestro enlace inalámbrico, y cada metro de esa pared absorbe la mitad de la señal disponible. El resultado va a ser:

0 metros=	1 (señal completa)
1 metro	= 1/2
2 metros	= 1/4
3 metros	= 1/8
4 metros	= 1/16
n metros	= 1/2 ⁿ = 2 ⁻ⁿ

Este es el comportamiento exponencial.

Pero una vez que hemos aprendido cómo aplicar el logaritmo (log), las cosas son mucho más sencillas: en lugar de elevar un valor a la potencia n-ésima, vamos a multiplicarlo por **n**. En lugar de multiplicar valores, los vamos a sumar.

Aquí hay algunos valores utilizados comúnmente que es importante recordar:

+3 dB	= doble potencia
-3 dB	= potencia media
+10 dB	= orden de magnitud (10 veces la potencia)
-10 dB	= un décimo de potencia

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

dBm	relativo a P0 = 1 mW
dB _i	relativo a una antena isotrópica ideal

Una **antena isotrópica** es una antena hipotética que distribuye uniformemente la potencia en todas direcciones. La antena que más se aproxima a este concepto es el dipolo, pero una antena isotrópica perfecta no puede ser construida en la realidad. El modelo isotrópico es útil para describir la ganancia de potencia relativa de una antena real.

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

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

La física en el mundo real

No se preocupe si los conceptos de este capítulo parecen desafiantes. Entender cómo las ondas de radio se propagan e interactúan con el medio ambiente es un campo de estudio complejo en sí mismo. La mayoría de la gente encuentra difícil la comprensión de fenómenos que no puede ver con sus propios ojos. En este punto, esperamos que el lector pueda comprender que las ondas de radio no viajan por un camino recto predecible. Para construir redes de comunicación confiables, se debe ser capaz de calcular cuánta potencia se necesita para cruzar una distancia dada, y predecir cómo van a viajar las ondas a lo largo del camino.

Hay mucho más que aprender acerca de la física de radio de lo que nosotros podemos explicar aquí. Para encontrar más información acerca de esta área de conocimiento en constante desarrollo, consulte los recursos listados en el Apéndice A. Ahora que tiene una idea de cómo predecir la forma en que las ondas de radio van a interactuar en el mundo real, usted está preparado para comenzar a utilizarlas para las comunicaciones.

3

Diseño de Redes

Antes de adquirir equipamiento o decidirse por una plataforma de soporte físico, se debe tener una clara idea de la naturaleza de sus problemas de comunicación. En realidad, si usted está leyendo este libro es porque necesita conectar sus redes de computadoras para compartir recursos y en última instancia acceder a Internet. El diseño de red que elija para implementarlo debe concordar con los problemas de comunicaciones que está tratando de resolver. ¿Necesita conectar un lugar remoto a una conexión de Internet en el centro de su campus? ¿Es probable que su red crezca para incluir varios lugares alejados? ¿La mayoría de los componentes de su red van a estar instalados en locaciones fijas, o se va a expandir para incluir cientos de computadoras portátiles itinerantes y otros dispositivos?

Cuando resolvemos un problema complejo, a menudo es útil hacer un dibujo de sus recursos y problemas. En este capítulo, veremos cómo otras personas han construido redes inalámbricas para resolver sus problemas de comunicación, incluyendo diagramas de la estructura esencial de la red. Vamos a cubrir los conceptos que definen TCP/IP, el principal lenguaje de programación hablado actualmente en Internet. Mostraremos varios métodos sencillos para hacer que la información fluya eficientemente por su red y por la del resto del mundo.

Diseñando la red física

Puede parecer raro que hablemos de la red “física” cuando construimos redes inalámbricas. Después de todo ¿dónde está la parte física de la red? En estas redes, el medio físico que utilizamos para la comunicación es obviamente la energía electromagnética. Pero en el contexto de este capítulo, la red física se refiere al tema mundano de dónde poner las cosas. ¿Cómo va a organizar el equipamiento de forma que pueda alcanzar a sus clientes inalámbricos? Sea que deba llegar hasta una oficina en un edificio o exten-

derse a lo largo de muchas millas, las redes inalámbricas son organizadas en estas tres configuraciones lógicas:

- Enlaces punto a punto
- Enlaces punto a multipunto
- Nubes multipunto a multipunto

El diseño de la red física que elija va a depender de la naturaleza del problema que esté tratando de resolver. Si bien diferentes partes de su red pueden aprovechar las tres configuraciones, los enlaces individuales van a estar dentro de una de esas topologías. La aplicación de estas topologías se describe mejor mediante un ejemplo.

Punto a punto

Los enlaces **punto a punto** generalmente se usan para conectarse a Internet donde dicho acceso no está disponible de otra forma. Uno de los lados del enlace punto a punto estará conectado a Internet, mientras que el otro utiliza el enlace para acceder al mismo. Por ejemplo, una Universidad puede tener una conexión *Frame Relay* o una conexión VSAT dentro del campus, pero difícilmente podrá justificar otra conexión de la misma índole a un edificio muy importante fuera del campus. Si el edificio principal tiene una visión libre de obstáculos hacia el lugar remoto, una conexión punto a punto puede ser utilizada para unirlos. Ésta puede complementar o incluso reemplazar enlaces discados existentes.

Con antenas apropiadas y existiendo línea visual, se pueden hacer enlaces punto a punto seguros de más de treinta kilómetros.

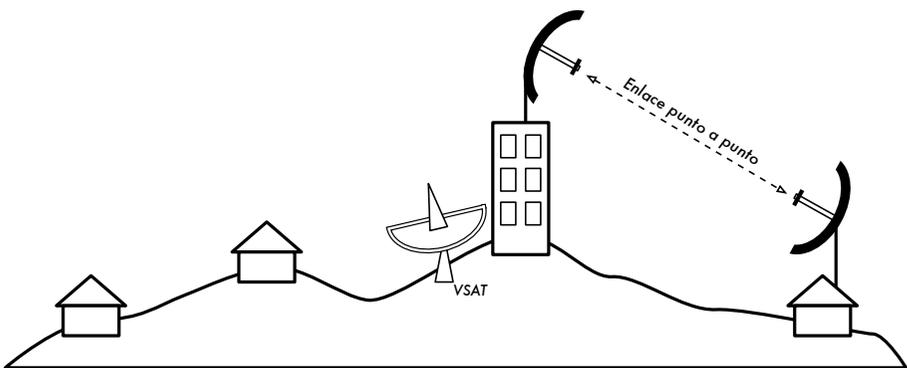


Figura 3.1: Un enlace punto a punto le permite a un lugar remoto compartir una conexión central a Internet.

Por supuesto, una vez hecha una conexión punto a punto, se pueden añadir otras para extender la red aún más. Si en nuestro ejemplo, un edificio alejado se encuentra en la cima de una gran colina, puede ser posible ver otras locaciones importantes que no pueden ser vistas directamente desde el campus central. Mediante la instalación de otro enlace punto a punto hacia el lugar remoto, se puede unir a la red otro nodo y hacer uso de la conexión central a Internet.

Los enlaces punto a punto no necesariamente tienen que estar relacionados con el acceso a Internet. Supongamos que debe desplazarse hasta una estación de monitoreo meteorológico alejada, –ubicada en lo alto de una colina–, para recolectar los datos que ella toma. Podría conectar el lugar con un enlace punto a punto, logrando la recolección y el monitoreo de datos en tiempo real, sin tener que ir hasta el lugar. Las redes inalámbricas pueden proveer suficiente ancho de banda como para transmitir grandes cantidades de datos (incluyendo audio y video) entre dos puntos, aún en ausencia de conexión a Internet.

Punto a multipunto

La siguiente red más comúnmente encontrada es la **punto a multipunto** donde varios nodos¹ están hablando con un punto de acceso central, esta es una aplicación punto a multipunto. El ejemplo típico de esta disposición es el uso de un punto de acceso inalámbrico que provee conexión a varias computadoras portátiles. Las computadoras portátiles no se comunican directamente unas con otras, pero deben estar en el rango del punto de acceso para poder utilizar la red.

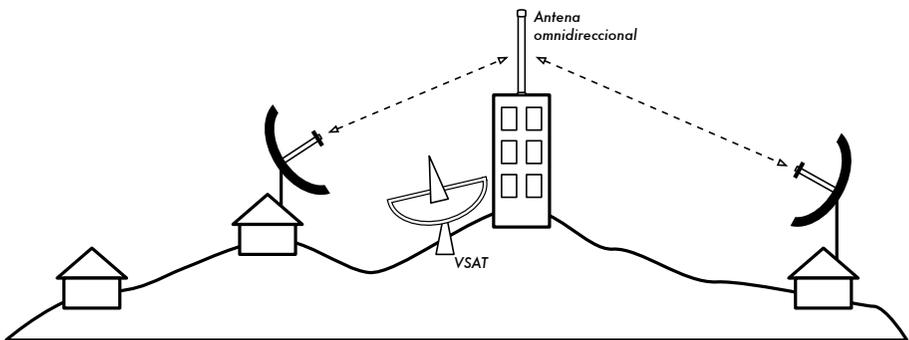


Figura 3.2: La conexión VSAT central es compartida por múltiples sitios remotos. Estos tres lugares también pueden comunicarse directamente a velocidades mucho más rápidas que las ofrecidas por VSAT.

1. Un **nodo** es todo dispositivo capaz de enviar y recibir datos en una red. Los puntos de acceso, enrutadores, computadoras y laptops son todos ejemplos de nodos.

La red punto a multipunto también puede ser aplicada a nuestro ejemplo anterior en la universidad. Supongamos que el edificio alejado en la cima de una colina está conectado con el campus central con un enlace punto a punto. En lugar de colocar varios enlaces punto a punto para conexión a Internet, se puede utilizar una antena que sea visible desde varios edificios alejados. Este es un ejemplo clásico de conexión de área extendida **punto** (sitio alejado en la colina) a **multipunto** (muchos edificios abajo en el valle).

Existen algunas limitaciones con el uso de punto a multipunto en distancias muy grandes, que van a ser tratadas más adelante en este capítulo. Estos enlaces son útiles y posibles en muchas circunstancias, pero no cometamos el clásico error de instalar una torre de radio de gran potencia en el medio de un pueblo esperando ser capaces de servir a miles de clientes, como podría hacerlo con una estación de radio FM. Como veremos, las redes de datos se comportan de forma muy diferente a las emisoras de radiodifusión.

Multipunto a multipunto

El tercer tipo de diseño de red es el **multipunto a multipunto**, el cual también es denominado red **ad hoc** o en malla (**mesh**). En una red multipunto a multipunto, no hay una autoridad central. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí.

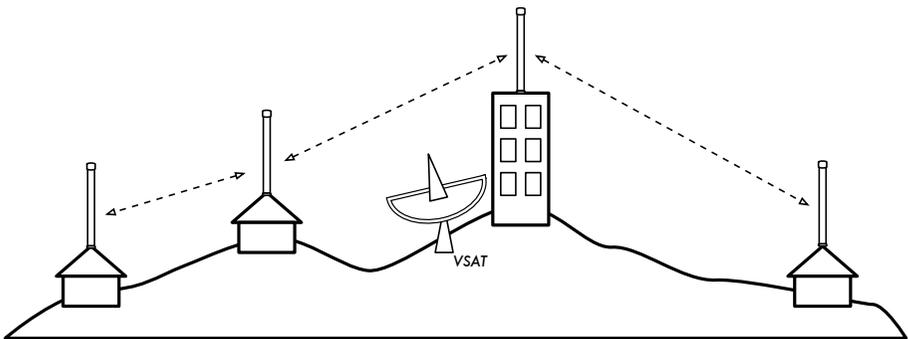


Figura 3.3: Una red en malla (mesh) multipunto a multipunto. Cada punto puede acceder a otro a gran velocidad, o utilizar la conexión central VSAT para acceder a Internet.

El beneficio de este diseño de red es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí. Las buenas implementaciones de redes *mesh* son auto-reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen. Extender una red *mesh* es tan sencillo como agregar más nodos. Si uno de los nodos en la “nube” tiene acceso a Internet, esa conexión puede ser compartida por todos los clientes.

Dos grandes desventajas de esta topología son el aumento de la complejidad y la disminución del rendimiento. La seguridad de esta red también es un tema importante, ya que todos los participantes pueden potencialmente transportar el tráfico de los demás. La resolución de los problemas de las redes multipunto a multipunto tiende a ser complicada, debido al gran número de variables que cambian al moverse los nodos. Las nubes multipunto a multipunto generalmente no tienen la misma capacidad que las redes punto a punto o las redes punto a multipunto, debido a la sobrecarga adicional de administrar el enrutamiento de la red, y al uso más intensivo del espectro de radio.

Sin embargo, las redes *mesh* son útiles en muchas circunstancias. Al final de este capítulo, vamos a ver algunos ejemplos de cómo construir una red *mesh* multipunto a multipunto utilizando un protocolo de enrutamiento denominado OLSR.

Use la tecnología adecuada

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

Ahora que tenemos una idea más clara de la configuración de las redes inalámbricas, podemos comenzar a entender como se realiza la comunicación en dichas redes.

La red lógica

La comunicación es posible sólo cuando los participantes hablan un lenguaje común. Pero una vez que la comunicación se torna más compleja que una simple radiodifusión, los **protocolos** se vuelven tan importantes como el lenguaje. Todas las personas en un auditorio pueden hablar inglés, pero sin un conjunto de reglas que establezca quién tiene el derecho a usar el micrófono, la comunicación de las ideas individuales a todo el auditorio es casi imposible. Ahora imagine un auditorio tan grande como el mundo, lleno de todas las computadoras que existen. Sin un conjunto común de protocolos de comunicación que regulen cuándo y cómo cada computador puede hablar, Internet sería una cacofonía, con cada máquina intentando hablar al mismo tiempo.

TCP/IP comprende el conjunto de protocolos que permiten que sucedan las conversaciones en Internet. Entendiendo TCP/IP, usted puede construir redes que virtualmente pueden crecer a cualquier tamaño, y en última instancia formar parte de la Internet global.

El Modelo TCP/IP

Las redes de datos se describen a menudo como construidas en muchas capas. Cada capa depende de la operación de todas las capas subyacentes antes de que la comunicación pueda ocurrir, pero sólo necesita intercambiar datos con la capa superior o la inferior. El modelo de redes TCP/IP² comprende 5 capas, como se muestra en este diagrama:

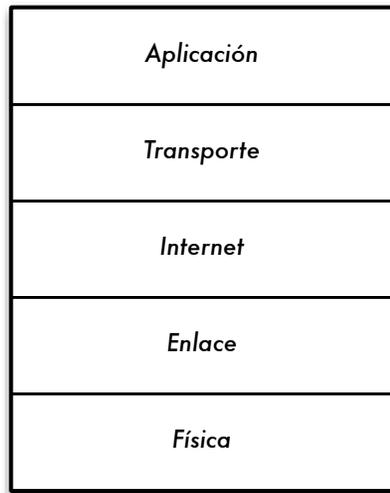


Figura 3.4: El modelo de redes TCP/IP.

En la sección anterior sobre el diseño de redes se describió la capa uno: la **capa física**. Este es el medio físico donde ocurre la comunicación. Puede ser un cable de cobre CAT5, un cable de fibra óptica, ondas de radio, o cualquier otro medio.

La siguiente capa se denomina **capa de enlace**. Cuando dos o más nodos comparten el mismo medio físico (por ejemplo, varias computadoras conectadas a un concentrador (*hub*), o un cuarto lleno de computadoras portátiles usando el mismo canal de radio) la capa de enlace establece quién tiene el turno para transmitir en el medio. Ejemplos comunes de protocolos de enlace son Ethernet, Token Ring, ATM, y los protocolos de redes inalámbricas

2. El modelo TCP/IP no es un estándar internacional, y su definición varía. Aquí es incluido como un modelo pragmático utilizado para comprender y solucionar problemas en las redes Internet.

(802.11 a/b/g). La comunicación sobre esta capa se llama de **enlace local**, ya que todos los nodos pueden comunicarse unos con otros directamente. En redes tipo Ethernet, cada nodo tiene su propia **dirección MAC (Media Access Control)**, que es un número único de 48 bits asignado a cada dispositivo de red cuando es fabricado.

Justo sobre la capa enlace está la **capa Internet**. Para TCP/IP, está constituido por el Protocolo Internet (**IP**). En la capa Internet, los paquetes pueden salir del enlace local de red y ser retransmitidos a otras redes. Los **enrutadores** realizan esta función teniendo por lo menos dos interfaces de red, una en cada una de las redes a ser interconectadas. Los nodos en Internet son especificados por su única **dirección IP** global.

Una vez establecido el enrutamiento en Internet, se necesita un método para alcanzar un servicio particular en una dirección IP dada. Esta función es realizada por la próxima capa, la **capa de transporte**. TCP y UDP son ejemplos comunes de protocolos de la capa de transporte. Algunos protocolos de la capa de transporte (como el TCP) aseguran que todos los datos han llegado a su destino, y son reensamblados y entregados a la próxima capa en el orden correcto.

Finalmente, en la cima tenemos la **capa de aplicación**. Esta es la capa con la que la mayoría de los usuarios tienen contacto, y es el nivel en el que ocurre la comunicación humana. HTTP, FTP, y SMTP son todos protocolos de la capa de aplicación. Las personas están por encima de todas estas capas, y necesitan poco o ningún conocimiento de las capas subyacentes para usar efectivamente la red.

Una manera de mirar al modelo TCP/IP es pensar en una persona que entrega una carta en un edificio de oficinas. Va a tener que interactuar primero con la calle (capa física), poner atención al tráfico de la misma (capa de enlace), doblar en los lugares correctos para conectarse con otras calles y llegar a la dirección correcta (capa Internet), ir al piso y oficina correcta (capa transporte), y finalmente encontrar el destinatario o recepcionista que puede recibir la carta (capa de aplicación). Las cinco capas pueden ser recordadas fácilmente usando la frase **Favor Entrar, Inmediatamente Tomar el Ascensor**, para la secuencia de capas Física, Enlace de Datos, Internet, Transporte, y Aplicación, o en inglés **“Please Don't Look In The Attic,”** que se usa por **“Physical / Data Link / Internet / Transport / Application”**

Redes inalámbricas 802.11

Antes de que los paquetes puedan ser reenviados y enrutados en Internet, la capa uno (física) y dos (enlace) necesitan estar conectadas. Sin conectividad de enlace local, los nodos no pueden hablarse y enrutar paquetes.

Para proveer conectividad física, los dispositivos de redes inalámbricas deben operar en la misma porción del espectro de radio. Como pudimos ver en el capítulo dos, esto significa que los radios 802.11a se comunican con otro radio 802.11a en frecuencias de 5GHz, y que los radios 802.11b/g hablan con otros 802.11b/g en 2,4GHz, pero un dispositivo 802.11a no puede interoperar con uno 802.11b/g, puesto que usan porciones completamente diferentes del espectro electromagnético.

Más específicamente, las tarjetas inalámbricas deben concordar en un canal común. Si a una tarjeta de radio 802.11b se le asigna el canal 2 mientras que otra el canal 11, no podrán comunicarse.

Cuando dos tarjetas inalámbricas son configuradas para usar el mismo protocolo en el mismo canal de radio, están listas para negociar conectividad al nivel de la capa de enlace. Cada dispositivo 802.11a/b/g puede operar en uno de los cuatro modos posibles:

1. El **Modo maestro** (también llamado **AP** o **modo de infraestructura**) se utiliza para crear un servicio que parece un punto de acceso tradicional. La tarjeta de red crea una red con un canal y un nombre específico (llamado **SSID**), para ofrecer sus servicios. En el modo maestro, las tarjetas inalámbricas administran todas las comunicaciones de la red (autenticación de clientes inalámbricos, control de acceso al canal, repetición de paquetes, etc.). Las tarjetas inalámbricas en modo maestro sólo pueden comunicarse con tarjetas asociadas a ella en modo administrado.
2. El **Modo administrado** es denominado algunas veces **modo cliente**. Las tarjetas inalámbricas en modo administrado sólo pueden unirse a una red creada por una tarjeta en modo maestro, y automáticamente cambiarán su canal para que corresponda con el de ésta. Luego ellas presentan las credenciales necesarias al maestro, y si estas credenciales son aceptadas, se dice que están asociadas con la tarjeta en modo maestro. Las tarjetas en modo administrado no se comunican unas con otras directamente, y sólo se van a comunicar con una tarjeta asociada en modo maestro.
3. El **Modo ad hoc** crea una red multipunto a multipunto donde no hay un único nodo maestro o AP. En el modo *ad hoc*, cada tarjeta inalámbrica se comunica directamente con sus vecinas. Cada nodo debe estar dentro del alcance de los otros para comunicarse, y deben concordar en un nombre y un canal de red.
4. El **Modo Monitor** es utilizado por algunas herramientas (tales como Kismet, descrito en el capítulo seis) para escuchar pasivamente todo el tráfico de radio en un canal dado. En el modo monitor, las tarjetas inalámbricas no transmiten datos. Se utiliza para analizar problemas en un

enlace inalámbrico o para observar el uso del espectro en el área local. El modo monitor no es usado para las comunicaciones normales.

Cuando implementamos un enlace punto a punto, o punto a multipunto, un radio opera en modo maestro, mientras que los otros operan en modo administrado. En una red *mesh* multipunto a multipunto, todos los radios operan en modo *ad hoc* de manera que puedan comunicarse directamente.

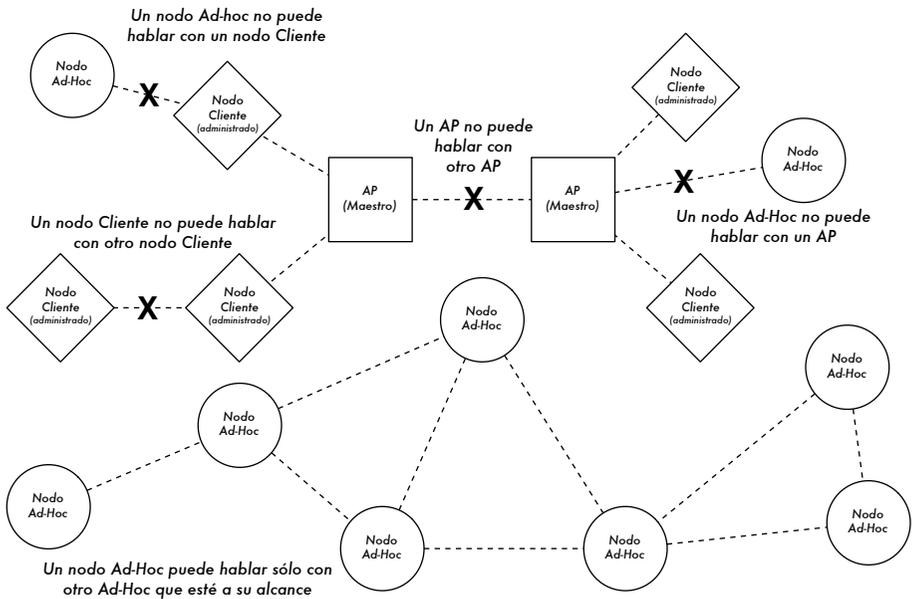


Figura 3.5: AP, clientes, y nodos ad hoc.

Es importante mantener estos modos en mente cuando realiza su diseño de red. Recuerde que los clientes en modo administrado no pueden comunicarse unos con otros directamente, por lo que es posible que quiera instalar un repetidor en modo maestro o *ad hoc*. Como veremos más adelante, el modo *ad hoc* es más flexible pero posee algunos problemas de prestaciones comparado con la utilización de los modos maestro o administrado.

Ahora que sus tarjetas inalámbricas proveen conectividad física y de enlace, están listas para comenzar a pasar paquetes a la capa 3: la capa Internet.

Redes Internet

Direcciones IP, direccionamiento de redes, enrutamiento y reenvío son conceptos relacionados e importantes en redes Internet. Una **dirección IP** es un identificador para un nodo de red como un PC, un servidor, un enrutador o un puente. El **direccionamiento de redes** es un sistema usado para asignar

estos identificadores en grupos convenientes. El **enrutamiento** mantiene un registro del lugar en la red donde están ubicados esos grupos. Los resultados del proceso de enrutamiento se guardan en una lista llamada **tabla de enrutamiento**. El **reenvío** es la acción de usar la tabla de enrutamiento para mandar un paquete al destino final o al "próximo salto" en la dirección a ese destino.

Direcciones IP

En una red IP³, la dirección es un número de 32 bits, usualmente escrito como 4 números de 8 bits expresados en forma decimal, separados por puntos. Algunos ejemplos de direcciones IP son 10.0.17.1, 192.168.1.1 ó 172.16.5.23.

Direccionamiento de redes

Las redes interconectadas deben ponerse de acuerdo sobre un plan de direccionamiento IP. En Internet, hay comités de personas que asignan las direcciones IP con un método consistente y coherente para garantizar que no se dupliquen las direcciones, y establecen nombres que representan a grupos de direcciones. Esos grupos de direcciones son denominados subredes, o subnets. Grandes subnets pueden ser subdivididas en subnets más pequeñas. Algunas veces un grupo de direcciones relacionadas se denomina espacio de direcciones.

En Internet, ninguna persona u organización posee realmente estos grupos de direcciones porque las direcciones sólo tienen significado si el resto de la comunidad de Internet se pone de acuerdo sobre su uso. Mediante acuerdos, las direcciones son asignadas a organizaciones en relación con sus necesidades y tamaño. Una organización a la cual se le ha asignado un rango de direcciones, puede asignar una porción de ese rango a otra organización como parte de un contrato de servicio. Las direcciones que han sido asignadas de esta manera, comenzando con comités reconocidos internacionalmente, y luego repartidas jerárquicamente por comités nacionales o regionales, son denominadas **direcciones IP enrutadas globalmente**.

Algunas veces es inconveniente o imposible obtener más de una dirección IP enrutada globalmente para un individuo u organización. En este caso, se puede usar una técnica conocida como Traducción de Direcciones de Red o **NAT** (*Network Address Translation*). Un dispositivo NAT es un enrutador con dos puertos de red. El puerto externo utiliza una dirección IP enrutada globalmente, mientras que el puerto interno utiliza una dirección IP de un

3. En este libro vamos a tratar primariamente con IPv4, la versión de este protocolo de mayor uso hoy en día. Aunque IPv6 va a remplazar a IPv4 en algún momento futuro, discutir IPv6 está fuera del alcance de este libro.

rango especial conocido como **direcciones privadas**⁴. El enrutador NAT permite que una única dirección global sea compartida por todos los usuarios internos, los cuales usan direcciones privadas. A medida que los paquetes pasan por él los convierte de una forma de direccionamiento a otra. Al usuario le parece que está conectado directamente a Internet y que no requieren software o controladores especiales para compartir una única dirección IP enrutada globalmente.

Enrutamiento

Internet está cambiando y creciendo constantemente. Continuamente se agregan nuevas redes, se añaden y remueven enlaces entre redes, que fallan y vuelven a funcionar. El trabajo del **enrutamiento** es determinar la mejor ruta al destino, y crear una tabla de enrutamiento que liste el mejor camino para todos los diferentes destinos.

Enrutamiento estático es el término utilizado cuando la tabla de enrutamiento es creada por configuración manual. Algunas veces esto es conveniente para redes pequeñas, pero puede transformarse rápidamente en algo muy dificultoso y propenso al error en redes grandes. Peor aún, si la mejor ruta para una red se torna inutilizable por una falla en el equipo u otras razones, el enrutamiento estático no podrá hacer uso de otro camino.

Enrutamiento dinámico es un método en el cual los elementos de la red, en particular los enrutadores, intercambian información acerca de su estado y el estado de sus vecinos en la red, y luego utilizan esta información para automáticamente tomar la mejor ruta y crear la tabla de enrutamiento. Si algo cambia, como un enrutador que falla, o uno nuevo que se pone en servicio, los protocolos de enrutamiento dinámico realizan los ajustes a la tabla de enrutamiento. El sistema de intercambio de paquetes y toma de decisiones es conocido como protocolo de enrutamiento. Hay muchos protocolos de enrutamiento usados en Internet hoy en día, incluyendo OSPF, BGP, RIP, y EIGRP.

Las redes inalámbricas asemejan a las redes cableadas, en el sentido de que necesitan protocolos de enrutamiento dinámicos, pero tienen suficientes diferencias para requerir protocolos de enrutamiento orientados a sus necesidades específicas. En particular, las conexiones de las redes cableadas generalmente funcionan bien o no funcionan (por ejemplo, un cable Ethernet está enchufado o no). Las cosas no son tan claras cuando se trabaja con redes inalámbricas. La comunicación inalámbrica puede ser afectada por objetos en movimiento en el camino de la señal, o por señales que interfieren. Consecuentemente, los enlaces pueden no funcionar bien, o funcionar pobremente, o variar entre los dos extremos. Ya que los protocolos de red

4. El término direcciones privadas es definido en RFC 1918, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1918>

existentes no toman en cuenta la calidad de un enlace cuando realizan decisiones de enrutamiento, el comité IEEE 802.11 y el IETF están trabajando en estandarizar protocolos para redes inalámbricas. En la actualidad está poco claro cuándo va a surgir un estándar único que tome en cuenta los enlaces de calidad variable.

Mientras tanto, hay muchos intentos de programación *ad hoc* que quieren solucionar el problema. Algunos ejemplos incluyen **Hazy Sighted Link State (HSLS)** 'Visión Borrosa del Estado del Enlace', **Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV)** 'Vector de Distancia bajo Demanda *ad hoc*', y **Optimized Link State Routing (OLSR)** 'Enrutamiento Optimizado según el Estado de la Red'. Otro es el **SrcR**, una combinación de DSR y ETX implementada por el proyecto Roofnet del MIT. Más adelante en este capítulo vamos a ver ejemplos de cómo implementar una red utilizando OLSR para realizar decisiones de enrutamiento.

Reenvío

El **reenvío** es mucho más sencillo que el direccionamiento y el enrutamiento. Cada vez que un enrutador recibe un paquete, consulta su tabla de enrutamiento interna. Comenzando con el bit más significativo (de mayor orden), escudriña la tabla de enrutamiento hasta encontrar la entrada que tenga el mayor número de bits coincidentes con la dirección destinataria. A esto se le llama **prefijo** de la dirección. Si en la tabla se encuentra una entrada que coincide con el prefijo, el campo **hop count (cuenta de salto)** o **TTL (tiempo de vida)** se decrementa. Si el resultado es cero, el paquete se descarta y se envía una notificación de error al emisor del mismo. De lo contrario, el paquete se envía al nodo o interfaz especificado en la tabla de enrutamiento. Por ejemplo, si la tabla de enrutamiento contiene estas entradas:

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Iface
10.15.6.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	eth1
10.15.6.108	10.15.6.7	255.255.255.255	UG	1	eth1
216.231.38.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	eth0
0.0.0.0	216.231.38.1	0.0.0.0	UG	0	eth0

... y el paquete llega con la dirección de destino 10.15.6.23, el enrutador sería enviado por la interfaz eth1. Si el paquete tiene un destino de 10.15.6.108, sería reenviado al gateway (pasarela) 10.15.6.7 (ya que es más específica y hay más coincidencia de bits de alto orden que la ruta a la red 10.15.6.0.).

El destino 0.0.0.0 es una convención especial denominada **gateway por omisión**. Si ningún prefijo corresponde a la dirección de destino, el paquete es enviado al gateway por omisión. Por ejemplo, si un destino fuera 72.1.140.203, el enrutador reenviaría el paquete a 216.231.38.1 (que pre-

sumiblemente acercaría el paquete a su último destino, y así sucesivamente).

Si un paquete llega y no se encuentra una entrada apropiada (por ej. no se ha definido un gateway por omisión y ningún prefijo corresponde a una ruta conocida), se descarta el paquete y se regresa un paquete de error al emisor inicial.

El campo TTL se utiliza para detectar bucles de enrutamiento. En su ausencia, un paquete podría circular indefinidamente entre dos enrutadores que se listan mutuamente como el mejor próximo salto. Esta clase de bucles puede causar mucho tráfico innecesario en la red y constituye una amenaza a su estabilidad. Usar el campo TTL no soluciona los bucles de enrutamiento, pero ayuda a prevenir la destrucción de una red debido a una mala configuración.

Unificando todo

Una vez que todos los nodos de la red tienen una dirección IP, pueden enviar paquetes de datos a cualquier otro nodo. Mediante el enrutamiento y el reenvío, esos paquetes pueden llegar a nodos en redes que no están conectadas físicamente con el nodo original. Este proceso describe mucho de lo que “sucede” en Internet. Esto es ilustrado en la siguiente figura:

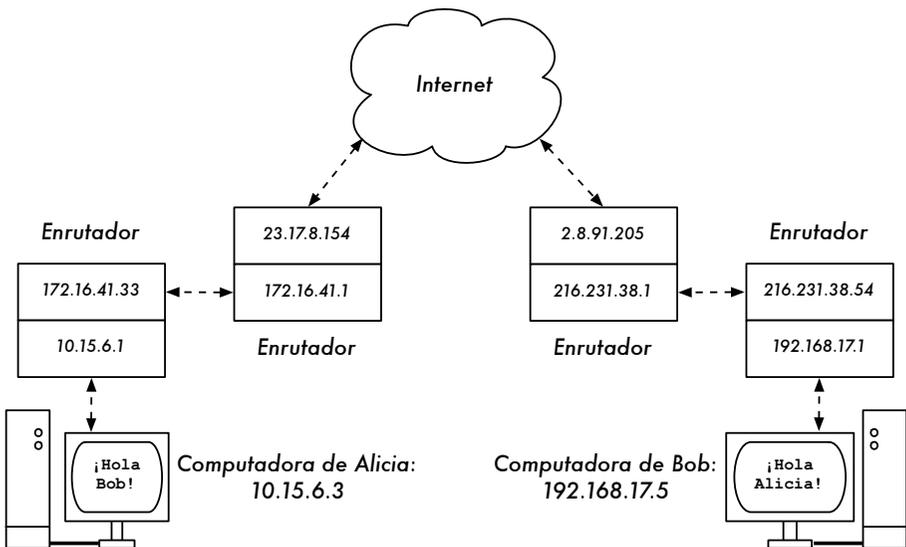


Figura 3.6: Redes Internet. Cada segmento de la red tiene un enrutador con dos direcciones IP, realizando un “enlace local” a dos redes diferentes. Los paquetes son reenviados entre enrutadores hasta que encuentran su destino.

En este ejemplo se puede ver el camino que toman los paquetes cuando Alicia habla con Bob utilizando un servicio de mensajería instantánea. Cada línea punteada representa un cable Ethernet, un enlace inalámbrico, o cualquier otro tipo de red física. El símbolo de la nube es usado comúnmente para “La Internet”, y representa cualquier número de redes IP involucradas. Ni Alicia ni Bob necesitan preocuparse de cómo operan esas redes, siempre que los enrutadores reenvíen el tráfico IP hasta el destino final. Si no fuera por los protocolos de Internet y la cooperación de todos en la red, este tipo de comunicación sería imposible.

Ahora que hemos visto cómo fluyen los paquetes en las redes IP, vamos a ver un tipo de red IP muy especializada: una red mallada (*mesh*) OLSR.

Redes mesh con OLSR

La mayoría de las redes WiFi operan en el modo infraestructura: consisten en un punto de acceso en algún lugar (con un radio operando en el modo maestro), conectado a una línea DSL u otra red cableada de larga distancia. En un “hot spot” el punto de acceso generalmente actúa como una estación master que distribuye el acceso a Internet a sus clientes, que operan en el modo administrado. Esta topología es similar al servicio GSM de teléfonos móviles. Los teléfonos móviles se conectan a una estación base sin la cual no se pueden comunicar entre sí. Si hace una llamada en broma a un amigo que está del otro lado de la mesa, su teléfono envía los datos a la estación base de su proveedor que puede estar a una milla de distancia. Luego la estación base reenvía los datos al teléfono de su amigo.

Las tarjetas WiFi en el modo administrado tampoco pueden comunicarse directamente. Los clientes –por ejemplo, dos computadoras portátiles en la misma mesa– tienen que usar un punto de acceso como intermediario. Todo el tráfico entre dos clientes conectados a un punto de acceso debe ser enviado dos veces. Si los clientes A y C se comunican, el cliente A envía datos al punto de acceso B, y luego el punto de acceso va a retransmitir los datos al cliente C. Una transmisión puede tener una velocidad de 600 kbyte/seg (que es prácticamente la máxima velocidad que podemos obtener con 802.11b). En nuestro ejemplo, puesto que los datos deben ser repetidos por el punto de acceso antes de que lleguen a su objetivo, la velocidad real entre ambos clientes va a ser de sólo 300 kbyte/seg.

En el modo *ad hoc* no hay una relación jerárquica entre maestro-cliente. Los nodos pueden comunicarse directamente si están dentro del rango de su interfaz inalámbrica. Por lo tanto, en nuestro ejemplo ambas computadoras podrían conectarse a la velocidad máxima cuando operan en *ad hoc* bajo circunstancias ideales.

La desventaja del modo *ad hoc* es que los clientes no repiten el tráfico destinado a otros clientes. En el ejemplo del punto de acceso, si dos clientes A y C no pueden “verse” directamente con su interfaz inalámbrica, todavía se pueden comunicar si el AP está dentro del rango inalámbrico de ambos clientes.

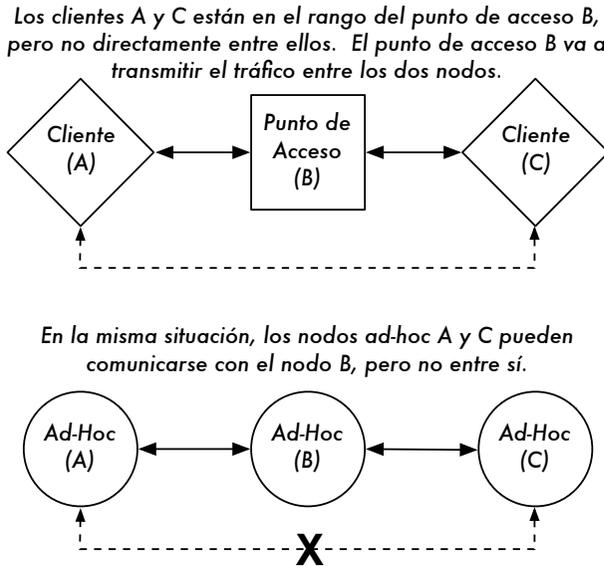


Figura 3.7: El punto de acceso B va a transmitir el tráfico entre los clientes A y C. En el modo *ad hoc*, el nodo B no va a transmitir el tráfico entre A y C por omisión.

Los nodos *ad hoc* no repiten datos por omisión, pero pueden hacerlo si se aplica el **enrutamiento**. Las redes malladas (*mesh*) están basadas en la estrategia de que cada nodo actúa como un relevo para extender la cobertura de la red inalámbrica. Cuantos más nodos, mejor será la cobertura de radio y rango de la nube mallada.

Hay un tema álgido que debe ser mencionado en este punto. Si el dispositivo utiliza solamente una interfaz de radio, el ancho de banda disponible se ve reducido significativamente cada vez que el tráfico es repetido por los nodos intermedios en el camino desde A hasta B. Además, va a haber interferencia en la transmisión de esos nodos compartiendo el mismo canal. Por lo tanto, las económicas redes *malladas ad hoc* pueden suministrar muy buena cobertura de radio a una red inalámbrica comunitaria a expensas de la velocidad —especialmente si la densidad de los nodos y la potencia de transmisión son elevadas. Si una red *ad hoc* consiste sólo en unos pocos nodos que están funcionando simultáneamente, si no se mueven y siempre tienen radioenlaces estables —y una larga lista de otras condicionantes— es posible escribir a mano una tabla de enrutamiento individual para todos los nodos.

Desafortunadamente, esas condiciones raramente se encuentran en el mundo real. Los nodos pueden fallar, los dispositivos WiFi pueden cambiar de lugar, y la interferencia puede hacer que los radioenlaces estén inutilizados en cualquier momento. Además nadie quiere actualizar varias tablas de enrutamiento a mano si se adiciona un nodo a la red. Mediante la utilización de protocolos que mantienen automáticamente las tablas de enrutamiento individuales de cada nodo involucrado, podemos olvidarnos de esos temas. Los protocolos de enrutamiento más comunes en el mundo cableado (como el OSPF) no funcionan bien en este ambiente porque no están diseñados para tratar con enlaces perdidos o con topologías que cambian rápidamente.

Enrutamiento mallado con olsrd

El Optimized Link State Routing Daemon –olsrd– (Demonio de Enrutamiento de Estado de Enlace) de *olsr.org* es una aplicación desarrollada para el enrutamiento de redes inalámbricas. Nos vamos a concentrar en este software de enrutamiento por varias razones. Es un proyecto fuente abierta que soporta Mac OS X, Windows 98, 2000, XP, Linux, FreeBSD, OpenBSD y NetBSD. Olsrd está disponible para puntos de acceso que corren Linux como Linksys WRT54G, Asus WL500g, AccessCube o Pocket PCs que corren Linux Familiar, y viene incluido en los equipos Metrix que corren Metrix Pebble. Olsrd puede manejar interfaces múltiples y puede extenderse con diferentes *plug-ins*. Soporta IPv6 y está siendo desarrollado y utilizado activamente en redes comunitarias alrededor del mundo.

Existen varias implementaciones para OLSR, que comenzaron como un borrador IETF escrito en el INRIA en Francia. La implementación de *olsr.org* comenzó como la tesis de máster de Andreas Toennesen en la Universidad UniK. El demonio de enrutamiento se modificó con base en la experiencia práctica de las redes comunitarias gratuitas. El olsrd actual difiere significativamente del borrador original porque incluye un mecanismo denominado Link Quality Extension (Extensión de la Calidad del Enlace) que mide la cantidad de paquetes perdidos entre nodos y calcula las rutas de acuerdo con esta información. Esta extensión rompe la compatibilidad con los demonios de enrutamiento que adhieren al borrador del INRIA. El olsrd disponible en *olsr.org* puede ser configurado para comportarse de acuerdo al borrador del IETF que carece de esta característica –pero no hay una razón para deshabilitar el Link Quality Extension (Extensión de la Calidad del Enlace), a menos que se requiera la compatibilidad con otras implementaciones.

Teoría

Después de haber corrido olsrd por un rato, cada nodo adquiere conocimiento acerca de la existencia de los otros nodos en la nube *mallada*, y sabe cuáles nodos pueden ser utilizados para enrutar el tráfico hacia ellos. Cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento que cubre la totalidad de la nube

mesh. Este enfoque de enrutamiento mallado es denominado **enrutamiento proactivo**. En contraste, los algoritmos de **enrutamiento reactivo** buscan rutas sólo cuando es necesario enviar datos a un nodo específico.

Hay argumentos en favor y en contra del enrutamiento proactivo, y hay muchas otras ideas acerca de cómo hacer el enrutamiento mallado que vale la pena mencionar. La ventaja más grande del enrutamiento proactivo es que sabemos quién está dentro o fuera de la red y no debemos esperar hasta que se encuentre una ruta. El alto tráfico de protocolo y la mayor cantidad de carga de CPU son algunas de las desventajas. En Berlín, la comunidad de Freifunk está operando una nube mallada donde olsrd tiene que administrar más de 100 interfaces. El promedio de carga del CPU causada por olsrd en un Linksys WRT54G corriendo a 200 MHz es aproximadamente del 30% en la *mesh* de Berlín. Hay un límite al grado hasta el cual la extensión de un protocolo proactivo puede escalar —dependiendo de cuántas interfaces estén involucradas y cuán a menudo se actualizan las tablas de enrutamiento.

Mantener rutas en una nube mallada con nodos estáticos toma menos esfuerzo que hacerlo en una *mesh* compuesta de nodos que están en constante movimiento, ya que la tabla de enrutamiento no necesita ser actualizada tan a menudo.

Mecanismo

Un nodo que corre olsrd envía constantemente mensajes de “Hello” con un intervalo dado para que sus vecinos puedan detectar su presencia. Cada nodo computa una estadística de cuántos “Hellos” ha recibido y perdido desde cada vecino —de esta forma obtiene información sobre la topología y la calidad de enlace de los nodos en el vecindario. La información de topología obtenida es difundida como mensajes de control de topología (TC messages) y reenviada por los vecinos que olsrd ha elegido para ser relevadores “multipunto”.

El concepto de relevadores multipunto es una nueva idea en el enrutamiento proactivo que viene desde el borrador de OLSR. Si cada nodo retransmite la información de topología que ha recibido, se puede generar una sobrecarga innecesaria. Dichas transmisiones son redundantes si un nodo tiene muchos vecinos. Por esta razón, un nodo olsrd decide cuáles vecinos serán designados “relevadores multipunto favorables”, encargados de reenviar los mensajes de control de topología. Nótese que los relevadores multipunto son elegidos exclusivamente con el propósito de reenviar mensajes de CT, la carga útil (payload) se enruta utilizando todos los nodos disponibles.

Existen otros dos tipos de mensajes en OLSR que informan cuándo un nodo ofrece una pasarela (*gateway*) a otras redes (mensajes HNA) o tiene múlti-

ples interfaces (mensajes MID). No hay mucho más que decir acerca de estos mensajes más allá del hecho de que existen. Los mensajes HNA hacen al `olsrd` muy conveniente para conectarse a Internet con un dispositivo móvil. Cuando un nodo *mesh* se mueve detectará pasarelas a otras redes y siempre elegirá la pasarela a la que tenga la mejor ruta. No obstante, `olsrd` no es a prueba de balas. Si un nodo anuncia que es una pasarela a Internet – cuando en realidad no lo es, porque nunca tuvo acceso o lo perdió– los otros nodos van a creer esta información de todas formas. La pseudo-pasarela es un agujero negro. Para solucionar este problema se desarrolló una aplicación de pasarela dinámica. La aplicación detecta automáticamente si la pasarela está verdaderamente conectada y si el enlace está activo. Si no es así, `olsrd` interrumpe el envío de mensajes HNA falsos. Es muy recomendable construir y utilizar esta aplicación en lugar de depender de los mensajes HNA estáticos.

Práctica

`Olsrd` implementa enrutamiento IP en una aplicación interna de los usuarios –la instalación es bastante sencilla. Los paquetes de instalación están disponibles para OpenWRT, AccessCube, Mac OSX, Debian GNU/Linux y Windows. OLSR es una parte estándar de Metrix Pebble. Si usted debe compilar desde la fuente, por favor lea la documentación que viene con el paquete. Si todo está configurado correctamente, lo único que tiene que hacer es iniciar el programa OLSR.

En primer lugar debe asegurarse de que cada una de las interfaces del nodo de la *mesh* tiene asignada una dirección IP estática. No se recomienda (ni es práctico) utilizar DHCP en una red IP mallada. Una solicitud DHCP no va a ser contestada por un servidor DHCP si el nodo que la solicita necesita un enlace de múltiples saltos para alcanzarlo, y aplicar relevo de DHCP (DHCP relay) en toda una malla es poco práctico. El problema podría ser resuelto utilizando IPv6, puesto que se dispone de suficientes direcciones para generar una IP a partir de la dirección MAC para cada tarjeta involucrada (como se sugiere en "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration in large mobile *ad hoc* networks" por K. Weniger y M. Zitterbart, 2002).

Una página-wiki donde todas las personas interesadas pueden elegir una dirección IPv4 para cada interfaz que esté corriendo OLSR daemon puede ayudar al propósito bastante bien. No existe una manera sencilla de automatizar el proceso cuando se utiliza IPv4.

En general, la dirección de difusión en las interfaces *mesh* debe ser 255.255.255.255, por convención. No hay una razón para ingresar explícitamente la dirección de difusión, ya que `olsrd` puede ser configurado para reemplazar cualquier dirección de difusión con su valor por convención. Sólo debemos asegurarnos de que las configuraciones son las mismas en todos

lados. Olsrd puede hacer esto por sí mismo. Cuando se establece un archivo de configuración olsrd por omisión, esta característica debe ser habilitada para eliminar confusiones del tipo “¿por qué los otros nodos no pueden ver mi máquina?”

Configuremos ahora la interfaz inalámbrica. Aquí hay un comando que ejemplifica como configurar una tarjeta WiFi con el nombre wlan0 utilizando Linux:

```
iwconfig wlan0 essid olsr.org mode ad-hoc channel 10 rts 250 frag 256
```

Verifique que la parte inalámbrica de la tarjeta WiFi ha sido configurada de manera que tenga una conexión *ad hoc* con otros nodos *mesh* dentro del rango directo (salto único). Asegúrese de que la interfaz usa el mismo canal inalámbrico, el mismo nombre de red inalámbrica ESSID (Extended Service Set Identifier) y tiene la misma Cell-ID (Identificación de la Célula) que todas las otras tarjetas WiFi que conforman la malla. Muchas tarjetas WiFi o sus respectivos drivers no actúan de acuerdo con el estándar 802.11 para redes *ad hoc* y por lo tanto no pueden conectarse a una célula. Por otro lado pueden ser incapaces de conectarse con otros dispositivos en la misma tabla, aún si están configurados con el canal y el nombre de la red inalámbrica correctos. Incluso pueden confundir otras tarjetas que se comportan de acuerdo con el estándar creando su propio Cell-ID en el mismo canal y con el mismo nombre de red inalámbrica. Las tarjetas WiFi hechas por Intel que son distribuidas en Notebooks Centrino tienen esta falla.

Para comprobar esto puede utilizar el comando `iwconfig` cuando utiliza Linux GNU. Aquí están los resultados de mi computadora:

```
wlan0 IEEE 802.11b ESSID:"olsr.org"
Mode:Ad-Hoc Frequency:2.457 GHz Cell: 02:00:81:1E:48:10
Bit Rate:2 Mb/s Sensitivity=1/3
Retry min limit:8 RTS thr=250 B Fragment thr=256 B
Encryption key:off
Power Management:off
Link Quality=1/70 Signal level=-92 dBm Noise level=-100 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:28 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:98024 Invalid misc:117503 Missed beacon:0
```

Es importante configurar el valor umbral “RTS” ‘*Request To Send*’ para una malla, con el fin de mitigar el efecto de las colisiones entre las transmisiones de los nodos del mismo canal. RTS/CTS establece un procedimiento antes de la transmisión de cada paquete para estar seguro de que el canal está libre. Esto implica una sobrecarga, pero incrementa la prestación en el caso de nodos ocultos –y éstos son inherentes a una *mesh*! Este parámetro establece el tamaño del paquete más pequeño (en bytes) para el cual el nodo envía RTS. El valor umbral de RTS debe ser menor que IP-Packet Size – Tamaño del paquete IP– y que el “Fragmentation Threshold” –Umbral de

Fragmentación—; en caso contrario estaría deshabilitado. En nuestro ejemplo este valor es de 256 bytes. TCP es muy sensible a las colisiones, por lo tanto es importante habilitar RTS.

La fragmentación permite dividir un paquete IP en una ráfaga de paquetes más pequeños para su transmisión. Si bien implica una sobrecarga, en un medio ambiente ruidoso esto reduce la penalización por los errores y le permite a los paquetes atravesar ráfagas de interferencia. Las redes *mesh* son muy ruidosas porque los nodos utilizan el mismo canal y por lo tanto las transmisiones están predispuestas a interferir unas con otras. Este parámetro configura el tamaño máximo antes de que un paquete de datos sea dividido y enviado en una ráfaga —un valor igual al tamaño máximo del paquete IP deshabilita el mecanismo, por lo tanto el umbral de fragmentación debe ser menor que el tamaño del paquete IP. Se recomienda utilizar el umbral de fragmentación.

Una vez que se asigna una dirección IP válida y una *máscara de red*, y que la interfaz inalámbrica está funcionando, el archivo de configuración de `olsrd` debe ser cambiado para que éste encuentre y utilice las interfaces sobre las cuales debe trabajar.

Para Mac OS-X y Windows se dispone de una buena guía para la configuración y el monitoreo del demonio. Desafortunadamente, esto lleva a que los usuarios que tienen poco conocimiento previo hagan mal las cosas —como permitir agujeros negros. En BSD y Linux el archivo de configuración `/etc/olsrd.conf` tiene que ser editado con el editor de texto.

Una configuración `olsrd` simple

No vamos a mostrar un archivo de configuración completo. Aquí hay algunas de las cosas esenciales que deben ser chequeadas.

```
UseHysteresis          no
TcRedundancy          2
MprCoverage            3
LinkQualityLevel      2
LinkQualityWinSize    20

LoadPlugin "olsrd_dyn_gw.so.0.3"
{
    PlParam    "Interval"    "60"
    PlParam    "Ping"        "151.1.1.1"
    PlParam    "Ping"        "194.25.2.129"
}

Interface "ath0" "wlan0" {
    Ip4Broadcast 255.255.255.255
}
```

Hay muchas más opciones disponibles en el archivo `olsrd.conf`, pero estas opciones básicas le van a permitir comenzar. Después de realizar estos pasos, `olsrd` puede ser iniciado con un simple comando en el terminal:

```
olsrd -d 2
```

Personalmente, cuando usamos una estación de trabajo recomiendo correrlo con la opción de depuración `-d 2`, especialmente la primera vez. Podemos ver qué es lo que hace `olsrd` y monitorear cómo están funcionando los enlaces a sus vecinos. En dispositivos integrados el nivel de depuración debe ser 0 (apagado), porque genera mucha carga en la CPU.

El resultado debe ser algo parecido a esto:

```
--- 19:27:45.51 ----- DIJKSTRA
192.168.120.1:1.00 (one-hop)
192.168.120.3:1.00 (one-hop)

--- 19:27:45.51 ----- LINKS

IP address      hyst    LQ      lost    total  NLQ     ETX
192.168.120.1   0.000  1.000   0       20     1.000  1.00
192.168.120.3   0.000  1.000   0       20     1.000  1.00

--- 19:27:45.51 ----- NEIGHBORS

IP address      LQ      NLQ     SYM     MPR     MPRS    will
192.168.120.1   1.000  1.000   YES     NO      YES     3
192.168.120.3   1.000  1.000   YES     NO      YES     6

--- 19:27:45.51 ----- TOPOLOGY

Source IP addr  Dest IP addr    LQ      ILQ     ETX
192.168.120.1  192.168.120.17  1.000  1.000  1.00
192.168.120.3  192.168.120.17  1.000  1.000  1.00
```

Utilizar OLSR en Ethernet y en interfaces múltiples

No es necesario tener una interfaz inalámbrica para probar o utilizar `olsrd`, aunque fue diseñado para éstas. También puede ser utilizado en cualquier NIC. Las interfaces WiFi no tienen que operar siempre en el modo *ad hoc* para formar una malla cuando los nodos *mesh* tienen más de una interfaz. Para los enlaces dedicados puede ser una buena opción que corran en el modo de infraestructura. Muchas tarjetas y manejadores (drivers) WiFi tienen problemas en el modo *ad hoc*, pero el modo de infraestructura trabaja bien –porque todos esperamos que al menos esta característica funcione. El modo *ad hoc* no ha tenido muchos usuarios hasta ahora, por lo que la implementación del mismo ha sido descuidada por muchos fabricantes. Actu-

almente, debido al aumento de la popularidad de las redes *mesh*, se está mejorando esta situación.

Muchas personas utilizan olsrd en interfaces cableadas así como inalámbricas porque no piensan en la arquitectura de red. Simplemente conectan antenas a sus tarjetas WiFi, cables a sus tarjetas Ethernet, habilitan olsrd para que corra en todas las computadoras e interfaces y arrancan. Esto es abusar de un protocolo que fue diseñado para hacer redes inalámbricas en enlaces con pérdidas; pero, ¿por qué no?

Se espera que olsrd sea un superprotocolo. Evidentemente no es necesario enviar mensajes de “Hello” cada dos segundos en una interfaz cableada –pero funciona. Esto no debe ser tomado como una recomendación –simplemente es sorprendente lo que la gente hace con este protocolo y todavía les funciona. De hecho la idea de tener un protocolo que hace todo es muy atractiva para los novatos que quieren tener una LAN enrutada de tamaño pequeño a mediano.

Aplicaciones (*plug-ins*)

Existen varias aplicaciones para olsrd. Para obtener una lista completa, puede chequear el sitio web *olsr.org*. Aquí hay unas instrucciones resumidas para la aplicación de visualización de la topología de la red `olsrd_dot_draw`.

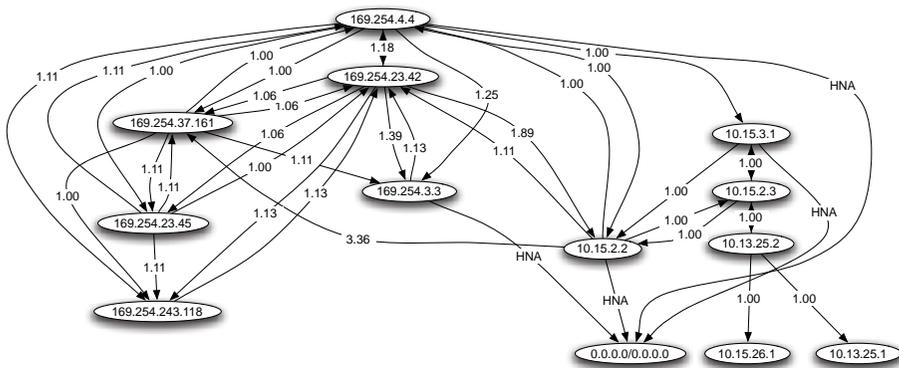


Figura 3.8: Una topología de red OLSR generada automáticamente.

A menudo es muy bueno para la comprensión de una red mallada poder mostrar la topología de la red gráficamente. El `olsrd_dot_draw` produce la topología en un archivo de formato dot en el puerto TCP 2004. Las herramientas *graphviz* pueden utilizarse para dibujar los gráficos.

Instalar la aplicación dot_draw

Compile todas las aplicaciones OLSR por separado e instáelas. Para cargarlas agregue las siguientes líneas a `/etc/olsrd.conf`

```
LoadPlugin      "olsrd_dot_draw.so.0.3"
{
    PlParam "accept" "192.168.0.5"
    PlParam "port" "2004"
}
```

El parámetro `"accept"` especifica el host que fue aceptado para visualizar la Información Topológica (por el momento, uno solo) y es el `"localhost"` (host local) por omisión. El parámetro `"port"` especifica el puerto TCP.

Luego reinicie OLSR y chequee si tiene un resultado en el Puerto TCP 2004

```
telnet localhost 2004
```

Después de un rato debe aparecer algún texto.

Puede guardar las descripciones gráficas resultantes y correr las herramientas **dot** o **neato** del paquete *graphviz* para obtener imágenes.

Bruno Randolf ha escrito un pequeño programa perl que obtiene continuamente la información topológica desde olsrd y la despliega utilizando las herramientas gráficas *graphviz* e *ImageMagick*.

Primero instale los siguientes paquetes en su estación de trabajo:

- *graphviz*, <http://www.graphviz.org/>
- *ImageMagick*, <http://www.imagemagick.org/>

Descargue el programa en:

```
http://meshcube.org/nylon/utils/olsr-topology-view.pl
```

Ahora usted puede correr el programa con `./olsr-topology-view.pl` y visualizar la topología actualizada casi en tiempo real.

Resolución de problemas

Siempre que las tarjetas WiFi pueden “verse” directamente con sus radios, la herramienta “ping” funcionará sea que olsrd esté corriendo o no. Esto es así porque las máscaras de red grandes efectivamente hacen de cada nodo un enlace local, por lo que los temas de enrutamiento son eludidos en el primer salto. Esto debe ser chequeado en primer lugar, si las cosas no funcionan

como se espera. La mayoría de los dolores de cabeza que la gente enfrenta con WiFi en el modo *ad hoc* son causados por el hecho de que este modo ha sido implementado descuidadamente en los manejadores (*drivers*) y las tarjetas. Si no es posible hacer *ping* a los nodos que están en el rango, es probable que sea un problema de las tarjetas o los manejadores, o que la configuración de la red esté mal.

Si cada máquina puede hacer *ping* a las otras, pero *olsrd* no encuentra las rutas, entonces deben chequearse las direcciones IP, la máscara de red y la dirección de difusión.

¿Está utilizando un cortafuego? Asegúrese de que no bloquee el puerto UDP 698.

¡Que se divierta!

Estimando la capacidad

Los enlaces inalámbricos pueden proveer a los usuarios un rendimiento real significativamente mayor que las conexiones tradicionales a Internet, tales como VSAT, discado, o DSL. El rendimiento también se denomina **capacidad del canal**, o simplemente **ancho de banda** (aunque este término no está relacionado con el ancho de banda de las ondas de radio). Es importante comprender que la velocidad listada de los dispositivos inalámbricos (la tasa **de datos**) se refiere a la tasa a la cual los radios pueden intercambiar símbolos, no al rendimiento que va a observar el usuario. Como mencionamos antes, un enlace 802.11g puede utilizar 54Mbps en el radio, pero el rendimiento real será de unos 22Mbps. El resto es la tara (*overhead*) que necesitan los radios 802.11g para coordinar sus señales.

El rendimiento es una medida de bits por tiempo. 22Mbps significa que en un segundo dado pueden ser enviados hasta 22 megabits desde un extremo del enlace al otro. Si los usuarios intentan enviar más de 22 megabits a través del enlace, va a demorar más de un segundo. Si los datos no pueden ser enviados inmediatamente, son puestos en una **cola de espera**, y transmitidos tan pronto como sea posible. Esta cola de datos incrementa el tiempo que se necesita para que los bits puestos en la cola más recientemente atraviesen el enlace. El tiempo que le toma a los datos atravesar el enlace es denominado **latencia**, y una latencia muy grande es denominada comúnmente demora (*lag*). El enlace va a enviar todo el tráfico en espera, pero sus clientes seguramente se quejen al incrementar la demora.

¿Cuánto rendimiento van a necesitar sus usuarios realmente? Esto depende de cuántos usuarios existen y de cómo usan su enlace inalámbrico. Las

diversas aplicaciones de Internet requieren diferentes cantidades de rendimiento.

Aplicación	Ancho de Banda/ Usuario	Notas
Mensajería de texto / IM	< 1 Kbps	Como el tráfico es infrecuente y asincrónico, IM va a tolerar mucha latencia.
Correo electrónico	1 to 100 Kbps	Al igual que IM, el correo electrónico es asincrónico e intermitente, por lo tanto va a tolerar la latencia. Los archivos adjuntos grandes, los virus y el correo no deseado aumentan significativamente la utilización del ancho de banda. Los servicios de correo web (tales como Yahoo o Hotmail) deben ser considerados como navegadores web, no como correo electrónico.
Navegadores web	50 - 100+ Kbps	Los navegadores web sólo utilizan la red cuando se solicitan datos. La comunicación es asincrónica, por lo que se puede tolerar una buena cantidad de demora. Cuando los navegadores web, buscan datos voluminosos (imágenes pesadas, descargas largas, etc.) la utilización del ancho de banda aumenta significativamente.
Flujo de audio (streaming)	96 - 160 Kbps	Cada usuario de un servicio de flujo de audio va a utilizar una cantidad constante de una relativamente gran cantidad de ancho de banda, durante el tiempo que está activo. Puede tolerar algo de latencia pasajera mediante la utilización de mucha memoria de almacenamiento temporal en el cliente (buffer). Pero extensos períodos de espera van a hacer que el audio "salte" o que se den fallos en la sesión.

Aplicación	Ancho de Banda/ Usuario	Notas
Voz sobre IP (VoIP)	24 - 100+ Kbps	Como con el flujo de audio, VoIP dedica una cantidad constante de ancho de banda de cada usuario mientras dura la llamada. Pero con VoIP, el ancho de banda utilizado es aproximadamente igual en ambas direcciones. La latencia en una conexión VoIP molesta inmediatamente a los usuarios. Para VoIP una demora mayor a unas pocas decenas de milisegundos es inaceptable.
Flujo de video (streaming)	64 - 200+ Kbps	Como el flujo de audio, un poco de latencia intermitente es superada mediante la utilización de la memoria de almacenamiento temporal del cliente. El flujo de video requiere de alto rendimiento y baja latencia para trabajar correctamente.
Aplicaciones para compartir archivos Par-a-par (BitTorrent, KaZaA, Gnutella, eDonkey, etc.)	0 - infinitos Mbps	Si bien las aplicaciones par a par (peer-to-peer) toleran cualquier cantidad de latencia, tienden a utilizar todo el rendimiento disponible para transmitir datos a la mayor cantidad de clientes y lo más rápido como les sea posible. El uso de estas aplicaciones causa latencia y problemas de rendimiento para todos los otros usuarios de la red, a menos que se utilice un conformador de ancho de banda adecuado.

Para estimar el rendimiento necesario para su red, multiplique el número esperado de usuarios por el tipo de aplicación que probablemente vayan a usar. Por ejemplo, 50 usuarios quienes están principalmente navegando en la web, en los momentos pico van a consumir entre 2.5 a 5Mbps o más de rendimiento, y se va a tolerar algo de latencia. Por otro lado, 50 usuarios simultáneos de VoIP van a requerir de 5Mbps o más de rendimiento **en ambas direcciones** sin absolutamente nada de latencia. Debido a que el equipamiento inalámbrico 802.11g es *half duplex* (esto es, sólo transmite o recibe, nunca las dos cosas a la vez) debe duplicar el rendimiento requerido por un total de **10Mbps**. Sus enlaces deben proveer esa capacidad cada segundo, o las conversaciones van a tener demora.

Ya que es poco probable que todos sus usuarios utilicen la conexión precisamente al mismo momento, una práctica normal es la de **sobresuscribir**

el rendimiento disponible por algún factor (esto es, permitir más usuarios de los que el máximo de ancho de banda disponible puede soportar). La sobresuscripción en un factor que va desde 2 a 5 es bastante normal. Probablemente usted utilice sobresuscripción cuando construya su infraestructura de red. Si es cuidadoso en el monitoreo del rendimiento real de su red, va a poder planificar cuándo actualizar diferentes partes de la red, y cuántos recursos adicionales va a necesitar.

Es de esperar que, sin importar cuánta capacidad provea, sus usuarios encuentren aplicaciones que utilicen la totalidad de la misma. Como veremos al final de este capítulo, las técnicas de conformación del ancho de banda pueden ayudar a mitigar algunos problemas de latencia. Mediante la conformación de ancho de banda, **almacenamiento temporal** (*cacheing*) web, así como otras técnicas, se puede reducir significativamente la latencia e incrementar el rendimiento global de su red.

Para tener una experiencia de cómo es una demora en conexiones muy lentas, el ICTP ha creado un simulador de ancho de banda. El mismo descarga una página web a toda velocidad y por otro lado a la tasa reducida que usted elija. Esa demostración le da una visión de cómo el bajo rendimiento y la alta latencia reducen la utilidad de Internet como una herramienta de comunicación. El mismo se encuentra disponible en <http://wireless.ictp.trieste.it/simulator/>

Planificar enlaces

Un sistema básico de comunicación consiste de dos radios, cada uno con su antena asociada, separados por la trayectoria que se va a cubrir. Para tener una comunicación entre ambos, los radios requieren que la señal proveniente de la antena tenga un valor por encima de cierto mínimo. El proceso de determinar si el enlace es viable se denomina cálculo del *presupuesto de potencia*. Que las señales puedan o no ser enviadas entre los radios dependerá de la calidad del equipamiento que se esté utilizando y de la disminución de la señal debido a la distancia, denominada **pérdida en la trayectoria**.

Cálculo del presupuesto del enlace

La potencia disponible en un sistema 802.11 puede caracterizarse por los siguientes factores:

- **Potencia de Transmisión.** Se expresa en milivatios o en dBm. La Potencia de Transmisión tiene un rango de 30mW a 200mW o más. La potencia TX a menudo depende de la tasa de transmisión. La potencia TX de un dispositivo dado debe ser especificada en los manuales provistos por el

fabricante, pero algunas veces puede ser difícil de encontrar. Algunas bases de datos en línea pueden ayudarlo, una de ellas es la provista por SeattleWireless (<http://www.seattlewireless.net/HardwareComparison>).

- **Ganancia de las Antenas.** Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. Las antenas tienen las mismas características cuando reciben que cuando transmiten. Por lo tanto, una antena de 12 dBi simplemente es una antena de 12 dBi, sin especificar si esto es en el modo de transmisión o de recepción. Las antenas parabólicas tienen una ganancia de 19-24 dBi, las antenas omnidireccionales de 5-12 dBi, y las antenas sectoriales, de 12-15 dBi.
- **El Mínimo Nivel de Señal Recibida,** o simplemente, la sensibilidad del receptor. El RSL (*por su sigla en inglés*) mínimo es expresado siempre como dBm negativos (- dBm) y es el nivel más bajo de señal que la red inalámbrica puede distinguir. El RSL mínimo depende de la tasa de transmisión, y como regla general la tasa más baja (1 Mbps) tiene la mayor sensibilidad. El mínimo va a ser generalmente en el rango de -75 a -95 dBm. Al igual que la potencia TX, las especificaciones RSL deben ser provistas por el fabricante del equipo.
- **Pérdidas en los Cables.** Parte de la energía de la señal se pierde en los cables, conectores y otros dispositivos entre los radios y las antenas. La pérdida depende del tipo de cable utilizado y de su longitud. La pérdida de señal para cables coaxiales cortos incluyendo los conectores es bastante baja, del rango de 2-3 dB. Lo mejor es tener cables lo más cortos como sea posible.

Cuando calculamos la pérdida en la trayectoria, se deben considerar varios efectos. Algunos de ellos son **pérdida en el espacio libre**, **atenuación** y **dispersión**. La potencia de la señal se ve disminuida por la dispersión geométrica del frente de onda, conocida comúnmente como pérdida en el espacio libre. Ignorando todo lo demás, cuanto más lejanos los dos radios, más pequeña la señal recibida debido a la pérdida en el espacio libre. Esto es independiente del medio ambiente, se debe solamente a la distancia. Esta pérdida se da porque la energía de la señal radiada se expande en función de la distancia desde el transmisor.

Utilizando los decibeles para expresar la pérdida y utilizando 2,45 GHz como la frecuencia de la señal, la ecuación para la pérdida en el espacio libre es:

$$L_{fs1} = 40 + 20 \cdot \log(r)$$

Donde L_{fs1} (pérdida de señal en el espacio libre, *por su sigla en inglés*) es expresada en dB y r es la distancia en metros entre el transmisor y el receptor.

La segunda contribución para la pérdida en el camino está dada por la atenuación. Esto ocurre cuando parte de la potencia de la señal es absorbida al pasar a través de objetos sólidos como árboles, paredes, ventanas y pisos de edificios. La atenuación puede variar mucho dependiendo de la estructura del objeto que la señal está atravesando, y por lo tanto es muy difícil de cuantificar. La forma más conveniente de expresar esta contribución a la pérdida total es agregando una "pérdida permitida" a la del espacio libre. Por ejemplo, la experiencia demuestra que los árboles suman de 10 a 20 dB de pérdida por cada uno que esté en el camino directo, mientras que las paredes contribuyen de 10 a 15 dB dependiendo del tipo de construcción.

A lo largo del trayecto del enlace, la potencia de RF (radio frecuencia) deja la antena transmisora y se dispersa. Una parte de la potencia de RF alcanza a la antena receptora directamente, mientras que otra rebota en la tierra. Parte de esa potencia de RF que rebota alcanza la antena receptora. Puesto la señal reflejada tiene un trayecto más largo, llega a la antena receptora más tarde que la señal directa. Este efecto es denominado **multitrayecto**, desvanecimiento o dispersión de la señal. En algunos casos las señales reflejadas se añaden y no causan problemas. Cuando se suman fuera de la fase, la señal recibida es prácticamente nula. En algunos casos, la señal en la antena receptora puede ser anulada por las señales reflejadas. Este fenómeno es conocido como **anulación**. Existe una técnica simple utilizada para tratar con el multitrayecto, llamada **diversidad de antena**. Consiste en agregar una segunda antena al radio. De hecho, el Multitrayecto es un fenómeno muy localizado. Si dos señales se suman fuera de fase en una locación, no lo harán en otra locación en las cercanías. Si tenemos dos antenas, al menos una de ellas será capaz de recibir una señal utilizable, aún si la otra está recibiendo una señal distorsionada. En aplicaciones comerciales se utiliza diversidad de antenas conmutadas: tienen múltiples antenas en múltiples entradas con un único receptor. Por lo tanto, la señal es recibida por una única antena a un mismo tiempo. Cuando se transmite, el radio utiliza la última antena usada para la recepción. La distorsión generada por el multitrayecto degrada la habilidad del receptor de recuperar la señal de manera similar a la pérdida de señal. Una forma simple de tomar en cuenta los efectos de la dispersión en el cálculo de la pérdida en el trayecto es cambiar el exponente del factor de la distancia en la fórmula de pérdida en el espacio libre. El exponente tiende a incrementarse con la distancia en un medio ambiente con mucha dispersión. En el exterior con árboles se puede utilizar un exponente de 3, mientras que en el caso de un medio ambiente interno puede usarse uno de 4.

Cuando se combinan pérdida en el espacio libre, atenuación y dispersión, la pérdida en el camino es:

$$L(\text{dB}) = 40 + 10*n*\log(r) + L(\text{permitida})$$

Donde n es el exponente mencionado.

Para realizar una estimación aproximada de la viabilidad del enlace, se puede evaluar solamente la pérdida en el espacio libre. El medio ambiente puede generar pérdida adicional de señal, y debe ser considerado para una evaluación exacta del enlace. De hecho el medio ambiente es un factor muy importante, y nunca debe ser descuidado.

Para evaluar si un enlace es viable, debemos conocer las características del equipamiento que estamos utilizando y evaluar la pérdida en el trayecto. Cuando hacemos este cálculo, la potencia TX debe ser sumada sólo en uno de los lados del enlace. Si está utilizando diferentes radios en cada lado del enlace, debe calcular la pérdida para cada dirección (utilizando la potencia TX adecuada para cada cálculo). Sumar todas las ganancias y restar las pérdidas resulta en:

$$\begin{array}{r}
 \text{TX Potencia de Radio 1} \\
 + \text{ Ganancia de la Antena de Radio 1} \\
 - \text{ Pérdida en los Cables de Radio 1} \\
 + \text{ Ganancia de la Antena de Radio 2} \\
 - \text{ Pérdida en los Cables de Radio 2} \\
 \hline
 = \text{ Ganancia Total}
 \end{array}$$

Restar la Pérdida en el trayecto de la Ganancia Total da:

$$\begin{array}{r}
 \text{Ganancia Total} \\
 - \text{ Pérdida en el trayecto} \\
 \hline
 = \text{ Nivel de Señal en un lado del enlace}
 \end{array}$$

Si el nivel de señal resultante es mayor que el nivel mínimo de señal recibido, entonces ¡el enlace es viable! La señal recibida es suficientemente potente para que los radios la utilicen. Recuerde que el RSL mínimo se expresa siempre como dBm negativos, por lo tanto -56dBm es mayor que -70dBm. En un trayecto dado, la variación en un período de tiempo de la pérdida en el trayecto puede ser grande, por lo que se debe considerar un margen (diferencia entre el nivel de señal recibida y el nivel mínimo de señal recibida). Este margen es la cantidad de señal por encima de la sensibilidad del radio que debe ser recibida para asegurar un enlace estable y de buena calidad durante malas situaciones climáticas y otras anomalías atmosféricas. Un margen de 10-15 dB está bien. Para brindar algo de espacio para la atenuación y el multitrayecto en la señal de radio recibida, se debe tener un margen de 20dB.

Una vez que ha calculado el presupuesto del enlace en una dirección, debe hacer lo mismo en el otro sentido. Substituya la potencia de transmisión del

segundo radio y compare los resultados con el nivel mínimo de señal recibido en el primer radio.

Ejemplo de cálculo del presupuesto del enlace

Como ejemplo, queremos estimar la viabilidad de un enlace de 5km con un punto de acceso y un cliente. El punto de acceso está conectado a una antena omnidireccional de 10dBi de ganancia, mientras que el cliente está conectado a una antena sectorial de 14dBi de ganancia. La potencia de transmisión del AP es 100mW (o 20dBm) y su sensibilidad es -89dBm. La potencia de transmisión del cliente es de 30mW (o 15dBm) y su sensibilidad es de -82dBm. Los cables son cortos, con una pérdida de 2dB a cada lado.

Sumar todas las ganancias y restar todas las pérdidas desde el AP hasta el cliente nos da:

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

La pérdida en el trayecto de un enlace de 5km, considerando sólo la pérdida en el espacio libre:

$$\text{Pérdida en el trayecto} = 40 + 20\log(5000) = 113 \text{ dB}$$

Restamos la pérdida en el trayecto de la ganancia total

$$40 \text{ dB} - 113 \text{ dB} = -73 \text{ dB}$$

Ya que -73dB es mayor que la sensibilidad del receptor del cliente (-82dBm), el nivel de señal es justo el suficiente para que el cliente sea capaz de oír al punto de acceso. Solamente hay 9dB de margen (82dB - 73dB) que nos permite trabajar bien con buen tiempo, pero probablemente no sea suficiente para enfrentar condiciones climáticas extremas.

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

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

$$35 \text{ dB} = \text{Ganancia Total}$$

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

$$35 \text{ dB} - 113 \text{ dB} = -78 \text{ dB}$$

Si la sensibilidad de recepción del AP es -89dBm, nos deja un margen de desvanecimiento de 11dB (89dB - 78dB). En general este enlace probablemente va a funcionar pero podría utilizar un poco más de ganancia. Si usamos un plato de 24dBi en el lado del cliente en lugar de una antena sectorial de 14dBi, vamos a tener una ganancia adicional de 10dBi en ambas direcciones del enlace (recuerde que la ganancia de la antena es recíproca). Una opción más cara puede ser la de utilizar radios de más potencia en ambos extremos del enlace, pero nótese que si agregamos un amplificador o una tarjeta de más potencia en uno sólo de los extremos, esto no ayuda a mejorar la calidad global del enlace.

Existen herramientas en línea que pueden ser utilizadas para calcular el presupuesto del enlace. Por ejemplo, el Green Bay Professional Packet Radio's Wireless Network Link Analysis

(<http://my.athenet.net/~multiplex/cgi-bin/wireless.main.cgi>) (Paquete Profesional de Análisis de Enlaces de Redes Inalámbricas de Radio de Green Bay) es una excelente herramienta. La Edición Super genera un archivo PDF que contiene las gráficas de la zona de Fresnel y el trayecto de las ondas de radio. El programa de cálculo también puede ser descargado desde el sitio web e instalado localmente. Veremos en más detalle una excelente herramienta en línea en la siguiente sección, **Software de planificación de enlace**.

El sitio web de Terabeam también tiene muy buenos calculadores disponibles en línea (<http://www.terabeam.com/support/calculations/index.php>).

Tablas para calcular el presupuesto del enlace

Para calcular el presupuesto del enlace, simplemente estime la distancia y complete las siguientes tablas:

Pérdida en el espacio libre a 2,4GHz

Distan- cia (m)	100	500	1,000	3,000	5,000	10,000
Pérdida (dB)	80	94	100	110	114	120

Ganancia de la Antena:

Antena Radio 1 (dBi)	+ Antena Radio 2 (dBi)	= Ganancia Total de la Antena

Pérdidas:

Radio 1 + Pérdida en los Cables (dB)	Radio 2 + Pérdida en los Cables (dB)	Pérdida en el espacio libre (dB)	= Pérdida Total (dB)

Presupuesto para el enlace de Radio 1 → Radio 2:

Potencia TX de Radio 1	+ Ganancia de la Antena	- Pérdida Total	= Señal	> Sensibilidad del Radio 2

Presupuesto para el enlace de Radio 2 → Radio 1:

Potencia TX de Radio 2	+ Ganancia de la Antena	- Pérdida Total	= Señal	> Sensibilidad del Radio 1

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

Software de planificación de enlace

Si bien calcular el presupuesto de un enlace a mano es sencillo, existen algunas herramientas que ayudan a la automatización del proceso.

Además de calcular la pérdida en el espacio libre, esas herramientas también van a tomar en cuenta otros factores relevantes (tales como absorción de los árboles, efectos del terreno, clima, y además estiman la pérdida en el trayecto en áreas urbanas). En esta sección, vamos a discutir dos herramientas gratuitas que son útiles para planificar enlaces inalámbricos: Green Bay Professional Packet Radio la de utilidades interactivas en línea de diseño de redes, y Radio Mobile.

CGIs para diseño interactivo

El grupo Profesional de Radio de Paquetes de Bahía Verde (GBPRR, *por su sigla en inglés*) ha generado una variedad de herramientas de planificación de enlaces que se encuentran gratuitas en línea. Las mismas se encuentran disponibles en <http://www.qsl.net/n9zia/wireless/page09.html>. Como están disponibles en línea, trabajan con cualquier dispositivo que tenga un navegador web y acceso a Internet.

Veremos la primera herramienta, **Wireless Network Link Analysis (Análisis de Enlaces de Redes Inalámbricas)**, en detalle. La encontrará en línea en <http://my.athenet.net/~multiplex/cgi-bin/wireless.main.cgi>

Para comenzar ingrese el canal que va a ser usado por el enlace. El mismo puede ser especificado en MHz o GHz. Si no conoce la frecuencia, consulte la tabla en el Apéndice B. Tenga en cuenta que la tabla lista la frecuencia central del canal, mientras que la herramienta le solicita la frecuencia de transmisión más alta. De todos modos la diferencia es mínima, por lo que puede utilizar la frecuencia central. Para encontrar la frecuencia más alta de transmisión para un canal agregue 11MHz a la frecuencia central.

Luego ingrese los detalles del lado transmisor del enlace, incluyendo el tipo de línea de transmisión, la ganancia de la antena y otros detalles. Intente completar la mayor cantidad de datos que sepa o que pueda estimar. También puede ingresar la altura de la antena y la elevación para ese lugar. Estos datos van a ser usados para calcular el ángulo de inclinación de la antena. Para calcular el despeje de la zona de Fresnel, va a necesitar el Calculador de la Zona de Fresnel de GBPRR.

La siguiente sección es muy similar, pero incluye información acerca del otro extremo del enlace. Ingrese todos los datos disponibles en los campos apropiados.

Finalmente, la última sección describe el clima, el terreno, y la distancia del enlace. Ingrese todos los datos que conozca o que pueda estimar. La distancia del enlace la puede calcular el programa si usted especifica la latitud y la longitud de ambos lugares. Haga clic en el botón de aceptar para obtener un reporte detallado del enlace propuesto. Éste incluye todos los datos ingresados, así como las pérdidas en el trayecto proyectadas, tasas de error y tiempo que el enlace funcionará satisfactoriamente. Esos números son completamente teóricos, pero le darán una idea general de la viabilidad de enlace. Ajustando los valores de la planilla, puede jugar a “¿y qué pasa sí...?” para ver cómo cambiando los parámetros se afecta la conexión.

Además de la herramienta básica de análisis de enlaces, GBPRR provee una “edición súper” que produce un reporte en formato PDF, así como otras herramientas muy útiles (incluyendo el Calculador de la Zona de Fresnel, Calculador de Distancia y de Rumbo, y Calculador de Conversión de Decibelios, por nombrar algunos). También se provee el código fuente para la mayoría de las herramientas.

Radio Mobile

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

Radio Mobile usa el **modelo digital de elevación del terreno** para el cálculo de la cobertura, indica la intensidad de la señal recibida en varios puntos a lo largo del trayecto. Construye automáticamente un perfil entre dos puntos en el mapa digital mostrando el área de cobertura y la primera zona de Fresnel. Durante la simulación chequea la línea visual y calcula la Pérdida en el trayecto, incluyendo pérdidas debido a los obstáculos. Es posible crear redes de diferentes topologías, incluyendo *master/slave* (maestro/esclavo), punto a punto y punto a multipunto.

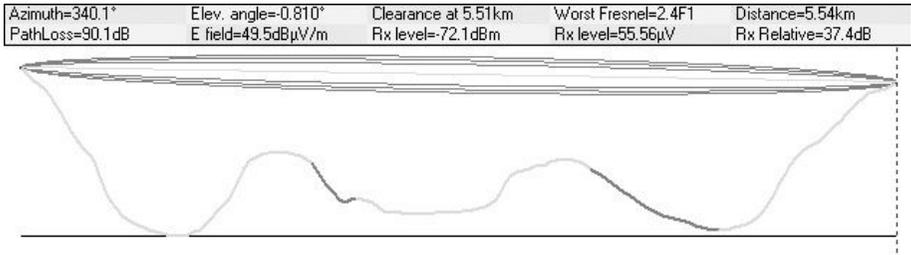


Figura 3.9: Viabilidad del enlace, incluye la zona de Fresnel y estimación de la línea visual, utilizando Radio Mobile

El software calcula el área de cobertura desde la estación de base en un sistema punto a multipunto. Trabaja para sistemas que tienen frecuencias desde 20 kHz a 200 GHz. Los **Mapas de elevación digital (DEM por su sigla en inglés)** están disponibles gratuitamente desde variadas fuentes y para la mayor parte del mundo. Los DEMs no muestran las líneas costeras u otras fronteras identificables, pero pueden ser combinados fácilmente con otro tipo de datos (como fotos aéreas o cartas topográficas) en varias capas para obtener una representación más útil y rápidamente reconocible. Incluso usted puede digitalizar sus propios mapas y combinarlos con DEMs. Los mapas de elevación digitales pueden combinarse con mapas escaneados, fotos satelitales y servicios de mapas de Internet (tales como Mapquest) para producir predicciones de cobertura precisas.

Radio Mobile puede ser descargado en:
<http://www.cplus.org/rmw/download.html>

La página principal de Radio Mobile, con ejemplos y tutoriales está disponible en: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

Radio Mobile bajo Linux

Radio Mobile también funciona utilizando Wine bajo Linux Ubuntu. Si bien las aplicaciones funcionan, algunas etiquetas de los botones pueden quedar mal ubicadas en el marco del botón, lo que puede dificultar su lectura.

Para utilizar Radio Mobile con Linux debemos tener el siguiente entorno:

- IBM Thinkpad x31
- Ubuntu Breezy (v5.10), <http://www.ubuntu.com/>
- Wine versión 20050725, desde el repositorio de Ubuntu Universe

Para instalar Radio Mobile en Windows encontrará instrucciones detalladas en <http://www.cplus.org/rmw/download.html>. Debe seguir todos los pasos excepto el paso 1 (ya que es difícil extraer un DLL desde el archivo

VBRUN60SP6.EXE bajo Linux). Va a tener que copiar el archivo MSVBVM60.DLL desde una computadora con Windows que ya tenga instalado Visual Basic 6 run-time, o buscar en Google el archivo MSVBVM60.DLL y descargarlo.

Continúe con el paso 2 desde la URL anterior, asegúrese de descomprimir los archivos descargados en el mismo directorio dentro del cual ha colocado los archivos DLL. No debe preocuparse por los pasos que siguen al 4; esos son pasos extra, necesarios sólo para los usuarios de Windows.

Finalmente puede iniciar Wine desde una terminal con el comando:

```
# wine RMWDLX.exe
```

En este punto debe ver Radio Mobile corriendo en su sesión XWindows.

Evitando el ruido

Las bandas libres de licenciamiento ISM y U-NII representan una porción muy pequeña del espectro electromagnético conocido. Debido a que esta región puede ser utilizada sin pagar costos de licenciamiento, muchos dispositivos comerciales la utilizan para un amplio rango de aplicaciones. Teléfonos inalámbricos, transmisores de video analógicos, *Bluetooth*, monitores de bebés, e incluso los hornos de microondas compiten con las redes de datos inalámbricas por el uso de la muy limitada banda de 2,4GHz. Esas señales, así como otras redes inalámbricas locales, pueden causar problemas significativos para los enlaces inalámbricos de largo alcance. Para reducir la recepción de señales no deseadas le describimos algunos pasos que puede utilizar.

- **Incremente la ganancia de la antena en ambos extremos del enlace punto a punto.** Las antenas no sólo agregan ganancia a un enlace, sino que el aumento de la directividad tiende a rechazar el ruido proveniente de los alrededores del enlace. Dos platos de alta ganancia que están enfocados uno al otro, rechazarán el ruido desde direcciones que están fuera del trayecto del enlace. Si utilizamos antenas omnidireccionales recibiremos ruido de todas las direcciones.
- **No utilice un amplificador.** Como veremos en el capítulo cuatro, los amplificadores pueden hacer que los problemas de interferencia empeoren con la amplificación indiscriminada de todas las señales recibidas. Al mismo tiempo, causan problemas de interferencia para los otros usuarios de la banda que se encuentren cerca.
- **Utilice antenas sectoriales en lugar de omnidireccionales.** Haciendo uso de varias antenas sectoriales puede reducir el ruido global recibido en un punto de distribución. Si organiza los canales utilizados en cada antena

sectorial, también puede incrementar el ancho de banda disponible para sus clientes.

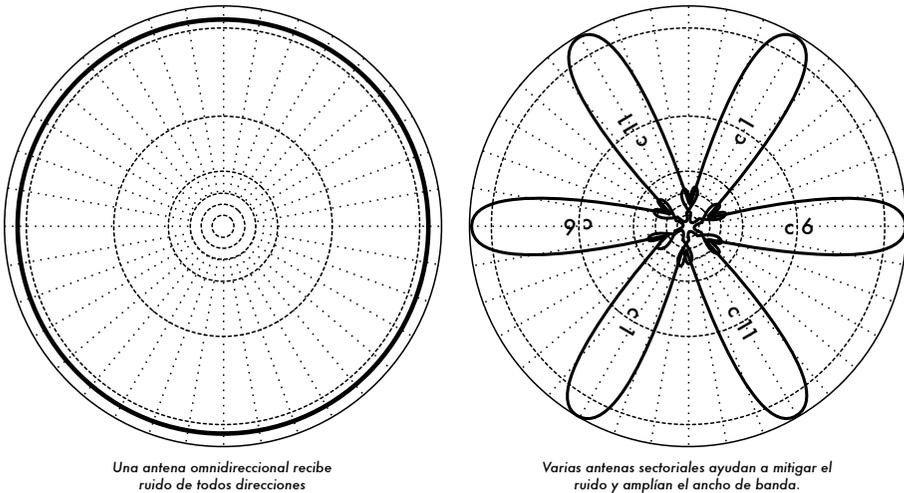


Figura 3.10: Una sola antena omnidireccional vs. múltiples antenas sectoriales.

- **Utilice el mejor canal disponible.** Recuerde que los canales 802.11b/g tienen un ancho de 22MHz, pero están separados sólo por 5MHz. Realice una prospección del sitio (como se detalla en el capítulo ocho), y seleccione el canal que esté tan lejos como sea posible de las fuentes de interferencia existentes. Tenga en cuenta que el paisaje inalámbrico puede cambiar en cualquier momento ya que la gente puede agregar nuevos dispositivos (teléfonos inalámbricos, otras redes, etc.). Si de pronto su enlace tiene problemas para enviar paquetes, es posible que deba realizar otra prospección y tomar un canal diferente.
- **Utilice pequeños saltos y repetidores, en lugar de una única tirada a larga distancia. Mantenga sus enlaces punto a punto lo más corto posible.** Si bien es posible crear un enlace de 12km que cruce por el medio de una ciudad, es muy probable que tenga todo tipo de problemas de interferencia. Si puede quebrar ese enlace en dos o tres saltos más cortos, el enlace va a ser más estable. Obviamente, esto es imposible en enlaces rurales a larga distancia, donde se carece de las estructuras de montaje y de energía en los puntos intermedios, pero en estos casos los problemas de ruido son improbables.
- **Si es posible, utilice las bandas 5,8GHz, 900MHz, u otra banda sin licenciamiento.** Si bien esta es una solución a corto plazo, actualmente la mayor parte del equipamiento instalado utiliza 2,4GHz. Utilizar 802.11a, o un dispositivo de convertidor de 2,4GHz a 5,8GHz le va a permitir eludir esta congestión. Si usted puede encontrarlo, existe equipamiento 802.11 viejo que usa el espectro sin licenciamiento a 900MHz (desafortunadamente con un muy baja velocidad). Otras tecnologías tales como Ronja

(<http://ronja.twibright.com/>) usan tecnología óptica para enlaces a corta distancia libres de ruido.

- **Si todo esto falla, utilice un espectro con licenciamiento.** Hay lugares donde todo el espectro sin licenciamiento está siendo utilizado. En esos casos, puede tener sentido gastar el dinero adicional para tener un equipamiento propio que utilice una banda menos congestionada. Para enlaces punto a punto a larga distancia que requieren de muy alto rendimiento y máximo tiempo de disponibilidad, esta es, ciertamente, una opción. Por supuesto esto implica un precio mucho mayor comparado con el equipamiento sin licenciamiento.

Para identificar las fuentes del ruido, necesita herramientas que le muestren qué está sucediendo en el aire a 2,4GHz. Vamos a ver algunos ejemplos de estas herramientas en el capítulo seis.

Repetidores

El componente más crítico para construir un enlace de red a larga distancia es la existencia de *línea visual* (a menudo abreviada como **LOS por su sigla en inglés**). Los sistemas de microondas terrestres simplemente no pueden tolerar colinas altas, árboles, u otros obstáculos en el camino de un enlace a larga distancia. Es necesario que se tenga una idea del relieve de la tierra entre dos puntos antes de poder determinar si un enlace es posible.

Pero aún si hay una montaña entre dos puntos, debemos tener presente que los obstáculos pueden ser transformados en activos. Las montañas pueden bloquear la señal, pero suponiendo que se pueda proveer energía, también pueden actuar como muy buenos **repetidores**.

Los repetidores son nodos que están configurados para transmitir el tráfico que no es destinado al nodo. En una red mallada, cada nodo es un repetidor. En una red de infraestructura tradicional, los nodos deben ser configurados específicamente para poder pasar el tráfico a otros nodos.

Un repetidor puede usar uno o más dispositivos inalámbricos. Cuando utiliza un sólo radio (denominado **repetidor de una mano**), la eficiencia global es ligeramente menor que la mitad del ancho de banda disponible, puesto que el radio puede enviar o recibir datos, pero no simultáneamente. Esos dispositivos son baratos, simples y tienen bajos requerimientos de potencia. Un repetidor con dos (o más) tarjetas de radio puede operar todos los radios a toda capacidad, siempre que los mismos estén configurados para usar canales que no se superpongan. Por supuesto, los repetidores también pueden proveer una conexión Ethernet para conectividad local.

Los repetidores pueden ser adquiridos como un juego completo, o fácilmente ensamblados conectando dos o más nodos inalámbricos con un cable de Ethernet. Cuando planea usar un repetidor construido con tecnología 802.11, tenga en cuenta que cada nodo debe ser configurado en el modo maestro, administrado o *ad hoc* que le corresponda. Generalmente, ambos radios en el repetidor están configurados en el modo maestro para permitir que los múltiples clientes puedan conectarse a cualquier lado del repetidor. Pero dependiendo de su diseño de red, uno o más dispositivos van a necesitar utilizar el modo *ad hoc* o el modo cliente. En general, los repetidores son utilizados para evitar obstáculos en el camino de un enlace a larga distancia. Los mismos pueden ser edificios en el camino, pero esos edificios contienen gente. A menudo podemos hacer acuerdos con los dueños de los edificios para proveerles de ancho de banda a cambio de utilizar la azotea y la electricidad. Si el dueño del edificio no está interesado, podemos intentar persuadir a los inquilinos de los pisos más altos para instalar equipamiento en una ventana.

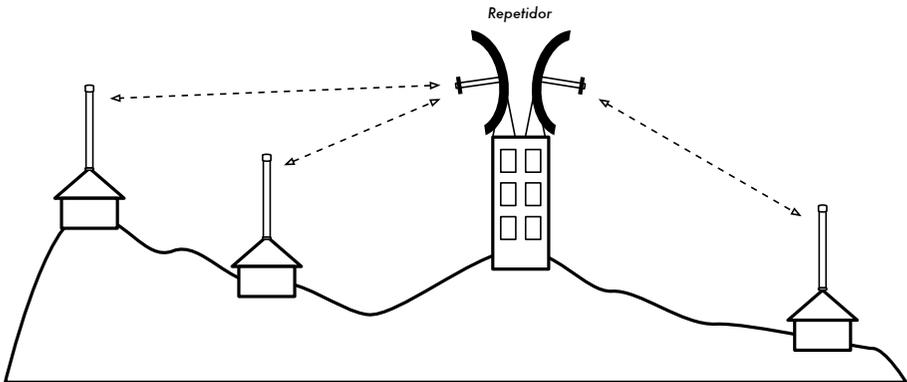


Figura 3.11: El repetidor reenvía los paquetes por el aire entre los nodos que no tienen una línea visual directa.

Si usted no puede pasar sobre, o a través de un obstáculo, a menudo lo puede rodear. En lugar de usar un enlace directo, intente hacer un salto múltiple para eludir el obstáculo.

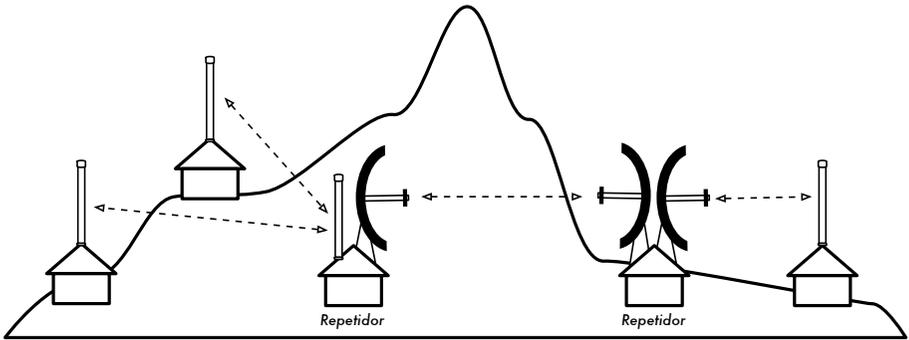


Figura 3.12: No había energía disponible en lo alto de la colina, pero fue circunvalada con el uso de múltiples repetidores ubicados alrededor de la base.

Finalmente, usted podría necesitar ir hacia atrás para poder avanzar. Si tenemos un lugar alto en una dirección diferente, y ese lugar puede ver más allá del obstáculo, se puede hacer un enlace estable a través de una ruta indirecta.

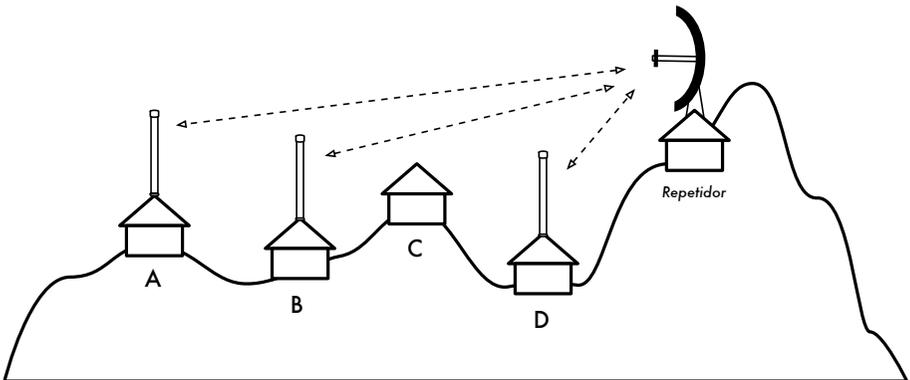


Figura 3.13: El lugar D no puede ver al lugar A o el B, porque el lugar C está en el camino y no está interesado en tener un nodo. Al instalar un repetidor en un lugar alto los nodos A, B, y D se pueden comunicar. El tráfico desde el nodo D en realidad viaja más lejos que el del resto de la red antes de que el repetidor reenvíe esos datos.

Los repetidores en la red me recuerdan el principio de “los seis grados de separación”. Esta idea dice que no importa a quién está buscando, sólo necesita contactar cinco intermediarios antes de encontrar a la persona. Los repetidores pueden “ver” una gran cantidad de intermediarios, y si su nodo está dentro del rango podrá comunicarse con cualquier nodo que el repetidor pueda alcanzar.

Optimización del Tráfico

El ancho de banda se mide como un cociente de número de bits transmitidos en un segundo. Esto significa que dado suficiente tiempo, la cantidad de información transmisible en cualquier enlace se acerca al infinito. Desafortunadamente, para un período de tiempo finito, el ancho de banda provisto por una conexión de red cualquiera no es infinito. Siempre puede descargar (o cargar) tanto tráfico como quiera; sólo que debe esperar todo lo que sea necesario. Por supuesto que los usuarios humanos no son tan pacientes como las computadoras, y no están dispuestos a esperar una infinita cantidad de tiempo para que su información atraviese la red. Por esta razón, el ancho de banda debe ser gestionado y priorizado como cualquier otro recurso limitado.

Se puede mejorar significativamente el tiempo de respuesta y maximizar el rendimiento disponible mediante la eliminación del tráfico indeseado y redundante de nuestra red. Esta sección describe varias técnicas comunes para asegurarse de que nuestra red solamente está transportando el tráfico que debe y no otro.

Almacenamiento Web temporal

Un servidor web *proxy* es un servidor en la red local que mantiene copias de lo que se ha leído recientemente, páginas web que son utilizadas a menudo, o partes de esas páginas. Cuando la siguiente persona busque esas páginas, las mismas se recuperan desde el servidor *proxy* local sin ir hasta Internet. Esto resulta, en la mayoría de los casos en un acceso al web más rápido, al mismo tiempo que se reduce significativamente la utilización del ancho de banda con Internet. Cuando se implementa un servidor *proxy*, el administrador debe saber que existen algunas páginas que no son almacenables, por ejemplo, páginas que son el resultado de programas del lado del servidor, u otros contenidos generados dinámicamente.

Otra cosa que también se ve afectada es la manera como se descargan las páginas web. Con un enlace a Internet lento, una página normal comienza a cargarse lentamente, primero mostrando algo de texto y luego desplegando los gráficos uno por uno. En una red con un servidor *proxy*, puede haber un retraso durante el cual parece que nada sucede, y luego la página se carga por completo rápidamente. Esto sucede porque la información es enviada a la computadora tan rápido que para el rearmado de la página se toma una cantidad de tiempo perceptible. El tiempo global que toma este procedimiento puede ser sólo de diez segundos (mientras que sin un servidor *proxy*, puede tomar 30 segundos cargar la página gradualmente). Pero a menos que esto se explique a algunos usuarios impacientes, estos pueden decir que el servidor *proxy* está haciendo las cosas más lentamente. General-

mente es tarea del administrador lidiar con la percepción de los usuarios acerca de temas como éste.

Servidores proxy

Existen varios servidores proxy disponibles. Los que siguen son los paquetes de software utilizados más comúnmente:

- **Squid.** El software libre Squid es el estándar de facto en las universidades. Es gratuito, confiable, sencillo de utilizar y puede ser mejorado (por ejemplo, añadiendo filtros de contenido y bloqueos de publicidad). Squid produce bitácoras (*logs*) que pueden ser analizadas utilizando software como Awstats, o Webalizer, los cuales son de fuente libre y producen buenos reportes gráficos. En la mayoría de los casos, es más fácil instalarlo como parte de la distribución en lugar de descargarlo desde <http://www.squid-cache.org/> (la mayoría de las distribuciones Linux como Debian, así como otras versiones de Unix como NetBSD y FreeBSD vienen con Squid). Una buena guía de configuración de Squid se puede encontrar en: <http://squid-docs.sourceforge.net/latest/book-full.html>.
- **Servidor Proxy Microsoft 2.0.** No está disponible para instalaciones nuevas porque ha sido reemplazado por el servidor Microsoft ISA y ha dejado de tener soporte. Si bien es utilizado por algunas instituciones es mejor no considerarlo para instalaciones nuevas.
- **Servidor Microsoft ISA.** ISA es un muy buen programa de servidor proxy, pero demasiado caro para lo que hace. Sin embargo, con descuentos académicos puede ser accesible para algunas instituciones. Produce sus propios reportes gráficos, pero sus archivos de bitácora (log) también pueden ser analizados con el popular software Sawmill (<http://www.sawmill.net/>). Los administradores de un sitio con un Servidor MS ISA deben dedicar tiempo suficiente para obtener la configuración adecuada; por otra parte, el Servidor MS ISA Server puede utilizar gran cantidad de ancho de banda. Por ejemplo, una instalación por omisión puede consumir fácilmente más ancho de banda que lo que el sitio ha utilizado anteriormente, porque las páginas comunes con fechas de expiración cortas (tales como los sitios de noticias) se actualizan continuamente. Por lo tanto, es importante que la captura preliminar (prefetching) se configure correctamente, para que sea realizada durante la noche. El servidor ISA también puede ser asociado a productos de filtrado de contenidos tales como WebSense. Para más información vea el sitio: <http://www.microsoft.com/isaserver/> y <http://www.isaserver.org/>.

Evitando que los usuarios evadan el servidor proxy

Si bien eludir la censura de Internet y las políticas de acceso restrictivo a la información son un laudable esfuerzo político, los servidores proxy y los

firewalls son herramientas necesarias en áreas con anchos de banda extremadamente limitados. Sin ellos la estabilidad y la usabilidad de la red se ven amenazadas por los propios usuarios legítimos de la red. Las técnicas para eludir un servidor *proxy* pueden ser encontradas en: <http://www.antiproxy.com/>. Este sitio es útil para que los administradores vean cómo sus redes pueden enfrentarse a estas técnicas.

Para reforzar el uso del almacenamiento **temporal proxy** (*cached proxy*), puede simplemente considerarse instaurar una política de acceso a la red y confiar en sus usuarios. En el diseño que sigue, el administrador debe confiar en que los usuarios no van a eludir el servidor *proxy*.

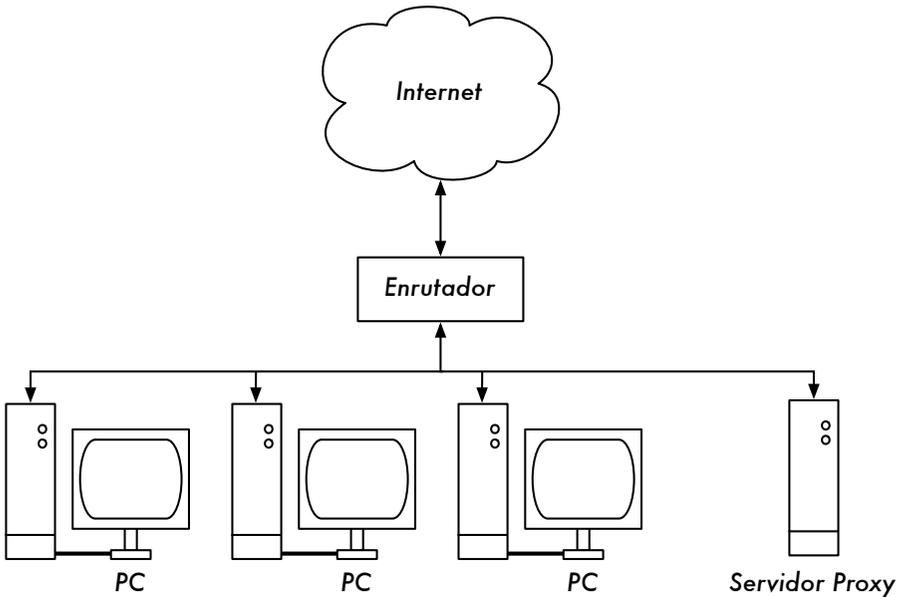


Figura 3.14: Esta red se basa en la confianza en que los usuarios van a configurar apropiadamente sus PCs para utilizar el servidor proxy.

En este caso el administrador generalmente utiliza una de las siguientes técnicas:

- **No divulgar la dirección de la pasarela por omisión (default gateway) a través de DHCP.** Esto puede funcionar por un tiempo, pero algunos usuarios que quieren eludir el proxy pueden encontrar o buscar la dirección de la **pasarela por omisión**. Una vez que esto pasa, se tiende a difundir cómo se elude el proxy.
- **Utilizar políticas de grupo o de dominio.** Esto es muy útil para configurar el servidor *proxy* adecuado para Internet Explorer en todas las computadoras del dominio, pero no es muy útil para evitar que el *proxy* sea eludido, porque se basa en el registro de un usuario en el dominio NT. Un

usuario con una computadora con Windows 95/98/ME puede cancelar su registro y luego eludir el *proxy*, y alguien que conoce la contraseña de un usuario local en su computadora con Windows NT/2000/XP puede registrarse localmente y hacer lo mismo.

- **Rogar y luchar con los usuarios.** Ésta nunca es una situación óptima para un administrador de red. La única forma de asegurarse que los *proxy* no van a ser eludidos es mediante la utilización del diseño de red adecuado, por medio de una de las tres técnicas descritas a continuación.

Cortafuego (Firewall)

Una de las maneras más confiable para asegurarse que las PC no van a eludir el *proxy* puede ser implementada utilizando un cortafuego.

El cortafuego puede configurarse para que solamente pueda pasar el servidor proxy, por ejemplo, para hacer solicitudes de HTTP a Internet. Todas las demás PC están bloqueadas, como se muestra en el siguiente diagrama.

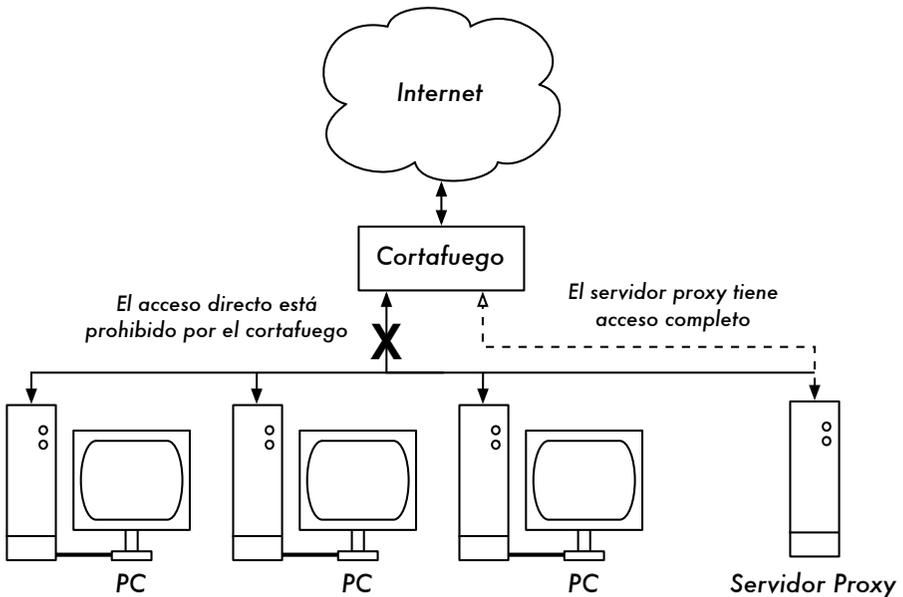


Figura 3.15: El cortafuego les impide a las PC acceder a Internet directamente, pero les permite el acceso a través del servidor proxy.

Confiar en un cortafuego, como en el diagrama anterior, puede o no ser suficiente, dependiendo de cómo esté configurado. Si sólo bloquea el acceso desde la LAN del campus al puerto 80 en los servidores web, va a haber formas, para los usuarios inteligentes, de encontrar caminos que lo rodeen.

Aún más, van a ser capaces de utilizar protocolos sedientos de ancho de banda como Kazaa.

Dos tarjetas de red

Posiblemente, el método más confiable es el de instalar dos tarjetas de red en el servidor *proxy* y conectar la red del campus a Internet como se muestra en la siguiente figura. De esta forma, el diseño de red hace físicamente imposible alcanzar la Internet sin pasar a través del servidor *proxy*.

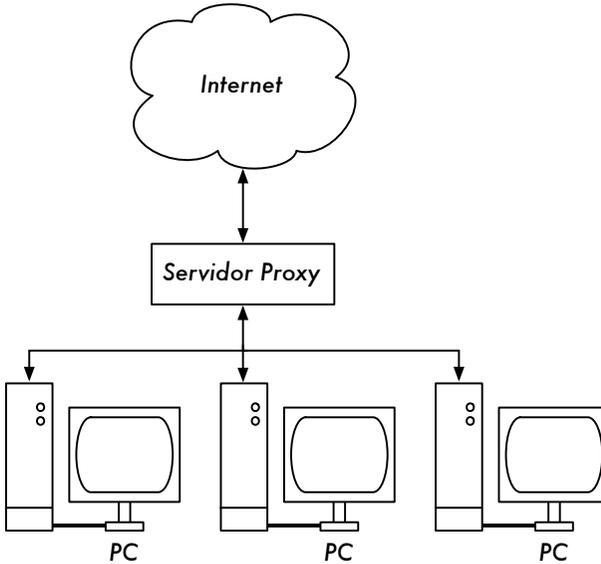


Figura 3.16: La única ruta hacia Internet es a través del proxy.

El servidor *proxy* en este diagrama no debe tener habilitado *IP forwarding*, a menos que los administradores conozcan exactamente qué es lo que quieren dejar pasar.

Una gran ventaja de este diseño es que puede utilizarse una técnica conocida como **transparent proxying**. Utilizar *proxy* transparente significa que las solicitudes web de los usuarios son reenviadas automáticamente al servidor *proxy*, sin ninguna necesidad de configurar manualmente los navegadores web para que lo utilicen. Esto fuerza efectivamente a que todo el tráfico web sea almacenado localmente, lo que elimina muchas posibilidades de error de los usuarios, y va a trabajar incluso con dispositivos que no soportan el uso de un *proxy* manual. Para más detalles sobre cómo configurar un *proxy* transparente con Squid, diríjase a:

- <http://www.squid-cache.org/Doc/FAQ/FAQ-17.html>

- <http://en.tldp.org/HOWTO/mini/TransparentProxy-2.html>

Enrutamiento basado en políticas

Una forma de prevenir la circunvalación del *proxy* utilizando equipamiento Cisco es con una política de enrutamiento. El enrutador Cisco dirige transparentemente las solicitudes web al servidor *proxy*. Esta técnica es utilizada en la Universidad Makerere. La ventaja de este método es que, si el servidor *proxy* está caído, las políticas de enrutamiento pueden ser removidas temporalmente permitiéndoles a los clientes conectarse directamente a Internet.

Sitio web espejo (*mirror*)

Con el permiso del dueño o del administrador del sitio web, el sitio completo puede ser copiado durante la noche al servidor local, siempre que el mismo no sea demasiado grande. Esto es algo que se debe tener en cuenta para sitios web importantes, que son de interés particular para la organización, o que son muy populares entre los usuarios de la web. Si bien esto puede ser útil, tiene algunas fallas potenciales. Por ejemplo, si el sitio que es duplicado contiene programas CGI u otros contenidos dinámicos que requieren de interacción con el usuario, va a haber problemas. Un ejemplo es el sitio web que requiere que la gente se registre en línea para una conferencia. Si alguien se registra en línea en un servidor duplicado (y el programa de duplicado funciona bien), los organizadores del sitio no van a tener la información de que la persona se registró.

Debido a que un sitio duplicado puede infringir los derechos de copyright, esta técnica debe ser utilizada solamente con el permiso del sitio en cuestión. Si el sitio corre *rsync*, puede ser duplicado utilizando *rsync*. Ésta es la forma más rápida y eficiente de mantener los contenidos del sitio sincronizados. Si el servidor web remoto no está corriendo *rsync*, se recomienda utilizar el software llamado **wget**. Éste es parte de la mayoría de las versiones de Unix/Linux. Una versión de Windows puede encontrarse en <http://xoomer.virgilio.it/hherold/>, o en el paquete de herramientas gratuito de Cygwin Unix (<http://www.cygwin.com/>).

Se puede utilizar un *script* que corra cada noche en un servidor web local y haga lo siguiente:

- Cambiar el directorio raíz del servidor web: por ejemplo, `/var/www/` en Unix, o `C:\Inetpub\wwwroot` en Windows.
- Duplicar el sitio web utilizando el siguiente comando:

```
wget --cache=off -m http://www.python.org
```

El sitio duplicado va a estar en el directorio `www.python.org`. El servidor web debe ser configurado para servir los contenidos de ese directorio como un host virtual basado en nombre. Ponga en marcha el servidor local DNS para falsificar una entrada para este sitio. Para que esto funcione, las PC clientes deben ser configuradas para usar el/los servidor(es) DNS local(es) como el DNS primario. (Esto es siempre aconsejable, porque el almacenamiento intermedio (*caching*) del servidor DNS acelera los tiempos de respuesta web).

Pre-poblar la memoria intermedia (*cache*) utilizando `wget`

En lugar de instalar un sitio web duplicado como se describió en la sección anterior, un mejor enfoque es el de poblar el *proxy* cache utilizando un proceso automatizado. Este método ha sido descrito por J. J. Eksteen y J. P. L. Cloete del CSIR en Pretoria, Sud África, en un artículo titulado **Mejorar el Acceso a la Red de Redes en Mozambique a Través del Uso de Servidores Proxy Reflejados y Almacenados (Enhancing International World Wide Web Access in Mozambique Through the Use of Mirroring and Caching Proxies)**. En este artículo (disponible en línea en <http://www.isoc.org/inet97/ans97/cloet.htm>) los autores describen cómo trabaja el proceso:

"Un proceso automatizado recupera la página inicial del sitio y especifica el número de páginas extra (siguiendo recursivamente los enlaces HTML en las páginas recuperadas) a través del uso de un proxy. En lugar de copiar las páginas recuperadas en el disco local, el proceso de duplicación descarta las páginas recuperadas. Esto se hace para conservar los recursos del sistema así como para evitar posibles problemas de copyright. Mediante el uso del proxy como intermediario, se garantiza que las páginas recuperadas están en el cache del proxy como si un cliente hubiera accedido a esa página. Cuando un cliente accede a la página recuperada, le es brindada desde el cache y no desde el enlace internacional congestionado. Este proceso puede ser corrido en momentos de poco uso de la red, para maximizar la utilización del ancho de banda y no competir con otras actividades de acceso."

El siguiente comando (programado para correr en la noche, o una vez al día o a la semana) es todo lo que se necesita (debe repetirse para cada sitio que necesita ser pre-poblado).

```
wget --proxy-on --cache=off --delete after -m http://www.python.org
```

Explicación:

- **-m**: Duplica el sitio completo. `wget` comienza en `www.python.org` y sigue todos los hiperenlaces, es decir que descarga todas las subpáginas.

- **--proxy-on:** Se asegura que wget haga uso del servidor *proxy*. Esto puede no necesitarse en aplicaciones donde se utiliza un servidor *proxy* transparente.
- **--cache=off:** Se asegura de que el contenido fresco es recuperado desde Internet, y no desde el servidor *proxy* local.
- **--delete after:** Borra la copia duplicada. El contenido duplicado permanece en el *cache* del *proxy* si hay suficiente espacio en el disco, y los parámetros del servidor *proxy* son aplicados correctamente.

Además, wget tiene muchas otras opciones; por ejemplo, proveer contraseñas para los sitios web que las requieren. Cuando utilizamos esta herramienta, Squid debe ser configurado con suficiente espacio en el disco para que contenga todos los sitios pre-poblados y más (para un uso normal de Squid que involucre otras páginas además de las pre-pobladas). Afortunadamente, el espacio de disco es cada vez más barato y su tamaño mucho más grande que nunca. Sin embargo, esta técnica puede ser utilizada solo con unos pocos sitios seleccionados. Estos sitios no deben ser muy grandes para que los procesos terminen antes de que las horas del día de trabajo comiencen, y se debe estar vigilando el espacio de disco disponible.

Jerarquías de memoria temporal (*cache*)

Cuando una organización tiene más de un servidor *proxy*, los mismos pueden compartir información *cache* entre ellos. Por ejemplo, si una página web está en el *cache* del servidor A, pero no en el *cache* del servidor B, un usuario conectado a través del servidor B puede acceder a la página web en el servidor A a través del servidor B. El **Protocolo de Inter-Cache** (Inter-Cache Protocol (**ICP**)) y el (Cache Array Routing Protocol (**CARP**)) pueden compartir información del *cache*. De éstos, el protocolo CARP es considerado el mejor. Squid soporta ambos protocolos, y el Servidor MS ISA soporta CARP. Para más información diríjase a: <http://squid-docs.sourceforge.net/latest/html/c2075.html>. El compartir información *cache* reduce el uso de ancho de banda en organizaciones donde se utiliza más de un *proxy*.

Especificaciones Proxy

En la red de un campus universitario, debería haber más de un servidor *proxy*, por razones de prestaciones y de redundancia. Con los discos actuales más baratos y más grandes, se pueden construir servidores *proxy* más poderosos, con 50 GB o más de espacio de disco asignado al *cache*. Las prestaciones del disco son importantes, por lo que los discos SCSI más rápidos se van a desempeñar mejor (aunque un *cache* basado en un IDE es mejor que nada). RAID (Redundant Array of Independent Disks) o el uso de espejos (mirror) no son recomendados.

Se aconseja dedicar un disco exclusivamente para el cache. Por ejemplo, un disco puede ser para el *cache*, y el segundo para el sistema operativo y la bitácora del *cache*. Squid está diseñado para utilizar toda la memoria RAM que puede conseguir porque es mucho más rápido cuando los datos son recuperados desde la memoria RAM que cuando vienen desde el disco duro. Para una red en un campus, la memoria RAM debe ser de 1GB o más: Además de la memoria requerida para el sistema operativo y otras aplicaciones, Squid requiere 10 MB de RAM por cada 1 GB de disco *cache*. Por lo tanto, si tenemos un espacio de disco de 50 GB asignados al *cache*, Squid va a requerir 500 MB de memoria extra.

La máquina también va a requerir 128 MB para Linux y 128 MB para X-windows. Otros 256 MB deben agregarse para otras aplicaciones, y para que todo pueda funcionar fácilmente. Nada mejora más el rendimiento de una computadora como la instalación de una gran cantidad de memoria, porque esto reduce la necesidad de utilizar el disco duro. La memoria es miles de veces más rápida que el disco duro. Los sistemas operativos modernos frecuentemente mantienen los datos accedidos en la memoria siempre que haya suficiente RAM disponible. Pero utilizan el archivo de la página del disco duro como un área de memoria extra cuando no tienen suficiente memoria RAM.

Almacenamiento intermedio (*cache*) y optimización de DNS

Los servidores DNS con sólo la función de *cache* no son autoridades de ningún dominio, solo almacenan los resultados de solicitudes pedidas por los clientes, tal como un servidor *proxy* que almacena páginas web populares por cierto tiempo. Las direcciones DNS son almacenadas hasta que su **tiempo de vida** (*TTL por su sigla en inglés*) expira. Esto va a reducir la cantidad de tráfico DNS en su conexión a Internet, porque el *cache* DNS puede ser capaz de satisfacer muchas de las preguntas localmente. Por supuesto que las computadoras de los clientes deben ser configuradas para utilizar el nombre del servidor solo de *cache* como su servidor DNS. Cuando todos los clientes utilicen ese servidor DNS como su servidor principal, se poblará rápidamente el *cache* de direcciones IP a nombres, por lo tanto los nombres solicitados previamente pueden ser resueltos rápidamente. Los servidores DNS que son autoridades para un dominio también actúan como cache de la conversión nombres-direcciones de hosts de ese dominio.

Bind (named)

Bind es el programa estándar de facto utilizado para servicios de nombre en Internet. Cuando Bind está instalado y corriendo, va a actuar como un servidor cache (no se necesita más configuración). Bind puede ser instalado

desde un paquete como el Debian o un RPM. Instalarlo desde un paquete en general es el mejor método. En Debian, escriba

```
apt-get install bind9
```

Además de implementar *cache*, Bind también puede alojar zonas de autoridad, actuar como esclavo de zonas de autoridad, implementar *split horizon* (horizonte dividido), y todo lo demás que es posible con DNS.

dnsmasq

Un servidor DNS de cache alternativo es **dnsmasq**. Está disponible para BSD y la mayoría de las distribuciones Linux, o desde <http://freshmeat.net/projects/dnsmasq/>. La gran ventaja de dnsmasq es la flexibilidad: actúa como un proxy DNS de *cache* y como una fuente autorizada para hosts y dominios, sin una configuración complicada de archivos de zona. Se pueden hacer actualizaciones a la zona de datos sin ni siquiera reiniciar el servicio. También actúa como servidor DHCP, e integra el servicio DNS con el de DHCP. Es liviano, estable y extremadamente flexible. Bind es, prácticamente, la mejor elección para redes muy grandes (mayores que un par de cientos de nodos), pero la simplicidad y flexibilidad de dnsmasq lo hacen atractivo para redes pequeñas y medianas.

Windows NT

Para instalar el servicio DNS en Windows NT4: seleccione Panel de Control → Red → Servicios → Agregar → Servidor DNS Microsoft. Inserte el CD de Windows NT4 CD cuando se le indique. Cómo configurar un servidor solo de memoria intermedia (*cache*) en NT se describe en el artículo Knowledge Base 167234. Una cita del artículo:

"Simplemente instale DNS y haga correr el Sistema Administrador de Nombres de Dominio (Domain Name System Manager). Dé un clic en DNS en el menú, seleccione Nuevo Servidor, y escriba la dirección IP de su computadora donde ha instalado DNS. Usted ahora tiene un servidor DNS solo de cache."

Windows 2000

Para instalar el servicio DNS: Inicio → Configuración → Panel de Control → Agregar o Quitar Programas. En Agregar o Quitar Componentes de Windows, seleccione Componentes → Servicios de Red → Detalles → Sistema de Nombres de Dominios (DNS). Luego inicie el DNS MMC (Inicio → Programas → Herramientas Administrativas → DNS) Desde el menú de Acción seleccione "Conectarse a la Computadora..." En la ventana de Selección de Computadora Destino, habilite "La siguiente computadora:" e ingrese el

nombre del servidor DNS que usted quiere almacenar. Si hay un . [punto] en el administrador DNS (aparece por omisión), significa que el servidor DNS piensa que es el servidor DNS raíz de Internet. Ciertamente no lo es. Para que todo funcione borre el . [punto].

DNS dividido y un servidor duplicado

El objetivo de un DNS dividido (también conocido como **horizonte dividido**) es el de presentar una visión diferente de su dominio para el mundo interno y el externo. Hay más de una forma de dividir DNS; pero por razones de seguridad se recomienda que tenga dos servidores de contenidos DNS separados; el interno y el externo (cada uno con bases de datos diferentes).

Dividir el DNS permite a los clientes de la red del campus resolver las direcciones IP para el dominio del campus a direcciones locales RFC1918, mientras que el resto de Internet resuelve los mismos nombres a direcciones IP diferentes. Esto se logra teniendo dos zonas en dos servidores DNS diferentes para el mismo dominio.

Una de las zonas es utilizada para los clientes internos de la red y la otra para los usuarios en Internet. Por ejemplo, en la red siguiente el usuario dentro del campus de Makerere verá <http://www.makeerere.ac.ug/> resuelto como 172.16.16.21, mientras que un usuario en otro dominio de Internet lo verá resuelto como 195.171.16.13.

El servidor DNS en el campus, como se ve en el diagrama anterior, tiene un archivo de zona para *makeerere.ac.ug* y está configurado como la autoridad para ese dominio. Además, funciona como el servidor DNS cache para el campus de Makerere, y todas las computadoras en el campus están configuradas para utilizarlo como su servidor DNS.

Los registros DNS para el servidor DNS en el campus van a verse así:

```

makeerere.ac.ug
www      CNAME  webserver.makeerere.ac.ug
ftp      CNAME  ftpserver.makeerere.ac.ug
mail     CNAME  exchange.makeerere.ac.ug
mailserver  A      172.16.16.21
webserver  A      172.16.16.21
ftpserver  A      172.16.16.21

```

Pero hay otro servidor DNS en Internet que es en realidad la autoridad para el dominio *makerere.ac.ug*. Los registros DNS para esta zona externa van a verse así:

```
makerere.ac.ug
www      A 195.171.16.13
ftp      A 195.171.16.13
mail     A 16.132.33.21
MX mail.makerere.ac.ug
```

El DNS dividido no depende de la utilización de direcciones RFC 1918. Un ISP africano puede, por ejemplo, alojar sitios web en representación de una universidad pero también puede duplicar esos mismos sitios web en Europa. Siempre que los clientes de ese ISP acceden al sitio web, éste toma la dirección IP del ISP africano, y por lo tanto el tráfico permanece en el mismo país. Cuando visitantes de otros países acceden al sitio web, reciben la dirección IP del sitio web duplicado en el servidor en Europa. De esta forma los visitantes internacionales no congestionan la conexión VSAT del ISP cuando visitan el sitio web de la universidad. Esto se está convirtiendo en una solución atractiva, ya que el alojamiento web cerca del backbone de Internet se está haciendo muy económico.

Optimización del enlace a Internet

Como mencionamos anteriormente, se pueden alcanzar rendimientos superiores a 22Mbps mediante la utilización de equipamiento 802.11g estándar para redes inalámbricas. Este valor de ancho de banda probablemente sea al menos un orden de magnitud mayor que la que le ofrece su enlace a Internet, y es capaz de soportar cómodamente muchos usuarios simultáneos de Internet.

Pero si su conexión principal a Internet es a través de un enlace VSAT, se va a encontrar con algunos problemas de desempeño si utiliza los parámetros por omisión de TCP/IP. Optimizando su enlace VSAT, se pueden mejorar significativamente los tiempos de respuesta cuando se accede a hosts de Internet.

Factores TCP/IP en una conexión por satélite

Un VSAT es concebido a menudo como una tubería de datos ***larga y gruesa***. Este término se refiere a los factores que afectan el desempeño de TCP/IP en cualquier red que tenga un ancho de banda relativamente grande, pero mucha latencia. La mayoría de las conexiones a Internet en África y otras partes del mundo en desarrollo son vía VSAT. Por lo tanto, aún si una universidad tiene su conexión a través de un ISP, esta sección puede ser aplicable si la conexión del ISP es a través de VSAT. La alta latencia en las

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

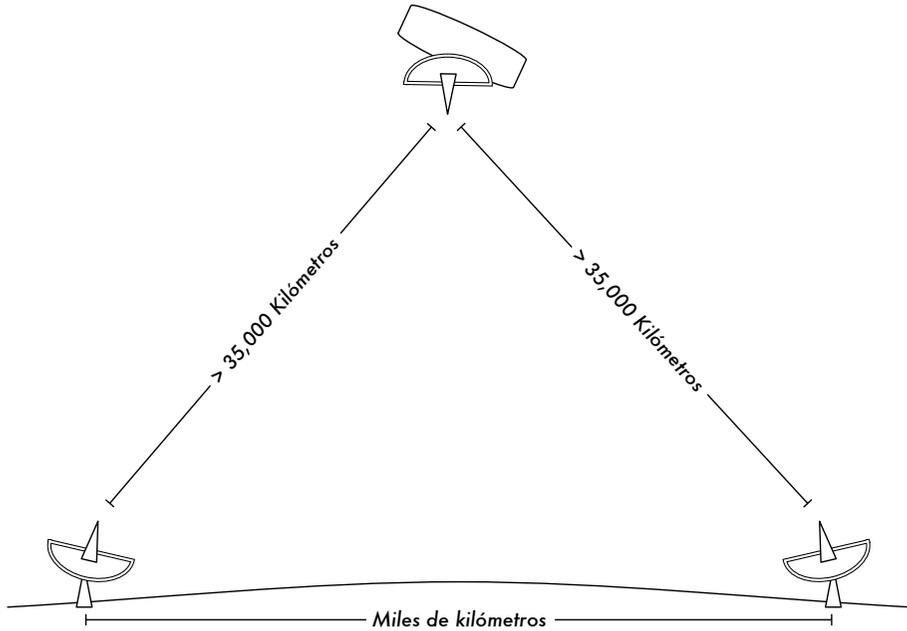


Figura 3.17: Debido a la velocidad de la luz y las largas distancias involucradas, la confirmación de recepción de un paquete ping puede tomar más de 520ms en un enlace VSAT.

Los factores que impactan más significativamente el rendimiento de TCP/IP son tiempos de propagación largos, **grandes productos de ancho de banda por retardo y errores de transmisión**.

Generalmente en una red satelital se deben utilizar sistemas operativos que soportan las implementaciones TCP/IP modernas. Estas implementaciones soportan las extensiones RFC 1323:

- La opción de **escalado de ventana** para soportar ventanas TCP de gran tamaño (mayores que 64KB).
- **Recepción selectiva (SACK por su sigla en inglés)** para permitir una recuperación más rápida de los errores de transmisión.
- Matasellos (*Timestamps*) para calcular los valores de RTT y la expiración del tiempo de retransmisión para el enlace en uso.

Tiempos de ida y vuelta largos (RTT)

Los enlaces por satélite tienen un promedio de RTT de alrededor de 520ms hasta el primer salto. TCP utiliza el mecanismo de comienzo lento al inicio de la conexión para encontrar los parámetros de TCP/IP apropiados para la misma. El tiempo perdido en la etapa de comienzo lento es proporcional al RTT, y para los enlaces por satélite significa que TCP se encuentra en el modo de comienzo lento por más tiempo de lo que debiera. Esto disminuye drásticamente el rendimiento de las conexiones TCP de corta duración. Esto puede verse cuando descargar un sitio web pequeño sorprendentemente toma mucho tiempo, mientras que cuando se transfiere un archivo grande se obtienen velocidades de datos aceptables luego de un rato.

Además cuando se pierden paquetes, TCP entra en la fase de control de congestión y, debido al alto RTT permanece en esta fase por largo tiempo, reduciendo así el rendimiento de las conexiones TCP, sean de larga o corta duración.

Producto ancho de banda-retardo elevado

La cantidad de datos en tránsito en un enlace en un momento dado es el producto del ancho de banda por el RTT. Debido a la gran latencia del enlace satelital, este producto es grande. TCP/IP le permite a los hosts remotos enviar cierta cantidad de datos previamente sin esperar la confirmación (*acknowledgment*). Normalmente en una conexión TCP/IP se requiere una confirmación (ACK) para cada transmisión. Sin embargo el host remoto siempre puede enviar cierta cantidad de datos sin confirmación, lo que es importante para lograr una buena tasa de transferencia en conexiones con productos ancho de banda-retardo de propagación elevados. Esta cantidad de datos es denominada **tamaño de la ventana TCP**. En las implementaciones TCP/IP modernas el tamaño de la ventana generalmente es de 64KB.

En las redes satelitales, el valor del producto ancho de banda-retardo es importante. Para utilizar el enlace en toda su capacidad, el tamaño de la ventana de la conexión debe ser igual al producto del ancho de banda-retardo. Si el tamaño de ventana máximo permitido es de 64KB, teóricamente el máximo rendimiento que se puede conseguir vía satélite es (tamaño de la ventana) / RTT, o 64KB / 520 ms. Esto da una tasa de transferencia de datos máxima de 123kB/s, correspondiente a 984 kbps, aunque la capacidad del enlace sea mucho mayor.

Cada encabezado de segmento TCP contiene un campo llamado ventana anunciada, que especifica cuantos bytes de datos adicionales está preparado para aceptar el receptor. La **ventana anunciada** es el tamaño actual de la memoria de almacenamiento intermedio del receptor. El emisor no está autorizado a enviar más bytes que la ventana anunciada. Para maximizar el

rendimiento, las memorias de almacenamiento intermedio del emisor y el receptor deben ser al menos iguales al producto ancho de banda-retardo. El tamaño de la memoria de almacenamiento intermedio en la mayoría de las implementaciones modernas de TCP/IP tiene un valor máximo de 64KB.

Para soslayar el problema de versiones de TCP/IP que no exceden el tamaño de la ventana de 64KB, se puede utilizar una técnica conocida como suplantación de confirmación (**TCP acknowledgment spoofing**) (vea más adelante Mejora del Rendimiento del Proxy).

Errores de transmisión

En las implementaciones de TCP/IP más viejas, siempre se consideraba que la pérdida de paquetes era causada por la congestión (en lugar de errores de enlace). Cuando esto sucede TCP adopta una defensiva contra la congestión, requiriendo tres confirmaciones duplicadas (ACK), o ejecutando un inicio lento (*slow start*) en el caso de que el tiempo de espera haya expirado.

Debido al alto valor de RTT, una vez que esta fase de control de la congestión ha comenzado, toma un largo rato para que el enlace satelital TCP/IP vuelva al nivel de rendimiento anterior. Por consiguiente, los errores en un enlace satelital tienen un efecto más serio en las prestaciones de TCP que sobre los enlaces de latencia baja. Para solucionar esta limitación, se han desarrollado mecanismos como la **Confirmación Selectiva (SACK)** (por su sigla en inglés). SACK especifica exactamente aquellos paquetes que se han recibido permitiendo que el emisor retransmita solamente aquellos segmentos que se perdieron debido a errores de enlace.

El artículo sobre detalles de implementación de TCP/IP en Windows 2000 afirma:

"Windows 2000 introduce soporte para una importante característica de desempeño conocida como Confirmación Selectiva (SACK). SACK es especialmente importante para conexiones que utilizan ventanas TCP de gran tamaño."

SACK ha sido una característica estándar desde hace algún tiempo en Linux y BSD. Asegúrese de que tanto su enrutador Internet como el ISP del sitio remoto soporten SACK.

Implicaciones para las universidades

Si un sitio tiene una conexión a Internet de 512 kbps, las configuraciones por omisión de TCP/IP son suficientes, porque una ventana de 64 KB puede cubrir hasta 984 kbps. Pero si la universidad tiene más de 984 Kbps, es probable que en algunos casos no se obtenga todo el ancho de banda disponible

del enlace debido a los factores de "tubería de datos larga y gruesa" discutidos anteriormente. Lo que estos factores implican realmente es que impiden que una computadora tome todo el ancho de banda. Esto no es malo durante el día, porque mucha gente está usando el ancho de banda. Pero si por ejemplo, se programan grandes descargas para la noche, el administrador puede querer hacer uso de todo el ancho de banda, y los factores de "tubería de datos larga y gruesa" pueden ser un obstáculo. Esto puede transformarse en algo crítico si una cantidad significativa de su tráfico de red se enruta a través de un túnel único o una conexión VPN hasta el otro extremo del enlace VSAT.

Los administradores pueden considerar tomar algunas medidas para asegurarse de que están aprovechando la totalidad del ancho de banda disponible, afinando las configuraciones de TCP/IP. Si una universidad ha implementado una red donde el tráfico tiene necesariamente que pasar a través de un *proxy* (impuesto por el diseño de red), entonces las únicas computadoras que pueden realizar conexiones directas a Internet serán los servidores *proxy* y de correo electrónico.

Para más información, vea: http://www.psc.edu/networking/perf_tune.html.

Proxy que mejora las prestaciones (PEP- Performance enhancing Proxy)

La idea de PEP se describe en la RFC 3135 (vea <http://www.ietf.org/rfc/rfc3135>), y podría ser un servidor Proxy con un disco cache grande que tiene extensiones RFC 1323, entre otras características. Una computadora portátil tiene una sesión TCP con PEP en el ISP. Ese PEP, y el que está en el proveedor de satélite se comunican utilizando diferentes sesiones TCP, inclusive, su propio protocolo privado. El PEP del proveedor de satélite toma los archivos desde el servidor web. De esta forma, la sesión TCP se divide y por lo tanto se evitan las características del enlace que afectan las prestaciones del protocolo (los factores de tubería larga y gruesa), utilizando por ejemplo suplantación de confirmaciones TCP (*TCP ACK spoofing*). Adicionalmente, PEP reaccúa como proxy y realiza captura previa (*pre-fetching*) para acelerar todavía más el acceso a la web.

Este sistema puede ser construido desde cero utilizando por ejemplo Squid, o adquiriendo soluciones ofrecidas por varios vendedores.

4

Antenas y Líneas de Transmisión

El transmisor que genera la energía de RF¹ para entregar a la antena generalmente está ubicado a cierta distancia de la misma. El enlace entre ambos es la **línea de transmisión de RF**. Su propósito es transportar la energía de RF desde un lugar hacia el otro de la forma más eficiente posible. Del lado del receptor, la antena es responsable de captar las señales de radio desde el aire y pasarlas al receptor con la mínima cantidad de distorsión, para que el radio pueda decodificar la señal. Por estas razones el cable de RF tiene un rol muy importante en los sistemas de radio: debe mantener la integridad de las señales en ambas direcciones.

Existen dos categorías principales de líneas de transmisión: los cables y las guías de ondas. Ambos son muy buenos para transportar de forma eficiente la energía de RF a 2,4GHz.

Cables

En el caso de frecuencias mayores que HF (alta frecuencia, por su sigla en inglés) los cables utilizados son casi exclusivamente los coaxiales (o para abreviar **coax**, derivado de las palabras del inglés “of common axis” eje en común). Los cables coaxiales tienen un **conductor** central recubierto por un material no conductor denominado **dieléctrico**, o simplemente **aislante**. El dieléctrico se recubre con una pantalla conductora envolvente a menudo en forma de malla. El material dieléctrico evita una conexión eléctrica entre el conductor central y la pantalla. Finalmente, el coaxial está protegido por un

1. Radio Frecuencia. Vea el capítulo dos para una discusión sobre las ondas electromagnéticas.

recubrimiento generalmente de PVC. El conductor interior transporta la señal de RF, y la pantalla evita que la señal de RF sea radiada a la atmósfera, así como impide que posibles señales externas interfieran con la que está siendo transmitida por el cable. Otro hecho interesante es que las señales eléctricas de alta frecuencia siempre viajan a lo largo de la capa exterior del conductor central: cuanto más grande el conductor central, mejor va a ser el flujo de la señal. Esto se denomina “efecto pelicular”.

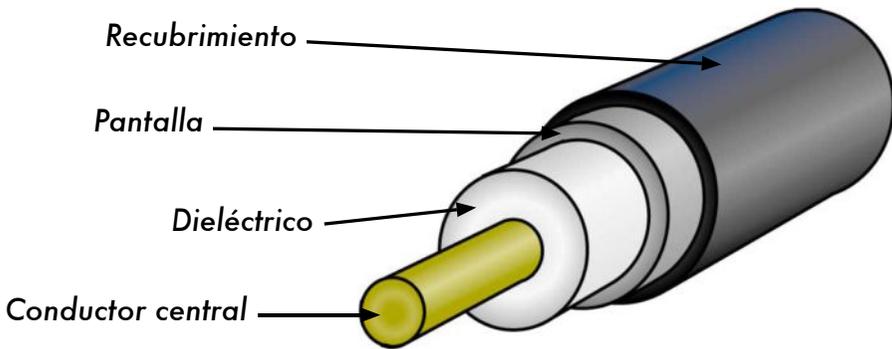


Figura 4.1: Cable coaxial con recubrimiento, pantalla, dieléctrico, y conductor central.

A pesar de que la construcción del cable coaxial es muy buena para contener la señal en el cable, presenta algo de resistencia al flujo eléctrico: a medida que la señal viaja a través del cable disminuye su intensidad. Este debilitamiento es conocido como **atenuación**, y para las líneas de transmisión se mide en decibeles por metro (**dB/m**). El coeficiente de atenuación es una función de la frecuencia de la señal y la construcción física del cable. Si se incrementa la frecuencia de la señal, también lo hace su atenuación. Obviamente se necesita minimizar la atenuación del cable cuanto más nos sea posible, lo que puede hacerse mediante la utilización de cables muy cortos y/o de buena calidad.

Aquí les brindamos algunos puntos a considerar cuando elegimos un cable para utilizarlo con dispositivos de microondas:

1. “¡Cuanto más corto mejor!” La primera regla cuando instalamos un cable es la de hacerlo lo más corto posible. La pérdida de energía no es lineal, por lo tanto duplicar el largo del cable implica perder mucho más que el doble de energía. En el mismo sentido, si reducimos el largo del cable a la mitad vamos a tener mucho más que el doble de potencia en la antena. La mejor solución es poner el transmisor lo más cerca que podamos de la antena, incluso si esto implica colocarlo en una torre.
2. “¡Cuanto más barato peor!” La segunda regla de oro es que todo el dinero que se invierta en comprar un cable de **buena calidad** es un buen

negocio. Los cables baratos están pensados para ser utilizados con bajas frecuencias como VHF. Las microondas requieren de los cables de mejor calidad que haya disponibles. Todas las demás opciones no serán más que cargas fantasma para la radio².

3. Evite usar RG-58: fue pensado para redes Ethernet, CB o radio de VHF, no para microondas.
4. Evite usar RG-213: fue diseñado para CB y radio de HF. En este caso el diámetro del cable no implica alta calidad o baja atenuación.
5. Siempre que sea posible utilice cables **Heliac** (también denominados "Foam" –espuma–) para conectar el transmisor a la antena. Cuando no haya cable Heliac utilice los mejores cables LMR que pueda encontrar. Los cables Heliac tienen un centro conductor sólido o tubular con un conductor externo sólido y corrugado que lo hace flexible. Estos cables pueden construirse de dos formas, utilizando aire o espuma para el dieléctrico. Los cables Heliac con dieléctrico de aire son los más caros y garantizan la menor pérdida, pero son muy difíciles de manipular. Los de espuma tienen una pérdida ligeramente mayor, pero son más económicos y sencillos de instalar. Se requiere un procedimiento especial cuando soldamos conectores para mantener la espuma dieléctrica seca e intacta. La marca de cables coaxiales Times Microwave LMR los produce en varios diámetros, y funcionan bien en frecuencias de microondas. Los cables LMR-400 y LMR-600 se utilizan comúnmente como alternativas al Heliac.
6. Siempre que sea posible utilice cables que ya tengan los conectores, y que hayan sido probados en un laboratorio apropiado. La instalación de los conectores en el cable es una tarea delicada y se hace difícil realizarla adecuadamente aún teniendo las herramientas necesarias. A menos que tenga acceso al equipamiento que pueda verificar un cable hecho por usted mismo (como un analizador de espectro y un generador de señal, o un reflectómetro de dominio temporal), solucionar los problemas de una red que utiliza cables hechos en casa puede ser difícil.
7. No maltrate su línea de transmisión. Nunca camine sobre el cable, no lo doble demasiado, no intente desenchufar un conector halando directamente el cable. Todos esos comportamientos pueden cambiar las características mecánicas del cable y por lo tanto su impedancia, provocar un cortocircuito entre el conductor interno y la pantalla, o incluso romper la línea. Rastrear y reconocer este tipo de problemas no es tarea fácil, y esto puede llevar a un comportamiento impredecible del radioenlace.

2. Una carga fantasma disipa energía de RF sin radiarla. Imagínese un sumidero de calor pero a radio frecuencias.

Guías de Ondas

Por encima de los 2 GHz, la longitud de onda es lo suficientemente corta como para permitir una transferencia de energía práctica y eficiente por diferentes medios. Una guía de onda es un tubo conductor a través del cual se transmite la energía en la forma de ondas electromagnéticas. El tubo actúa como un contenedor que confina las ondas en un espacio cerrado. El efecto de Faraday atrapa cualquier campo electromagnético fuera de la guía. Los campos electromagnéticos son propagados a través de la guía de onda por medio de reflexiones en sus paredes internas, que son consideradas perfectamente conductoras. La intensidad de los campos es máxima en el centro a lo largo de la dimensión X, y debe disminuir a cero al llegar a las paredes, porque la existencia de cualquier campo paralelo a las mismas en su superficie causaría una corriente infinita en un conductor perfecto. Las guías de ondas, por supuesto, no pueden transportar la RF de esta forma.

En la siguiente figura pueden verse las dimensiones X, Y, y Z de una guía de ondas rectangular:

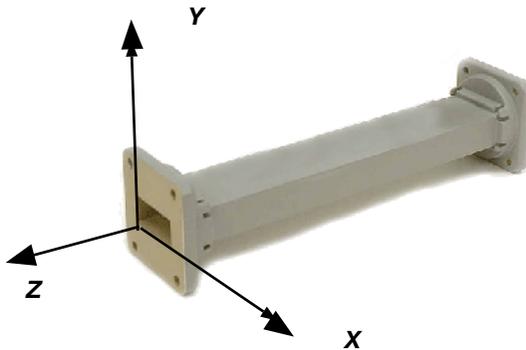


Figura 4.2: Las dimensiones X, Y, y Z de una guía de onda rectangular.

Hay un infinito número de formas en las cuales los campos eléctricos y magnéticos pueden organizarse en una guía de onda a frecuencias por encima de la frecuencia de corte. Cada una de esas configuraciones del campo se denomina **modo**. Los modos pueden separarse en dos grupos generales. Uno de ellos es el Transversal Magnético (**TM** por su sigla en inglés), donde el campo magnético es siempre transversal a la dirección de propagación, pero existe un componente del campo eléctrico en la dirección de propagación. El otro es el Transversal Eléctrico (**TE** por su sigla en inglés), en el que el campo eléctrico es siempre transversal, pero existe un componente del campo magnético en la dirección de propagación.

El modo de propagación se identifica por dos letras seguido por dos subíndices numéricos. Por ejemplo el TE_{10} , TM_{11} , etc. El número de modos posi-

bles se incrementa con la frecuencia para un tamaño dado de guía, y existe un modo, llamado **modo dominante**, que es el único que se puede transmitir a la frecuencia más baja que soporta la guía de onda. En una guía rectangular, la dimensión crítica es la X. Esta dimensión debe ser mayor que 0.5λ a la frecuencia más baja que va a ser transmitida. En la práctica, generalmente la dimensión Y es igual a $0.5 X$ para evitar la posibilidad de que se opere en otro modo que no sea el modo dominante. Se pueden utilizar otras formas además de la rectangular, la más importante es la de tubo circular. Para éste se aplican las mismas consideraciones que para el rectangular. La dimensión de la longitud de onda para las guías rectangulares y circulares se presenta en la siguiente tabla, donde X es el ancho de la guía rectangular y r es el radio de la guía circular. Todos los valores se refieren al modo dominante.

Tipo de guía	Rectangular	Circular
Longitud de onda de corte	2X	3,41r
Longitud de onda máxima transmitida con poca atenuación	1,6X	3,2r
Longitud de onda mínima antes de que se transmita el modo siguiente	1,1X	2,8r

La energía puede introducirse o extraerse de una guía de onda por medio de un campo eléctrico o magnético. Generalmente la transferencia de energía se da a través de una línea coaxial. Dos métodos posibles para acoplar una línea coaxial son utilizar el conductor interno de la línea, o a través de una espira. Se puede introducir una sonda, constituida por una pequeña extensión del conductor interno de la línea coaxial, orientada paralelamente a las líneas de campo eléctrico. También se puede colocar un lazo o espira que encierre algunas de las líneas de campo magnético. El punto en el cual obtenemos el acoplamiento máximo depende del modo de propagación en la guía o en la cavidad. El acoplamiento es máximo cuando el dispositivo de acoplamiento está en el campo más intenso.

Si una guía de onda se deja abierta en uno de sus lados, puede radiar energía (es decir, puede ser usada como una antena en lugar de línea de transmisión). Esta radiación puede ser aumentada acampanando la guía de onda para formar una antena de bocina piramidal (*horn*). Más adelante en este capítulo veremos un ejemplo de una antena hecha con una guía de onda para WiFi.

Tipo de Cable	Núcleo	Dieléctrico	Pantalla	Recubrimiento
RG-58	0,9 mm	2,95 mm	3,8 mm	4,95 mm
RG-213	2,26 mm	7,24 mm	8,64 mm	10,29 mm
LMR-400	2,74 mm	7,24 mm	8,13 mm	10,29 mm
3/8" LDF	3,1 mm	8,12 mm	9,7 mm	11 mm

En esta tabla se contrastan los tamaños de varios tipos de líneas de transmisión. Trate de elegir el mejor cable de acuerdo con sus posibilidades, de forma de tener la menor atenuación posible a la frecuencia que vaya a utilizar para su enlace inalámbrico.

Conectores y adaptadores

Por medio de los conectores el cable puede ser conectado a otro cable o a un componente de la cadena de RF. Hay una gran cantidad de adaptadores y conectores diseñados para concordar con diferentes tamaños y tipos de líneas coaxiales. Describiremos algunos de los más populares.

Los **conectores BNC** fueron desarrollados a fines de los 40. La sigla BNC significa Bayoneta, Neill-Concelman, por los apellidos de quienes los inventaron: Paul Neill y Carl Concelman. El tipo BNC es un conector miniatura de conexión y desconexión rápida. Tiene dos postes de bayoneta en el conector hembra, y el apareamiento se logra con sólo un cuarto de vuelta de la tuerca de acoplamiento. Los conectores BNC son ideales para la terminación de cables coaxiales miniatura o subminiatura (RG-58 a RG-179, RG-316, etc.). Tienen un desempeño aceptable hasta unos pocos cientos de MHz. Son los que se encuentran más comúnmente en los equipamientos de prueba y en los cables coaxiales Ethernet 10base2.

Los **conectores TNC** también fueron inventados por Neill y Concelman, y son una versión roscada de los BNC. Debido a que proveen una mejor interconexión, funcionan bien hasta unos 12GHz. Su sigla TNC se debe a su sigla en inglés (Neill-Concelman con Rosca, por Threaded Neill-Concelman).

Los conectores **Tipo N** (también por Neill, aunque algunas veces atribuidos a "Navy") fueron desarrollados originalmente durante la Segunda Guerra Mundial. Se pueden utilizar a más de 18 Ghz y se utilizan comúnmente en aplicaciones de microondas. Se fabrican para la mayoría de tipos de cable. Las uniones del cable al conector macho o hembra son impermeables, y proveen un agarre efectivo.

SMA es un acrónimo de Sub Miniatura versión A, y fue desarrollado en los 60. Los conectores SMA son unidades subminiatura de precisión que proveen excelentes prestaciones eléctricas hasta más de 18 GHz. Estos conectores de alto desempeño son de tamaño compacto y tienen una extraordinaria durabilidad.

Los **SMB** cuyo nombre deriva de Sub Miniatura B, son el segundo diseño subminiatura. Constituyen una versión más pequeña de los SMA con un acoplamiento a presión y funcionan hasta los 4 GHz.

Los conectores **MCX** se introdujeron en los 80. Aunque utilizan contactos internos y aislantes idénticos a los SMB, el diámetro exterior de la clavija es 30% más pequeño que la del SMB. Esta serie provee a los diseñadores de opciones cuando el espacio físico es limitado. MCX tiene una capacidad de banda ancha de 6GHz con un diseño de conector a presión.

Además de estos conectores estándar, la mayoría de los dispositivos WiFi utilizan una variedad de conectores patentados. A menudo son simplemente conectores de microondas estándar con las partes centrales del conductor invertidas o con roscas a contramano. Estos conectores especiales a menudo se acoplan a los otros elementos del sistema de microondas utilizando un cable delgado y corto llamado latiguillo, en inglés **pigtail (cola de cerdo)** que convierte el conector que no es estándar en uno más robusto y disponible comúnmente. Entre estos conectores especiales tenemos:

RP-TNC. Es un conector TNC con el género invertido. Éstos son los que trae el WRT54G de Linksys.

U.FL (también conocido como **MHF**). El U.FL es un conector patentado realizado por Hirose, y el MHF es un conector mecánicamente equivalente. Probablemente es el conector de microondas más pequeño utilizado ampliamente en la actualidad. El U.FL / MHF se utiliza para conectar una tarjeta de radio mini-PCI a una antena o a un conector más grande (como un N o un TNC).

La serie **MMCX**, también denominada MicroMate, es una de las líneas de conectores de RF más pequeñas desarrolladas en los 90. MMCX es una serie de conectores micro-miniatura con un mecanismo de bloqueo a presión que permite una rotación de 360 grados otorgándole gran flexibilidad. Los conectores MMCX se encuentran generalmente en tarjetas de radio PCMCIA, como las fabricadas por Senao y Cisco.

Los conectores **MC-Card** son más pequeños y más frágiles que los MMCX. Tiene un conector externo con ranuras que se quiebra fácilmente luego de unas pocas interconexiones. Generalmente están en el equipamiento Lucent / Orinoco / Avaya.

Los adaptadores coaxiales (o simplemente *adaptadores*), son conectores cortos usados para unir dos cables o dos componentes que no se pueden conectar directamente. Los adaptadores pueden ser utilizados para interconectar dispositivos o cables de diferentes tipos. Por ejemplo, un adaptador puede ser utilizado para conectar un conector SMA a un BNC. También pueden servir para unir dos conectores del mismo tipo que no pueden hacerlo directamente por su género (macho-macho/hembra-hembra). Por ejemplo un adaptador muy útil es el que permite unir dos conectores machos Tipo N, que tiene dos conectores hembra en ambos extremos.



Figura 4.3: Adaptador N hembra de barrilito

Elección del conector apropiado

1. “Una cuestión de género.” Casi todos los conectores tienen un género bien definido que consiste en una clavija (el extremo “macho”) o una toma (el extremo “hembra”). Generalmente los cables tienen conectores macho en ambos extremos y los dispositivos de RF (por ej. transmisores y antenas) tienen conectores hembra. Los acopladores direccionales y dispositivos de medición de línea pueden tener tanto conectores macho como hembra. Asegúrese de que cada conector macho en su sistema coincide con uno hembra.
2. “¡Menos es mejor!” Intente minimizar el número de conectores y adaptadores en la cadena de RF. Cada conector introduce alguna pérdida adicional (¡hasta unos pocos dB por cada conexión, dependiendo del conector!).
3. “¡Compre, no lo haga usted mismo!” Como mencionamos anteriormente, siempre que pueda es mejor que compre cables que ya estén terminados con los conectores que usted necesite. Soldar los conectores no es una tarea sencilla, y en el caso de conectores pequeños como los U.FL y MMCX hacerlo bien es casi imposible. Hasta la conectorización de cables de foam (espuma) es ardua.
4. No use BNC para frecuencias de 2,4GHz o más altas. Utilice los conectores tipo N (o SMA, SMB, TNC, etc.).
5. Los conectores de microondas son componentes de precisión y se pueden dañar fácilmente si se manipulan mal. Como regla general, debe

rotar la manga exterior para apretar el conector, dejando el resto del conector (y el cable) estacionario. Si se tuercen otras partes del conector mientras estamos ajustándolo o aflojándolo es muy posible que las mismas se rompan.

6. Nunca pise, ni deje caer los conectores en el piso cuando desconecte los cables (esto sucede más a menudo de lo que usted se imagina, especialmente cuando trabajamos en un mástil sobre un techo).
7. Nunca utilice herramientas como las pinzas para apretar los conectores. Hágalo siempre con las manos. Cuando trabaje en exteriores recuerde que los metales se expanden a altas temperaturas y reducen su tamaño a baja temperatura: un conector muy apretado puede dilatarse en el verano o quebrarse en el invierno.

Antenas y diagramas (patrones) de radiación

Las antenas son un componente muy importante de los sistemas de comunicación. Por definición, una antena es un dispositivo utilizado para transformar una señal de RF que viaja en un conductor, en una onda electromagnética en el espacio abierto. Las antenas exhiben una propiedad conocida como **reciprocidad**, lo cual significa que una antena va a mantener las mismas características sin importar si está transmitiendo o recibiendo. La mayoría de las antenas son dispositivos resonantes, que operan eficientemente sólo en una banda de frecuencia relativamente baja. Una antena debe ser sintonizada en la misma banda que el sistema de radio al que está conectada, para no afectar la recepción y transmisión. Cuando se alimenta la antena con una señal, emitirá radiación distribuida en el espacio de cierta forma. La representación gráfica de la distribución relativa de la potencia radiada en el espacio se llama **diagrama o patrón de radiación**.

Glosario de términos de las antenas

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

Impedancia de entrada

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

Pérdida de retorno

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

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

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

Ancho de banda

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

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

$$\text{Ancho de Banda} = 100 \times \frac{F_H - F_L}{F_C}$$

...donde F_H es la frecuencia más alta en la banda, F_L es la frecuencia más baja, y F_C es la frecuencia central.

De esta forma, el ancho de banda porcentual es constante respecto a la frecuencia. Si fuera expresado en unidades absolutas, variaría dependiendo de la frecuencia central. Los diferentes tipos de antenas tienen variadas limitaciones de ancho de banda.

Directividad y Ganancia

La **Directividad** es la habilidad de una antena de transmitir enfocando la energía en una dirección particular, o de recibirla de una dirección particular. Si un enlace inalámbrico utiliza locaciones fijas para ambos extremos, es posible utilizar la directividad de la antena para concentrar la transmisión de la radiación en la dirección deseada. En una aplicación móvil donde la an-

tena no está fijada a un punto, es imposible predecir dónde va a estar, y por lo tanto la antena debería radiar en todas las direcciones del plano horizontal. En estas aplicaciones se utiliza una antena omnidireccional.

La ganancia no es una cantidad que pueda ser definida en términos de una cantidad física como vatios u ohmios, es un cociente sin dimensión. La ganancia se expresa en referencia a una antena estándar. Las dos referencias más comunes son la antena *isotrópica* y la *antena dipolo resonante de media longitud de onda*. La antena isotrópica irradia en todas direcciones con la misma intensidad. En la realidad esta antena no existe, pero provee un patrón teórico útil y sencillo con el que comparar las antenas reales. Cualquier antena real va a irradiar más energía en algunas direcciones que en otras. Puesto que las antenas no crean energía, la potencia total irradiada es la misma que una antena isotrópica. Toda energía adicional radiada en las direcciones favorecidas es compensada por menos energía radiada en las otras direcciones.

La ganancia de una antena en una dirección dada es la cantidad de energía radiada en esa dirección comparada con la energía que podría radiar una antena isotrópica en la misma dirección alimentada con la misma potencia. Generalmente estamos interesados en la ganancia máxima, que es aquella en la dirección hacia la cual la antena está radiando la mayor potencia. Una ganancia de antena de 3dB comparada con una isotrópica debería ser escrita como **3dBi**. El dipolo resonante de media longitud de onda puede ser un estándar útil a la hora de compararlo con otras antenas a una frecuencia, o sobre una banda estrecha de frecuencias. Para comparar el dipolo con una antena sobre un rango de frecuencias se requiere de un número de dipolos de diferentes longitudes. La ganancia de una antena comparada con un dipolo debería ser escrita como **3dBd**.

El método para medir la ganancia mediante la comparación de la antena bajo prueba con una antena estándar conocida, de ganancia calibrada, es conocido como técnica de *transferencia de ganancia*. Otro método para medir la ganancia es el de las tres antenas, donde la potencia transmitida y recibida en las terminales de las antenas es medida entre tres antenas elegidas arbitrariamente a una distancia fija conocida.

Diagramas o Patrones de Radiación

Los *patrones o diagramas de radiación* describen la intensidad relativa del campo radiado en varias direcciones desde la antena a una distancia constante. El patrón de radiación es también de recepción, porque describe las propiedades de recepción de la antena. El patrón de radiación es tridimensional, pero generalmente las mediciones de los mismos son una porción bi-dimensional del patrón, en el plano horizontal o vertical. Estas mediciones son presentadas en coordenadas *rectangulares* o en coordenadas

polares. La siguiente figura muestra el diagrama de radiación en coordenadas rectangulares de una antena Yagi de diez elementos. El detalle es bueno pero se hace difícil visualizar el comportamiento de la antena en diferentes direcciones.

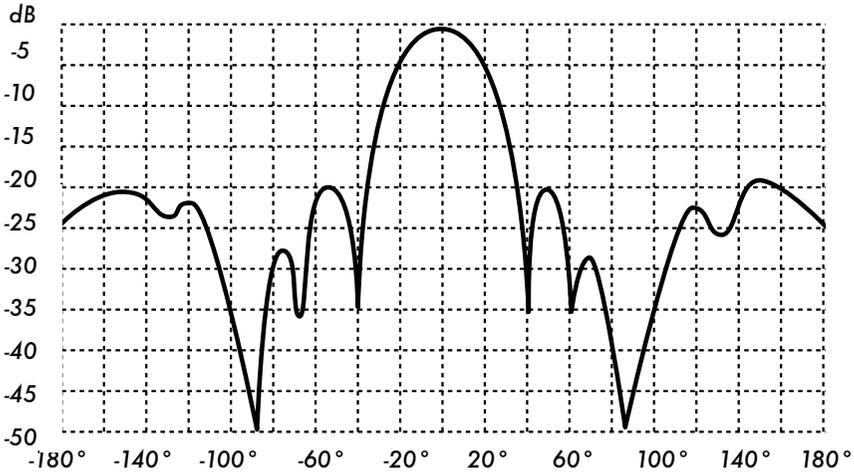


Figura 4.4: Diagrama de radiación de una antena Yagi en coordenadas rectangulares

En los sistemas de coordenadas polares, los puntos se obtienen por una proyección a lo largo de un eje que rota (radio) en la intersección con uno de varios círculos concéntricos. El siguiente es un diagrama de radiación en coordenadas polares de la misma antena Yagi de diez elementos.

Los sistemas de coordenadas polares pueden dividirse en dos clases: **lineales** y **logarítmicos**. En el sistema de coordenadas polares lineal, los círculos concéntricos están uniformemente espaciados y graduados. La retícula resultante puede ser utilizada para preparar un diagrama lineal de la potencia contenida en la señal. Para facilitar la comparación, los círculos concéntricos equiespaciados pueden reemplazarse por círculos ubicados adecuadamente, representando la respuesta en decibeles, con 0 dB correspondiendo al círculo más externo. En este tipo de gráficas los lóbulos menores se suprimen. Los lóbulos con picos menores de 15 dB debajo del lóbulo principal desaparecen por su pequeño tamaño. Esta retícula mejora la presentación de las características de antenas con alta directividad y lóbulos menores pequeños. En un sistema de coordenadas lineales, se puede trazar el voltaje de la señal en lugar de la potencia, En este caso también, se enfatiza la directividad y desenfatan los lóbulos menores, pero no en el mismo grado que en la retícula lineal de potencia.

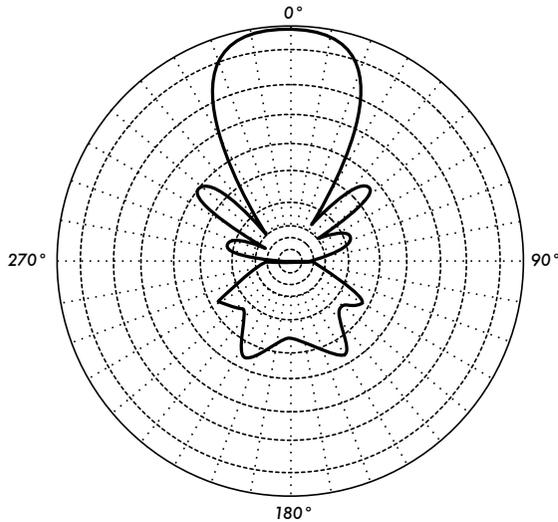


Figura 4.5: Diagrama polar lineal de la misma antena Yagi.

En el sistema de coordenadas polares logarítmico, las líneas concéntricas de la retícula son espaciadas periódicamente de acuerdo con el logaritmo de voltaje de la señal. Se pueden usar diferentes valores para la constante logarítmica de periodicidad, y esta elección va a tener un efecto en la apariencia de los diagramas trazados. Generalmente se utiliza la referencia 0 dB para el extremo externo de la gráfica. Con este tipo de retícula, los lóbulos que están 30 o 40 dB por debajo del lóbulo principal aún pueden distinguirse. El espacio entre los puntos a 0 dB y a -3 dB es mayor que el espacio entre -20 dB y -23 dB, el cual es mayor que el espacio entre -50 dB y -53 dB. Por lo tanto el espacio corresponde a la significancia relativa de dichos cambios en el desempeño de la antena.

Una escala logarítmica modificada enfatiza la forma del haz mayor mientras comprime los lóbulos laterales de muy bajo nivel (<30 dB) hacia el centro del patrón.

Hay dos tipos de diagramas de radiación: los **absolutos** y los **relativos**. Los diagramas de radiación absolutos se presentan en unidades absolutas de potencia o intensidad de campo. Los diagramas de radiación relativos se referencian a unidades relativas de potencia o intensidad de campo. La mayoría de las mediciones de los diagramas de radiación son relativas a la antena isotrópica, y el método de transferencia de ganancia es utilizado para establecer la ganancia absoluta de la antena.

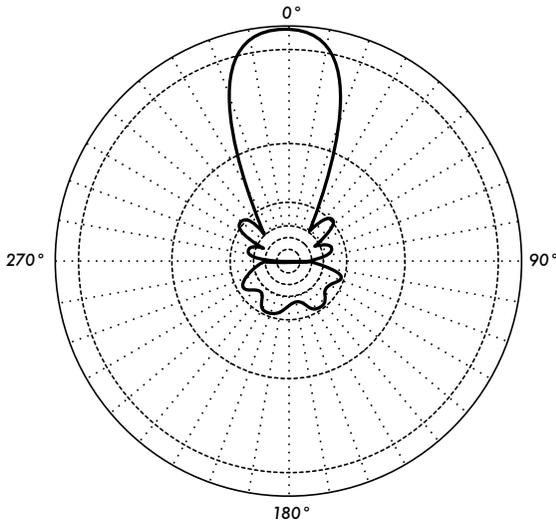


Figura 4.6: Trazado polar logarítmico

El patrón de radiación en la región cercana a la antena no es el mismo que el patrón a largas distancias. El término *campo cercano* se refiere al patrón del campo que existe cerca de la antena, mientras que el término *campo lejano* refiere a los diagramas del campo a largas distancias. El campo alejado también es denominado campo de radiación, y generalmente es el que más interesa. Normalmente el punto de interés es la potencia radiada, y por lo tanto los diagramas de la antena son medidos en la región del campo alejado. Para las medidas necesarias para confeccionar los diagramas es importante elegir una distancia suficientemente grande para estar en el campo lejano, más allá del campo cercano. La distancia mínima depende de las dimensiones de la antena con relación a la longitud de onda. La fórmula aceptada para esta distancia es:

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

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

Ancho del haz

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

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

Suponiendo que la mayor parte de la potencia radiada no se dispersa en lóbulos laterales, entonces la ganancia directiva es inversamente proporcional al ancho del haz: cuando el ancho del haz decrece, la ganancia directiva se incrementa.

Lóbulos laterales

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

Nulos

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

Polarización

La **polarización** se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética. En general la polarización se describe por una elipse. Dos casos especiales de la polarización elíptica son la **polarización lineal** y la **polarización circular**. La polarización inicial de una onda de radio es determinada por la antena.

Con la polarización lineal, el vector del campo eléctrico se mantiene en el mismo plano todo el tiempo. El campo eléctrico puede dejar la antena en una orientación vertical, horizontal, o en algún ángulo entre los dos. La radiación **polarizada verticalmente** se ve ligeramente menos afectada por las reflexiones en el camino de transmisión. Las antenas omnidireccionales siempre tienen una polarización vertical. Con la **polarización horizontal**, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida. Las antenas horizontales tienen menos probabilidad de captar interferencias generadas por el hombre, normalmente polarizadas verticalmente.

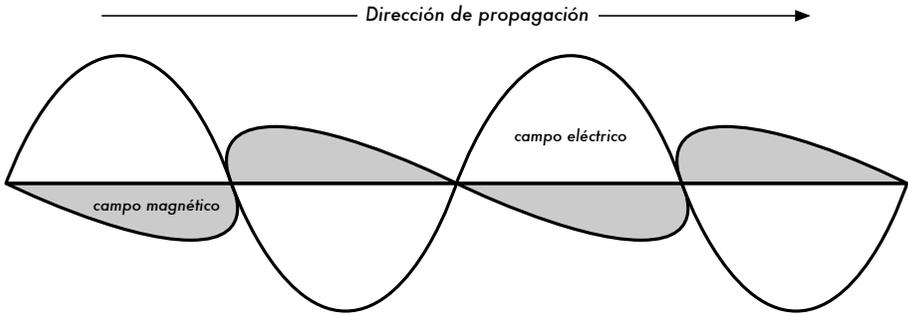


Figura 4.7: La onda senoidal eléctrica se mueve perpendicular a la onda magnética en la dirección de la propagación.

En la polarización circular el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación, haciendo una vuelta completa para cada ciclo de RF. Esta rotación puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda. La elección de la polarización es una de las elecciones de diseño disponibles para el diseñador del sistema de RF.

Desadaptación de polarización

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

Cuando las antenas no están alineadas o no tienen la misma polarización, habrá una reducción en la transferencia de potencia entre ambas antenas. Esto va a reducir la eficiencia global y las prestaciones del sistema.

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

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

...donde θ es la diferencia en el ángulo de alineación entre las dos antenas. Para 15° la pérdida es de aproximadamente 0.3dB, para 30° perdemos 1.25dB, para 45° perdemos 3dB y para 90° tenemos una pérdida infinita.

Resumiendo, cuanto más grande la desadaptación de polarización entre una antena transmisora y una receptora, más grande la pérdida aparente. En el mundo real, la pérdida debida a una desadaptación en polarización de 90° es bastante grande pero no infinita. Algunas antenas como las Yagis, o las antenas de lata, pueden rotarse 90° de forma sencilla para corresponder con la polarización del otro extremo del enlace. La polarización puede a-

provecharse en un enlace punto a punto. Use una herramienta de monitoreo para observar la interferencia desde redes adyacentes, y rote una antena hasta que se minimice la señal recibida. Luego instale su enlace utilizando la polarización en la que había medido interferencia mínima en ambos extremos. Esta técnica puede ser utilizada a veces para construir enlaces estables, aún en medio ambientes con mucho ruido RF.

Relación de ganancia adelante/atrás

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

Este número no tiene sentido para un antena omnidireccional, pero brinda una idea de la cantidad de potencia dirigida hacia adelante en una antena muy direccional.

Tipos de Antenas

Una clasificación de las antenas puede basarse en:

- **Frecuencia y tamaño.** Las antenas utilizadas para HF son diferentes de las antenas utilizadas para VHF, las cuales son diferentes de las antenas para microondas. La longitud de onda es diferente a diferentes frecuencias, por lo tanto las antenas deben ser diferentes en tamaño para radiar señales a la correcta longitud de onda. En este caso estamos particularmente interesados en las antenas que trabajan en el rango de microondas, especialmente en las frecuencias de los 2,4 GHz y 5 GHz. A los 2400 MHz la longitud de onda es 12,5cm, mientras que a los 5000 MHz es de 6cm.
- **Directividad.** Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas. Las **antenas omnidireccionales** irradian aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los 360°. Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra. Las **antenas sectoriales** irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180 grados, o tan angosto como 60 grados. Las **direccionales** o **directivas** son antenas en las cuales el ancho del haz es mucho más angosto que en las antenas sectoriales. Tienen la ganancia más alta y por lo tanto se utilizan para enlaces a larga distancia. Tipos de antenas directivas son las Yagi, las biquad, las de bocina, las helicoidales, las antenas patch, los platos parabólicos, y muchas otras.

- **Construcción física.** Las antenas pueden construirse de muchas formas diferentes, desde simples mallas, platos parabólicos, o latas de café.

Cuando consideramos antenas adecuadas para el uso en WLAN de 2,4GHz, se pueden utilizar otras clasificaciones:

- **Aplicaciones.** Los puntos de acceso tienden a hacer redes punto a multipunto, mientras que los enlaces remotos son punto a punto. Esto implica diferentes tipos de antenas para el propósito. Los nodos utilizados para accesos multipunto pueden utilizar tanto antenas omni, las cuales irradian igualmente en todas direcciones, como antenas sectoriales que se enfocan en un área limitada. En el caso de los enlaces punto a punto, las antenas se usan para conectar dos lugares. Las antenas directivas son la elección principal para esta aplicación.

Ahora le presentamos una breve lista de tipos comunes de antenas para la frecuencia de 2,4GHz, con una corta descripción de la información básica acerca de sus características.

Antena de 1/4 de longitud con plano de tierra

Esta antena es muy simple en su construcción y es útil para las comunicaciones cuando el tamaño, el costo y la facilidad de construcción son importantes. Esta antena se diseñó para transmitir una señal polarizada verticalmente. Consiste en un elemento de 1/4 de longitud onda como medio dipolo, y tres o cuatro elementos de un 1/4 de longitud de onda inclinados de 30 a 45 grados hacia abajo.



Figura 4.8: Antena de un cuarto de longitud de onda con plano de tierra.

Este conjunto de elementos, denominados radiales, constituyen el plano de tierra. Esta es una antena simple y efectiva que puede capturar una señal con igual facilidad en todas las direcciones. Para incrementar la ganancia, la señal puede hacerse más achatada para concentrar la radiación en el plano

horizontal. El ancho del haz vertical representa el grado de achatamiento en el foco. Esto es útil en una situación de punto a multipunto, si todas las otras antenas se encuentran a la misma altura. La ganancia de esta antena está en el orden de 2 a 4 dBi.

Antena Yagi

La antena Yagi básica consiste en un cierto número de elementos rectos que miden cada uno aproximadamente la mitad de la longitud de onda. El elemento excitado o activo de una Yagi es el equivalente a una antena dipolo de media onda con alimentación central. En paralelo al elemento activo, y a una distancia que va de 0,2 a 0,5 longitudes de onda en cada lado, hay varillas rectas o alambres llamados reflectores y directores, o simplemente elementos pasivos. Un reflector se ubica detrás del elemento activo y es ligeramente más largo que media longitud de onda; un director se coloca en frente del elemento activo y es ligeramente más corto que media longitud de onda. Una Yagi típica tiene un reflector y uno o más directores. La antena propaga la energía del campo electromagnético en la dirección que va desde el elemento activo hacia los directores, y es más sensible a la energía electromagnética entrante en esta misma dirección. Cuantos más directores tiene una Yagi, mayor la ganancia. Cuantos más directores se agreguen a una Yagi, la misma va a ser más larga. La siguiente es una foto de una antena Yagi con 6 directores y 1 reflector.

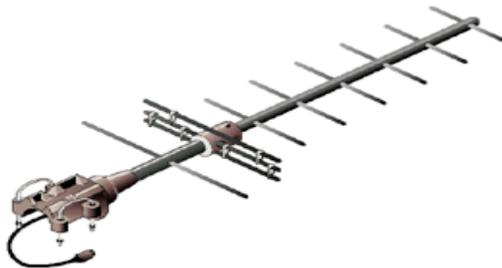


Figura 4.9: Una antena Yagi.

Las antenas Yagi son utilizadas principalmente por los enlaces Punto a Punto; tienen una ganancia desde 10 a 20 dBi y un ancho de haz horizontal de 10 a 20 grados.

Bocina

El nombre de la antena bocina deriva de su apariencia característica acampanada o de cuerno. La porción acampanada puede ser cuadrada, rectangular, cilíndrica o cónica. La dirección de máxima radiación se corresponde con el eje de la campana. Se puede alimentar sencillamente con una guía de onda, pero también puede hacerse con un cable coaxial y la transición ap-

ropiada. Las antenas bocina se utilizan comúnmente como el elemento activo en una antena de plato. La antena bocina se coloca hacia el centro del plato reflector. El uso de una bocina, en lugar de una antena dipolo o cualquier otro tipo de antena en el punto focal del plato, minimiza la pérdida de energía alrededor de los bordes del plato reflector. A 2,4GHz, una antena bocina simple hecha con una lata tiene una ganancia del orden de 10 a 15 dBi.



Figura 4.10: Antena bocina hecha con una lata de comida.

Plato Parabólico

Las antenas basadas en reflectores parabólicos son el tipo más común de antenas directivas cuando se requiere una gran ganancia. La ventaja principal es que pueden construirse para tener una ganancia y una directividad tan grande como sea requerido. La desventaja principal es que los platos grandes son difíciles de montar y están predispuestos a sufrir los efectos del viento.

Los platos de más de un metro generalmente están hechos de material sólido. Frecuentemente se utiliza el aluminio por una ventaja de peso, su durabilidad y sus buenas características eléctricas. El efecto del viento se incrementa rápidamente con el tamaño del plato y se convierte en un problema severo. A menudo se utilizan platos que tienen una superficie reflectora constituida por una malla abierta. Éstos tienen una relación de ganancia adelante/atrás más pobre pero son seguros de utilizar y sencillos de construir. Materiales como el cobre, aluminio, bronce (latón), acero galvanizado y hierro son apropiados para una malla.



Figura 4.11: Una antena plato sólida.

BiQuad

La antena BiQuad es fácil de armar y ofrece buena directividad y ganancia para las comunicaciones punto a punto. Consiste en dos cuadrados iguales de $1/4$ de longitud de onda como elemento de radiación y un plato metálico o malla como reflector. Esta antena tiene un ancho del haz de aproximadamente 70 grados y una ganancia en el orden de 10-12 dBi. Puede ser utilizada como una antena única o como un alimentador para un Plato Parabólico. Para encontrar la polarización, debemos observar el frente de la antena, con los cuadrados colocados lado a lado; en esa posición la polarización es vertical.



Figura 4.12: Antena BiQuad.

Otras Antenas

Existen muchos otros tipos de antenas y se crean nuevas siguiendo los avances tecnológicos.

- Antenas de Sector o Sectoriales: son muy usadas en la infraestructura de telefonía celular y en general se construyen agregando una cara reflectora a uno o más dipolos alimentados en fase. Su ancho de haz horizontal puede ser tan amplio como 180 grados, o tan angosto como 60 grados, mientras que el vertical generalmente es mucho más angosto. Las antenas compuestas pueden armarse con varios sectores para cubrir un rango horizontal más ancho (antena multisectorial).
- Antenas Panel o Patch: son paneles planos sólidos utilizados para cobertura interior, con una ganancia de hasta 20 dB.

Teoría de los Reflectores

La propiedad básica de un reflector parabólico perfecto es que convierte una onda esférica irradiada desde un punto fuente ubicado en el foco, en una onda plana. Recíprocamente, toda la energía recibida en el plato desde una fuente distante se refleja en un punto único en el foco del plato. La posición del foco, o distancia focal, está dada por:

$$f = \frac{D^2}{16 \times c}$$

...donde **D** es el diámetro del plato y **c** es la profundidad de la parábola en su centro.

El tamaño del plato es el factor más importante ya que determina la ganancia máxima que puede lograrse a una frecuencia dada y el ancho de haz resultante. La ganancia y el ancho de haz obtenidos son dados por:

$$\text{Ganancia} = \frac{(\pi \times D)^2}{\lambda^2} \times n$$

$$\text{Ancho del haz} = \frac{70 \lambda}{D}$$

...donde **D** es el diámetro del plato y **n** es la eficiencia. La eficiencia es determinada principalmente por la efectividad de la iluminación del plato por el alimentador, pero también por otros factores. Cada vez que el diámetro del plato se duplica, la ganancia se cuadruplica o incrementa en seis dB. Si ambas estaciones duplican el tamaño de sus platos, la intensidad de la señal

puede incrementarse en 12 dB, un aumento muy sustancial. Se puede estimar una eficiencia del 50% en una antena hecha a mano.

El coeficiente f / D (longitud focal/diámetro del plato) es el factor fundamental que define el diseño del alimentador para un plato. El coeficiente está directamente relacionado con el ancho del haz del alimentador necesario para iluminar el plato de forma efectiva. Dos platos del mismo diámetro pero con diferentes longitudes focales requieren diferentes diseños del alimentador si ambos van a ser iluminados eficientemente. El valor de 0,25 corresponde al plato común de plano focal en el cual el foco está en el mismo plano que el aro del plato.

Amplificadores

Como mencionamos anteriormente las antenas no crean potencia. Ellas simplemente dirigen toda la potencia disponible en un patrón particular. Por medio de la utilización de un **amplificador de potencia**, usted puede usar energía DC para aumentar su señal disponible. Un amplificador se conecta entre el transmisor de radio y la antena, y tiene un cable adicional que se conecta a una fuente de energía. Existen amplificadores para trabajar a 2,4GHz, que agregan varios vatios de potencia a su transmisión. Estos dispositivos detectan cuando el radio está transmitiendo, y empiezan a amplificar la señal. Cuando la transmisión termina se apagan otra vez. En recepción también agregan amplificación a la señal antes de enviarla al radio.

Desafortunadamente, el simple hecho de agregar amplificadores no va a resolver mágicamente todos los problemas de nuestra red. No discutimos acerca de los amplificadores de potencia en profundidad en este libro, porque hay varios inconvenientes en el uso de los mismos:

- **Son caros.** Los amplificadores deben trabajar a relativamente grandes anchos de banda a 2400MHz, y deben tener una conmutación lo suficientemente rápida para trabajar con aplicaciones Wi-Fi. Estos amplificadores existen pero tienden a costar varios cientos de dólares por unidad.
- **Va a necesitar por lo menos dos.** Mientras que las antenas proveen una ganancia recíproca que beneficia a ambos lados de la conexión, los amplificadores trabajan mejor amplificando una señal transmitida. Si se agrega sólo un amplificador en un extremo del enlace con una ganancia de antena insuficiente, ésta probablemente va a ser escuchada, pero usted no va a ser capaz de escuchar el otro extremo.
- **No proveen direccionalidad adicional.** Agregar ganancia a una antena provee beneficios de ganancia y direccionalidad a ambos extremos del enlace. No solo mejoran la cantidad disponible de señal sino que tienden a rechazar ruido desde otras direcciones. Los amplificadores amplían cie-

gamente tanto las señales deseadas como las interferencias, y pueden hacer que los problemas de interferencia sean peores.

- **Los amplificadores generan ruido para otros usuarios de la banda.** Debido al incremento de su potencia de salida, usted está creando una alta fuente de ruido para otros usuarios en la banda sin licenciamiento. Esto puede no ser un gran tema en áreas rurales, pero puede causar grandes problemas en áreas pobladas. Por el contrario, agregar ganancia de antena va a mejorar su enlace y puede bajar el nivel de ruido para sus vecinos.
- **Utilizar amplificadores puede ser ilegal. Cada país impone límites de potencia para el espectro sin licenciamiento.** Agregar una antena a una señal altamente amplificada, probablemente provoque que se excedan los límites legales.

La utilización de amplificadores a menudo se compara con el vecino desconsiderado que quiere escuchar la radio desde afuera de su casa y por eso sube el volumen al máximo. Hasta llega a “mejorar” la recepción poniendo sus parlantes fuera de la ventana. Si bien ahora es capaz de escuchar la radio, la escuchan también todos los del edificio. Este método sirve cuando existe un solo usuario, ¿pero qué sucede cuando todos los vecinos deciden hacer lo mismo con sus radios? Utilizar amplificadores para un enlace inalámbrico causa aproximadamente el mismo efecto a 2400MHz. Su enlace puede “funcionar mejor” por el momento, pero va a tener problemas cuando otros usuarios de la banda también decidan utilizar amplificadores.

Si utiliza antenas de gran ganancia en lugar de amplificadores, se evita todos estos problemas. El costo de las antenas es mucho menor que el de los amplificadores, y puede mejorar un enlace simplemente cambiando la antena en uno de los extremos. Tener radios más sensibles y cables de buena calidad también ayuda de forma significativa en enlaces a larga distancia. Estas técnicas no causan problemas a otros usuarios de la banda, y por lo tanto las recomendamos mucho más que agregar amplificadores.

Diseños prácticos de antenas

El costo de antenas de 2400MHz ha bajado drásticamente desde la introducción del estándar 802.11b. Los diseños innovadores utilizan partes simples y pocos materiales para conseguir imponentes ganancias con pocos pasos de fabricación. Desafortunadamente, la disponibilidad de buenas antenas aún es limitada en muchas zonas del mundo, e importarlas puede ser muy caro. Si bien diseñar una antena puede ser un proceso complejo y propenso a errores, construir antenas con componentes disponibles localmente es muy sencillo, y puede ser muy divertido. Presentamos cuatro prácticos diseños de antena que pueden armarse con muy poco dinero.

USB *dongle* como iluminador de un plato

Posiblemente el diseño de antena más simple es el uso de una parábola para dirigir la salida de un dispositivo inalámbrico USB (conocido en el ámbito de las redes como **USB *dongle***). Poniendo la antena dipolo interna presente en el dispositivo inalámbrico USB en el foco del plato parabólico, se puede obtener una ganancia significativa sin la necesidad de soldar o abrir el dispositivo inalámbrico en sí mismo. Muchos tipos de platos parabólicos pueden funcionar, incluyendo platos satelitales, antenas de televisión, y hasta implementos metálicos de la cocina (como un wok, una tapa redonda o un tamiz). Como un extra, se utilizan cables USB –baratos, libres de pérdidas de RF–, eliminando la necesidad de adquirir los cables coaxiales o heliax que son mucho más caros.

Para construir una parabólica con USB *dongle*, va a necesitar encontrar la orientación y la ubicación del dipolo dentro del *dongle*. La mayoría de los dispositivos orientan al dipolo para que el mismo esté paralelo con el borde corto del *dongle*, pero algunos montan el dipolo perpendicular al borde. Puede abrir el *dongle* y verificarlo por usted mismo, o simplemente probar el *dongle* en ambas posiciones y ver cuál provee más ganancia.

Para probar la antena, diríjala a un punto de acceso alejado varios metros, y conecte el *dongle* USB a una computadora portátil. Use el driver original del *dongle* o una herramienta como Netstumbler (vea el capítulo seis), y observe la intensidad de la señal recibida del punto de acceso. Ahora, mueva lentamente el *dongle* en relación con la parabólica y vaya mirando el medidor de intensidad de señal. Debe ver un aumento significativo en la ganancia (de 20 dB o más) cuando encuentre la posición adecuada. El dipolo generalmente se ubica de 3 a 5 centímetros de la base del disco, pero esto va a depender de la forma de la parábola. Busque varias posiciones mientras mira su medidor de intensidad de señal hasta que encuentre la posición óptima.

Una vez que encontró la mejor ubicación, fije el *dongle* en su lugar de forma segura. Va a tener que impermeabilizar el *dongle* y el cable si la antena se utiliza en exteriores. Use un compuesto de silicona o un segmento de tubo de PVC para proteger del clima los elementos electrónicos. Muchos diseños e ideas de parabólicas con alimentadores USB están documentados en línea en <http://www.usbwifi.orcon.net.nz/>.

Omni colineal

Esta antena es muy sencilla de armar; se requiere de un pedazo de alambre, un conector tipo N y una placa metálica cuadrada. Puede usarse para una cobertura punto a multipunto de corta distancia, en interiores o exteriores. La placa tiene un agujero perforado en el medio para colocar el chasis del

conector tipo N el cual se atornilla en el lugar. El alambre se suelda en la clavija del conector N y tiene espiras para desfasar los elementos activos. Se pueden hacer dos versiones de la antena: una con dos elementos activos y dos espiras, y otra con cuatro elementos activos y cuatro espiras. Para la antena más corta, la ganancia ronda los 5dBi, mientras que la más larga, con cuatro elementos, va a tener de 7 a 9 dBi de ganancia. Solo vamos a describir cómo construir la antena larga.

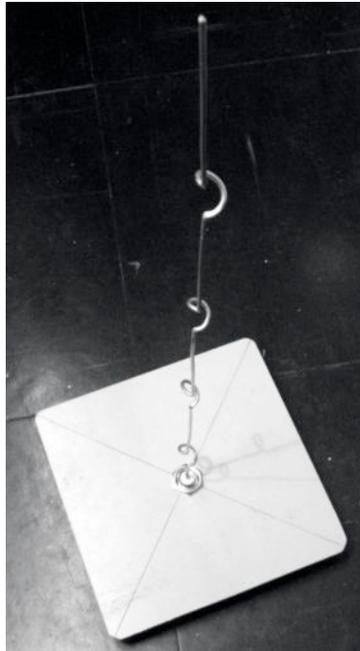


Figura 4.13: La antena omni colinear completa

Lista de componentes

- Un conector tipo N hembra de rosca
- 50 cm de alambre de bronce o de cobre de 2 mm de diámetro
- Una placa metálica cuadrada de 10x10 cm o más grande



Figura 4.14: Placa de aluminio de 10 cm x 10 cm.

Herramientas requeridas

- Regla
- Pinzas
- Lima
- Estaño y soldador
- Taladro con un juego de mechas para metal (incluyendo una mecha de 1,5 cm. de diámetro)
- Un pedazo de tubo, o una mecha con un diámetro de 1 cm.
- Prensa o abrazadera
- Martillo
- Llave inglesa

Construcción

1. Enderece el alambre utilizando la prensa.



Figura 4.15: Deje el alambre tan recto como le sea posible.

2. Con un marcador, dibuje una línea a 2,5 cm comenzando desde uno de los extremos del alambre. En esa línea doble el alambre a 90 grados con la ayuda de la prensa y el martillo.



Figura 4.16: Golpee con delicadeza el alambre para hacer una curva cerrada.

3. Dibuje otra línea a una distancia de 3,6 cm desde la curva anterior. Utilice la prensa y el martillo, doble otra vez el alambre en esta segunda línea a 90 grados, en la dirección opuesta a la primera curva pero en el mismo plano. El alambre debe verse como una "Z".

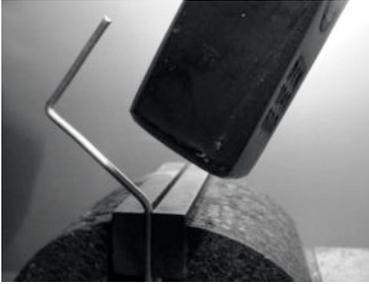


Figura 4.17: Doblar el alambre en forma de "Z".

4. Vamos a retorcer la porción "Z" del alambre para hacer un anillo de 1 cm de diámetro. Para esto, vamos a utilizar el tubo o la mecha y curvamos el alambre a su alrededor, con la ayuda de la prensa y de las pinzas.



Figura 4.18: Curvar el alambre alrededor de un tubo para hacer un anillo.

El anillo va a verse así:



Figura 4.19: El anillo completo.

5. Debe hacer un segundo anillo a una distancia de 7,8 cm desde el primero. Ambos anillos deben tener la misma dirección de giro y deben ubicarse alineados del mismo lado del alambre. Haga un tercer y cuarto anillo siguiendo el mismo procedimiento, y a la misma distancia de 7,8

cm cada uno del otro. Corte el último elemento activo a una distancia de 8,0 cm desde el cuarto anillo.

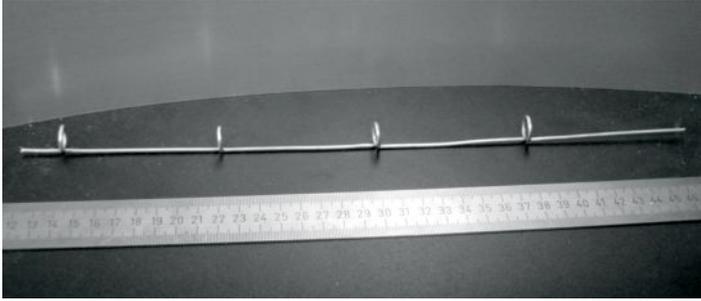


Figura 4.20: Intente mantenerlo lo más recto posible.

Si los anillos fueron hechos correctamente, ahora debe ser posible insertar un tubo a través de todos ellos como se muestra en la imagen.

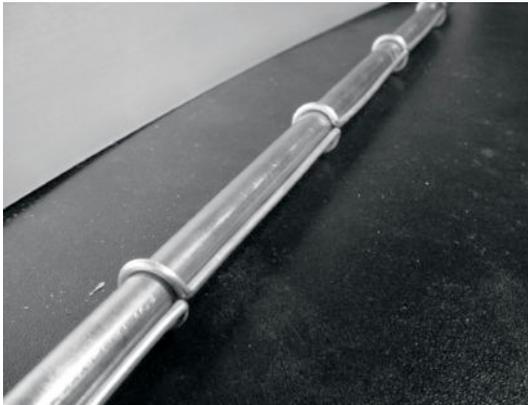


Figura 4.21: Insertar un tubo puede ayudar a enderezar el alambre.

6. Con un marcador y una regla, dibuje las diagonales en la placa metálica para encontrar su centro. Con una mecha pequeña, haga un agujero piloto en el centro de la placa. Incremente el diámetro del agujero utilizando mechas de mayor diámetro.

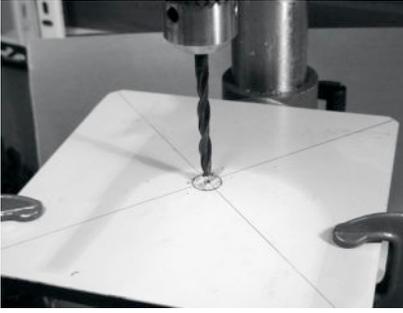


Figura 4.22: Taladrar el agujero en la placa de metal.

El conector N debe encajar exactamente en la perforación. Si es necesario use una lima.



Figura 4.23: El conector N debe encajar exactamente en la perforación.

7. Para tener una impedancia de antena de 50 Ohms, es importante que la superficie visible del aislante interno del conector (el área blanca alrededor de la clavija central) esté al mismo nivel que la superficie de la placa. Por esta razón, debe cortar 0,5 cm de un tubo de cobre con un diámetro externo de 2 cm, y colocarlo entre el conector y la placa.



Figura 4.24: Agregar un tubo de cobre espaciador ayuda a obtener la impedancia de la antena de 50 Ohms.

- Atornille la tuerca al conector para fijarlo firmemente en la placa utilizando la llave inglesa.



Figura 4.25: Asegure el conector N firmemente a la placa

- Pula con la lima el lado del alambre que tiene 2,5 cm de largo desde el primer anillo. Cubra de estaño aproximadamente 0,5 cm en el extremo pulido ayudándose con la prensa.

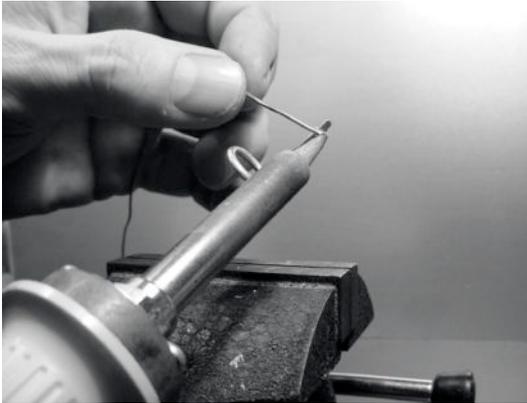


Figura 4.26: Agregue una pequeña capa de estaño al extremo del alambre para “estañearla” antes de soldarlo.

- Con el soldador, “estañee” la clavija del conector. Mantenga el alambre en posición vertical con las pinzas y suelde el lado “con estaño” en la clavija. El primer anillo debe estar a 3,0 cm de la placa



Figura 4.27: El primer anillo debe comenzar a 3,0 cm desde la superficie de la placa

11. Ahora vamos a estirar los anillos extendiendo el largo total del alambre. Usando la prensa y las pinzas estire el alambre hasta que el largo final de cada anillo sea de 2,0 cm.



Figura 4.28: Estirar los anillos. Sea muy cuidadoso y trate de no raspar la superficie del alambre con las pinzas.

12. Repita el mismo procedimiento para los otros tres anillos, llevando su longitud hasta 2,0 cm.

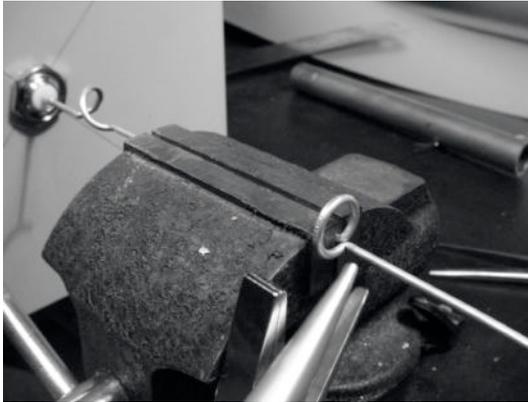


Figura 4.29: Repita el procedimiento de ajuste para todos los anillos restantes.

13. Al terminar, la antena debe medir 42,5 cm desde la placa hasta la punta.

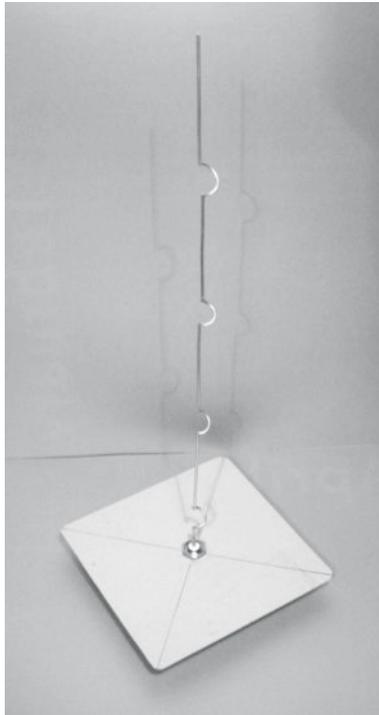


Figura 4.30: La antena terminada debe medir 42,5 cm. desde la placa hasta el final del alambre.

14. Si tiene un Analizador de Espectro con un Generador de Barrido y un Acoplador Direccional, puede chequear la curva de la potencia reflejada de la antena. La imagen que sigue muestra el despliegue del Analizador de Espectro.

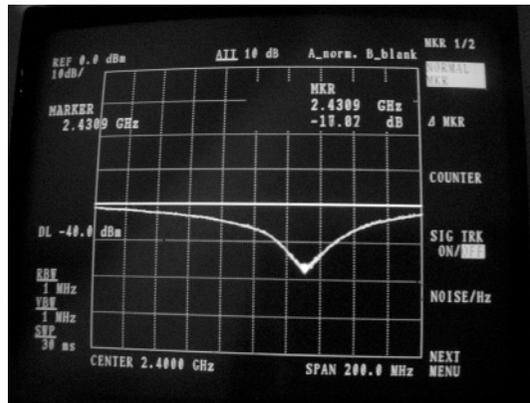


Figura 4.31: Un trazado del espectro de la potencia reflejada por la antena omnidireccional.

Si quiere utilizar esta antena en exteriores, va a necesitar impermeabilizarla. Un método simple es encerrar toda la antena en un tubo de PVC cerrado con tapas. Abra una perforación abajo para la línea de transmisión y selle la antena con silicona o pegamento.

Antena de lata o de guía-onda

Esta antena algunas veces llamada Cantenna, utiliza una lata como guía de onda y un cable corto soldado a un conector N como sonda para la transición del cable coaxial a la guía de onda. Puede construirse fácilmente al precio del conector únicamente, reciclando una lata de comida o de jugo. Es una antena direccional, útil para enlaces punto a punto de corta a media distancia. También puede utilizarse como alimentador para un plato o una malla parabólica.

No todas las latas son buenas para construir una antena porque existen algunas limitaciones en cuanto a la dimensión:

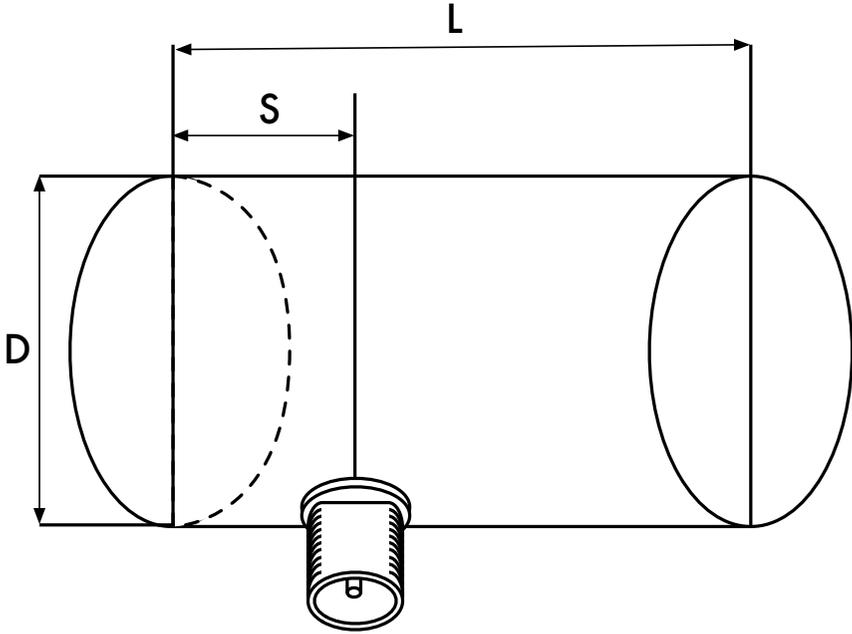


Figura 4.32: Limitaciones de dimensión en la antena guía-onda.

1. Los valores aceptables para el diámetro D del alimentador están entre 0,60 y 0,75 de longitud de onda en el aire a la frecuencia designada. A 2440 MHz la longitud de onda λ es de 12,2 cm, por lo tanto, el diámetro de la lata debe estar en el rango de 7,3 a 9,2 cm.
2. El largo L de la lata debería ser preferiblemente de al menos $0,75 \lambda_G$, donde λ_G es la longitud de onda dentro de la guía y está dada por:

$$\lambda_G = \frac{\lambda}{\text{sqrt}(1 - (\lambda / 1.706D)^2)}$$

Cuando D sea = 7,3 cm, necesitamos una lata de al menos 56,4 cm, mientras que para $D = 9,2$ cm la lata debería ser de al menos 14,8 cm. Generalmente cuanto más chico el diámetro, más larga debe ser la lata. Por ejemplo, vamos a usar latas de aceite que tienen un diámetro de 8,3 cm y una altura de aproximadamente 21 cm.

3. El elemento activo para la transición del cable coaxial a la guía de onda debe posicionarse a una distancia S desde el fondo de la lata, dada por:

$$S = 0.25 \lambda_G$$

Su largo debe ser de $0,25 \lambda$, el cual a 2440 MHz corresponde a 3,05 cm.

La ganancia para esta antena va a estar en el orden de 10 a 14 dBi, con un ancho de haz de alrededor de 60 grados.



Figura 4.33: La antena guía-onda terminada.

Lista de componentes

- Un conector tipo N hembra atornillable
- 4 cm de alambre de bronce o de cobre de 2 mm de diámetro
- Una lata de aceite de 8,3 cm de diámetro y 21 cm. de largo



Figura 4.34: Componentes necesarios para la antena de lata.

Herramientas requeridas

- Abrelatas
- Regla
- Pinzas
- Lima
- Soldador
- Estaño
- Taladro con un juego de mechas para metal (con una mecha de 1,5 cm de diámetro)
- Prensa o abrazadera
- Llave inglesa
- Martillo
- Perforadora / Sacabocados

Construcción

1. Con el abrelatas quite cuidadosamente la parte superior de la lata.



Figura 4.35: Tenga cuidado con las puntas afiladas de los bordes al abrir la lata.

El disco circular tiene puntas muy afiladas. ¡Sea cuidadoso al manejarla! Vacíe la lata y lávela con jabón. Si la lata contenía ananás, galletitas, u otras cosas sabrosas, tenga la bondad de servir la comida a un amigo.

2. Con la regla, mida 6,2 cm desde el fondo de la lata y dibuje un punto. Tenga cuidado de medir desde el lado interior del fondo. Utilice un punzón (o una mecha pequeña o un destornillador Phillips) y un martillo para marcar el punto. Esto hace que sea más sencillo taladrar el agujero de forma precisa. Asegúrese de no deformar la lata insertando un pequeño bloque de madera u otro objeto dentro de la lata antes de golpearla.



Figura 4.36: Marque el agujero antes de taladrar.

3. Con una mecha pequeña del taladro, haga un agujero en la posición previamente marcada. Incremente el diámetro del mismo utilizando mechas con un diámetro cada vez mayor. El conector N debe encajar exactamente en la perforación. Use la lima para alisar el borde del agu-

jero y para remover la pintura que lo rodea para asegurar un mejor contacto eléctrico con el conector.



Figura 4.37: Taladre cuidadosamente un agujero piloto, luego use una mecha más grande para terminar el trabajo.

4. Alise con la lima uno de los extremos del alambre. Cubra con estaño el alambre alrededor de 0,5 cm en el mismo extremo ayudándose con la prensa.



Figura 4.38: Estaño el extremo del alambre antes de soldarlo.

5. Con el soldador, suelde la clavija del conector. Mantenga el alambre en posición vertical con las pinzas, suelde el lado estañado en el agujero de la clavija



Figura 4.39: Suelde el alambre a la copa dorada en el conector N.

6. Inserte una arandela y atornille suavemente la tuerca en el conector. Recorte el alambre a 3,05 cm medidos desde la base de la tuerca.

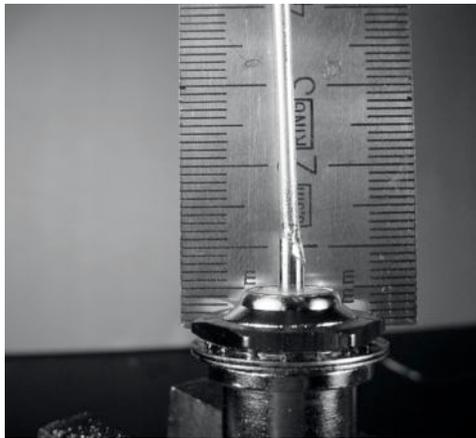


Figura 4.40: El largo del alambre es crucial.

7. Destornille la tuerca del conector, dejando la arandela en el lugar. Inserte el conector en el agujero de la lata. Atornille la tuerca al conector desde el interior de la lata.



Figura 4.41: Arme la antena.

8. Utilice las pinzas o la llave inglesa para ajustar firmemente la tuerca al conector. ¡Ha terminado!



Figura 4.42: Su antena guía-onda terminada

Al igual que los otros diseños de antenas, debe hacer una cubierta a prueba de agua para la antena si quiere usarla en exteriores. El PVC funciona bien para la antena de lata. Coloque toda la antena en un tubo grande de PVC, y selle los extremos con tapas y pegamento. Va a tener que hacer una perforación en un lado del tubo en el lado de la lata para pasar el conector N con la línea de transmisión.

La antena de lata como alimentador de plato

Al igual que con la parabólica con *dongle* USB, se puede utilizar el diseño antena de lata como un alimentador para obtener una ganancia significati-

vamente mayor. Monte la antena de lata en la parabólica con el lado abierto de la lata enfocando al centro del plato. Use la técnica descrita en el ejemplo de la antena *dongle* USB (observar cómo cambia la intensidad de la señal variando la posición del iluminador) para encontrar la ubicación óptima de la lata para el plato que está usando.

Con el uso de una antena de lata bien construida en una parabólica afinada correctamente, se puede lograr una ganancia global de la antena de 30dBi o más. Al incrementar el tamaño de la parabólica, se aumenta la ganancia y la directividad de la antena. Con parábolas muy grandes, usted puede obtener una ganancia mucho más grande.

Por ejemplo, en 2005, un equipo de estudiantes estableció exitosamente un enlace desde Nevada a Utah en los Estados Unidos. ¡El enlace cruzaba una distancia de más de 200 kilómetros! Estos entusiastas del mundo inalámbrico usaron platos de satélite de 3,5 metros para establecer un enlace 802.11b que corría a 11Mbps, sin utilizar un amplificador. Los detalles acerca de este logro pueden encontrarse en <http://www.wifi-shootout.com/>

El 13 de abril de 2006, un equipo de la Fundación EsLaRed (Ermanno Pietrosevoli y Javier Triviño), y del ICTP (Carlo Fonda) lograron transferir archivos con tecnología Wi-Fi a una distancia de 279 km usando dos enrutadores Linksys WRT54 con firmware de código abierto. Se usaron antenas satelitales recicladas, a la frecuencia de 2.412 MHz, sin emplear amplificadores. La experiencia se realizó en Venezuela, entre el Pico del Águila, a 4.100m, y el cerro El Baúl, a 125 m de altura. Detalles en <http://www.wilac.net/>

NEC2

El **NEC2**, nombrado así por **Numerical Electromagnetics Code**, es un paquete de modelación de antenas gratuito. NEC2 le permite construir un modelo de antena en 3D, y luego analiza la respuesta electromagnética de la misma. Fue desarrollado hace más de diez años y ha sido compilado para correr en diferentes sistemas de computadoras. NEC2 es particularmente efectivo para analizar modelos basados en configuraciones de alambres, pero también tiene ciertas facilidades para modelar superficies planas.

El diseño de la antena se describe en un archivo de texto, y luego se construye el modelo utilizando esa descripción textual. Una antena descrita en NEC2 está dada en dos partes: su **estructura** y una secuencia de **controles**. La estructura es simplemente una descripción numérica de dónde se localizan las diferentes partes de la antena y cómo están conectados los alambres. Los controles le dicen a NEC dónde está conectada la fuente de RF. Una vez definidos, se modela la antena transmisora. Debido al teorema de reciprocidad el patrón de ganancia de transmisión es el mismo que el de

recepción, por lo tanto modelar las características de transmisión es suficiente para comprender el comportamiento de la antena en su totalidad.

Se debe especificar una frecuencia o rango de frecuencias de la señal de RF. El siguiente elemento importante son las características del terreno. La conductividad de la tierra varía mucho de lugar a lugar, pero en muchos casos juega un rol vital en determinar el patrón de ganancia de la antena.

Para correr NEC2 en Linux, instale el paquete NEC2 desde el URL que está abajo. Para iniciarlo, escriba `nec2` e ingrese los nombres de los archivos de entrada y de salida. También vale la pena instalar el paquete `xnecview` para verificar la estructura y el trazado del patrón de radiación. Si todo funciona bien, se debe obtener un archivo que contiene el resultado. Este puede separarse en varias secciones, pero para una rápida idea de lo que representa se puede trazar un patrón de ganancia utilizando `xnecview`. Usted debería ver el patrón esperado, omnidireccional horizontalmente, con un pico correspondiente al ángulo óptimo de salida. También están disponibles las versiones Windows y Mac.

La ventaja de NEC2 es que podemos tener una idea de cómo funciona la antena antes de construirla y cómo podemos modificar el diseño para tener la ganancia máxima posible. Es una herramienta compleja y requiere algo de investigación para aprender a utilizarla efectivamente, pero es invaluable para los diseñadores de antenas.

NEC2 está disponible desde los "Archivos NEC no Oficiales" de Ray Anderson en <http://www.si-list.org/swindex2.html>

Se puede obtener documentación en la "Página Principal no Oficial de NEC" en <http://www.nittany-scientific.com/nec/>

5

Equipamiento para Redes

En el último par de años, el surgimiento de un interés sin precedentes en el equipamiento para redes inalámbricas ha traído una enorme variedad de equipos económicos al mercado. Tanta variedad, que resultaría imposible catalogar cada uno de los componentes disponibles. En este capítulo, nos enfocamos en clasificar la clase de características y atributos que son deseables en los componentes inalámbricos, y vemos varios ejemplos de herramientas comerciales y DIY (hágalo usted mismo) que han funcionado bien en el pasado.

Cableado Inalámbrico

Con un nombre como el de “inalámbrico”, usted podría sorprenderse de cuántos cables están involucrados en el desarrollo de un simple enlace punto a punto. Un nodo inalámbrico está conformado por varios componentes que deben estar conectados entre sí con el cableado apropiado. Obviamente, se necesita al menos una computadora conectada a una red Ethernet, un enrutador inalámbrico, o un puente en la misma red. Los componentes de radio deben conectarse a las antenas, pero en el trayecto pueden requerir un amplificador, un protector contra rayos (es un dispositivo de tres terminales, uno conectado a la antena, el otro al radio y el tercero a tierra), u otro dispositivo. Muchos de éstos requieren energía, ya sea a través de otro cable AC, o utilizando un transformador DC. Todos estos componentes utilizan varias clases de conectores, sin mencionar una amplia variedad de tipos de cable de diferentes calibres.

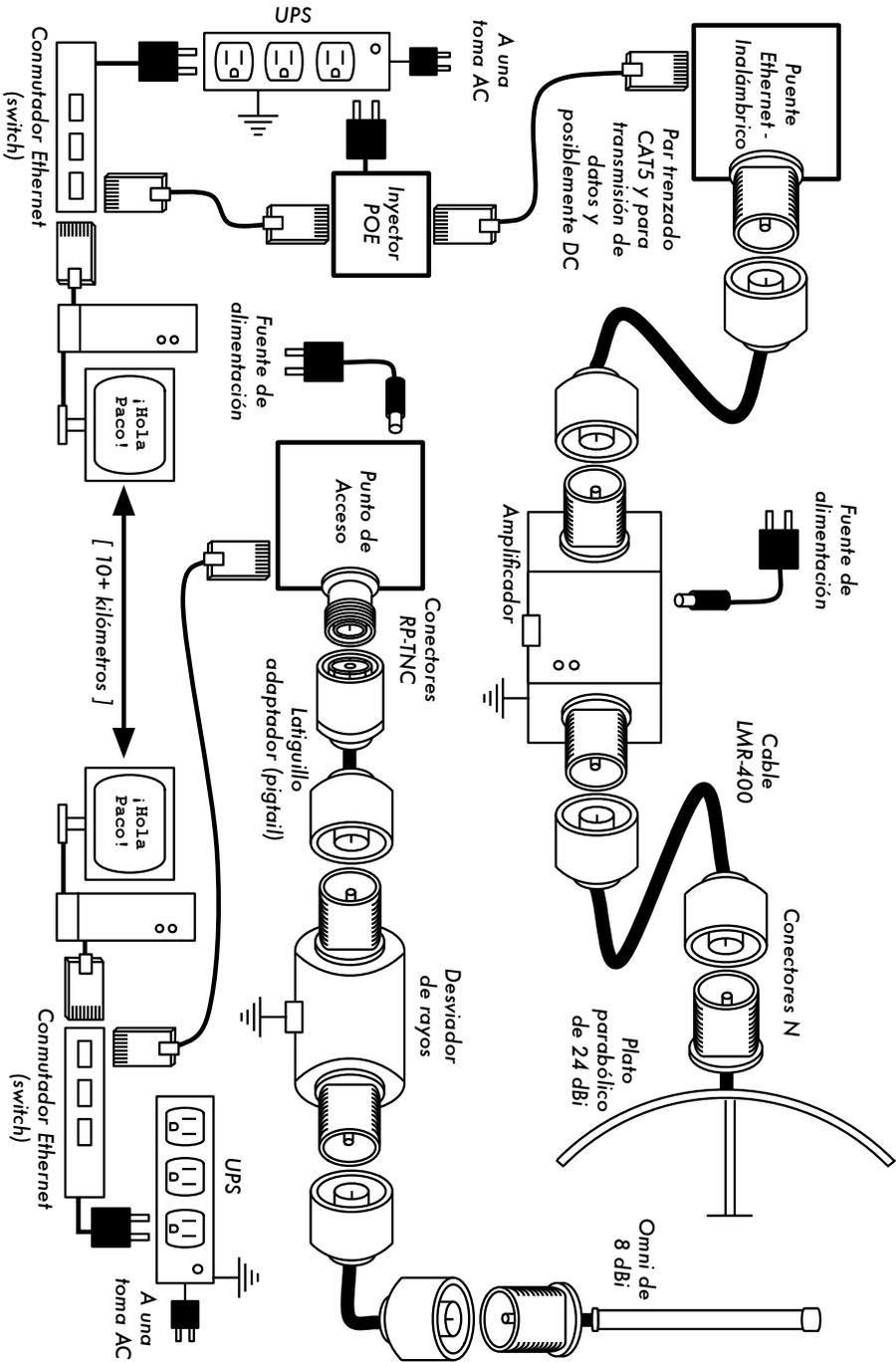


Figura 5.1: Interconexión de Componentes. .

Ahora multiplique esos cables y conectores por el número de nodos que va a instalar, y bien puede estar preguntándose porqué nos referimos a esta tecnología como “inalámbrica”. El diagrama en la siguiente página le va a dar alguna idea del cableado requerido para un enlace típico punto a punto. Note que este diagrama no está a escala y no es necesariamente la mejor opción para el diseño de su red, pero le permitirá conocer en principio la variedad de conectores y componentes comunes que probablemente encontrará en el mundo real.

Aunque los componentes utilizados varían de nodo a nodo, toda instalación va incorporar estas partes:

1. Una computadora o una red conectada a un conmutador Ethernet (switch).
2. Un dispositivo que conecte esa red a un dispositivo inalámbrico (un enrutador inalámbrico, un puente o un repetidor).
3. Una antena integrada en el dispositivo inalámbrico, o conectada mediante un cable apropiado.
4. Componentes eléctricos consistentes en fuentes de alimentación, acondicionadores de energía, y protectores contra rayos.

La selección del equipamiento debe determinarse estableciendo los requerimientos del proyecto, el presupuesto disponible, y verificando que el proyecto sea viable utilizando los recursos disponibles (incluyendo provisiones para repuestos y costos de mantenimiento). Como discutimos en el capítulo uno, establecer el alcance de su proyecto es básico antes de tomar cualquier decisión de adquisiciones.

Eligiendo los componentes inalámbricos

Desafortunadamente, en un mundo de fabricantes de equipamiento que compiten entre sí y con una disponibilidad limitada de fondos, el tema del precio es el factor que generalmente recibe la mayor atención. El viejo dicho “tanto pagas, tanto obtienes” se cumple cuando compramos equipamiento de alta tecnología, pero no debe ser considerado como una verdad absoluta. Mientras que el precio es una parte importante de cualquier decisión de compra, es de vital importancia comprender precisamente qué es lo que puede obtener por su dinero, para que pueda hacer una elección que se ajuste a sus necesidades.

Cuando compare equipamiento inalámbrico para ser usado en su red, asegúrese de considerar estas variables:

- **Interoperabilidad.** ¿El equipamiento que está considerando funcionará con el de otros fabricantes? Si no es así, ¿es un factor importante para este segmento de su red? Si el equipo en cuestión soporta un protocolo abierto (como el 802.11b/g), entonces probablemente va a funcionar con equipamiento de otras fuentes.
- **Rango.** Como dijimos en el capítulo cuatro, el rango no es algo inherente a una pieza particular del equipo. El rango de un dispositivo depende de la antena conectada a él, el terreno que lo rodea, las características del dispositivo en el otro extremo del enlace, además de otros factores. En lugar de confiar en el valor del “rango” semi-ficticio provisto por el fabricante, es más útil conocer la **potencia de transmisión** del radio así como la **ganancia de la antena** (si está incluida la antena). Con esta información usted puede calcular el rango teórico como fue descrito en el capítulo tres.
- **Sensibilidad del radio.** ¿Cuán sensible es el dispositivo de radio a una tasa de transferencia dada? El fabricante debe proveer esta información, al menos a las velocidades más rápidas y más lentas. Esto puede utilizarse como una medida de la calidad del equipo, y le permite completar el cálculo del costo del enlace. Como vimos en el capítulo tres, mientras más bajo sea este valor mejor será la sensibilidad del radio.
- **Rendimiento.** Los fabricantes sistemáticamente ponen la tasa de transferencia más alta posible como la “velocidad” de su equipo. Tenga en mente que el valor de la tasa de transferencia del radio (ej. 54Mbps) nunca es el verdadero rendimiento del dispositivo (ej. aproximadamente 22Mbps para 802.11g). Si la información del rendimiento no está disponible para el dispositivo que usted está evaluando, un buen truco es dividir la “velocidad” del dispositivo por dos, y restar el 20% más o menos. Si tiene alguna duda, realice la prueba de rendimiento en una unidad de evaluación antes de comprometerse a adquirir una gran cantidad de equipamiento que no especifica una tasa de rendimiento oficial.
- **Accesorios requeridos.** Para mantener el precio inicial bajo, los vendedores a menudo quitan accesorios que se requieren para un uso normal. ¿El precio incluye todos los adaptadores de potencia? (Las fuentes DC generalmente se incluyen; pero los inyectores de potencia para Ethernet (POE) en general no. Del mismo modo, revise dos veces los voltajes de entrada, ya que el equipo normalmente viene con especificaciones de alimentación correspondiente a los estándares utilizados en los Estados Unidos. ¿Viene con los *pigtails*, adaptadores, cables, antenas, y las tarjetas de radio? Si piensa usarlo en exteriores, ¿incluye el dispositivo una caja impermeable?
- **Disponibilidad.** ¿Va a ser capaz de reemplazar los componentes que se rompan? ¿Puede ordenar esa parte en grandes cantidades? ¿Su proyecto va a requerir esas partes? ¿Cuál es el lapso de vida proyectado de este

producto en particular, en términos de tiempo de funcionamiento en el campo y probabilidad de que el vendedor lo siga suministrando?

- **Otros factores.** Asegúrese de que se provean otras características importantes para satisfacer sus necesidades particulares. Por ejemplo, ¿incluye el dispositivo un conector para una antena externa? Si lo hace, ¿de qué tipo es? ¿Existen limitaciones en número de usuarios o en el rendimiento impuestas por software, y si las hay, cuál es el costo de extender esos límites? ¿Cuál es la forma física del dispositivo? ¿Cuánta potencia consume? ¿Soporta POE como fuente de potencia? ¿Provee encriptación, NAT, herramientas de monitoreo de ancho de banda, u otras características críticas para el diseño de la red?

Contestando estas preguntas primero, va a poder tomar decisiones de compra inteligentes cuando sea el momento de elegir el equipamiento de la red. Es casi imposible que usted pueda contestar todas las dudas posibles antes de comprar el equipo, pero si le da prioridad a estas preguntas y presiona al vendedor para que las conteste antes de comprometerse a comprar, hará un mejor uso de su presupuesto y va a construir una red con componentes que se adecuen a sus necesidades.

Soluciones comerciales vs. Soluciones DIY (hágalo usted mismo)

Lo más seguro es que su proyecto de red incluya componentes adquiridos a través de proveedores externos así como otros conseguidos o fabricados localmente. Esta es una verdad económica en la mayor parte del mundo. En este estadio de la tecnología humana, la distribución global de la información es algo trivial en comparación a la distribución global de bienes. En muchas regiones, importar cada componente necesario para construir la red es prohibitivamente caro para la mayoría, aún para los grandes presupuestos. Se puede ahorrar mucho dinero a corto plazo encontrando fuentes locales para partes y mano de obra, e importar sólo aquellos componentes que lo ameriten.

Por supuesto que hay un límite a lo que puede ser hecho por una persona o un grupo en un tiempo determinado. Para ponerlo de otra forma, mediante la importación de tecnología, se intercambia dinero por equipamiento que le puede solucionar un problema particular en un periodo comparativamente inferior de tiempo. El arte de construir infraestructuras de comunicaciones locales está en encontrar el correcto balance entre el dinero y el esfuerzo que se necesita para resolver un problema dado.

Algunos componentes como las tarjetas de radio y los cables de antenas, son definitivamente muy complejos como para considerar fabricarlos local-

mente. Sin embargo, otros elementos como las antenas y las torres son relativamente simples y pueden hacerse a nivel local por una fracción del costo de importación. Entre estos dos extremos se encuentran los dispositivos de comunicación en sí.

Utilizando componentes disponibles como las tarjetas de radio, placas madre, y otros, se pueden construir dispositivos que provean características comparables (o aún superiores) a la mayoría de las implementaciones comerciales. Combinar plataformas de equipamiento abiertas con software de fuente abierta puede resultar en una verdadera ganga, porque provee soluciones robustas y a la medida por muy bajo costo.

Esto no quiere decir que el equipamiento comercial sea inferior a una solución “hágalo usted mismo”. Al proveernos las conocidas “llave en mano”, los fabricantes no sólo nos ahorran tiempo de desarrollo, sino que también permiten que personas relativamente no calificadas puedan instalar y mantener el equipamiento. La fortaleza principal de las soluciones comerciales es que ellas proveen **soporte y garantía de equipamiento** (usualmente limitada). También tienen una **plataforma consistente** que tiende a que las instalaciones de red sean muy estables y a menudo intercambiables.

Si una parte del equipamiento no funciona, es difícil de configurar, o tiene problemas, un buen fabricante lo va a asistir. Si en uso normal el equipamiento falla (excluyendo daños extremos, como los ocasionados por la caída de un rayo), el fabricante lo va a reemplazar. La mayoría ofrecen esos servicios por un tiempo limitado como parte del precio de compra, y otros brindan soporte y garantía por un período de tiempo extendido mediante el pago de una cuota mensual. Teniendo una plataforma consistente es sencillo tener los repuestos a mano y simplemente “cambiar” el equipo que falla sin la necesidad de un técnico que configure el equipo. Evidentemente esto viene de la mano de un costo inicial más alto si lo comparamos con los componentes disponibles localmente.

Desde el punto de vista de un arquitecto de red, los tres grandes riesgos ocultos al elegir soluciones comerciales son: **quedar atrapado con un proveedor**, las **líneas de productos descontinuadas**, y **los costos de licenciamiento futuro**.

Puede ser muy costoso dejar que las mal denominadas nuevas “características” dirijan el desarrollo de su red. Los fabricantes frecuentemente van a ofrecerle características que son incompatibles por su diseño con los de la competencia, y luego usan elementos de mercadeo para convencerlo de que usted no puede vivir sin éstas, sin importar que la característica contribuya a solucionar sus problemas de comunicación o no. Al empezar a contar con esas características, probablemente en el futuro decidirá continuar comprando equipamiento del mismo fabricante. Esa es la esencia de quedar

atrapado con el proveedor. Si una gran institución utiliza una cantidad significativa de equipamiento patentado, es improbable que simplemente vaya a abandonarlo para considerar un proveedor diferente. Los equipos de venta saben esto (y de hecho, algunos cuentan con ello) y utilizan esto como estrategia para la negociación de precios.

Un fabricante puede eventualmente decidir discontinuar una línea de productos sin importar su popularidad. Esto asegura que los clientes, que ya confiaban en las características del producto patentado del fabricante, van a comprar los nuevos modelos (casi siempre más caros). Los efectos a largo plazo de quedar atrapado con el proveedor y con los productos discontinuados, son difíciles de estimar cuando planificamos un proyecto de red, pero deben tenerse en mente.

Finalmente, si una pieza en particular del equipamiento utiliza un código de computadora patentado, usted va a tener que licenciar el uso de ese código en contratos futuros. El costo de esas licencias puede variar dependiendo de las características que brinda, el número de usuarios, la velocidad de la conexión u otros factores. ¡Si no se paga el costo de la licencia, algunos equipos están diseñados para simplemente dejar de funcionar hasta que se provea una licencia válida! Asegúrese de que comprende los términos de uso de cualquier equipamiento que adquiera, incluyendo las futuras cuotas de licenciamiento.

Usando equipamiento genérico que soporta estándares abiertos y software de fuente abierta, se pueden evitar algunos de estos riesgos. Por ejemplo, es muy difícil verse atrapado por un proveedor que utiliza protocolos abiertos (tales como TCP/IP sobre 802.11a/b/g). Si tiene un problema con el equipo o con el proveedor, siempre puede adquirirlo de otro proveedor, ya que va a funcionar con lo que usted ya compró. Es por estas razones que recomendamos utilizar protocolos patentados y espectro con licenciamiento **sólo** en casos donde el equivalente abierto (como el 802.11a/b/g) no es viable técnicamente.

Si bien los productos individuales pueden discontinuarse en cualquier momento, usted puede limitar el impacto que esto va a tener en su red utilizando componentes genéricos. Por ejemplo, si una *placa madre* particular ya no está disponible en el mercado, puede tener a mano varias *placas madre* de PC que van a desempeñarse efectivamente en la misma tarea. Más adelante en este capítulo vamos a ver algunos ejemplos de cómo utilizar esos componentes genéricos para construir un nodo inalámbrico completo.

Obviamente, no va a haber costos de licenciamiento en cuanto al software libre (con la excepción de un proveedor que ofrezca soporte u otros servicios sin cobrar por el uso del software en sí mismo). Ha habido ocasionalmente vendedores que se aprovechan indebidamente del regalo que los programa-

dores de fuente abierta le han dado al mundo, exigiendo el pago de licencias, violando de ese modo los términos de distribución acordados por los autores originales. Sería bueno evitar a dichos vendedores, y desconfiar de aquellas afirmaciones de “software libre” que, sin embargo, estipulan una cuota de licenciamiento a futuro.

La desventaja de utilizar software libre y equipamiento genérico es claramente una cuestión de soporte. Cuando lleguen los problemas a la red, va a tener que resolverlos por usted mismo. Esto a veces se logra consultando recursos gratuitos en línea y motores de búsqueda, y aplicando los parches al código directamente. Si no tiene ningún miembro de su equipo que sea competente en el tema y se dedique a diseñar soluciones a sus problemas de comunicación, entonces poner en marcha un proyecto de red puede tomar una cantidad considerable de tiempo. Por supuesto que tampoco hay garantías de que simplemente “a punta de dinero” se resuelva el problema. Si bien damos varios ejemplos de cómo hacer el trabajo usted mismo, seguramente le va a resultar un gran desafío. Necesita encontrar el balance entre el enfoque de las soluciones comerciales y las hechas por usted mismo, que funcionen de forma adecuada a su proyecto.

En resumen, siempre defina primero el objetivo de su red, identifique los recursos que puede tener para lidiar con el problema, y permita que la selección del equipamiento emerja naturalmente de esos resultados. Considere las soluciones comerciales así como los componentes abiertos, manteniendo siempre en mente los costos a largo plazo de ambas.

Productos inalámbricos profesionales

En el mercado existe equipamiento en abundancia para enlaces punto a punto (P2P) a larga distancia. La mayoría ya está listo para ponerse en funcionamiento al sacarlo de la caja; solamente debemos conectar y sellar los cables de la antena. Cuando pensamos en un enlace a larga distancia, existen tres factores principales que debemos considerar: la distancia total del enlace, los requerimientos de tiempo de puesta en funcionamiento, y por supuesto los requerimientos de velocidad.

La mayoría de los productos comerciales disponibles en la actualidad para enlaces de largo alcance, utilizan tecnología OFDM y operan en la banda ISM de 5800 MHz. Existen algunos productos que utilizan estándares abiertos, pero la mayoría tienen protocolos propietarios de algún tipo. Esto significa que para formar un enlace, las radios de ambos lados deben ser del mismo fabricante. Para el caso de un enlace crítico es una buena idea elegir un sistema que utilice equipamiento idéntico en ambos extremos del enlace. De esta forma se necesita tener almacenado solamente un repuesto, y si se tiene que usar puede reemplazarse en cualquier lado del enlace. Hay algu-

nos productos buenos en el mercado que usan diferentes equipamientos en los extremos del enlace. Los mismos pueden usarse en una red siempre que se haga con cuidado, de lo contrario se van a necesitar más repuestos para ambos tipos de radios.

Lo que sigue no intenta ser propaganda de venta de un radio, ni tampoco una queja acerca de otros. Son simplemente algunas notas generadas durante más de cinco años de experiencia de campo alrededor de todo el mundo, con productos comerciales sin licenciamiento. Desafortunadamente, no hay forma de considerar todos los productos, por esa razón sólo algunos de los favoritos se listan a continuación.

Redline Communications

Redline llegó al mercado en primera instancia con la línea de productos AN-50. Este fue el primer producto punto a punto disponible con tasas de transferencia de datos sobre los 50 Mbps, al alcance de los pequeños operadores. Sólo utiliza 20 MHz del espectro por canal. Hay tres modelos diferentes en la línea AN-50. Los tres tienen el mismo grupo de características básicas, sólo cambia el ancho de banda total. El modelo estándar tiene 36 Mbps de rendimiento, el modelo económico tiene 18 Mbps, y la versión completa 54 Mbps. Los controles del ancho de banda son a través de un programa y pueden acomodar la demanda de ancho de banda.

Los radios Redline están compuestos de una unidad interna, una externa y una antena. La unidad interna entra en un estante estándar de 19 pulgadas y ocupa 1U (1,5 pulgadas de altura). La unidad externa se monta en el mismo soporte que mantiene la antena en su lugar. Esta unidad es el radio. Las dos unidades están unidas por un cable coaxial. Se utiliza el cable Beldon RG6 o el RG11. Es el mismo que se utiliza para las instalaciones satelitales de TV. No es caro, se encuentra fácilmente y elimina la necesidad de adquirir cables caros de baja pérdida, como la serie de *Times Microwave LMR* o *Andrew Corporation Heliax*. El hecho de montar el radio tan cerca de la antena mantiene la pérdida del cable en un mínimo absoluto.

Debemos destacar dos características de los radios Redline. La primera es el **Modo de Alineación General**, que utiliza una alarma sónica (*beeper*) que cambia el tono cuando cambia la técnica de modulación. Un beep más rápido significa una conexión más rápida. Esto permite un alineamiento mucho más sencillo porque el enlace puede ser alineado por los tonos únicamente. Sólo se necesita una sintonización final, y para ayudarnos tenemos una aplicación gráfica de Windows. Otra característica es el botón de **Prueba**. Si realizamos cambios al radio, y no estamos seguros de que sean los correctos, presionando el botón de prueba en lugar del botón **Guardar**, activará los nuevos cambios por cinco minutos. Después de esos cinco minutos, la configuración vuelve a la configuración anterior a apretar el botón

de **Prueba**. Esto permite que se prueben los cambios, y si las cosas no funcionan y el enlace cae, el mismo se recobrará después de cinco minutos. Una vez que los cambios hayan sido probados, simplemente se confirma la nueva configuración, y se presiona el botón de guardar en lugar del de prueba.

Redline tiene otros modelos disponibles. El AN-30 tiene cuatro puertos T1/E1, además de una conexión a Ethernet de 30 Mbps. El AN-100 sigue el estándar 802.16a, y el próximo RedMax promete adherir a WiMax.

Por más información acerca de estos los productos vea <http://www.redlinecommunications.com/>

Alvarion

Una de las grandes ventajas de trabajar con los productos Alvarion es su bien establecida red de distribución mundial. También tienen una de las cuotas del mercado mundial más grande para toda clase de equipamiento de conectividad inalámbrica a Internet. Tiene distribuidores y revendedores en la mayoría de las regiones. Para los enlaces a larga distancia ofrece dos productos de interés: La serie VL, y el Link Blaster.

Si bien la serie VL es en realidad un sistema punto a multi-punto, un solo radio cliente conectado a un punto de acceso funcionará bien para establecer un enlace punto a punto. Lo único que debe considerarse es utilizar una antena con mayor direccionalidad en el punto de acceso, a menos que haya un enlace planeado a futuro que puede conectarse a ese punto de acceso. Hay dos velocidades disponibles para la serie VL, 24 Mbps y 6 Mbps. Los requerimientos de costo, tiempo de la señal y velocidad van a guiar la decisión de cuál CPE (*Customer Premises Equipment*- equipo de usuario) usar.

El Link Blaster se parece muchísimo al Redline AN-50. Esto se debe a que de hecho son el mismo aparato. Casi enseguida después de que el Redline AN-50 llegó al mercado, se firmó un acuerdo OEM (Original Equipment Manufacturer) entre las dos compañías y así nació el Link Blaster. A pesar de que la caja del modelo para interiores es diferente, y de que las antenas están marcadas de forma distinta, los componentes electrónicos internos de estos modelos son idénticos. El Link Blaster cuesta más que un Redline; este valor adicional se justifica por un diseño más robusto así como un nivel de soporte adicional. En muchos casos, a un revendedor de Alvarion le es sencillo conseguir productos de revendedores de Redline. Esto debe ser investigado a nivel local. Puede valer más la pena el dinero extra para tener un producto que esté disponible y tenga soporte local.

Alvarion tiene algunos productos para enlaces punto a punto de 2400 MHz. La mayoría de sus productos usan la banda ISM en los 2400 MHz con la

tecnología de espectro esparcido de salto de frecuencia (*FHSS por su sigla en inglés*) y generan mucho ruido que puede afectar otras aplicaciones sobre el espectro esparcido que usen secuencias directas (*DSSS por su sigla en inglés*) y que se encuentren en la misma torre. Si se está planeando una red basada en un sistema de distribución DSSS, un transporte (*backhaul*) FHSS no es una opción efectiva.

Para más información acerca de los productos Alvarion, vea <http://www.alvarion.com/>

Rad Data Communications

La línea de productos Rad Airmux es relativamente nueva en el Mercado, y tiene un potencial grande. El Airmux 200 es una radio de 48 Mbps, usa el cable CAT5, y tiene uno de los mejores precios para cualquier solución comercial. Las unidades son pequeñas y fáciles de manipular en una torre. La única contra con la que nos podemos enfrentar es la falta de un sistema de distribución local en el mundo en desarrollo. Tenemos dos modelos disponibles dentro de la línea Airmux. Uno usa antenas internas, y el otro externas.

La experiencia con los radios Airmux a principios del 2005 mostró la existencia de un problema con la temporización. Sólo se ve cuando la distancia del enlace es mayor a 12 millas, o 19 km. No importa qué tipo de antena se esté usando. Mientras que este problema no sea solucionado, esos radios sólo deberían utilizarse para enlaces de hasta 19 km. Si se sigue este consejo los radios van a desempeñarse muy bien, especialmente desde el punto de vista de su precio.

Para más información acerca de los productos Rad, vea <http://www.rad.com/>

Cisco Systems

Las soluciones inalámbricas de Cisco tienen dos grandes ventajas a su favor. Tienen una distribución muy bien establecida, soporte y entrenamiento en redes por casi todo el mundo. Esto puede ser de gran ayuda cuando debemos procurarnos el equipamiento, y aún más importante, si el mismo se rompe y necesitamos reemplazarlo. La siguiente gran ventaja es que utilizan estándares abiertos para la mayoría de las partes, siguiendo los estándares 802.11a/b/g.

La experiencia ha mostrado que sus herramientas de configuración vía web no son tan sencillas de comprender como las que encontramos en muchos otros productos, y el equipamiento tiende a tener un precio que hace que otras soluciones no comerciales de estándares abiertos sean más viables.

Más información acerca de Cisco se puede encontrar en <http://www.cisco.com/>

¿Algunas otras?

Actualmente hay muchas más soluciones disponibles en el mercado y siguen llegando otras todo el tiempo. Buenas soluciones se encuentran en compañías como Trango Broadband (<http://www.trangobroadband.com/>) y Waverider Communications (<http://www.waverider.com/>). Cuando consideremos qué solución utilizar, siempre debemos recordar los tres factores principales; distancia, tiempo de puesta en funcionamiento y velocidad. Debe chequear y asegurarse de que las radios operan en una banda sin licenciamiento donde usted las va a instalar.

Protectores profesionales contra rayos

La única amenaza natural del equipamiento inalámbrico son los rayos eléctricos. Hay dos formas diferentes mediante las cuales un rayo puede dañar el equipo: con un impacto directo o uno inducido. Los impactos directos son cuando el rayo realmente alcanza la torre o la antena. El impacto inducido se produce cuando el rayo cae cerca de la torre. Imagine un relámpago cargado negativamente. Como las cargas se repelen entre sí, hará que los electrones en el cable se alejen del rayo, creando corriente en las líneas. Esta es mucha más corriente de la que el sensible radio puede manejar. En general, cualquier tipo de rayo va a destruir el equipo que esté sin protección.

Proteger las redes inalámbricas de los relámpagos no es una ciencia exacta, y no hay garantías de que no vaya a caer un rayo, aún si se toman todas las precauciones. Muchos de los métodos utilizados van a ayudar a prevenir los impactos directos y los generados por inducción. Si bien no es necesario utilizar todos los métodos de protección contra rayos, tener más de uno va a ayudarnos a cuidar mejor el equipo. La cantidad de rayos observados históricamente en un área de servicio es la mejor guía para saber que debemos hacer.

Comience en la base misma de la torre. Recuerde que la base de la torre está bajo tierra. Después de colocados los cimientos de la torre, pero antes de que el pozo se llene nuevamente, se debe instalar un aro de alambre trenzado grueso para hacer tierra, extendido bajo la superficie y sobresaliendo de la misma cerca de la pata de la torre. El alambre debe ser por lo menos AWG #4 (*American Wire Gauge*) o más grueso. Adicionalmente, se debe enterrar una jabalina, y conectarla también a la torre en el mismo punto.



Figura 5.2: Torre con un cable de cobre grueso conectado a tierra.

Es importante tener en cuenta que no todos los metales conducen la electricidad de la misma forma. Algunos metales actúan como conductores eléctricos mejor que otros, y las diferentes capas existentes en la superficie también pueden afectar cómo el metal de la torre maneja la corriente eléctrica. El acero inoxidable es uno de los peores conductores, y las capas contra la herrumbre como los galvanizados o la pintura reducen la conductividad del metal. Por esta razón se coloca un alambre de tierra trenzado desde la base de la torre hasta la cima. La base necesita estar apropiadamente unida a los conductores provenientes del aro y de la jabalina. La cima de la torre debe tener una jabalina pararrayos, terminada en punta. Cuanto más fina y aguda sea la punta, más efectivo será el pararrayos. El alambre de tierra trenzado desde la base tiene que terminarse en esta jabalina. Es muy importante asegurarse de que el alambre de tierra esté conectado al propio metal. Cualquier tipo de capa, como la pintura, debe removerse antes de que se coloque el alambre. Una vez que se hizo la conexión, si es necesario, el área expuesta puede repintarse, cubriendo el alambre y los conectores para proteger a la torre de la herrumbre y la corrosión.

La solución anterior detalla la instalación de un sistema básico de tierra. El mismo provee protección para la torre contra los impactos directos, y representa el sistema de base al que se conectará todo lo demás.

La protección ideal para los impactos indirectos son protectores de gas contra rayos ubicados en ambos extremos del cable. Estos protectores contra rayos deben ser conectados directamente al alambre de tierra instalado en

la torre si este está en el extremo más alto. El extremo en la base debe también conectarse a una buena tierra, como una placa de tierra o una tubería metálica que esté llena de agua. Es importante asegurarse de que el protector contra rayos externo esté impermeabilizado. Muchos protectores contra rayos para los cables coaxiales son impermeables, mientras que los de cable CAT5 no lo son.

En el caso de que no se usen los protectores contra rayos, y el cableado esté basado en coaxiales, se conecta el revestimiento del cable coaxial al cable de tierra instalado en las torres, y de esta forma proveerá algo de protección. Esto proporciona un camino a tierra a las corrientes inducidas, y si la descarga no es muy fuerte no va a afectar el cable coaxial. Si bien este método no da una protección tan buena como la utilización de los protectores de gas, es mejor que nada.

Construyendo un AP con una PC

A diferencia de los sistemas operativos para consumidores (como Microsoft Windows), el sistema operativo GNU/Linux le brinda al administrador de red acceso completo a muchos elementos del trabajo en redes. Podemos acceder y manipular paquetes de red a cualquier nivel, desde la capa de enlace de datos hasta la capa de aplicación. Se pueden tomar decisiones de enrutamiento con base a cualquier información contenida en el paquete de red, desde la dirección de enrutamiento y puertos, hasta los contenidos de los segmentos de datos. Un punto de acceso basado en Linux puede actuar como enrutador, puente, corta fuego, concentrador VPN, servidor de aplicaciones, monitor de la red, o virtualmente cualquier otro rol de la red en el que usted pueda pensar. Es un software libre, y no requiere pagos de licenciamiento. Linux/GNU es una herramienta muy poderosa que puede ajustarse a una amplia variedad de roles en una infraestructura de red.

Agregar una tarjeta inalámbrica y un dispositivo Ethernet a una PC corriendo Linux le dará una herramienta muy flexible que puede ayudarlo a repartir el ancho de banda y administrar su red a un costo muy bajo. El equipamiento puede ser desde una computadora portátil reciclada, o una computadora de escritorio, hasta una computadora embebida, tales como un equipo de red Linksys WRT54G o Metrix.

En esta sección veremos cómo configurar Linux en las siguientes configuraciones:

- Como punto de acceso inalámbrico utilizando Masquerading/NAT y una conexión cableada a Internet (también denominada *gateway*).

- Como punto de acceso inalámbrico que actúa como puente transparente. El puente puede usarse tanto como un simple punto de acceso, o como un repetidor con dos radios.

Considere estas recetas como un punto de inicio. Construyendo estos ejemplos simples, puede crear un servidor que se ajuste de forma precisa a su infraestructura de red.

Pre-requisitos

Antes de comenzar, debe estar familiarizado con Linux desde la perspectiva del usuario, y ser capaz de instalar la distribución Linux/Gnu de su elección. También se requiere una comprensión básica de la interfaz de línea de comando (*terminal*) en Linux.

Va a necesitar una computadora con una o más tarjetas inalámbricas instaladas previamente, así como una interfaz Ethernet estándar. Estos ejemplos utilizan una tarjeta y un manejador (*driver*) específicos, pero hay varios tipos diferentes de tarjetas que pueden funcionar igualmente bien. Las tarjetas inalámbricas basadas en los grupos de chips Atheros y Prism lo hacen particularmente bien. Estos ejemplos se basan en la versión de Linux Ubuntu 5.10 (Breezy Badger), con una tarjeta inalámbrica soportada por los manejadores HostAP o MADWiFi.

Para más información acerca de estos manejadores vea <http://hostap.epitest.fi/> y <http://madwifi.org/>.

Para completar estas instalaciones se requiere del siguiente software, el cual debe estar incluido en su distribución Linux:

- Herramientas Inalámbricas (comandos iwconfig, iwlist)
- Cortafuego iptables
- dnsmasq (servidor cache DNS y servidor DHCP)

La potencia de CPU que se requiere depende de cuánto trabajo se tiene que hacer más allá de un simple enrutamiento y NAT. Para muchas aplicaciones una 486 de 133MHz es perfectamente capaz de enrutar paquetes a las velocidades inalámbricas. Si piensa usar mucha encriptación (como WEP o un servidor VPN), entonces necesita algo más rápido. Si también quiere correr un servidor de almacenamiento intermedio (como Squid, vea el capítulo tres) necesitará una computadora con mucha más rapidez, espacio de disco y memoria RAM. Un enrutador típico que solo esté realizando NAT puede operar con tan solo 64MB de RAM y almacenamiento.

Cuando armamos una máquina que está pensada para ser parte de una infraestructura de red, debemos tener en cuenta que los discos duros tienen una vida útil limitada en comparación con la mayoría de los otros componentes. A menudo puede utilizar almacenamiento de estado sólido, como un disco *flash*, en lugar de un disco duro. Este puede ser un manejador *flash* USB (suponiendo que su PC va a cargarse desde USB), o una tarjeta Compact Flash utilizando un adaptador de CF a IDE. Estos adaptadores son bastante económicos, y permiten que una tarjeta CF actúe en apariencia como un disco duro IDE. Pueden usarse en cualquier PC que soporte discos duros IDE. Como no tienen partes móviles, funcionarán por muchos años en un rango mucho más alto de temperaturas de las que puede tolerar un disco duro.

Escenario 1: punto de acceso con Enmascaramiento

Este es el más simple de los escenarios, y es especialmente útil en situaciones donde usted quiere un único punto de acceso para una oficina. Es el más fácil en una situación donde:

1. Existen un cortafuego y una pasarela (*gateway*) dedicados corriendo Linux, y usted sólo quiere agregar una interfaz inalámbrica.
2. Usted dispone de una vieja computadora común o portátil restaurada y prefiere utilizarla como un punto de acceso.
3. Requiere de más potencia en términos de monitoreo, registro y/o seguridad de lo que la mayoría de los puntos de acceso comerciales le proveen, pero no quiere derrochar en un punto de acceso empresarial.
4. Le gustaría que una única computadora actuara como dos puntos de acceso (y cortafuego) para poder ofrecer un punto de acceso seguro a la intranet, así como acceso abierto a los invitados.

Configuración inicial

Comience con una computadora ya configurada corriendo Linux/Gnu. Puede ser una instalación de Servidor Ubuntu, o Fedora Core. Para su funcionamiento, la computadora debe tener al menos dos interfaces, y al menos una de ellas debe ser inalámbrica. El resto de esta descripción supone que su puerto Ethernet (*eth0*) está conectado a la Internet, y que hay una interfaz inalámbrica (*wlan0*) que va a proveer la funcionalidad del punto de acceso.

Para saber si su grupo de chips soporta el modo maestro, pruebe con el siguiente comando en modo raíz (*root*):

```
# iwconfig wlan0 mode Master
```

...reemplazando wlan0 con el nombre de su interfaz.

Si obtiene un mensaje de error, su tarjeta inalámbrica no soporta el modo de punto de acceso. De todas formas puede probar la misma configuración en el modo ad hoc, que es soportado por todos los grupos de chips. Esto requiere configurar todas las computadoras portátiles que están conectadas al “punto de acceso” en el modo ad hoc, y puede que no funcione del modo que usted espera. En general es mejor encontrar una tarjeta inalámbrica que soporte el modo AP. Para obtener una lista de las tarjetas soportadas vea los sitios web HostAP y MADWiFi mencionados anteriormente.

Antes de continuar asegúrese de que dnsmasq está instalado en su computadora. Puede utilizar la herramienta de configuración gráfica de su distribución para instalarlo. En Ubuntu puede simplemente correr lo siguiente en modo raíz (root):

```
# apt-get install dnsmasq
```

Configurar las interfaces

Configure su servidor para que eth0 esté conectada a Internet. Utilice la herramienta de configuración gráfica que viene con su distribución.

Si su red Ethernet usa DHCP, puede probar con el siguiente comando como raíz:

```
# dhclient eth0
```

Debe recibir una dirección IP y una pasarela por defecto. Luego arranque su interfaz inalámbrica en el modo Maestro y póngale un nombre de su elección:

```
# iwconfig wlan0 essid "my network" mode Master enc off
```

El comando **enc off** desconecta la encriptación WEP. Para habilitar WEP agregue la clave hexagesimal del largo correcto:

```
# iwconfig wlan0 essid "my network" mode Master enc 1A2B3C4D5E
```

Como una alternativa, puede utilizar una clave legible comenzando con “s:”

```
# iwconfig wlan0 essid "my network" mode Master enc "s:apple"
```

Ahora déle a su interfaz inalámbrica una dirección IP en una sub red privada, pero asegúrese de que no sea la misma sub red de la de su adaptador Ethernet:

```
# ifconfig wlan0 10.0.0.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.0.255 up
```

Configurar enmascarado en el kernel

Para ser capaces de traducir direcciones entre dos interfaces en la computadora, debemos habilitar el enmascarado (NAT) en el kernel linux. Primero cargamos el módulo kernel pertinente:

```
# modprobe ipt_MASQUERADE
```

Ahora vamos a desactivar todas las reglas del cortafuego existente para asegurarnos que las mismas no van a bloquearnos al reenviar paquetes entre las dos interfaces. Si tiene un cortafuego activado, asegúrese de que sabe cómo restaurar las reglas existentes antes de proceder.

```
# iptables -F
```

Habilite la funcionalidad de NAT entre las dos interfaces

```
# iptables -t nat -A POSTROUTING -o eth0 -j MASQUERADE
```

Finalmente tenemos que habilitar el kernel para reenviar paquetes entre las interfaces:

```
# echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
```

En las distribuciones de Linux basado en Debian como Ubuntu, este cambio también puede hacerse editando el archivo `/etc/network/options`, y cambiando la línea

```
ip_forward=no
```

a

```
ip_forward=yes
```

y luego reiniciar las interfaces de red con:

```
# /etc/init.d/network restart
```

o

```
# /etc/init.d/networking restart
```

Configurar el servidor DHCP

En este momento deberíamos tener un punto de acceso en funcionamiento. Puede probarlo conectándose a la red inalámbrica “my network” desde otra

computadora a la que le haya asignado una dirección en el mismo rango de direcciones que su interfaz inalámbrica en el servidor (10.0.0.0/24 si siguió los ejemplos). Si ha habilitado WEP, tenga cuidado de utilizar la misma clave que especificó en el AP.

Para que sea más sencillo para las personas conectarse al servidor sin conocer el rango de direcciones IP, vamos a configurar un servidor DHCP para que maneje automáticamente las direcciones de los clientes inalámbricos.

Con este propósito utilizamos el programa dnsmasq. Como su nombre lo indica, provee un servidor DNS interino (*caching*) así como un servidor DHCP. Este programa fue desarrollado específicamente para el uso con cortafuegos que realizan NAT. Si su conexión a Internet tiene una alta latencia y/o un ancho de banda bajo, como conexión por discado (*dial-up*) o un VSAT, el tener un servidor DNS interino es de mucha utilidad. Esto significa que muchas consultas DNS pueden resolverse localmente, ahorrándole mucho tráfico a la conexión a Internet, y al mismo tiempo hace que la conexión se sienta notablemente más rápida.

Instale dnsmasq con el paquete de administración de la distribución. Si dnsmasq no está disponible como un paquete, descargue el código fuente e instálelo manualmente. Lo puede obtener en: <http://thekelleys.org.uk/dnsmasq/doc.html>.

Todo lo que necesitamos para correr dnsmasq es editar unas pocas líneas de su archivo de configuración, `/etc/dnsmasq.conf`.

El archivo de configuración está bien documentado, y tiene muchas opciones para varios tipos de configuración. Para tener el servidor básico DHCP en funcionamiento debemos quitar los comentarios y/o editar dos líneas.

Encuentre las líneas que comienzan de este modo:

```
interface=
```

...y asegúrese de que digan:

```
interface=wlan0
```

...cambiando wlan0 para que corresponda con el nombre de su interfaz inalámbrica. Luego encuentre las líneas que comienzan con:

```
#dhcp-range=
```

Quite el indicador de comentario de la línea y edítela para abarcar las direcciones pertinentes, por ej.

```
dhcp-range=10.0.0.10,10.0.0.110,255.255.255.0,6h
```

Luego salve el archivo e inicie dnsmasq:

```
# /etc/init.d/dnsmasq start
```

En este momento, debe ser capaz de conectarse al servidor como un punto de acceso, y obtener una dirección IP utilizando DHCP. Esto le debe permitir conectarse a Internet a través del servidor.

Agregando seguridad extra: Configurar un cortafuego

Una vez configurado y probado, se pueden agregar reglas de cortafuego utilizando la herramienta de cortafuego incluida en su distribución. Algunos gestores para configurar reglas del cortafuego son:

- **firestarter** – un cliente gráfico para Gnome, que requiere que su servidor corra en Gnome
- **knetfilter** – un cliente gráfico para KDE, el cual requiere que su servidor corra en KDE
- **Shorewall** – un conjunto de guiones y archivos de configuración que van a facilitar la configuración de los cortafuegos iptables. También hay gestores para shorewall, como el webmin-shorewall
- **fwbuilder** - una herramienta gráfica poderosa, pero ligeramente compleja que le permite crear guiones iptables en otra computadora, y luego transferirlos al servidor. Esto evita la necesidad de una interfaz gráfica en el servidor, y es una opción de seguridad aún más fuerte.

Una vez que todo está configurado de forma correcta, revise que todas las configuraciones estén reflejadas en el guión de arranque del sistema. De esta forma sus cambios seguirán funcionando aunque la computadora deba ser reiniciada.

Escenario 2: Hacer del punto de acceso un puente transparente

Este escenario puede utilizarse tanto para un repetidor de dos radios, o para un punto de acceso conectado a una Ethernet. Utilizamos un puente en lugar de un enrutador cuando queremos que ambas interfaces en el punto de acceso compartan la misma sub red. Esto puede ser particularmente útil en redes con múltiples puntos de acceso donde preferimos tener un único cortafuego central y tal vez un servidor de autenticación. Dado que todos los clientes comparten la misma sub red, pueden ser manejados fácilmente

con un único servidor DHCP y un cortafuego sin la necesidad de un relevador DHCP.

Por ejemplo, usted puede configurar un servidor como en el primer escenario, pero utiliza dos interfaces Ethernet cableadas en lugar de una cableada y una inalámbrica. Una interfaz sería su conexión a Internet, y la otra conecta a un conmutador. Luego conecte tantos puntos de acceso como sean requeridos al mismo conmutador, configurándolos como puentes transparentes, y cada uno pasará a través del mismo cortafuego y utilizará el mismo servidor DHCP.

La simplicidad de puentear tiene un costo en cuanto a eficiencia. Ya que todos los clientes comparten la misma sub red, el tráfico de difusión se repite a través de la red. Esto funciona bien con redes pequeñas, pero cuando el número de clientes se incrementa, se desperdicia mucho ancho de banda en el tráfico de difusión.

Configuración inicial

La configuración inicial para un punto de acceso puentado es similar al del punto de acceso enmascarado, sin requerir de dnsmasq. Siga las instrucciones de configuración inicial del ejemplo anterior.

Además, para la función de puente se requiere el paquete *bridge-utils* (**utilidades** puente). Este paquete está disponible para Ubuntu y otras distribuciones basadas en Debian, y también para Fedora Core. Asegúrese de que éste esté instalado y de que el comando `brctl` esté disponible antes del procedimiento.

Configurando las Interfaces

En Ubuntu o en Debian configuramos las interfaces editando el archivo `/etc/network/interfaces`

Agregue una sección como la que sigue, pero cambie los nombres de las interfaces y las direcciones IP que correspondan. La dirección IP y la máscara de red deben concordar con la de su red. Este ejemplo supone que está construyendo un repetidor inalámbrico con dos interfaces inalámbricas, wlan0 y wlan1. La interfaz wlan0 va a ser un cliente de la red “office”, y wlan1 va a crear una red llamada “repeater”.

Agregue lo siguiente a `/etc/network/interfaces`:

```
auto br0
iface br0 inet static
```

```

address 192.168.1.2
network 192.168.1.0
netmask 255.255.255.0
broadcast 192.168.1.255
gateway 192.168.1.1
pre-up ifconfig wlan 0 0.0.0.0 up
pre-up ifconfig wlan1 0.0.0.0 up
pre-up iwconfig wlan0 essid "office" mode Managed
pre-up iwconfig wlan1 essid "repeater" mode Master
bridge_ports wlan0 wlan1
post-down ifconfig wlan1 down
post-down ifconfig wlan0 down

```

Ponga una marca de comentario a todas las líneas que se refieran a `wlan0`, o a `wlan1` para asegurarse de que no van a interferir con nuestra configuración.

Esta sintaxis para configurar los puentes mediante el archivo `interfaces` es específico para distribuciones basadas en Debian, y los detalles de la configuración del puente son manejados por un par de guiones: `/etc/network/if-pre-up.d/bridge` y `/etc/network/if-post-down.d/bridge`. La documentación para estos guiones se encuentra en `/usr/share/doc/bridge-utils/`.

Si dichos programas no existen en su distribución (como Fedora Core), aquí hay una configuración alternativa para `/etc/network/interfaces` que logrará lo mismo:

```

iface br0 inet static
pre-up ifconfig wlan 0 0.0.0.0 up
pre-up ifconfig wlan1 0.0.0.0 up
pre-up iwconfig wlan0 essid "office" mode Managed
pre-up iwconfig wlan1 essid "repeater" mode Master
pre-up brctl addbr br0
pre-up brctl addif br0 wlan0
pre-up brctl addif br0 wlan1
post-down ifconfig wlan1 down
post-down ifconfig wlan0 down
post-down brctl delif br0 wlan0
post-down brctl delif br0 wlan1
post-down brctl delbr br0

```

Arrancar el puente

Una vez que el puente esté definido como una interfaz, arranque el puente escribiendo:

```
# ifup -v br0
```

La “-v” significa salida verbosa y proporciona información acerca de lo que está pasando.

En Fedora Core (y otras distribuciones no Debian) también debe darle a su interfaz puenteada una dirección de IP y agregar una ruta por omisión al resto de la red:

```
#ifconfig br0 192.168.1.2 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
#route add default gw 192.168.1.1
```

En este momento debería poder conectar a este nuevo punto de acceso una computadora portátil inalámbrica, y a través de ésta conectarse a Internet (o al menos con el resto de su red).

Si quiere más información sobre su puente y lo que está haciendo, utilice el comando **brctl**. Intente por ejemplo:

```
# brctl show br0
```

Esto debería darle e información sobre lo que está haciendo el puente.

Escenarios 1 y 2 de la forma sencilla

En lugar de configurar su computadora como un punto de acceso desde cero, usted puede aprovechar una distribución Linux armada especialmente para este propósito. Estas distribuciones pueden hacernos la tarea tan simple como arrancar la computadora desde un CD preconfigurado con el sistema operativo para interfaz inalámbrica. Para más información diríjase a la sección, “Sistemas operativos amigables con la tecnología inalámbrica”.

Como puede ver es fácil proveer servicios de punto de acceso desde un enrutador Linux estándar. Usar Linux le da un control mucho más significativo sobre cómo se enrutan los paquetes a través de su red, y tiene algunas características que simplemente son imposibles de encontrar en un equipamiento para consumidores.

Así, puede comenzar con cualquiera de los dos ejemplos anteriores e implementar una red inalámbrica privada donde los usuarios son autenticados utilizando un navegador web estándar. Mediante el uso de un portal cautivo como el **Chillispot**, se pueden verificar las credenciales de los usuarios inalámbricos en una base de datos (por ejemplo, un servidor de dominios Windows accesible vía RADIUS). Este arreglo puede permitir un acceso preferencial a los usuarios existentes en la base de datos, al mismo tiempo que se permite un nivel de acceso muy limitado para el público en general.

Otra aplicación muy popular es el modelo comercial preparado. En el mismo, los usuarios deben adquirir un pase antes de acceder a la red. Este pase provee una contraseña que tiene validez por una cantidad de tiempo limitada (generalmente un día). Cuando el pase expira, el usuario debe comprar otro. Esta característica solamente está disponible en equipamientos de redes relativamente caros, pero puede implementarse usando un software libre como el Chillispot y el phpMyPrePaid. Vamos a ver más sobre la tecnología de portal cautivo y los sistemas de pase en la sección **Autenticación** del capítulo seis.

Sistemas operativos amigables con la tecnología inalámbrica

Existen varios sistemas operativos de fuente abierta que proveen herramientas muy útiles para trabajar en redes inalámbricas. Estos fueron pensados para utilizarse en PCs recicladas con otro propósito, o con otro equipamiento de red (en lugar de una computadora portátil o un servidor), y están bien afinados para trabajar en la implementación de redes inalámbricas. Algunos de estos proyectos incluyen:

- **Freifunk.** Basado en el proyecto OpenWRT (<http://openwrt.org/>), el *firmware* Freifunk brinda un soporte a OLSR para puntos de acceso tipo consumidor basados en MIPS, tales como Linksys WRT54G / WRT54GS / WAP54G, Siemens SE505, y otros. Simplemente sustituyendo el *firmware* estándar de uno de esos AP con el *firmware* de Freifunk, podrá construir rápidamente una red *mesh* OLSR auto-formada. En este momento Freifunk no está disponible para arquitecturas de computadoras x86. Es mantenido por Sven Ola del grupo inalámbrico Freifunk en Berlín. Puede descargar el *firmware* desde <http://www.freifunk.net/wiki/FreifunkFirmware>.
- **Metrix Pebble.** El proyecto Linux Pebble fue iniciado en el 2002 por Terry Schmidt del grupo NYCwireless. Originalmente, fue una versión de la distribución Linux Debian que incluye herramientas inalámbricas, cortafuego, administración del tráfico, y enrutamiento. Desde 2004, Metrix Communication ha estado extendiendo Pebble para incluir manejadores actualizados, monitoreo de ancho de banda, y herramientas de configuración basadas en la web. El objetivo de Metrix Pebble es proveer una plataforma completa para el desarrollo inalámbrico. Trabaja con equipamiento x86 con al menos 64MB de memoria *flash* o almacenamiento de disco duro. Puede descargar Metrix Pebble desde <http://metrix.net/metrix/howto/metrix-pebble.html>.
- **m0n0wall.** Basado en FreeBSD, m0n0wall es un paquete cortafuego pequeño, pero muy completo, que provee servicios de AP. Se configura desde una interfaz web y la configuración completa del sistema es almacenada en un único archivo XML. Su reducido tamaño (menos de 6MB) lo

hace atractivo para el uso en sistemas embebidos pequeños. Su objetivo es proveer un cortafuego seguro, y como tal no incluye herramientas para el espacio del usuario (no es posible registrarse en la máquina desde la red). Más allá de esta limitación, es una buena elección para los administradores de redes inalámbricas, particularmente aquellos con un conocimiento previo en FreeBSD. Puede descargar m0n0wall desde <http://www.m0n0.ch/>.

Todas estas distribuciones están diseñadas para adecuarse a computadoras con un almacenamiento limitado. Si usted está utilizando un disco *flash* muy grande o un disco duro, ciertamente puede instalar un SO más completo (como Ubuntu o Debian) y utilizar la computadora como enrutador o punto de acceso. De todas formas le va a tomar cierta cantidad de tiempo de desarrollo asegurarse de que todas las herramientas necesarias estén incluidas, evitando instalar paquetes innecesarios. Por medio de la utilización de uno de estos proyectos como punto de inicio para construir un nodo inalámbrico, ahorrará considerable tiempo y esfuerzo.

El Linksys WRT54G

En el mercado actual uno de los puntos de acceso más popular es el Linksys WRT54G. Este punto de acceso tiene dos conectores de antena externos RP-TNC, un conmutador Ethernet con cuatro puertos, y un radio 802.11b/g. Se configura a través de una simple interfaz web. Si bien no está diseñado para exteriores, puede instalarse en una caja adecuada para tal fin, o en un tubo de plástico, a un costo relativamente bajo. En este momento el WRT54G cuesta aproximadamente U\$S 60.

En el 2003, los *hackers* se dieron cuenta de que el *firmware* que se vendía con WRT54G en realidad era una versión de Linux. Esto lprodujo un tremendo interés en construir un *firmware* adaptable que extendiera las capacidades del enrutador de forma significativa. Algunas de esas nuevas características incluyen el soporte del modo cliente en el radio, portales cautivos, y redes *mesh*. Dos buenas alternativas de paquetes de *firmware* para WRT54G son OpenWRT (<http://openwrt.org/>) y Freifunk (<http://www.freifunk.net/wiki/FreifunkFirmware>).

Desafortunadamente, a fines del 2005, Linksys sacó la versión 5 de WRT54G. Esta nueva versión del equipamiento eliminaba algo de memoria RAM y de almacenamiento *flash* en la placa madre, haciendo prácticamente imposible correr Linux (se vende con VxWorks, un sistema operativo mucho más pequeño que no permite una fácil adaptación). Puesto que el WRT54G v5 no corre con el *firmware* adaptado basado en Linux, se volvió menos atractivo para los desarrolladores de redes. Linksys también desarrolló el WRT54GL, el cual es esencialmente el WRT54G v4 (que corre con Linux) con un precio ligeramente más alto.

Otros puntos de acceso Linksys corren Linux, incluyendo el WRT54GS y el WAP54G. Si bien también tienen unos precios relativamente bajos, las especificaciones de equipamiento pueden cambiar en cualquier momento. Sin abrir el paquete es difícil saber qué versión del equipamiento es usada, lo que hace riesgoso adquirirlos en una tienda y prácticamente imposible ordenarlos en línea. A pesar de que WRT54GL tiene garantía de correr con Linux, Linksys ha hecho saber que no espera vender este modelo en grandes volúmenes, y no queda claro por cuánto tiempo el mismo va a estar en venta.

Si puede encontrar una revisión anterior de WRT54G, o de WRT54GL, estos enrutadores son versátiles y baratos. Con un *firmware* de código abierto, pueden configurarse para funcionar como una *mesh* OLSR o en el modo cliente, y trabajan muy bien como una solución económica del lado del cliente. Aunque el nuevo modelo v5 funciona como punto de acceso, no puede ser configurado como cliente, y los usuarios que han publicado sus opiniones respecto a estos equipos han expresado reservas en comparación con el v4 y modelos anteriores.

Para más información, diríjase a uno de estos sitios web:

- <http://linksysinfo.org/>
- <http://seattlewireless.net/index.cgi/LinksysWrt54g>

6

Seguridad

En una red cableada tradicional, el control del acceso es muy sencillo: si una persona tiene acceso físico a una computadora o a una *hub* (concentrador) de la red, entonces pueden usar (o abusar) de los recursos de la red. Si bien los mecanismos a través de software son un componente importante de la seguridad de la red, el mecanismo decisivo es limitar el acceso físico a los dispositivos de la red. Es simple: si todas las terminales y los componentes de la red son accedidos sólo por personas de confianza, entonces la red puede ser considerada confiable.

Las reglas cambian significativamente en las redes inalámbricas. A pesar de que el alcance aparente de su punto de acceso puede ser de unos pocos cientos de metros, un usuario con una antena de gran ganancia puede ser capaz de hacer uso de su red aunque esté a varias manzanas de distancia. Aún cuando un usuario no autorizado sea detectado, es imposible “rastrear el cable” hasta el lugar donde está esa persona. Sin transmitir ni un sólo paquete, un usuario malintencionado puede registrar todos los datos de la red a un disco. Más adelante estos datos pueden utilizarse para lanzar un ataque más sofisticado contra la red. Nunca suponga que las ondas de radio simplemente “se detienen” en el límite de su propiedad.

Por supuesto, aún en las redes cableadas es casi imposible confiar por completo en todos los usuarios de la red. Un empleado descontento, un usuario con poca capacitación, así como una simple equivocación de un usuario honesto pueden causar daño significativo en las operaciones de la red. Como arquitecto de la red, su objetivo debe ser facilitar la comunicación privada entre los usuarios legítimos de la misma. Aunque en una red se necesita una cierta cantidad de control de acceso y de autenticación, habrá fallado en su función si a los usuarios legítimos de la red se les hace difícil utilizarla para comunicarse.

Según un viejo dicho, la única forma de mantener completamente segura una computadora es desenchufarla, ponerla dentro de una caja fuerte, destruir la llave y enterrarla bajo concreto. Si bien dicho sistema puede ser completamente “seguro”, no es útil para la comunicación. Cuando tome decisiones de seguridad para su red, recuerde que por encima de todo, la red existe para que los usuarios puedan comunicarse unos con otros. Las consideraciones de seguridad son importantes, pero no deben interponerse en el camino de los usuarios.

Seguridad física

Cuando instala una red, usted está construyendo una infraestructura de la cual la gente dependerá y por lo tanto, la red debe ser confiable. Para la mayoría de los casos, las interrupciones en el servicio ocurren a menudo debido a alteraciones hechas por las personas, accidentalmente o no. Las redes son físicas, son cables y cajas, cosas que pueden ser modificadas fácilmente. En muchas instalaciones, puede ser que la gente no sepa qué tipo de equipamiento se ha instalado, o experimentan por pura curiosidad. Puede que no se den cuenta de la importancia de que un cable llegue a un puerto. Es posible que muevan un cable Ethernet para conectar su computadora portátil durante 5 minutos, o cambien de posición al conmutador porque les estorba. Un enchufe puede ser desconectado de una regleta porque alguien más necesita esa conexión. Asegurar la seguridad física de la instalación es un asunto prioritario. Las señales y las etiquetas le serán útiles a aquellos que saben leer, o que hablan su mismo idioma. Colocar el equipo fuera del camino, y limitar el acceso al mismo es el mejor medio para asegurarse de que no ocurran accidentes o se manipule el equipamiento.

En las economías menos desarrolladas no va a ser fácil encontrar los sujetadores, amarres o cajas apropiados. Sin embargo, podrá encontrar productos eléctricos equivalentes que funcionen igualmente bien. Los cerramientos a la medida también son sencillos de fabricar, y deben considerarse esenciales para cualquier instalación. A menudo es más económico pagar a un albañil para que haga las perforaciones e instale los conductos; a pesar de que ésta puede ser una opción cara en el mundo desarrollado, este tipo de actividad es accesible en los países del Sur. Se puede incrustar tubería de PVC en las paredes de cemento para pasar el cable de una habitación a otra, evitando hacer perforaciones cada vez que tenemos que pasar un cable. Para el aislamiento, se pueden rellenar los conductos alrededor del cable con bolsas de plástico.

El equipamiento pequeño debe montarse en la pared y el grande se debe colocar en un closet o en un armario.

Conmutadores (switches)

Los conmutadores, *hubs* o los puntos de acceso interiores pueden atornillarse directamente a la pared. Lo mejor es poner el equipo lo más alto posible para reducir las posibilidades de que alguien toque los dispositivos o sus cables.

Cables

Los cables deben esconderse y atarse. Es mejor enterrarlos que dejarlos colgando en un patio donde puedan ser usados para secar la ropa o simplemente enganchados con una escalera, etc. Para evitar alimañas o insectos consiga conductos plásticos para electricidad. El costo adicional le evitará molestias. Los conductos deben enterrarse aproximadamente a 30 cm de profundidad (o más abajo si el suelo se congela a mayor profundidad en climas extremos). También es recomendable comprar conductos de un calibre superior al mínimo necesario para que en el futuro otros cables que se requieran puedan pasarse por la misma tubería. Cuando se hacen instalaciones en edificios, también es posible encontrar conductos de plástico que pueden ser utilizados para pasar cables. De lo contrario, simplemente sujete los cables a la pared para asegurarse de que no queden expuestos en lugares donde puedan ser enganchados, pinchados o cortados.

Energía

Lo mejor es tener las zapatillas eléctricas (alargues, regletas, múltiples) dentro de un armario cerrado. Si esto no es posible colóquelas debajo de un escritorio o en la pared y utilice cinta adhesiva fuerte para asegurar el enchufe a la conexión de la pared. No deje espacios libres en la zapatilla eléctrica ni en la UPS, tápelas con cinta si es necesario. La gente va a tender a utilizar la conexión que esté más a su alcance, por lo tanto hágalas difíciles de usar. Si no lo hace, puede encontrarse con un ventilador o una lámpara enchufada en su UPS; aunque es bueno tener luz ¡es aún más importante mantener su servidor en funcionamiento!

Agua

Proteja su equipo del agua y de la humedad. En todos los casos asegúrese de que su equipo, incluida su UPS, está al menos a 30cm. del piso para evitar daños por posibles inundaciones. También intente tener una cubierta sobre su equipo, para que de esta forma el agua y la humedad no caigan sobre él. En los climas húmedos es importante que el equipamiento tenga la ventilación adecuada para asegurarse de que se va a eliminar la humedad. Los armarios pequeños deben tener ventilación, o de lo contrario la humedad y el calor pueden degradar o aún destruir su equipamiento.

Mástiles y torres

El equipo instalado en un mástil o torre a menudo está a salvo de los ladrones. No obstante, para disuadirlos y mantener su equipo a salvo del viento es bueno sobre-estructurar estos montajes. Los equipos que se monten sobre la torre o mástil deben pintarse de colores apagados, blanco o gris mate para reflejar el sol, así como para desviar la atención, haciéndolo lucir poco interesante. Las antenas tipo panel son mucho más sutiles que los platos y por eso debemos preferirlas. Todas las instalaciones en las paredes deberán estar a una altura tal, que se requiera de una escalera para alcanzarlas. Intente elegir lugares bien iluminados pero no muy prominentes para poner el equipo. También evite las antenas que se parezcan a las de televisión, porque esas pueden atraer el interés de los ladrones, mientras que una antena WiFi no va a ser de utilidad para la mayoría de ellos.

Amenazas a la red

Una diferencia esencial entre las redes Ethernet y las inalámbricas es que estas últimas se construyen en un **medio compartido**. Se parecen más a los viejos concentradores de red que a los conmutadores modernos, en ellas cada computadora conectada a la red puede “ver” el tráfico de todos los otros usuarios. Para monitorear todo el tráfico de la red en un punto de acceso, uno puede simplemente sintonizar el canal que se está utilizando, colocar la tarjeta de red en el modo de monitoreo, y registrar cada paquete. Estos datos pueden ser de mucho valor para alguien que los escucha a escondidas (incluyendo datos como el correo electrónico, datos de voz o registros de conversaciones en línea). Esto también puede proveer contraseñas y otros datos de gran valor, posibilitando que la red se vea comprometida en el futuro. Como veremos más adelante en este capítulo, este problema puede mitigarse con el uso de la encriptación.

Otro problema serio de las redes inalámbricas es que los usuarios son relativamente **anónimos**. Todos los dispositivos inalámbricos incluyen una dirección MAC única, la cual es asignada por el fabricante, pero esas direcciones a menudo pueden ser modificadas con ciertos programas. Aún teniendo la dirección MAC, puede ser muy difícil identificar donde está localizado físicamente un usuario inalámbrico. Los efectos del eco, las antenas de gran ganancia, y una amplia variedad de características de los transmisores de radio, pueden hacer que sea imposible determinar si un usuario malintencionado está en el cuarto de al lado o en un lugar muy alejado.

Si bien el espectro sin licenciamiento implica grandes ahorros económicos para el usuario, por otro lado tiene el desafortunado efecto colateral de que los ataques de **denegación del servicio** (**DoS** por su sigla en inglés) son extremadamente simples. Simplemente con encender un punto de acceso

de alta potencia, un teléfono inalámbrico, un transmisor de video, o cualquier otro dispositivo de 2.4 GHz, una persona con malas intenciones puede causar problemas significativos a la red. Muchos dispositivos de red son vulnerables también a otras formas de ataques de denegación del servicio, tales como una avalancha de desasociaciones (*disassociation flooding*) y el desborde de las tablas ARP.

Les presentamos varias categorías de personas que pueden causar problemas a una red inalámbrica:

- **Usuarios involuntarios.** Como la mayoría de las redes inalámbricas están instaladas en áreas muy pobladas, es común que los usuarios de computadoras portátiles se asocien accidentalmente a la red equivocada. La mayoría de los clientes va a elegir cualquier red disponible si la de su preferencia no lo está. Los usuarios pueden hacer uso de esta red como lo hacen habitualmente, ignorando completamente que pueden estar transmitiendo datos importantes en la red de alguien más. Las personas malintencionadas pueden aprovechar esta situación instalando puntos de acceso en lugares estratégicos, para intentar atacar usuarios desprevenidos y capturar sus datos.

El primer paso para evitar este problema es educar a sus usuarios, y subrayar la importancia de conectarse solamente a redes conocidas y de confianza. Muchos clientes inalámbricos pueden configurarse para conectarse solamente a redes confiables, o para pedir permiso antes de incorporarse a una nueva red. Como veremos más adelante en este capítulo los usuarios pueden conectarse de forma segura a redes públicas abiertas utilizando una encriptación fuerte.

- **War drivers.** El fenómeno de los “*war drivers*” (buscadores de redes) basa su nombre en la famosa película sobre piratas informáticos de 1983, “Juegos de Guerra” (*War Games*). Ellos están interesados en encontrar la ubicación física de las redes inalámbricas. En general se mueven por la ciudad equipados con una computadora portátil, un GPS, y una antena omnidireccional, registrando el nombre y la ubicación de cada red que localizan. Luego se combinan esos registros con los de otros buscadores de redes transformándose en mapas gráficos describiendo las “huellas” inalámbricas de una ciudad.

La amplia mayoría de los buscadores de redes no representa una amenaza directa a la red, pero los datos que recolectan pueden ser de interés para aquellos que se dedican a *atacar* redes. Por ejemplo, un punto de acceso desprotegido detectado de esta manera, puede estar ubicado en un edificio importante, como una oficina de gobierno o de una empresa. Una persona con malas intenciones puede utilizar esta información para acceder a esa red ilegalmente. La instalación de ese AP nunca debió haber sucedido en primer lugar, pero los buscadores de redes hacen más

urgente la solución de este problema. Como veremos más adelante en este capítulo, los buscadores de redes que utilizan el famoso programa NetStumbler pueden ser detectados con otros programas como el Kismet. Para más información acerca de los buscadores de redes, vea los sitios <http://www.wifimaps.com/>, <http://www.nodedb.com/>, o <http://www.netstumbler.com>.

- **Puntos de acceso deshonestos.** Hay dos clases generales de puntos de acceso deshonestos: aquellos instalados incorrectamente por usuarios legítimos, y los instalados por gente malintencionada que piensa en recolectar datos o dañar la red. En el caso más sencillo, un usuario legítimo de la red, puede querer una mejor cobertura inalámbrica en su oficina, o puede que encuentre demasiado difíciles de cumplir las restricciones de seguridad de la red inalámbrica corporativa. Al instalar un punto de acceso sin autorización, el usuario abre la red desde el interior de la misma a los ataques potenciales. Si bien existe la posibilidad de rastrear a través de la red puntos de acceso no autorizados, es muy importante tener una política clara que los prohíba.

Puede que sea muy difícil lidiar con la segunda clase. Al instalar un AP de gran potencia que utilice el mismo ESSID de la red, una persona puede engañar a la gente para que use este equipo y registrar o manipular todos los datos que pasan por él. Repetimos, si sus usuarios están entrenados para usar una fuerte encriptación, este problema se va a reducir de forma significativa.

- **Escuchas Subrepticias.** Como mencionamos antes, este es un problema muy difícil de manejar en las redes inalámbricas. Utilizando una herramienta de monitoreo pasiva (como Kismet), un fisgón puede registrar todos los datos de la red desde lejos sin que ni siquiera se note su presencia. Los datos encriptados pobremente simplemente pueden registrarse y luego descifrarse, mientras que los datos sin encriptación se pueden leer fácilmente en tiempo real.

Si a usted le es difícil convencer a otros de este problema, puede realizar una demostración con herramientas como Etherpeg o Driftnet (<http://www.etherpeg.org/> o <http://www.ex-parrot.com/~chris/driftnet/>). Estas herramientas buscan datos gráficos en redes inalámbricas, tales como archivos GIF y JPEG. Mientras que los usuarios están navegando en Internet, estas herramientas despliegan todos los gráficos encontrados en un collage. A menudo utilizo estas herramientas cuando estoy dando una charla de seguridad inalámbrica. Usted le puede decir a un usuario que su correo electrónico es vulnerable si no tiene encriptación, pero nada les hace llegar mejor el mensaje que mostrarles las imágenes que están buscando en su navegador web. Si bien no puede ser prevenido por completo, el uso de una fuerte encriptación va a desalentar las escuchas **subrepticias**.

Esta introducción está pensada para darle una idea de los problemas a los que usted tiene que enfrentarse cuando diseña una red inalámbrica. Más adelante, vamos a presentarle herramientas y técnicas que lo ayudarán a mitigarlos.

Autenticación

Antes de tener acceso a los recursos de la red, los usuarios deben ser **autenticados**. En un mundo ideal, cada usuario inalámbrico debería tener un identificador personal que fuera único, inmodificable e imposible de suplantar por otros usuarios. Este es un problema muy difícil de resolver en el mundo real.

Lo más cercano a tener un identificador único es la dirección MAC. Este es un número de 48-bits asignado por el fabricante a cada dispositivo inalámbrico y Ethernet. Empleando un **filtro mac** en nuestro punto de acceso, podemos autenticar a los usuarios mediante su dirección MAC. Con este método el punto de acceso, mantiene una tabla de direcciones MAC aprobadas. Cuando un usuario intenta asociarse a un punto de acceso, la dirección MAC del cliente debe estar en la lista aprobada, o de lo contrario la asociación va a ser rechazada. Como una alternativa, el AP puede tener una tabla de direcciones MAC “prohibidas”, y habilitar a todos los dispositivos que no están en esa lista.

Desafortunadamente, este no es un mecanismo de seguridad ideal. Mantener las tablas MAC en cada dispositivo puede ser muy engorroso, requiriendo que todos los dispositivos cliente tengan su dirección MAC grabadas y cargadas en los AP. Además, las direcciones MAC a menudo pueden modificarse mediante software. Si un atacante determinado observa las direcciones MAC que están en uso en una red inalámbrica, él puede “suplantar” una dirección MAC aprobada y asociarse con éxito al AP. A pesar de que el filtro MAC va a evitar que los usuarios involuntarios y los curiosos accedan a la red, el filtro MAC por si solo no puede proteger su red de los atacantes empecinados.

Los filtros MAC son útiles para limitar temporalmente el acceso de usuarios que actúan de forma incorrecta. Por ejemplo, si una computadora portátil tiene un virus que envía grandes cantidades de tráfico no deseado, su dirección MAC puede agregarse a la tabla de filtrado para detener el tráfico de forma inmediata. Esto le dará tiempo para ubicar al usuario y arreglar el problema.

Otra forma popular de autenticación de las redes inalámbricas es la llamada **red cerrada**. En una red común, los AP transmiten sus ESSID muchas veces por segundo, permitiéndoles a los clientes (así como a las herramientas

como NetStumbler) encontrar la red y mostrar su presencia al usuario. En una red cerrada, el AP no transmite el ESSID, y los usuarios deben conocer el nombre completo de la red antes de que el AP les permita asociarse. Esto evita que los usuarios casuales descubran la red y la seleccionen en su cliente de red inalámbrica.

Con esta característica hay varios inconvenientes. Forzar a los usuarios a escribir el ESSID completo antes de conectarse a la red, amplía las posibilidades de error y a menudo resulta en solicitudes de soporte y quejas. La red no será detectada por herramientas como NetStumbler, y esto puede prevenir que la misma aparezca en los mapas de los *war drivers*. Pero esto también significa que otros instaladores de redes tampoco pueden encontrar su red con facilidad, y no van a saber que usted está usando un canal dado. Un vecino podría realizar un estudio del lugar, y al no detectar redes cercanas podría instalar su propia red en el mismo canal que usted está utilizando, lo cual va a provocarle problemas de interferencia tanto a usted como a su vecino.

Finalmente, utilizar redes cerradas ofrece poca seguridad adicional a su red. Utilizando herramientas de monitoreo pasivas (como Kismet), un usuario experimentado puede detectar paquetes enviados desde sus clientes legítimos al AP. Esos paquetes necesariamente contienen el nombre de la red. Y por lo tanto, un malintencionado puede usarlo luego para asociarse, al igual que lo haría un usuario normal.

Probablemente la encriptación sea la mejor herramienta que tenemos para autenticar a los usuarios de la red. Mediante una fuerte encriptación, podemos identificar a un usuario de una forma única difícil de suplantar, y usar esa identidad para determinar accesos futuros a la red. La encriptación también tiene el beneficio de ofrecer una capa de privacidad adicional ya que evita que los fisgones tengan un acceso fácil al tráfico de la red.

El método de encriptación más utilizado en las redes inalámbricas es el llamado **encriptación WEP**. WEP **significa privacidad equivalente** a la cableada (*del inglés Wired Equivalent Privacy*), y es soportada por casi todo el equipamiento 802.11a/b/g. WEP utiliza una clave compartida de 40-bits para encriptar los datos entre el punto de acceso y el cliente. La clave debe ingresarse en los AP así como en cada uno de los clientes. Cuando se habilita WEP, los clientes no pueden asociarse con el AP hasta que utilicen la clave correcta. Un fisgón oyendo una red con WEP igual puede ver el tráfico y las direcciones MAC, pero los mensajes de los datos de cada paquete están encriptados. Esto provee a la red de un buen mecanismo de autenticación, además de darle un poco de privacidad.

WEP definitivamente no es la mejor solución de encriptación que haya disponible. Por un lado, la clave WEP se comparte entre todos los usuarios, y si

la misma está comprometida (es decir, si un usuario le dice a un amigo la contraseña, o se va un empleado) entonces cambiar la contraseña puede ser extremadamente difícil, ya que todos los AP y los dispositivos cliente deben cambiarla. Esto también significa que los usuarios legítimos de la red pueden escuchar el tráfico de los demás, ya que todos conocen la clave.

A menudo la clave es seleccionada sin mucho cuidado, haciendo posibles los intentos de ataques fuera de línea. Aún peor, varias versiones de WEP son vulnerables mediante técnicas conocidas, haciendo aún más fácil atacar algunas redes. Algunos fabricantes han implementado varias extensiones a WEP (como claves más largas y esquemas rápidos de rotación), pero esas extensiones no son parte del estándar, de tal manera que no van a funcionar correctamente entre equipamientos de diferentes fabricantes. Actualizando al *firmware* más reciente en todos sus dispositivos inalámbricos, puede prevenir alguno de los primeros ataques conocidos a WEP.

Pese a lo anterior, WEP puede ser una herramienta útil de autenticación. Confiando en que sus usuarios no van a difundir la contraseña, puede estar casi seguro de que sus clientes de red inalámbrica son legítimos. Los ataques a WEP están fuera del alcance de la mayoría de los usuarios. WEP es extremadamente útil para asegurar enlaces punto a punto a larga distancia, aún en redes abiertas. Si utiliza WEP en dicho enlace, desalentará que otras personas se asocien al enlace, y probablemente escojan otro AP. Definitivamente WEP es una señal de “manténgase afuera” para su red. Cualquiera que detecte la red va a ver que se requiere una clave, dejándole claro que no es bienvenido.

La mayor fortaleza de WEP es su interoperabilidad. Para cumplir con los estándares, todos los dispositivos inalámbricos soportan un WEP básico. Si bien no es el método más fuerte disponible, ciertamente es la característica implementada más comúnmente. Más adelante vamos a ver otras técnicas de encriptación más avanzadas.

Para obtener más detalles sobre el estado de la encriptación WEP, vea estos artículos:

- <http://www.isaac.cs.berkeley.edu/isaac/wep-faq.html>
- <http://www.cs.umd.edu/~waa/wireless.pdf>
- http://www.crypt0.com/papers/others/rc4_ksaproc.ps

Otro protocolo de autenticación en la capa de enlace de datos es el **Acceso Protegido Wi-Fi**, o **WPA (Wi-Fi Protected Access por su sigla en inglés)**. WPA se creó específicamente para lidiar con los problemas de WEP que mencionamos antes. Provee un esquema de encriptación significativamente más fuerte, y puede utilizar una clave privada compartida, claves únicas

asignadas a cada usuario, o inclusive un certificado SSL para autenticar el punto de acceso y el cliente. Las credenciales de autenticación se chequean usando el protocolo 802.1X, el cual puede consultar una base de datos externa como RADIUS. Mediante el uso de un Protocolo de Integridad Temporal de la Clave (*TKIP –Temporal Key Integrity Protocol*), las claves se pueden rotar rápidamente, reduciendo la posibilidad de que una sesión en particular sea descifrada. En general, WPA provee una autenticación y privacidad significativamente mejor que el estándar WEP.

El problema con WPA, a la fecha de publicación de este libro, es que la interoperabilidad entre los vendedores es aún muy baja. WPA requiere equipamiento de última generación para los puntos de acceso, y *firmware* actualizado en todos los clientes inalámbricos, así como una configuración laboriosa. Si usted controla la totalidad de la plataforma de equipamiento del lugar donde está realizando la instalación, WPA puede ser ideal. La autenticación de los clientes y de los AP, resuelve los problemas de puntos de acceso deshonestos y provee muchas más ventajas que WEP. Pero en la mayoría de las instalaciones de red donde el equipamiento es variado y el conocimiento de los usuarios es limitado, instalar WPA puede ser una pesadilla. Por esta razón es que la mayoría continua utilizando WEP, si es que usa algún tipo de encriptación.

Portales cautivos

Una herramienta común de autenticación utilizada en las redes inalámbricas es el **portal cautivo**. Este utiliza un navegador web estándar para darle al usuario la posibilidad de presentar sus credenciales de registro. También puede utilizarse para presentar información (como Política de Uso Aceptable) a los usuarios antes de permitir el acceso. Mediante el uso de un navegador web en lugar de un programa personalizado de autenticación, los portales cautivos funcionan en prácticamente todas las computadoras portátiles y sistemas operativos. Generalmente se utilizan en redes abiertas que no tienen otro método de autenticación (como WEP o filtros MAC).

Para comenzar, el usuario abre su computadora portátil y selecciona la red. Su computadora solicita una dirección mediante DHCP y le es otorgada. Luego usa su navegador web para ir a cualquier sitio en Internet.

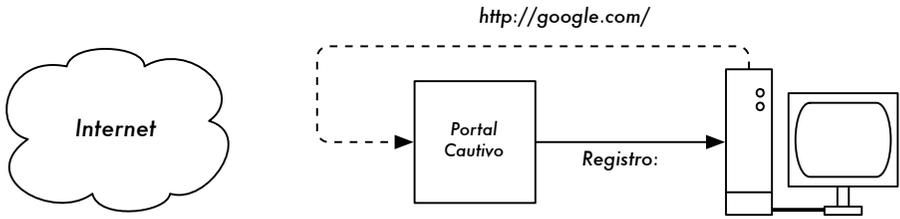


Figura 6.1: El usuario solicita una página web y es redireccionado.

En lugar de recibir la página solicitada, al usuario se le presenta una pantalla de registro. Esta página puede solicitarle al usuario que ingrese su nombre de usuario y una contraseña, simplemente oprime el botón de “registro”(login), escribe los números de una tarjeta prepago, o ingresa cualquier otra credencial que solicite el administrador de red. El punto de acceso u otro servidor en la red verifica los datos. Cualquier otro tipo de acceso a la red se bloquea hasta que se verifiquen las credenciales.

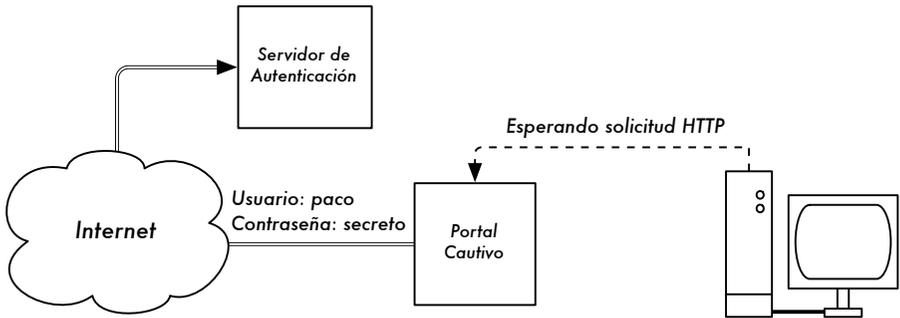


Figura 6.2: Las credenciales se verifican antes de brindar acceso al resto de la red. El servidor de autenticación puede ser el punto de acceso mismo, otra computadora en la red local, o un servidor en cualquier lugar del Internet.

Una vez que el usuario ha sido autenticado, se le permite el acceso a los recursos de la red, y en general es redireccionado al sitio web que solicitó originalmente.

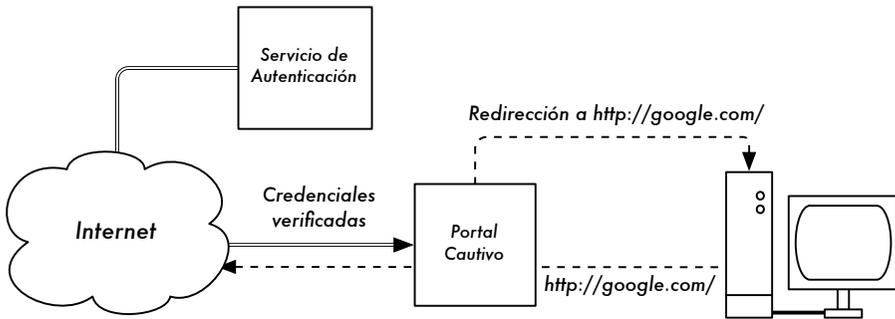


Figura 6.3: Después de que el usuario es autenticado, se le permite el acceso al resto de la red.

Los portales cautivos no proveen encriptación para los usuarios de redes inalámbricas, en su lugar confían en las direcciones MAC e IP del cliente como identificadores únicos. Si bien esto no es necesariamente muy seguro, muchas implementaciones van a solicitar que el usuario se re-autentique periódicamente. Esto puede hacerse automáticamente, minimizando una ventana emergente (*pop-up*) del navegador, cuando el usuario se registra por primera vez.

Debido a que no proveen una fuerte encriptación, los portales cautivos no son una buena elección para aquellas redes que requieren una protección fuerte y limiten el acceso solamente a usuarios confiables. En realidad se adaptan mejor para cafés, hoteles y otros lugares de acceso público donde se esperan usuarios casuales de la red.

En redes públicas o semipúblicas, las técnicas de encriptación como WEP y WPA son realmente inútiles. Simplemente no hay forma de distribuir claves públicas o compartidas para el público en general sin comprometer la seguridad de esas claves. En esas instalaciones, una simple aplicación como un portal cautivo provee un nivel de servicio intermedio entre completamente abierto y completamente cerrado.

Dos implementaciones de portales cautivos de fuente abierta son NoCatSplash y Chillisport.

NoCatSplash

Si usted simplemente necesita proveer a los usuarios de una red abierta con información y la política de uso aceptable, preste atención a NoCatSplash. El mismo está disponible en <http://nocat.net/download/NoCatSplash/>.

NoCatSplash provee una página de ingreso modificable, solicitándoles a sus usuarios presionar el botón de "registro" antes de utilizar la red. Esto es útil

para identificar los operadores de la red y mostrar las reglas de acceso a la misma.

NoCatSplash está escrito en C, y va a correr en casi cualquier sistema operativo tipo Unix incluidos Linux, BSD, y también plataformas embebidas como OpenWRT. Tiene un archivo de configuración muy simple y puede usar cualquier archivo HTML personalizado como la página de ingreso. En general se corre directamente en un punto de acceso, pero también funciona en un enrutador o un servidor *proxy*. Para más información, vea la página <http://nocat.net/>.

Otros proyectos populares relacionados con hotspots

NoCatSplash es una implementación simple de portal cautivo. Existen muchas otras implementaciones gratuitas que soportan diversos rangos de funcionalidad. Algunas de ellas incluyen:

- Chillispot (<http://www.chillispot.org/>). Chillispot es un portal cautivo diseñado para autenticar verificando los datos contra una base de datos de credenciales de usuarios, tal como RADIUS. Si lo combinamos con la aplicación phpMyPrePaid, se puede implementar fácilmente un sistema de autenticación basado en pre-pago. phpMyPrePaid se puede descargar desde <http://sourceforge.net/projects/phpmyprepaid/>.
- WiFi Dog (<http://www.wifidog.org/>). WiFi Dog provee un paquete muy completo de autenticación vía portal cautivo, en muy poco espacio (generalmente menos de 30kB). Desde la perspectiva del usuario, no requiere de una ventana emergente (*pop-up*) ni de soporte javascript, permitiéndole trabajar en una amplia variedad de dispositivos inalámbricos.
- m0n0wall (<http://m0n0.ch/wall/>). Como mencionamos en el capítulo cinco, m0n0wall es un sistema operativo embebido completo basado en FreeBSD. Este incluye un portal cautivo con soporte RADIUS, así como un servidor web PHP.

Privacidad

La mayoría de los usuarios son dichosamente ignorantes de que su correo electrónico privado, conversaciones en línea, y aún sus contraseñas a menudo son enviados “al descubierto” por docenas de redes inseguras antes de llegar a su destino en Internet. No obstante lo errados que pueden estar, en general, los usuarios tienen expectativas de un poco de privacidad cuando usan redes de computadoras.

La privacidad se puede lograr, aún en redes inseguras como los puntos de acceso público e Internet. El único método efectivo probado para proteger la privacidad es el uso de una **encriptación fuerte de extremo a extremo**.

Las técnicas de encriptación como WEP y WPA intentan mantener la privacidad en la capa dos, la capa de enlace de datos. Aunque éstas nos protegen de los fisgones en la conexión inalámbrica, la protección termina en el punto de acceso. Si el cliente inalámbrico usa protocolos inseguros (como POP o SMTP para recibir y enviar correos electrónicos), entonces los usuarios que están más allá del AP pueden registrar la sesión y ver los datos importantes. Como mencionamos antes, WEP también tiene la debilidad de utilizar claves privadas compartidas. Esto significa que los usuarios legítimos de la red pueden escucharse unos a otros, ya que todos conocen la clave privada.

Utilizando encriptación en el extremo remoto de la conexión, los usuarios pueden eludir completamente el problema. Estas técnicas funcionan muy bien aún en redes públicas, donde los fisgones están oyendo y posiblemente manipulando los datos que vienen del punto de acceso.

Para asegurar la privacidad de los datos, una buena encriptación de extremo a extremo debe ofrecer las siguientes características:

- **Autenticación verificada del extremo remoto.** El usuario debe ser capaz de conocer sin ninguna duda que el extremo remoto es el que dice ser. Sin autenticación, un usuario puede darle datos importantes a cualquiera que afirme ser el servicio legítimo.
- **Métodos fuertes de encriptación.** El algoritmo de encriptación debe ser puesto al escrutinio del público, y no debe ser fácil de descifrar por un tercero. El uso de métodos de encriptación no publicados no ofrece seguridad, y una encriptación fuerte lo es aún más si el algoritmo es ampliamente conocido y sujeto a la revisión de los pares. Un buen algoritmo con una clave larga y adecuadamente protegida, puede ofrecer encriptación imposible de romper aunque hagamos cualquier esfuerzo utilizando la tecnología actual.
- **Criptografía de clave pública.** Aunque no es un requerimiento absoluto para la encriptación de extremo a extremo, el uso de criptografía de clave pública en lugar de una clave compartida, puede asegurar que los datos personales de los usuarios se mantengan privados, aún si la clave de otro usuario del servicio se ve comprometida. Esto también resuelve ciertos problemas con la distribución de las claves a los usuarios a través de una red insegura.
- **Encapsulación de datos.** Un buen mecanismo de encriptación de extremo a extremo protege tantos datos como sea posible. Esto puede ir

desde encriptar una sencilla transacción de correo electrónico, a encapsular todo el tráfico IP, incluyendo búsquedas en servidores DNS y otros protocolos de soporte. Algunas herramientas de encriptación proveen un canal seguro que también pueden utilizar otras aplicaciones. Esto permite que los usuarios corran cualquier programa que ellos quieran y aún tengan la protección de una fuerte encriptación, aunque los programas no la soporten directamente.

Note que la legislación sobre el uso de encriptación varía ampliamente de lugar en lugar. Algunos países pueden llegar a equiparar el uso de encriptación con el uso de armamento o municiones, y pueden requerir un permiso, exigir la custodia de las claves privadas o prohibir su uso por completo. Antes de implementar cualquier solución que implique encriptación verifique que el uso de esta tecnología esté permitido en su comunidad.

En las siguientes secciones vamos a examinar algunas herramientas específicas que proveen una buena protección para los datos de sus usuarios.

SSL

La tecnología de encriptación de extremo a extremo más accesible es **Secure Socket Layer** conocida simplemente como **SSL** por su sigla en inglés. Incluida en casi todos los navegadores web, SSL utiliza criptografía de clave pública e **infraestructura de clave pública confiable (PKI)** por su sigla en inglés), para asegurar las comunicaciones de datos en la web. Cada vez que visita la URL de una web que comienza con https, está usando SSL.

La implementación SSL provista en los navegadores web incluye un conjunto de certificados de fuentes confiables, denominados **autoridades certificadoras (CA)**. Estos certificados son claves criptográficas que se utilizan para verificar la autenticidad de los sitios web. Cuando usted navega en un sitio que utiliza SSL, el navegador y el servidor primero intercambian certificados. Luego el navegador verifica que el certificado brindado por el servidor concuerde con el nombre en su servidor DNS, que no haya expirado, y que esté firmado por una autoridad certificadora confiable. Opcionalmente el servidor verifica la identidad del certificado del navegador. Si los certificados son aprobados, el navegador y el servidor negocian la clave de sesión maestra utilizando los certificados intercambiados anteriormente para protegerla. Dicha clave se usa para encriptar todas las comunicaciones hasta que el navegador se desconecte. Este tipo de encapsulamiento de datos es conocido como **túnel**.

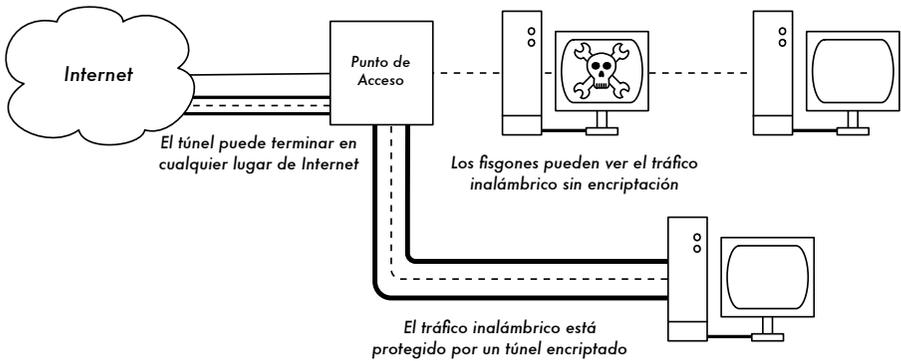


Figura 6.4: Los fisgones deben romper la encriptación para monitorear el tráfico dentro de un túnel encriptado. La conversación dentro del túnel es igual a cualquier otra conversación sin encriptar.

El uso de certificados con una PKI no solo protege a la comunicación de los fisgones, sino que también evita los ataques del llamado **hombre en el medio (MITM por su sigla en inglés)**. En un ataque del hombre en el medio, un usuario mal intencionado intercepta una comunicación entre el navegador y el servidor. Presentándoles certificados falsos a ambos, puede mantener dos sesiones encriptadas al mismo tiempo. Puesto que este usuario conoce el secreto de ambas conexiones, es trivial observar y manipular los datos que están pasando entre el servidor y el navegador.

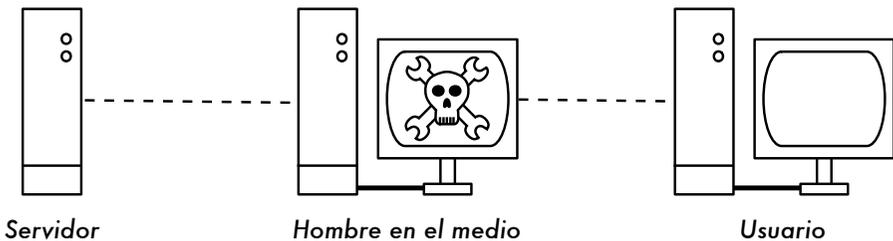


Figura 6.5: El hombre en el medio controla de forma efectiva todo lo que el usuario ve, y puede grabar y manipular todo el tráfico. Sin una infraestructura de clave pública para verificar la autenticidad de las claves, la encriptación fuerte por sí sola no podría protegernos de este tipo de ataque.

El uso de una buena PKI previene este tipo de ataque. Para tener éxito el usuario con malas intenciones debería presentar un certificado al cliente, que estuviera firmado por una autoridad certificadora. A menos que la CA haya sido comprometida (muy poco probable) o que el usuario pueda ser engañado para aceptar el certificado falso, este tipo de ataque es infructuoso. Es por esto que es de vital importancia que los usuarios comprendan que ignorar los avisos sobre los certificados vencidos o falsos es muy peligroso, especialmente cuando usamos redes inalámbricas. Pulsando el

botón “ignorar” cuando son avisados por su navegador, los usuarios se abren a una cantidad de ataques potenciales.

SSL no sólo se utiliza para navegar en la web. Los protocolos de correo electrónico como IMAP, POP, y SMTP (que son bastante inseguros) pueden asegurarse envolviéndolos en un túnel SSL. La mayoría de los clientes de correo electrónico actuales soportan IMAPS y POPS (IMAP y POP seguros), así como SMTP protegido con SSL/TLS. Si su servidor de correo no provee soporte SSL, de todas formas puede asegurarlo con SSL utilizando un paquete como Stunnel (<http://www.stunnel.org/>). SSL puede utilizarse para asegurar de forma efectiva casi cualquier servicio que corra sobre TCP.

SSH

La mayoría de la gente considera SSH como un sustituto para `telnet` que provee seguridad, porque `scp` y `sftp` son los equivalentes seguros de `rcp` y `ftp`. Pero SSH es mucho más que un acceso remoto a consola encriptado. Al igual que SSL, utiliza una fuerte criptografía de clave pública para verificar el servidor remoto y encriptar los datos. En lugar de PKI, utiliza una clave de impresión digital almacenada que se chequea antes de permitir la conexión. Puede usar contraseñas, claves públicas u otros métodos de autenticación de usuarios.

Mucha gente no sabe que SSH también puede actuar como un túnel de encriptación general o como un servidor proxy de encriptación. Estableciendo una conexión SSH en un lugar confiable cerca de (o en) un servidor remoto, los protocolos inseguros pueden protegerse de los fisgones y los ataques.

Esta técnica puede resultar algo avanzada para muchos usuarios, pero los desarrolladores de redes pueden utilizar SSH para encriptar el tráfico en enlaces inseguros, como los enlaces inalámbricos punto a punto. Como las herramientas son gratuitas y funcionan sobre el estándar TCP, los usuarios avanzados pueden implementar conexiones SSH por sí mismos, obteniendo su propia encriptación de extremo a extremo sin la intervención del administrador.

Probablemente OpenSSH (<http://openssh.org/>) sea la implementación más popular en las plataformas tipo Unix. Para Windows tenemos disponibles implementaciones gratuitas como Putty (<http://www.putty.nl/>) y WinSCP (<http://winscp.net/>). OpenSSH también corre en Windows bajo el paquete Cygwin (<http://www.cygwin.com/>). Los ejemplos a continuación suponen que usted está utilizando una versión reciente de OpenSSH.

Para establecer un túnel encriptado desde un puerto en la computadora local hasta un puerto en el extremo remoto se debe utilizar el parámetro `-L`. Por ejemplo, supongamos que usted quiere reenviar el tráfico del *proxy* web en

un enlace encriptado al servidor squid en *squid.example.net*. El puerto de reenvío 3128 (el puerto *proxy* por omisión) utiliza este comando:

```
ssh -fN -g -L3128:squid.example.net:3128 squid.example.net
```

Las opciones **-fN** le ordenan a ssh que permanezca abierto en segundo plano después de conectarse. La opción **-g** permite a otros usuarios en su segmento local que se conecten a la computadora local, y la utilicen para la encriptación sobre el enlace inseguro. OpenSSH utilizará una clave pública para la autenticación si usted ya ha configurado una, o va a solicitarle su contraseña para conectarse al extremo remoto. Luego usted puede configurar su navegador web para conectarse al servidor local puerto 3128 como su servicio de proxy. Todo el tráfico web será encriptado antes de la transmisión al sitio remoto.

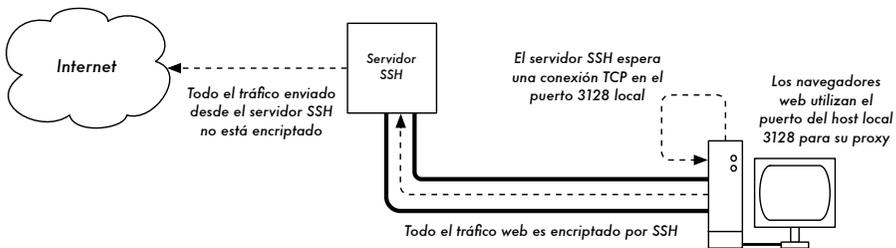


Figura 6.6: El túnel SSH protege el tráfico web hasta llegar al servidor SSH remoto.

SSH también puede funcionar como un proxy dinámico SOCKS4 o SOCKS5. Esto le permite crear un proxy web encriptador sin la necesidad de instalar squid. Tenga en cuenta que éste no será un proxy con memoria intermedia (cache), simplemente encripta todo el tráfico.

```
ssh -fN -D 8080 remote.example.net
```

Configure su navegador web para utilizar SOCKS4 o SOCKS5 en el puerto local 8080, y listo.

SSH puede encriptar datos en cualquier puerto TCP, incluyendo puertos utilizados para el correo electrónico. También puede comprimir los datos, lo que puede hacer disminuir el tiempo de recuperación de datos (latencia) en enlaces de baja capacidad.

```
ssh -fNCg -L110:localhost:110 -L25:localhost:25 mailhost.example.net
```

La opción **-C** habilita la compresión. Especificando múltiples veces la opción **-L** se pueden agregar tantas reglas de redirección de puertos como quiera. Tenga en cuenta que para vincularse a un puerto local inferior a 1024, debe tener privilegios de administrador (root) en la máquina local.

Estos son solo algunos ejemplos de la flexibilidad de SSH. Al implementar claves públicas y utilizar el agente de reenvío ssh, puede automatizarse la creación de túneles encriptados a través de la red inalámbrica, y proteger nuestras comunicaciones con una fuerte encriptación y autenticación.

OpenVPN

OpenVPN es una implementación VPN gratuita de fuente abierta construida con encriptación SSL. Existen versiones para un amplio rango de sistemas operativos, incluyendo Linux, Windows 2000/XP y superiores, OpenBSD, FreeBSD, NetBSD, Mac OS X, y Solaris. Una VPN encapsula todo el tráfico (incluyendo DNS y todos los otros protocolos) en un túnel encriptado, no un solo puerto TCP. La mayoría de la gente lo encuentra considerablemente más sencillo de comprender y configurar que IPSEC.

OpenVPN también tiene algunas desventajas, como por ejemplo una latencia bastante alta. Cierta cantidad de latencia no se puede evitar porque toda la encriptación/desencriptación se hace en el entorno de usuario, pero si se utilizan computadoras relativamente nuevas en cada extremo del túnel puede minimizarla. Si bien puede usar las tradicionales claves compartidas, OpenVPN se destaca realmente cuando se usa con certificados SSL y una autoridad certificadora confiable. OpenVPN tiene algunas ventajas que lo hace una buena opción para proveer seguridad de extremo a extremo.

- Se basa en un protocolo de encriptación robusto y probado (SSL y RSA)
- Es relativamente fácil de configurar
- Funciona en muchas plataformas diferentes
- Está bien documentado
- Es gratuito y de fuente abierta

Al igual que SSH y SSL, OpenVPN necesita conectarse a un puerto TCP único en el extremo remoto. Una vez establecido, puede encapsular todos los datos en la capa de red, o en la capa de enlace de datos, según sus requerimientos. Lo puede utilizar para crear conexiones VPN robustas entre máquinas individuales o simplemente utilizarlo para conectar enrutadores en redes inalámbricas inseguras.

La tecnología VPN es un campo complejo, y está un poco más allá del alcance de esta sección. Es importante comprender dónde encajan las VPN en la estructura de su red, para proveer la mejor protección posible sin exponer a su organización a problemas involuntarios. Existen varios recursos en línea que se dedican a la instalación de OpenVPN en un servidor y un cliente, personalmente recomiendo este artículo del Linux Journal:

<http://www.linuxjournal.com/article/7949>, así como el sitio oficial de CÓMO HACERLO: <http://openvpn.net/howto.html>

Tor y Anonimizadores

Básicamente, Internet es una red abierta basada en la confianza. Cuando usted se conecta a un servidor web en Internet, su tráfico pasa a través de muchos enrutadores diferentes, pertenecientes a una gran variedad de instituciones, corporaciones y personas. En principio, cualquiera de esos enrutadores tiene la posibilidad de observar de cerca sus datos, mirando como mínimo las direcciones de origen y destino, y muy a menudo el contenido de los datos. Aún si sus datos están encriptados por medio de un protocolo seguro, su proveedor de Internet puede monitorear la cantidad de datos y el origen y destino de los mismos. A menudo esto es suficiente para tener una idea clara de sus actividades en línea.

La privacidad y el anonimato son importantes y están unidas estrechamente. Hay muchas razones válidas para considerar proteger su privacidad **haciendo anónimo** su tráfico en la red. Supongamos que usted quiere ofrecer conectividad a Internet a su comunidad, instalando varios puntos de acceso para que la gente se conecte. Tanto si usted les cobra por el acceso como si no, existe siempre el riesgo de que la gente utilice la red para alguna actividad ilegal en su país o región. Usted podría argumentar luego, en caso de verse envuelto en problemas legales, que esa acción ilegal no fue realizada por usted sino por cualquiera conectado a su red. Sin embargo, el problema legal puede evadirse elegantemente si no es técnicamente factible determinar adónde fue realmente dirigido su tráfico. ¿Y qué pasa con la censura en Internet? Publicar páginas web anónimamente puede ser necesario para evitar la censura del gobierno.

Existen herramientas que le permiten hacer anónimo su tráfico de formas relativamente sencillas. La combinación de **Tor** (<http://tor.eff.org/>) y **Privoxy** (<http://www.privoxy.org/>) es una forma poderosa de correr un servidor *proxy* local que pasa su tráfico de Internet a través de varios servidores dispersos por la red, dificultando seguir el rastro de la información. Tor puede activarse en un PC local bajo Microsoft Windows, Mac OSX, Linux y una variedad de BSDs, donde el tráfico se hace anónimo desde el navegador a esa máquina en particular. Tor y Privoxy también pueden instalarse en una pasarela (*gateway*), o también en un pequeño punto de acceso embebido (como el Linksys WRT54G) donde se provee anonimato automáticamente para todos los usuarios de la red.

Tor funciona haciendo rebotar repetidamente sus conexiones TCP a través de varios servidores esparcidos en Internet, y envuelve la información de enrutamiento en varias capas encriptadas (de ahí el término enrutamiento **cebolla**), que se van quitando cuando el paquete se mueve por la red. Esto

significa que, en cualquier punto en la red, la dirección de la fuente y la del destino no pueden relacionarse una con la otra. Esto hace que el análisis del tráfico sea extremadamente difícil.

La necesidad del proxy de privacidad Privoxy en combinación con Tor se debe al hecho de que las solicitudes de nombre del servidor (solicitudes DNS) en la mayoría de los casos no pasan a través del servidor proxy, y alguien que esté analizando su tráfico puede ser capaz de ver que usted está intentando acceder a un sitio específico (por ejemplo google.com) por el hecho de que envía una solicitud DNS para traducir google.com a la dirección IP apropiada. Privoxy se conecta a Tor como un proxy SOCKS4a, el cual usa nombres de servidores (no direcciones IP) para entregar sus paquetes en el destino deseado.

En otras palabras, utilizar Privoxy con Tor es una forma simple y efectiva de prevenir el análisis del tráfico que relaciona su dirección IP con los servicios que utiliza en línea. Combinado con protocolos de encriptación seguros (como los que hemos visto en este capítulo), Tor y Privoxy proveen un alto nivel de anonimato en Internet.

Monitoreo

Las redes de computadoras (y las inalámbricas en particular) son invenciones increíblemente entretenidas y útiles. Excepto, por supuesto, cuando no funcionan. Sus usuarios se pueden quejar de que la red es “lenta” o “no funciona” ¿pero qué significa esto realmente? Sin comprender qué es lo que realmente está pasando, administrar una red puede ser muy frustrante.

Para ser un administrador de red efectivo, necesita tener acceso a herramientas que le muestren exactamente qué es lo que está sucediendo en su red. Existen varias clases diferentes de herramientas de monitoreo. Cada una le muestra un aspecto diferente de lo que “está pasando”, desde la interacción física del radio a las formas en que las aplicaciones de los usuarios interactúan entre ellas. Al observar el desempeño de la red a través del tiempo se puede tener una idea de lo que es “normal” para ella, y ser notificado automáticamente cuando las cosas están fuera de orden. Las herramientas que presentamos en esta sección son bastante poderosas, y se pueden descargar gratuitamente de las fuentes listadas.

Detección de redes

Las herramientas de monitoreo comunes, simplemente proveen una lista de redes disponibles con información básica (tales como intensidad de la señal y canal). Le permiten detectar rápidamente redes cercanas y determinar si están dentro de su alcance o si están causando interferencia.

- **Las incorporadas en el cliente.** Todos los sistemas operativos modernos proveen soporte incorporado para redes inalámbricas. En general este incluye la habilidad de explorar en búsqueda de redes disponibles, permitiéndole al usuario elegir una red de la lista. Si bien prácticamente todos los dispositivos inalámbricos incluyen una utilidad simple de exploración, las funcionalidades puede variar ampliamente entre implementaciones. En general, son útiles solamente para configurar una computadora en su hogar o en la oficina. Tienden a proveer poca información además de los nombres de las redes y la señal disponible para el punto de acceso en uso actualmente.
- **Netstumbler** (<http://www.netstumbler.com/>). Es la herramienta más popular para detectar redes inalámbricas utilizando Microsoft Windows. Soporta una variedad de tarjetas inalámbricas, y es muy sencilla de utilizar. Detecta redes abiertas y encriptadas, pero no puede detectar redes inalámbricas “cerradas”. También ofrece un medidor de señal/ruido que grafica la señal recibida a lo largo del tiempo. También se puede integrar con una variedad de dispositivos GPS, para registrar ubicaciones precisas e información sobre la potencia de la señal. Todo esto hace que Netstumbler sea una herramienta accesible para realizar una prospección informal de la zona.
- **Ministumbler** (<http://www.netstumbler.com/>). De los realizadores de Netstumbler, Ministumbler provee muchas de las mismas funcionalidades que la versión de Windows, pero funciona en las plataformas Pocket PC. Ministumbler se puede correr en PDAs portátiles con una tarjeta inalámbrica para detectar puntos de acceso en la zona.
- **Macstumbler** (<http://www.macstumbler.com/>). Si bien no está relacionado directamente con Netstumbler, Macstumbler brinda muchas de sus funcionalidades pero para la plataforma Mac OS X. Funciona con todas las tarjetas Apple Airport.
- **Wellenreiter** (<http://www.wellenreiter.net/>). Wellenreiter es un buen detector gráfico de redes inalámbricas para Linux. Requiere Perl y GTK, y soporta tarjetas inalámbricas Prism2, Lucent, y Cisco.

Analizadores de protocolos

Los analizadores de protocolos de redes una gran cantidad de detalles de la información que fluye por una red, permitiendo inspeccionar paquetes individualmente. Para las redes cableadas, pueden inspeccionar paquetes en la capa de enlace de datos o en una superior. Para el caso de las redes inalámbricas, se puede inspeccionar información hasta las tramas 802.11. Aquí hay varios analizadores de protocolos de redes populares (y gratuitas):

- **Ethereal** (<http://www.ethereal.com/>). Ethereal probablemente sea el analizador de protocolos más popular de los que tenemos a disposición. Funciona con Linux, Windows, Mac OS X, y con varios sistemas BSD. Ethereal capturara los paquetes directamente “del cable” y los despliega en una interfaz gráfica intuitiva. Puede decodificar más de 750 protocolos, desde las tramas 802.11 a los paquetes HTTP. Fácilmente reensambla los paquetes fragmentados y sigue las sesiones TCP por completo, aún si otros datos se han intercalado en la muestra. Ethereal es muy importante para resolver problemas difíciles de la red, y averiguar que es exactamente lo que está sucediendo cuando dos computadoras conversan “en el cable”.
- **Kismet** (<http://www.kismetwireless.net/>). Kismet es un poderoso analizador de protocolos inalámbrico para Linux, Mac OS X, y la distribución Linux embebida OpenWRT. Funciona con cualquier tarjeta inalámbrica que soporte el modo monitor pasivo. Además de la detección básica de redes, Kismet registra pasivamente todas las tramas 802.11 al disco o la red en el formato estándar PCAP, para su futuro análisis con herramientas como Ethereal. Kismet también ofrece información asociada del cliente, impresión digital del modelo del AP, detección con Netstumbler, e integración GPS.

Como es un monitor pasivo de la red también puede detectar redes inalámbricas “cerradas”, analizando el tráfico enviado por los clientes. Se puede instalar Kismet en varias computadoras al mismo tiempo, y hacer que todas reporten a través de la red a una misma interfaz de usuario. Esto permite realizar un monitoreo inalámbrico sobre grandes áreas, tales como un campus universitario o corporativo. Como utiliza el modo de monitoreo pasivo, hace todo esto sin transmitir ningún dato.

- **KisMAC** (<http://kismac.binaervarianz.de/>). Desarrollado exclusivamente para la plataforma Mac OS X, KisMAC puede hacer mucho de lo que Kismet hace, pero con una interfaz gráfica Mac OS X muy elaborada. Es un rastreador pasivo que registra datos al disco en un formato PCAP compatible con Ethereal. No soporta un rastreo pasivo con tarjetas AirportExtreme (debido a las limitaciones en el manejador inalámbrico), pero soporta el modo pasivo con una variedad de tarjetas inalámbricas USB.
- **Driftnet y Etherpeg**. Estas herramientas decodifican datos gráficos (como los archivos GIF y JPEG) y los despliegan como un collage. Como mencionamos anteriormente, herramientas como ésta tienen un uso limitado en la resolución de problemas, pero tienen mucho valor para demostrar la inseguridad de los protocolos sin encriptación. Etherpeg está disponible en <http://www.etherpeg.org/>, y Driftnet puede descargarse en <http://www.ex-parrot.com/~chris/driftnet/>.

Monitoreo del ancho de banda

La red está lenta. ¿Quién está acaparando todo el ancho de banda? Utilizando una buena herramienta de monitoreo, puede determinar fácilmente la fuente que inunda su red de correo no deseado y de virus. Dichas herramientas también lo pueden ayudar a planificar los incrementos de capacidad requeridos para mantener los usuarios satisfechos. Al mismo tiempo le dan una representación visual de cómo fluye el tráfico en la red, incluyendo el que proviene de una computadora o servicio en particular.

- **MRTG** (<http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/>). La mayoría de los administradores de red se han encontrado con MRTG en algún punto de su carrera. Escrito originalmente en 1995, MRTG posiblemente sea la aplicación de monitoreo de ancho de banda más usada. Utilizando Perl y C, construye una página web llena de gráficos detallando el tráfico saliente y entrante en un dispositivo de red en particular. Con MRTG es muy sencillo consultar conmutadores de red, puntos de acceso, servidores, así como otros dispositivos, y desplegar los resultados como gráficos en función del tiempo.
- **RRDtool** (<http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/rrdtool/>). Desarrollado por la misma gente que escribió mrtg, rrdtool es una aplicación de monitoreo genérica más poderosa. RRD es una abreviatura de base de datos de recorrido circular (*Round-Robin Database por su nombre en inglés*). Este es un formato de datos genérico que le permite seguir cualquier punto de datos como un conjunto promediado en el tiempo. Si bien rrdtool no monitorea directamente interfaces o dispositivos, muchos paquetes de monitoreo confían en él para almacenar y desplegar los datos que colectan. Con unos pocos programas de consola, puede monitorear fácilmente los conmutadores y puntos de acceso de su red, y trazar de forma gráfica en una página web el ancho de banda utilizado.
- **ntop** (<http://www.ntop.org/>). Para realizar un análisis histórico del tráfico y del uso de la red, seguramente usted va a querer investigar ntop. Este programa construye un reporte detallado en tiempo real de lo que observa en el tráfico de la red, y lo despliega en su navegador web. Se integra con rrdtool, y realiza gráficos y cuadros visuales que representan cómo está siendo usada la red. En redes muy pesadas ntop puede consumir mucha capacidad de la CPU y espacio del disco, pero le brinda un extensivo análisis de cómo está siendo utilizada su red. Funciona en Linux, BSD, Mac OS X, y Windows.
- **iptraf** (<http://iptraf.seul.org/>). Si necesita tomar una instantánea de la actividad de la red en un sistema Linux, inténtelo con iptraf. Ésta es una utilidad de línea de comando que le brinda en segundos una mirada sobre las conexiones y el flujo de su red, incluyendo puertos y protocolos. Puede ser muy buena para determinar quién está usando un enlace inalámbrico

en particular, y cuanta carga se le está imponiendo. Por ejemplo, al mostrar una estadística detallada acerca de una interfaz, usted puede encontrar instantáneamente los usuarios de programas de intercambio entre pares (*P2P* o *peer-to-peer* como se les conoce en inglés) y determinar exactamente cuánto ancho de banda están utilizando en cierto momento.

Resolución de problemas

¿Qué hace cuando la red se daña? Si no puede acceder a una página web o a un servidor de correo electrónico, y el problema no se soluciona presionando el botón de “actualizar”, usted hace necesario aislar la ubicación exacta del problema. Estas herramientas lo van a ayudar a determinar dónde se encuentra exactamente un problema de la conexión.

- **ping.** Casi todos los sistemas operativos (incluyendo Windows, Mac OS X, y por supuesto Linux y BSD) incluyen una versión de la utilidad *ping*. Utiliza paquetes ICMP para intentar contactar un servidor específico y le informa a usted cuánto tiempo lleva obtener una respuesta.

Saber qué contactar es tan importante como saber cómo hacerlo. Si usted no puede conectarse a un servicio en su navegador web (por ejemplo, <http://yahoo.com/>), puede intentar contactarlo:

```
$ ping yahoo.com
PING yahoo.com (66.94.234.13): 56 data bytes
64 bytes from 66.94.234.13: icmp_seq=0 ttl=57 time=29.375 ms
64 bytes from 66.94.234.13: icmp_seq=1 ttl=56 time=35.467 ms
64 bytes from 66.94.234.13: icmp_seq=2 ttl=56 time=34.158 ms
^C
--- yahoo.com ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 29.375/33.000/35.467/2.618 ms
```

Presione control-C cuando haya terminado de coleccionar datos. Si los paquetes se toman mucho tiempo en regresar, puede haber una congestión en la red. Si el retorno de los paquetes de contacto tiene un ttl inusualmente bajo, puede que haya problemas de enrutamiento entre su computadora y el extremo remoto. ¿Pero qué sucede si el contacto no regresa ningún dato? Si está contactando un nombre en lugar de una dirección IP, puede que tenga problemas de DNS.

Intente contactar una dirección IP en Internet. Si no puede acceder a ella, es una buena idea observar si puede contactar su enrutador por omisión:

```
$ ping 216.231.38.1
PING 216.231.38.1 (216.231.38.1): 56 data bytes
64 bytes from 216.231.38.1: icmp_seq=0 ttl=126 time=12.991 ms
64 bytes from 216.231.38.1: icmp_seq=1 ttl=126 time=14.869 ms
64 bytes from 216.231.38.1: icmp_seq=2 ttl=126 time=13.897 ms
^C
--- 216.231.38.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 12.991/13.919/14.869/0.767 ms
```

Si no puede contactar a su enrutador por omisión, entonces lo más probable es que tampoco pueda acceder a Internet. Si tampoco puede contactar otras direcciones IP en su LAN local, es tiempo de verificar su conexión. Si está utilizando cable Ethernet, ¿está enchufado? Si está utilizando una conexión inalámbrica, ¿esta usted conectado a la red correcta, y está la red dentro de su alcance?

El diagnóstico de problemas de la red con *ping* es casi un arte, pero es muy útil. Ya que probablemente usted va a encontrar *ping* en casi cualquier computadora con la que trabaje, es una buena idea aprender cómo usarlo apropiadamente.

- **traceroute** y **mtr** (<http://www.bitwizard.nl/mtr/>). Como sucede con *ping*, *traceroute* está en la mayoría de los sistemas operativos (en algunas versiones de Microsoft Windows se le denomina **tracert**). Si corre *traceroute*, puede rastrear la ubicación de los problemas entre su computadora y cualquier punto en Internet:

```
$ traceroute -n google.com
traceroute to google.com (72.14.207.99), 64 hops max, 40 byte packets
 1  10.15.6.1  4.322 ms  1.763 ms  1.731 ms
 2  216.231.38.1  36.187 ms  14.648 ms  13.561 ms
 3  69.17.83.233  14.197 ms  13.256 ms  13.267 ms
 4  69.17.83.150  32.478 ms  29.545 ms  27.494 ms
 5  198.32.176.31  40.788 ms  28.160 ms  28.115 ms
 6  66.249.94.14  28.601 ms  29.913 ms  28.811 ms
 7  172.16.236.8  2328.809 ms  2528.944 ms  2428.719 ms
 8  * * *
```

La opción **-n** le dice a *traceroute* que no se preocupe por resolver los nombres en el DNS, y hace que el programa corra más rápido. Usted puede ver que en el salto siete, el tiempo de recorrido de ida y vuelta se dispara a más de dos segundos, mientras que los paquetes parece que se desechan en el salto ocho. Esto puede indicar un problema en ese punto

de la red. Si esta parte de la red está bajo su control, vale la pena comenzar sus esfuerzos para resolver el problema por allí.

My TraceRoute (mtr) es un programa que combina *ping* y *traceroute* en una sola herramienta. Corriendo mtr, puede obtener un promedio de la latencia y la pérdida de paquetes hacia un servidor en cierto lapso, en lugar de la visión instantánea que ofrecen *ping* y *traceroute*.

```

My traceroute [v0.69]
tesla.rob.sw.n (0.0.0.0) (tos=0x0 psize=64 bitpatSun Jan 8 20:01:26 2006
Keys: Help Display mode Restart statistics Order of fields quit
          Packets
          Pings
Host      Loss%  Snt   Last  Avg  Best  Wrst  StDev
1. gremlin.rob.sw.n      0.0%   4    1.9   2.0   1.7   2.6   0.4
2. er1.seal.speakeasy.net 0.0%   4   15.5  14.0  12.7  15.5  1.3
3. 220.ge-0-1-0.cr2.seal.speakeasy. 0.0%   4   11.0  11.7  10.7  14.0  1.6
4. fe-0-3-0.cr2.sfol.speakeasy.net 0.0%   4   36.0  34.7  28.7  38.1  4.1
5. bas1-m.pao.yahoo.com   0.0%   4   27.9  29.6  27.9  33.0  2.4
6. so-1-1-0.pat1.dce.yahoo.com 0.0%   4   89.7  91.0  89.7  93.0  1.4
7. ae1.p400.msrl.dcn.yahoo.com 0.0%   4   91.2  93.1  90.8  99.2  4.1
8. ge5-2.bas1-m.dcn.yahoo.com 0.0%   4   89.3  91.0  89.3  93.4  1.9

```

Los datos van a ser actualizados y promediados continuamente. Al igual que con *ping*, cuando haya terminado de observar los datos debe presionar control-C. Tenga en cuenta que para usar mtr debe tener privilegios de administrador (root).

Si bien estas herramientas no van a revelar exactamente qué es lo que está funcionando mal en una red, pueden darle información suficiente para saber por dónde continuar en la resolución de problemas.

Prueba de rendimiento

¿Cuán rápido puede funcionar la red? ¿Cuál es la capacidad real utilizable en un enlace específico de la red? Puede obtener una muy buena estimación de su capacidad de rendimiento inundando el enlace con tráfico y midiendo cuánto demora en transferir los datos. Aunque existen páginas web que pueden hacer una “prueba de velocidad” en su navegador (como <http://www.dslreports.com/stest>), esas pruebas son altamente inexactas si usted está lejos de la fuente de prueba. Aún peor, no le permiten medir la velocidad de un enlace en particular, sino solamente la velocidad de su enlace a Internet. Le presentamos dos herramientas que le van a permitir realizar una prueba de rendimiento en su propia red.

- **ttcp** (<http://ftp.arl.mil/ftp/pub/ttcp/>). Actualmente es una parte estándar de la mayoría de los sistemas tipo Unix. ttcp es una simple herramienta de prueba de red. Se corre en cualquier lado del enlace que usted quiera probar. El primer nodo actúa en modo receptor, y el otro transmite:

```
node_a$ ttcp -r -s

node_b$ ttcp -t -s node_a
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/0, port=5001 tcp -> node_a
ttcp-t: socket
ttcp-t: connect
ttcp-t: 16777216 bytes in 249.14 real seconds = 65.76 KB/sec +++
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 124.57, calls/sec = 8.22
ttcp-t: 0.0user 0.2sys 4:09real 0% 0i+0d 0maxrss 0+0pf 7533+0csw
```

Después de recolectar los datos en una dirección, debe invertir el par de transmisión y recepción para probar el enlace en la otra dirección. Puede probar flujos UDP así como TCP, alterar varios parámetros TCP y el largo de la memoria intermedia (*buffer*) para probar la red bajo fuertes exigencias. Además, el usuario puede especificar los datos a enviar en la prueba, en lugar de enviar datos generados aleatoriamente. Recuerde que la velocidad de lectura está en kilobytes, no en kilobits. Multiplique el resultado por 8 para encontrar la velocidad en kilobits por segundo.

La única desventaja real de *ttcp*, es que hace años que no ha sido actualizado. Afortunadamente, el código es de dominio público y está disponible gratuitamente. Al igual que *ping* y *traceroute*, *ttcp* es una herramienta estándar en muchos sistemas.

- **iperf** (<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>). Al igual que *ttcp*, *iperf* es una herramienta de línea de comandos para estimar el rendimiento de una conexión de red. Soporta muchas de las mismas características que *ttcp*, pero utiliza un modelo “cliente” y uno “servidor” en lugar del par “receptor” y “transmisor”. Para correr *iperf*, inicie un servidor en un lado y un cliente en el otro:

```
node_a$ iperf -s

node_b$ iperf -c node_a
-----
Client connecting to node_a, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[  5] local 10.15.6.1 port 1212 connected with 10.15.6.23 port 5001
[ ID] Interval           Transfer         Bandwidth
[  5] 0.0-11.3 sec       768 KBytes      558 Kbits/sec
```

El lado del servidor continuará escuchando y aceptando conexiones del cliente en el puerto 5001 hasta que usted presione control-C para detenerlo. Esto puede ser útil si corremos varias tandas de pruebas desde diferentes lugares.

La mayor diferencia entre *ttcp* e *iperf* es que *iperf* está siendo desarrollado activamente, y tiene muchas características nuevas (incluyendo soporte

IPv6). Esto lo hace una buena elección cuando construimos redes nuevas.

Salud de la red

Siguiendo la información a través del tiempo, usted puede tener una idea general de la salud de la red y sus servicios. Estas herramientas muestran las tendencias de su red y pueden incluso notificar a las personas cuando se presenten problemas. Muy a menudo, los sistemas van a notar el problema aún antes de que una persona llame solicitando soporte técnico.

- **cacti** (<http://www.cacti.net/>). Como mencionamos anteriormente, muchas herramientas utilizan RRDtool como programa de soporte (*back-end*) para armar gráficos con los datos que ellas recolectan. Cacti es una herramienta de ese tipo. Es una herramienta de gestión de redes basada en PHP que simplifica la recolección de datos y la generación de gráficos. Almacena su configuración en una base de datos MySQL, y está integrada con SNMP. Cacti hace muy sencillo el mapeo de todos los dispositivos en su red y monitorea todo, desde el flujo de la red hasta la carga del CPU. Tiene un esquema extensible de recolección de datos que le permite captar casi cualquier tipo de datos que se le ocurra (tales como señales de radio, ruido, o usuarios asociados) y desplegarlos en un gráfico en función del tiempo. Representaciones pequeñas (*thumbnails*) de sus gráficos pueden combinarse en una única página. Esto le permite observar el estado global de su red de una sola ojeada.
- **SmokePing** (<http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/smokeping/>). Otra de las herramientas desarrollada por Tobias Oetiker es SmokePing. Está escrita en Perl y muestra la pérdida de paquetes y la latencia en un único gráfico. Es muy útil correr SmokePing en un servidor con buena conectividad a toda su red. Con el tiempo, revela tendencias que pueden apuntar a todo tipo de problemas de red. Combinado con MRTG o Cacti, puede observar el efecto que tiene la congestión de la red en la pérdida de paquetes y en la latencia. SmokePing puede enviar alertas cuando se encuentran ciertas condiciones, como cuando se observa una pérdida excesiva de paquetes en un enlace por un período de tiempo largo.
- **Nagios** (<http://www.nagios.org/>). Nagios es una herramienta de monitoreo de servicio. Además de seguir el desempeño de simples contactos (como con SmokePing), Nagios puede observar el desempeño de los servicios reales en varias máquinas. Por ejemplo, puede consultar periódicamente su servidor web, y estar seguro de que devuelve una página web válida. Si una verificación falla, Nagios puede notificar a una o varias personas vía correo electrónico, mensaje de texto al celular (SMS) o mensajería instantánea (IM).

Aunque Nagios ciertamente ayuda a un único administrador a monitorear una red grande, sus funciones se destacan cuando usted tiene personal

de soporte, con responsabilidades divididas entre varios de sus miembros. La detección de problemas puede ser configurada para ignorar problemas pasajeros, y sólo cuando se amerite enviar las notificaciones únicamente a las personas responsables de solucionarlos. Si el problema sigue por un período de tiempo predeterminado sin ser atendido, se puede notificar adicionalmente a otras personas. Esto permite que los problemas temporales sean simplemente registrados sin molestar al personal, y que sólo los problemas reales tengan que ser atendidos por el equipo.

7

Construyendo un Nodo en Exteriores

Se deben tener en cuenta muchas consideraciones prácticas cuando instalamos equipamiento electrónico en exteriores. Obviamente, debe protegerse de la lluvia, el viento, el sol y otros elementos dañinos. Debemos proveer energía, y la antena tiene que estar montada a una altura suficiente. Sin la puesta a tierra adecuada, los rayos que puedan caer cerca, las fluctuaciones de tensión eléctrica, y hasta el viento pueden destruir nuestro enlace inalámbrico. Este capítulo le dará una idea de los problemas prácticos a los que va a tener que enfrentarse cuando instale equipamiento inalámbrico en exteriores.

Cajas herméticas

Las cajas herméticas vienen en muchas variedades. Para crear un contenedor hermético para equipamiento de uso en exteriores se puede usar metal o plástico.

Por supuesto, el equipo necesita energía para funcionar, y debe ser conectado a una antena y a un cable Ethernet. Cada vez que usted perfora un contenedor hermético, crea un nuevo lugar por el cual puede ingresar el agua.

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de USA (*NEMA - National Electrical Manufacturers Association*) estipula normativas para proteger el equipamiento eléctrico de la lluvia, la nieve, el polvo y otros contaminantes. Una caja que cumpla la clasificación **NEMA 3** o superior es adecuada para el uso en climas benignos. Una **NEMA 4X** o **NEMA 6** provee una excelente protección aún cuando sea expuesta al hielo o a un chorro de agua. En el

caso de los elementos que perforan el cuerpo de la caja (como los cables y los conectores), NEMA les asigna un índice de protección del ingreso (IP). Un índice de protección de ingreso de **IP66** o **IP67** protege esas perforaciones de un chorro muy fuerte de agua. Una buena protección para exteriores también debe proveer bloqueo contra las radiaciones UV para prevenir la rotura del precinto por la exposición al sol, así como para proteger el equipamiento que está adentro.

Claro que puede que sea un desafío encontrar en su región cajas clasificadas por NEMA. A menudo se pueden reciclar materiales locales para usarlos como recipientes herméticos. Se pueden utilizar cajas de plástico o de metal, conductos eléctricos para las casas y hasta contenedores de plástico para comida. Cuando perforamos una caja, debemos utilizar juntas de buena calidad o sellos toroidales (o *rings*) para sellar la abertura. En el caso de instalaciones temporales se puede utilizar como sellador un compuesto de silicona estabilizada para soportar rayos UV, o algún compuesto adhesivo flexible, pues recuerde que los cables se mueven con el viento y si el adhesivo es rígido al cabo de un tiempo empezará a resquebrajarse y permitir la entrada de humedad.

La vida de una caja de plástico se puede extender mucho dándole alguna protección al sol. Colocar la caja a la sombra, así sea bajo otro equipamiento, un panel solar, o una lámina delgada de metal específicamente para ese propósito, extenderá la vida de la caja así como la del equipo que está contenido en su interior.

Antes de colocar cualquier dispositivo electrónico en una caja sellada, asegúrese de satisfacer los requerimientos mínimos de disipación del calor. Si su placa madre requiere un ventilador o un difusor de calor muy grande, recuerde que allí no va a haber corriente de aire y probablemente su equipamiento vaya a recalentarse hasta dañarse. Utilice solamente componentes electrónicos que estén diseñados para ser usados en un medio ambiente sin circulación de aire.

Suministro de energía

La corriente DC puede ser provista simplemente haciendo una perforación en su caja y pasando un cable. Si su caja es lo suficientemente grande (como por ejemplo una caja eléctrica para exteriores) puede dotarla de un tomacorriente AC, pero los fabricantes están adoptando una solución muy práctica que elimina la necesidad de una perforación adicional en la caja: Energía a través de Ethernet (**PoE** por su sigla en inglés).

El estándar 802.3af define un método para proveer energía a los dispositivos usando los pares que no se utilizan en un cable Ethernet estándar. En un

cable CAT5 se pueden suministrar cerca de 13 vatios de forma segura y sin interferir con la transmisión de datos en el mismo cable. Los nuevos conmutadores Ethernet que soportan 802.3af (denominados *end span injectors*) entregan energía directamente a los dispositivos conectados. Estos conmutadores pueden proveer energía en los mismos cables que son utilizados para los datos (pares 1-2 y 3-6) o en los no usados (pares 4-5 y 7-8). Una alternativa que no requiere conmutadores especiales es utilizar los llamados inyector de DC (*mid span injectors*,) que se colocan entre los conmutadores Ethernet y el dispositivo a alimentar. Estos inyectores proveen energía mediante los pares no utilizados para transmitir datos.

Si su enrutador inalámbrico o su CPE incluyen soporte para 802.3af, en teoría podría simplemente conectarlo a un inyector. Desafortunadamente, algunos fabricantes (particularmente Cisco) utilizan otra polaridad de corriente, y conectar unos equipos no compatibles puede dañar el inyector y el equipamiento al que debíamos alimentar. Lea con cuidado las instrucciones y asegúrese de que su inyector y el equipamiento inalámbrico coinciden en los conectores y la polaridad que debe utilizarse para alimentarlos.

Si su equipamiento inalámbrico no soporta alimentación por Ethernet, puede sin embargo aprovechar los pares libres en el cable CAT5 para transportar la energía. Puede utilizar un **inyector pasivo PoE** comercial, o construir uno usted mismo. Estos dispositivos aplican la corriente continua (DC) a los pares libres en un extremo del cable, mientras que en el otro extremo los pares se aplican mediante un conector apropiado al receptáculo del dispositivo a alimentar. El par de dispositivos pasivos PoE se pueden adquirir por menos de \$20.

Para hacerlo usted mismo, tiene que saber cuánta potencia requiere el dispositivo para funcionar, y además suministrar una corriente y voltaje lo suficientemente grandes para cubrir la pérdida en el cable Ethernet. No debe aplicar demasiada potencia porque la baja resistencia del cable constituye un riesgo de incendio. Puede encontrar un programa que calcula la pérdida de voltaje en un cable CAT5, en el siguiente sitio:

<http://www.gweep.net/~sfoskett/tech/poecalc.html>

Una vez que conoce la potencia y la polaridad eléctrica adecuadas para abastecer su equipamiento inalámbrico, aplique el conector al cable CAT5 utilizando solamente los hilos de datos (pares 1-2 y 3-6). Luego conecte la fuente de alimentación de corriente continua a los pares 4-5 (en general azul / azul-blanco) y 7-8 (marrón / marrón-blanco) en un extremo, y a la clavija tubular de alimentación en el otro. Una guía completa de cómo construir su propio inyector POE desde cero, está en: <http://nycwireless.net/poe/>

Consideraciones de montaje

En muchos casos, el equipamiento está ubicado en un edificio donde hay una ventana con vidrios comunes a través de los cuales pasan los rayos de luz. Los vidrios normales producen poca atenuación, pero los coloreados generan una atenuación inaceptable. El montaje en interiores simplifica mucho los temas de energía y resistencia al agua, pero evidentemente es útil solo en áreas muy pobladas.

Cuando colocamos antenas en torres, es muy importante utilizar soportes separadores, y no adosarlas directamente en la torre. Los soportes ayudan en muchas funciones incluyendo separación, alineación y protección de la antena.

Los soportes deben ser lo suficientemente fuertes para aguantar el peso de la antena, y también mantenerla en su lugar en los días ventosos. Recuerde que las antenas pueden actuar como pequeñas velas y cuando hay vientos fuertes pueden hacer mucha fuerza sobre sus montajes. Cuando estimamos la resistencia al viento, se debe considerar la superficie total de la antena, así como la distancia desde el centro de la antena al punto en el que está pegada al edificio. Las antenas grandes como los platos o los paneles sectoriales de gran ganancia pueden tener una considerable carga de viento. Si utilizamos una parabólica grillada o en malla, en lugar de un plato sólido, ayudaremos a reducir la carga del viento sin afectar mucho la ganancia de la antena. Asegúrese de que los soportes de montaje y la estructura de soporte en general sean sólidos, de otra forma su antena se va a desalinearse con el tiempo (o aún peor, ¡se va a caer toda a torre!).

Los soportes deben tener una separación suficiente de la torre para permitir la alineación, pero no tanta que pueda impedir alcanzarla si se necesita mantenimiento o servicio.

El tubo del soporte de la antena debe ser circular, para que la antena pueda girar a fin de alinearla. Además, el tubo debe ser vertical. Si se está colocando en una torre de sección variable, el soporte de separación debe diseñarse para ser colocado verticalmente. Esto se logra utilizando brazos de diferente longitud, o combinaciones de varillas roscadas y placas de acero.



Figura 7.1: Una antena con un soporte de separación instalándose en una torre.

Como el equipamiento va a estar en exteriores durante toda su vida de servicio, es importante asegurarse de que el acero utilizado sea a prueba de herrumbre. El acero inoxidable a menudo tiene un precio demasiado alto para instalaciones en torres, por eso se prefiere el galvanizado al calor, pero es posible que no esté disponible en algunas áreas. Una buena pintura antióxido también puede servir. Si se elige esta opción, debe que planificar una inspección anual del montaje y si es necesario repintarlo.

Torres Venteadas o Atirantadas

Una torre venteada a la que se pueda trepar es una excelente elección para muchas instalaciones, pero en el caso de estructuras muy altas se necesita una torre autosportada.

En el caso de las torres venteadas, colocar una polea en la cima del mástil facilita su instalación. El mástil se asegura a la sección más baja ya colocada, mientras que las dos secciones de la torre se acoplan con una unión articulada. Una cuerda pasada por la polea facilita el levantamiento de la siguiente sección. Luego de que esa sección esté vertical, sujétela a la sección más baja del mástil. El mástil (denominado en inglés gin pole) se retira, y si es necesario se puede repetir la operación. Apriete los cables de vientos

cuidadosamente, deben tener todos la misma tensión. Elija los puntos de anclaje para que los ángulos, vistos desde el centro de la torre, estén tan equiespaciados como sea posible.



Figura 7.2: Una torre venteada escalable.

Torres autoportadas

Las torres autoportadas son caras pero algunas veces son necesarias, particularmente cuando se requiere una gran altura. Pueden ser tan simples como un mástil robusto enterrado en una fundación de concreto, o tan complicadas como una torre de radio profesional.



Figura 7.3: Una torre autosoportada sencilla.

Algunas veces se puede utilizar una torre ya existente, aunque se deben evitar las antenas de transmisión AM porque toda la estructura es activa. Las torres de estaciones FM son aceptables si se mantiene por lo menos algunos metros de separación entre las antenas. Tenga en cuenta que si bien las antenas de transmisión adyacentes pueden no interferir con su conexión inalámbrica, una FM de alta potencia puede causar interferencia en el cable Ethernet. Siempre que utilice una torre ocupada por muchas antenas, tenga mucho cuidado con la puesta a tierra y considere la conveniencia de utilizar cable apantallado para los datos.



Figura 7.4: Una torre mucho más complicada.

Montajes sobre el techo

En los techos planos se pueden utilizar montajes para la antena que no penetren el piso. Consisten de un trípode colocado en una base de metal o de madera. Luego la base se carga con ladrillos, bolsas de arena, bidones de agua, o con cualquier otra cosa pesada. Utilizando este montaje eliminamos la necesidad de perforar el techo con tornillos, evitando potenciales goteras.



Figura 7.5: Esta base de metal puede cargarse con bolsas de arena, rocas o botellas de agua para lograr una plataforma estable sin penetrar el techo.

Cuando ya existe alguna estructura, como chimeneas o las paredes de los edificios, podemos utilizar montajes en la pared o soportes metálicos. Si las antenas se deben colocar a más de cuatro metros sobre el nivel del techo, una torre escalable puede ser la mejor solución para permitir el acceso más sencillo al equipamiento y para prevenir los movimientos de la antena durante fuertes vientos.

Metales diferentes

Para minimizar la corrosión electrolítica cuando dos metales diferentes están en contacto en presencia de humedad, sus potenciales electrolíticos deben ser lo más cercanos posible. Utilice grasa dieléctrica en la conexión entre dos metales de tipo diferente para prevenir el efecto de electrólisis.

El cobre no debe tocar nunca los materiales galvanizados de forma directa sin una protección adecuada de la unión. El agua en contacto con el cobre incorpora iones que atacan la cobertura galvanizada (*zinc*) de la torre. El acero inoxidable puede usarse como material separador, pero debe tener en cuenta que éste no es un buen conductor. Si se utiliza como separador entre el cobre y los metales galvanizados, la superficie de contacto debe ser grande y la longitud a atravesar, corta. Debe utilizarse un compuesto protector de juntas para cubrir la conexión, y para que el agua no pueda pasar entre los diferentes metales.

La humedad en los conectores es sin duda la causa de fallos más observada en los radioenlaces. Debe apretar los conectores firmemente, pero nunca utilice una llave inglesa u otra herramienta para hacerlo. Recuerde que los metales se expanden y contraen con los cambios de temperatura, y que un conector demasiado ajustado se puede romper en climas extremos.

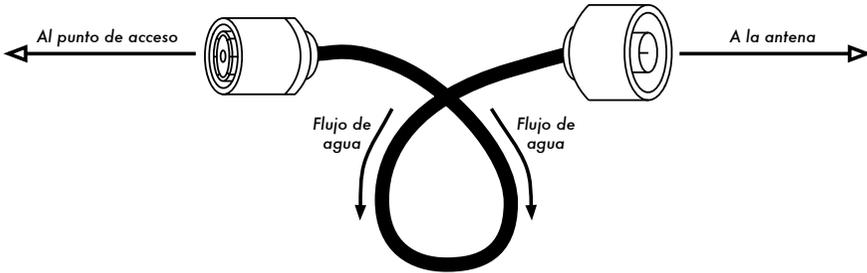


Figura 7.6: Un bucle en forma de gota fuerza al agua de lluvia a alejarse de sus conectores.

Una vez ajustados, los conectores se deben proteger aplicando una capa de cinta aisladora, luego una capa de cinta o mastic sellador y luego otra capa de cinta aisladora. El sellador protege el conector de la filtración del agua, y la capa de cinta protege el sellador del daño por los rayos UV. Los cables deben tener un bucle en forma de gota extra para evitar que el agua ingrese dentro del radio.

Seguridad

Cuando esté trabajando en las alturas utilice siempre arneses de seguridad amarrados a la torre. Si nunca ha trabajado en una torre, contrate a un profesional que lo haga por usted. En muchos países se requiere entrenamiento especial para estar autorizado a trabajar en torres por encima de cierta altura.

Evite trabajar en las torres cuando haya fuertes vientos o tormentas. Cuento siempre con un compañero, y suba sólo cuando haya buena luz. Trabajar en

una torre puede llevar más tiempo del que usted piensa y es **extremadamente** peligroso trabajar en la oscuridad. Tómese todo el tiempo necesario para completar el trabajo antes de que se oculte el sol, y si el tiempo no le alcanza recuerde que la torre estará allí en la mañana, cuando usted pueda retomar el problema después de haber tenido una buena noche de descanso.

Alineación de antenas en un enlace a larga distancia

La clave para lograr una alineación exitosa de las antenas en un enlace a larga distancia es la comunicación. Si modifica muchas variables al mismo tiempo (es decir, un equipo comienza a mover la antena mientras el otro intenta tomar una lectura de la intensidad de la señal), el proceso tomará todo el día y probablemente va a terminar con las antenas desalineadas.

Deben utilizarse dos equipos. Idealmente, cada equipo estará conformado al menos por dos personas: una que tome las lecturas de la señal y se comunique con el extremo remoto, y la otra que manipule la antena. Éstos son puntos que debe tener en mente cuando trabaje con enlaces a larga distancia.

5. **Pruebe todo el equipamiento con anterioridad.** Antes de dirigirse al campo, configure los dispositivos, conecte las antenas con los cables apropiados y haga una prueba completa de conectividad de extremo a extremo. Desarme para el transporte con la convicción de que en el campo sólo deberá conectar y energizar sin tener que modificar ningún parámetro. Este es un buen momento para acordar la polarización de las antenas (vea el capítulo dos si no comprende lo que significa polarización).
6. **Consiga equipo de comunicaciones de respaldo.** Si bien los teléfonos celulares usualmente son lo suficientemente buenos como para funcionar en las ciudades, la recepción móvil puede ser muy mala o inexistente en áreas rurales. Puede utilizar radios de dos vías para comunicación de voz como los FRS o GMRS, o si sus equipos tienen licencias para radio amateurs, utilice un par de radios VHF o UHF en bandas de radioaficionado. Trabajar a cierta distancia puede ser frustrante sobre todo si usted le está preguntando constantemente al otro equipo “¿pueden escucharme ahora?” Seleccione sus canales de comunicación y pruebe sus radios (incluyendo las baterías) antes de separarse.
7. **Lleve una cámara.** Tómese cierto tiempo para documentar la ubicación de cada enlace, incluyendo los edificios que lo rodean y las obstrucciones. Más adelante esto puede ser muy útil para determinar la viabilidad

de otro enlace en ese lugar sin tener que viajar en persona hasta allí. En su primera visita al lugar, registre las coordenadas con un GPS así como la elevación.

8. **Comience por estimar la orientación y elevación adecuadas.** Para comenzar, ambos equipos deben utilizar triangulación (utilizando las coordenadas del GPS o un mapa) para tener una idea general de la dirección hacia la cual apuntar. Utilice una brújula para alinear la antena en la orientación deseada. Los accidentes notables del terreno también son aprovechables para la orientación. Si puede utilizar binoculares para ver el otro extremo será aún mejor. Una vez que haya hecho sus conjeturas, tome una lectura de la intensidad de la señal recibida. Si ha hecho un buen estimado de la dirección, es probable que ya tenga señal.
9. **Si todo falla, construya su propia referencia de alineación.** Algunos tipos de terrenos hacen difícil juzgar la ubicación del otro extremo del enlace. Si está construyendo un enlace en un área con pocas marcas, una referencia hecha por usted mismo como una cometa, un globo, una lámpara de destello, una antorcha de emergencia o inclusive una señal de humo pueden ayudar. No necesariamente debe tener un GPS para alinear su antena.
10. **Pruebe la señal en ambas direcciones, pero una a la vez.** Una vez que ambos extremos han alineado lo mejor que pueden, el extremo con menos ganancia de antena debe dejarla fija. Utilizando una buena herramienta de monitoreo (como Kismet, Netstumbler, o la incluida en un buen cliente inalámbrico), el equipo con la antena de mayor ganancia debe girarla lentamente en el plano horizontal observando el medidor de señal. Una vez conseguida la mejor posición en el plano, intente modificar la elevación de la antena. Luego que se encuentra la mejor elevación, fije la antena en su lugar y avise al otro equipo para que realice el mismo procedimiento en el otro extremo. Repita este procedimiento un par de veces hasta encontrar la mejor posición para ambas antenas.
11. **No toque la antena cuando esté tomando una lectura.** Su cuerpo afecta el patrón de radiación de la antena. No la toque y no permanezca en el camino del haz cuando tome lecturas de la intensidad de la señal. Lo mismo se aplica para el equipo en el otro extremo del enlace.
12. **No vacile en seguir explorando después de obtener el máximo de señal recibida.** Como vimos en el capítulo cuatro, los patrones de radiación presentan muchos lóbulos laterales con sensibilidad inferior a la del lóbulo principal. Si la señal que recibe es menor que lo calculado puede que haya encontrado un lóbulo lateral. Continúe moviéndose lentamente más allá de ese lóbulo para ver si puede encontrar el lóbulo principal.
13. **El ángulo de la antena puede parecer errado.** El lóbulo principal de la antena a menudo irradia ligeramente hacia un lado o el otro del eje vis-

ual de la antena. No se preocupe de como luce la antena; la posición óptima es aquella que produce la mejor señal.

14. **Revise la polarización.** Puede ser frustrante intentar alinear un plato para descubrir que el otro equipo está utilizando la polarización opuesta. Repetimos, esto debe acordarse antes de dejar la base, pero si un enlace presenta una señal débil en todas las orientaciones, un nuevo chequeo de la polarización no va a hacer daño.
15. **Si nada funciona, pruebe todos los componentes uno a la vez.** ¿Están encendidos los dispositivos en ambos extremos? ¿Los pigtails y los conectores están conectados correctamente, sin partes dañadas o que generen sospecha? Como subrayamos en el capítulo ocho, una buena técnica de resolución de problemas le evita pérdida de tiempo y frustración. Trabaje lentamente y comunique frecuentemente su estado al otro equipo

Si trabaja metódicamente y con una buena comunicación, puede completar la alineación de antenas de gran ganancia en poco tiempo. Además si lo hace de forma apropiada, ¡será divertido!

Protección contra rayos y fluctuaciones de tensión eléctrica

La energía es un gran desafío para la mayoría de las instalaciones en el mundo en desarrollo. Donde hay redes eléctricas, a menudo carecen del mantenimiento adecuado, fluctúan dramáticamente y son susceptibles a los rayos. Una buena protección contra las fluctuaciones de tensión eléctrica es fundamental no sólo para proteger su equipamiento inalámbrico sino también para todo el equipo que está conectado a él.

Fusibles y cortacircuitos

Los fusibles son básicos pero se descuidan muy a menudo. En áreas rurales, y también en muchas zonas urbanas de los países en desarrollo, se hace difícil encontrar fusibles. A pesar del costo adicional, es preferible usar cortacircuitos (interruptores automáticos termomagnéticos). Probablemente haya que importarlos, pero vale la pena considerarlos. A menudo los fusibles quemados son reemplazados por monedas para restablecer el contacto. En un caso reciente, se destruyó todo el equipamiento electrónico en una estación de radio rural cuando cayó un rayo y atravesó el cableado que carecía de cortacircuito o fusible para protegerlo.

Puesta a tierra

Realizar una instalación de tierra adecuada no tiene por qué ser una tarea complicada. Se persiguen dos objetivos: proveer un cortocircuito a tierra en caso de que caiga un rayo, y proveer un circuito para que la energía estática excesiva sea disipada.

El primer objetivo es proteger el equipo de la caída directa o casi directa de un rayo, mientras que el segundo provee un camino para disipar el exceso de energía debida a la acumulación de electricidad estática. La estática puede causar una degradación significativa de la calidad de la señal, particularmente en receptores sensibles (VSATs por ejemplo). Establecer un cortocircuito a tierra es sencillo. El instalador simplemente debe proveer un camino lo más corto posible desde la superficie conductora más alta (un pararrayos) hasta la tierra. Cuando un rayo impacta el pararrayos, la energía viaja por el camino más corto, y por lo tanto va a eludir el equipamiento. Este cable a tierra debe ser capaz de manejar corrientes grandes (se necesita un cable grueso, como un cable de cobre trenzado AWG 8).

Para poner a tierra al equipamiento, instale un pararrayos más arriba del equipo a proteger en una torre u otra estructura. Luego utilice un cable conductor grueso para conectar el pararrayos a algo que esté sólidamente conectado a tierra. Los caños o tuberías metálicas subterráneas pueden ser una muy buena tierra (dependiendo de su profundidad, la humedad, salinidad, cantidad de metal y contenido orgánico del suelo). En muchos lugares de África del Oeste las tuberías no están enterradas, y el equipamiento de tierra mencionado a menudo es inadecuado debido a la mala conductividad del suelo (típico de suelos tropicales estacionalmente áridos). Existen dos formas muy sencillas de medir la eficiencia de la puesta a tierra:

1. La menos precisa es conectar un UPS (Unidad de alimentación ininterrumpible) de buena calidad o un multi-enchufe (regleta), que tenga un indicador de tierra (un **LED -Diodo Emisor de Luz-**). Este LED es encendido por la energía que está siendo disipada por el circuito a tierra. Una tierra efectiva disipa pequeñas cantidades de energía a la tierra. Algunas personas utilizan esto para piratear un poco de corriente gratuita ¡ya que esta corriente no activa el contador de energía eléctrica!
2. Tome un bombillo de pocos vatios (30 W) con su receptáculo, conecte un cable a tierra y el segundo a la fase. Si la tierra está funcionando bien, el bombillo debería encenderse levemente.
3. La forma más sofisticada es simplemente medir la impedancia entre la fase y tierra.

Si su tierra no es eficiente va a tener que enterrar una jabalina (estaca) a mayor profundidad (donde el suelo es más húmedo, y tiene más materia

orgánica y metales), o mejorar la conductividad de la tierra. Un enfoque común en donde hay poco suelo es excavar un pozo de 1 metro de diámetro y 2 metros de profundidad, y colocar en él una pieza de metal conductor que tenga mucha masa. Esto a menudo se denomina **plomo** pero puede ser cualquier pieza de metal que pese 0,5 kg o más, tales como un yunque de hierro o una rueda de acero. Luego rellene el agujero con carbón mezclado con sal, y después llénelo hasta el tope con tierra. Humedezca el área, y el carbón y la sal se difundirán generando un zona conductora alrededor del plomo, mejorando de esta forma la eficiencia de la tierra.

Si usa cable coaxial entre la antena y el radio también puede aprovecharse para poner a tierra la torre, sin embargo un diseño más confiable usa un cable separado para la puesta a tierra de la torre. Para conectar a tierra el cable coaxial, simplemente pele un poco del revestimiento del cable en el punto más cercano a la tierra antes de que entre en el edificio, conecte un cable de tierra en ese punto, usando un buen conector o soldadura. No olvide impermeabilizar el sitio de la conexión.

Estabilizadores y reguladores de tensión

Hay muchas marcas de estabilizadores de tensión, pero la mayoría son digitales o electromecánicos. Los últimos son mucho más baratos y más comunes, usan el voltaje de 220V, 240V, o 110V de entrada para alimentar un motor que a su vez acciona un generador de corriente alterna (alternador), que produce el voltaje deseado (normalmente 220V). En general son efectivos, pero estas unidades ofrecen poca protección contra los rayos u otras fluctuaciones de tensión. A menudo se queman luego del primer rayo. Una vez quemados, pueden quedar fusionados a un determinado voltaje de salida (usualmente errado).

Los reguladores digitales controlan la energía utilizando resistencias u otros componentes de estado sólido. Son más caros, pero mucho menos susceptibles de quemarse.

Siempre que le sea posible utilice un regulador digital. Se justifica el costo adicional ya que ofrecen mejor protección para el resto de su equipo. Después de una tormenta eléctrica, inspeccione todos los componentes de su sistema de potencia (incluido el estabilizador).

Energía solar y eólica

Las aplicaciones descritas en este capítulo utilizan voltaje DC (corriente continua) que tiene una polaridad. ¡Confundir la polaridad genera daños inmediatos e irreversibles para su equipo! Vamos a suponer que usted sabe usar un multímetro digital (DMM por su sigla en inglés) para chequear la polari-

dad. Los voltajes DC que se utilizan en las aplicaciones descritas no son dañinos al tocar los conductores –pero las baterías de plomo grandes pueden erogar muy altas corrientes–. Un cable que ocasione un corto entre las terminales va a comenzar inmediatamente a ponerse al rojo vivo y a quemar su aislamiento. Para prevenir el fuego, siempre debe haber un fusible cerca de la terminal positiva de la batería. De esta forma el fusible se quemará antes que lo hagan los cables.

Las baterías de plomo contienen ácido sulfúrico que puede causar quemaduras graves. Cuando están cargadas o se cortocircuitan sus terminales, liberan hidrógeno –aún cuando sean del tipo hermético–. Se requiere una ventilación apropiada para prevenir explosiones, especialmente si las baterías son del tipo de plomo-electrolito ácido. Cuando manipule estas baterías es una buena idea proteger sus ojos con lentes de seguridad. Una vez conocí a un “experto” en baterías que hizo explotar tres de ellas durante su carrera. El plomo es tóxico, por lo que asegúrese de deshacerse de sus baterías gastadas de forma adecuada, aunque esto puede ser algo difícil en los países que no tienen ninguna infraestructura de reciclaje.

Sistemas de energía autónomos

Hay muchas situaciones en las cuales se quiere instalar un nodo inalámbrico en una zona donde la red de distribución eléctrica es inestable, como ocurre a menudo en países en desarrollo, o simplemente no existe, como en una colina donde quiera instalar un repetidor.

Un sistema de energía autónomo consiste básicamente en una batería que almacena energía eléctrica producida por un generador que funciona con el viento, la luz solar y/o la gasolina. Además se necesita un circuito electrónico que controle el proceso de carga y descarga.

Cuando diseñamos un sistema para operar con energía solar o eólica, es importante elegir un dispositivo que gaste un mínimo de energía. Cada vatio desperdiciado en la carga causa grandes costos en el suministro de energía. Más consumo de energía significa que se van a necesitar paneles solares más grandes y más cantidad de baterías para proveer la energía suficiente. Si ahorramos energía eligiendo el equipamiento adecuado también vamos a ahorrarnos mucho dinero y problemas. Por ejemplo, un enlace a larga distancia, no necesariamente precisa de un amplificador que gaste mucha energía. Una tarjeta Wi-Fi con una buena sensibilidad de recepción y un despeje de al menos el 60% de la zona de Fresnel va a funcionar mejor que un amplificador, y al mismo tiempo ahorra energía. Un dicho muy conocido de los radioaficionados también se puede aplicar aquí: El mejor amplificador es una buena antena. Otras medidas para reducir el consumo de energía incluyen disminuir la velocidad del CPU y reducir la potencia de transmisión al valor mínimo que se necesite para proveer un enlace estable, incrementar

la longitud de los intervalos de beacon, y apagar el sistema en los momentos que no se necesite.

La mayoría de los sistemas solares funcionan a 12 o 24 voltios. Preferiblemente, se debe utilizar un dispositivo inalámbrico que funcione con voltaje DC, operando a los 12 V que la mayoría de las baterías de plomo-ácido proveen. Si transformamos el voltaje de la batería a AC, o si utilizamos un voltaje diferente al de la batería para alimentar el punto de acceso, estamos desperdiciando energía. Un enrutador, o un punto de acceso que acepte de 8 a 20 voltios DC es perfecto.

La mayoría de los puntos de acceso económicos, tienen un regulador de voltaje de modo conmutado que funciona bien en un rango de voltaje sin recalentarse (aunque la fuente que traiga de fábrica sea de 5 o 12 voltios).

CUIDADO: Si opera su punto de acceso con una fuente de alimentación diferente de la suministrada por el fabricante, va a anular cualquier garantía y puede causar daño a su equipamiento. Si bien la técnica que describimos a continuación en general funciona como le decimos, recuerde que debe probarla, y si lo hace es bajo su propio riesgo.

Abra su punto de acceso y busque cerca de la entrada de DC dos grandes condensadores y un inductor (un toroide con un alambre de cobre enrollado a su alrededor). Si están presentes, entonces el dispositivo utiliza una fuente conmutada, y el voltaje de operación debe ser algo menor que el voltaje impreso en la etiqueta de los condensadores. Usualmente el voltaje de esos condensadores es de 16 o 25 voltios. Tenga en cuenta que una fuente de alimentación no regulada produce picos de voltaje muy superiores al voltaje nominal escrito en la etiqueta. Por lo tanto, conectar una fuente no regulada de 24 voltios a un dispositivo con condensadores de 25 voltios no es una buena idea. Por supuesto, abrir su dispositivo elimina cualquier garantía. No intente operar un punto de acceso a voltajes mayores si no usa un regulador conmutado, pues se calentaría, funcionaría mal o, inclusive, podría incendiarse.

El famoso Linksys WRT54G funciona en cualquier voltaje entre 5 y 20 voltios DC, consume cerca de 6 vatios, y tiene un conmutador Ethernet integrado. Tener un conmutador es por supuesto mejor y más práctico, pero consume energía extra. Linksys también ofrece un punto de acceso Wi-Fi denominado WAP54G que consume solamente 3 vatios y que puede correr OpenWRT y el firmware Freifunk. El Accesscube 4G Systems consume aproximadamente 6 vatios, cuando está equipado con una sola interfaz Wi-Fi. Si 802.11b es suficiente, las tarjetas mini-PCI Orinoco se desempeñan muy bien, y gastan una cantidad de energía mínima.

Otra estrategia importante para ahorrar energía es que los cables de DC sean cortos, gruesos y de buena calidad. Esto minimiza la pérdida de voltaje.

Calcular y medir el consumo de energía

El diseño de sistemas autónomos siempre comienza con el cálculo de cuánta energía se consume. La forma más sencilla de medir el consumo de su dispositivo es emplear una fuente de alimentación variable dotada de voltímetro y amperímetro. El voltaje nominal de una batería de plomo en general varía entre 11 V (descargada) y aproximadamente 14.5 V (límite superior del voltaje de carga). Usted puede variar el voltaje de su fuente de alimentación y ver cuánta corriente consume el dispositivo en diferentes voltajes. Si no tenemos esta herramienta, se puede realizar la medida utilizando la fuente de alimentación incluida en el dispositivo. Interrumpa el cable que va a la entrada DC de su dispositivo e inserte un amperímetro. Tenga en cuenta que un **amperímetro** se quemará, o quemará la fuente si lo conecta entre la terminal positiva y la negativa de ésta porque el amperímetro producirá un cortocircuito. La entrada de muchos amperímetros no está protegida por fusible, por lo tanto tenga mucho cuidado porque pueden dañarse muy fácilmente.

La cantidad de potencia consumida puede calcularse con esta fórmula:

$$P = U * I$$

P es la potencia en vatios, U es el voltaje en voltios, I es la corriente en amperios. Por ejemplo:

$$6 \text{ W} = 12 \text{ V} * 0,5 \text{ A}$$

El resultado es el consumo del dispositivo. Si el dispositivo del ejemplo opera por una hora, la energía consumida es de 6 vatios-hora (Wh), ó 0.5 amperios-hora (Ah). Por lo tanto el dispositivo consumirá 144 Wh o 12 Ah al día.

Para simplificar las cosas voy a utilizar el voltaje nominal de las baterías para los cálculos, sin tener en cuenta que el voltaje provisto por la batería varía dependiendo de su cantidad de carga. Las baterías son clasificadas por su capacidad en Ah, por lo tanto es más sencillo calcular utilizando Ah en lugar de Wh. La batería de un gran camión en general tiene 170 Ah, por lo tanto una batería cargada al 100% daría energía al dispositivo por aproximadamente 340 horas, con un ciclo de descarga del 100%.

Características de descarga - Regla práctica

El voltaje suministrado por una batería de plomo de 12 voltios depende de su estado de carga. Cuando la batería está cargada al 100% tiene un voltaje de 12.8 V el cual cae rápidamente a 12.6 V al extraerle corriente. Dado que la batería debe proveer una corriente constante, el voltaje de salida descende linealmente de 12.6 V a 11.6 V en un período largo de tiempo. Por debajo de los 11.6 V el voltaje de salida cae rápidamente. Como la batería provee aproximadamente el 95% de su energía dentro de esta caída lineal del voltaje, el estado de la carga puede estimarse midiendo el voltaje bajo carga. La suposición es que la batería está cargada al 100% a 12.6 voltios y tiene 0% de carga a 11.6 voltios. Por lo tanto, cuando medimos una batería bajo carga, el estatus puede estimarse con un multímetro digital. Por ejemplo una lectura de 12.5 voltios corresponde a una carga del 90%, 12.3 voltios corresponde a una carga del 70%, etc.

Las baterías de plomo se degradan rápidamente cuando se descargan al 0%. Una batería de camión perderá el 50% de su capacidad de diseño dentro de los 50 a 150 ciclos si es cargada y descargada completamente durante cada ciclo. A 0% de la carga la batería todavía tiene 11 V en las terminales (cuando se extrae corriente). Nunca descargue una batería de plomo de 12 voltios por debajo de ese valor, porque eso le haría perder una grandísima cantidad de capacidad de almacenamiento, y descargarla hasta 0 V va a arruinarla por completo. Para evitar esta situación, en la construcción de un sistema de energía basado en baterías se debe utilizar un sistema LVD (Low Voltaje Disconnect) que a bajo voltaje desconecta el circuito. No es aconsejable descargar una batería de plomo por debajo del 70%. Evitar bajar del 80% incrementa significativamente su durabilidad. Por lo tanto una batería de camión de 170 Ah ¡tiene solamente una capacidad utilizable de 34 a 51 Ah!

Una batería de auto o de camión debe permanecer por encima de los 12.3 voltios. En raros casos se puede permitir bajar más de ese valor, por ejemplo un inesperado y largo período de mal clima. Esto puede hacerse siempre que la batería se cargue completamente después de este tipo de incidentes. Cargar al 100% tarda bastante tiempo porque el proceso de carga es más lento cuando se aproxima al final, aún si se dispone de toda la energía posible de la fuente. Una fuente de energía muy débil raramente pueda completar la carga y debido a eso va a gastar las baterías rápidamente. Por esta razón se recomienda hacer cargas a corrientes altas para evitar más costos. En este sentido nos pueden ayudar un regulador de carga eólica o solar, o un cargador automático de batería (con características de carga avanzadas). Las mejores son las características IU1a y las IU son la segunda elección.

Las baterías de arranque de automóviles son las más baratas, pero no son la mejor opción. En el mercado hay algunas baterías solares especiales,

diseñadas para ser utilizadas en sistemas solares. Ellas permiten ciclos de recarga profundos (dependiendo del tipo pueden llegar a hasta por debajo del 50%) y tienen una baja corriente de autodescarga. Lo mismo se aplica a las baterías selladas de plomo, son más caras pero más seguras de manipular.

Las baterías de auto o de camión que tienen las etiquetas **libres de mantenimiento** deberían tener una corriente de autodescarga insignificante. De todas formas las baterías libres de mantenimiento todavía lo necesitan. Por ejemplo, se debe chequear frecuentemente el nivel del electrolito, especialmente en climas calientes. Si hay una pérdida de electrolito, se debe usar agua destilada para reponerlo ya que si no lo hacemos arruinaremos la batería.

¡Si carga demasiado sus baterías también las destruirá! En un sistema de alimentación con baterías se debe regular la corriente de carga porque la carga excesiva e ilimitada la va a dañar. Si el voltaje en la batería es demasiado alto, el componente de agua de la solución de ácido sulfúrico produce electrólisis, provocando una atmósfera que contiene una cantidad concentrada de oxígeno. El oxígeno es muy corrosivo y destruirá los conectores internos.

Diseñar un sistema con baterías de reserva

Las cosas son menos complicadas si existe una red de distribución eléctrica, aunque sea inestable y funcione esporádicamente. En ese caso, todo lo que necesitamos es un cargador automático que sea capaz de cargar la batería completamente. Sería deseable tener un cargador de modo conmutado, con un amplio rango de voltajes de entrada y características de carga sofisticadas. Estos ayudan a protegernos de las fluctuaciones de voltaje de la red de distribución. Los cargadores baratos que tienen un simple transformador, puede que nunca carguen su batería por completo si el voltaje de la red es demasiado bajo. Un cargador sencillo diseñado para 230 voltios AC suministra muy poca corriente cuando opera a 200 V o menos. No importa cuánto tiempo esté en funcionamiento, nunca va a llegar a completar la carga. Por otro lado, se quemará si el voltaje es un poco más alto que el esperado —o simplemente arruinará las baterías después de un tiempo. Un estabilizador de voltaje AC que evite la quema de su cargador por altos voltajes puede ser realmente una muy buena idea en muchas situaciones.

Un sistema de alimentación con batería de respaldo es el siguiente:

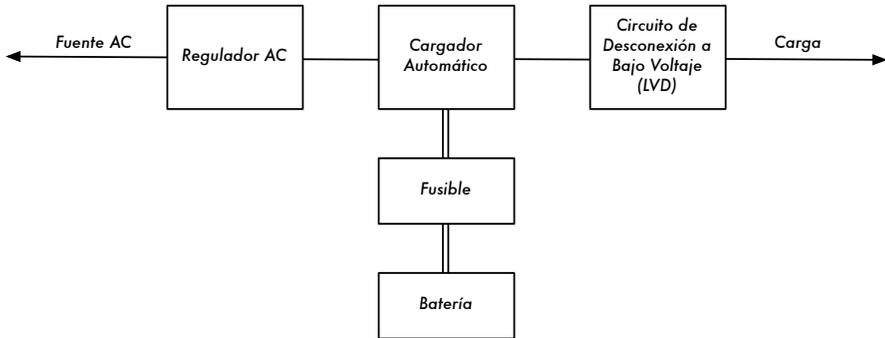


Figura 7.7: El sistema completo de alimentación con batería de respaldo.

Suponga que su dispositivo consume 7 W a 12 voltios. Necesitamos el servicio 24 horas al día, por lo tanto el dispositivo va a consumir:

$$168 \text{ Wh} = 24\text{h} * 7 \text{ W}$$

A 12 voltios la capacidad en amperios-hora sería:

$$14 \text{ Ah} = 168 \text{ Wh} / 12 \text{ V}$$

Ahora, supongamos que, ocasionalmente, tenemos una situación donde el suministro de energía falla por una semana.

$$98 \text{ Ah} = 14 \text{ Ah/día} * 7 \text{ días}$$

$$1176 \text{ Wh} = 98 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$$

Si dejamos que nuestra batería se descargue de 100% a 30%, consumiendo el 70% de la capacidad, necesitamos una capacidad de almacenamiento de:

$$140 \text{ Ah} = 98 \text{ Ah} / 0,7$$

Una batería de camión tiene esta capacidad.

Generalmente la energía está disponible durante 5 horas al día, por lo tanto el sistema va a funcionar por 19 horas con batería.

$$133 \text{ Wh} = 19\text{h} * 7 \text{ W}$$

Cargar y descargar una batería nunca es 100% eficiente. Siempre va a haber pérdida de energía en la batería, por lo tanto tenemos que cargarla con más energía de la requerida. La eficiencia de carga y descarga en general es de aproximadamente el 75%.

$$177,4 \text{ Wh} = 133 \text{ Wh} / 0,75$$

Queremos cargarla completamente en 5 horas.

Consideremos la eficiencia de carga:

$$166 \text{ Wh} = 148 \text{ Wh} / 0,75$$

La convertimos a Ah:

$$14,8 \text{ Ah} = 177,4 \text{ Wh} / 12 \text{ V}$$

Consideramos el tiempo de carga:

$$2,96 \text{ A} = 14,8 \text{ Ah} / 5 \text{ h}$$

Mientras estamos cargando, el punto de acceso/enrutador continúa consumiendo energía. 7 W equivalen a 0.6 A a 12 V:

$$3,56 \text{ A} = 2,96 \text{ A} + 0,6 \text{ A}$$

Debemos considerar que el proceso de carga se torna más lento cuando está llegando al final del período de carga. Es mejor disponer de una corriente de carga inicial más alta para asegurarnos que alcanzamos el 100% de la carga. Un tiempo de carga de 5 horas es algo corto, por lo tanto es una buena inversión el tener un cargador IUIa de 8 amperios o más.

Hasta una batería de camión económica debe durar por lo menos 5 años, siempre que el electrolito sea chequeado frecuentemente. No se olvide de utilizar LVD. Es aconsejable sobredimensionar el sistema hasta cierto grado. Pero las baterías siempre se van a desgastar y deben ser reemplazadas, por lo que conviene sobredimensionar el alimentador en lugar de las baterías.

Diseñando un sistema alimentado por energía solar o eólica

La cantidad de energía que puede cosechar con un sistema alimentado por energía solar o eólica depende del área en donde se encuentra y la época del año. Usualmente, puede encontrar información acerca de la cantidad de radiación solar o la velocidad del viento de organizaciones administrativas competentes en asuntos climáticos. Éstas colectan información a través de los años y le pueden decir qué debe esperar para cada estación del año. Hay varios programas de simulación y cálculo para sistemas solares, entre ellos está PVSOL, un programa comercial (bastante caro). Existe una versión de demostración en varios idiomas.

Calcular exactamente cuánta energía va a producir un sistema solar en un lugar dado da mucho trabajo. En el cálculo están involucrados varios facto-

res como la temperatura, número de horas de sol, intensidad de la radiación, reflexiones en el medioambiente, alineamiento de los paneles solares y muchos más. Un programa de simulación y datos climáticos es un punto para comenzar, pero recuerde que en el mundo real, algo tan simple como la suciedad en los paneles puede estropear completamente los resultados de sus cálculos teóricos.

Estimar la cantidad de energía producida por un generador de viento es algo difícil y más aún si hay obstáculos alrededor del mismo. El enfoque empírico sería medir la velocidad del viento en el lugar por el período de un año –algo bastante impráctico.

Esto debería ser una guía práctica. Si en su país no se dispone de datos climáticos detallados y un programa sofisticado para el cálculo, le sugerimos construir un sistema piloto. Si la batería no logra cargarse lo suficiente, es hora de incrementar el número o tamaño de los paneles solares. Como mencionamos antes, mantener el consumo de energía al mínimo es realmente importante para evitar costos innecesarios.

Si su sistema necesita tener un tiempo de funcionamiento del 100%, las consideraciones comenzarán tomando en cuenta el peor clima del año. Tiene que decidir si el sistema utilizará una capacidad de almacenamiento o fuente de energía más grandes para proveer energía en los períodos críticos. Puede ser mucho más barato utilizar un generador a gasolina durante estas eventualidades.

Combinar energía solar y eólica puede ser lo más sensato en zonas con estaciones que proveen energía eólica cuando la energía solar es débil. Por ejemplo, en Alemania el sol provee sólo 10% de la energía en invierno comparado con el verano. En primavera y otoño no hay mucha energía solar tampoco, pero hay bastante viento. Durante el invierno se necesitan grandes baterías ya que es posible que ni los paneles solares o los generadores de viento provean suficiente energía durante ese período.

Bajo dichas condiciones, un sistema diseñado para un 100% de tiempo de funcionamiento necesita un margen decente de seguridad y una gran capacidad de almacenamiento. La carga debe ser vigorosa para lograr una carga total tan a menudo como sea posible durante los períodos de buen clima. Los paneles solares pueden necesitar un reemplazo cada 25 años, ¡mientras que una batería en un sistema que no tiene suficiente potencia de carga puede tener que ser reemplazada cada año!

Circuito

Un sistema de suministro autónomo consiste de:

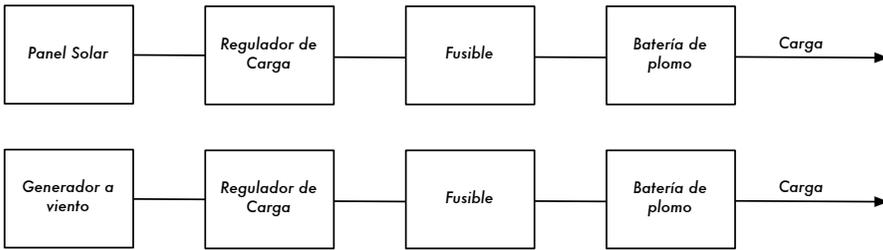


Figura 7.8: Sistema alimentado con energía eólica o solar.

Si se combinan ambos sistemas se conectan a la misma batería.

Energía eólica

Un generador a viento es una opción clara cuando se diseña un sistema autónomo para un transmisor inalámbrico que se va a construir en una colina o montaña. Una consideración a tener en cuenta con la energía eólica, es que la velocidad del viento debe ser lo suficientemente alta en un sitio que puede estar rodeado por objetos. La velocidad promedio durante el año debe ser por lo menos de 3 a 4 metros por segundo, y el generador a viento debe estar 6 metros más alto que otros objetos en una distancia de 100 metros. Una ubicación muy alejada de la costa usualmente no cuenta con suficiente energía eólica para cumplir con estos requerimientos.

Energía Solar

En la mayoría de los casos, la mejor solución es un sistema que utilice solamente energía solar. Usualmente, es bastante fácil encontrar una ubicación adecuada para los paneles solares, y ellos no contienen partes mecánicas móviles que precisen mantenimiento.

Es importante que los paneles estén montados con el mejor alineamiento y ángulo hacia el sol. El mejor ángulo puede variar a través del año y es dependiente de la ubicación del lugar. Es una buena idea tomar en cuenta que el polvo, las hojas o los pájaros pueden ensuciar un panel solar. El ángulo de montaje óptimo puede ser demasiado horizontal, favoreciendo que el polvo se aloje en el panel solar, requiriendo una limpieza frecuente.

No se debe permitir sombra sobre el panel durante el día, porque los paneles consisten en varias células solares que están conectadas en serie. Una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil. Si algo cubre completamente una célula del panel solar –por ejemplo una hoja– el panel entero

deja de producir energía. ¡Hasta la sombra de un cable reduce significativamente la cantidad de energía generada por el sistema solar!

Reguladores de carga

Los reguladores de carga para los generadores a viento son diferentes a los reguladores para paneles solares. Si el sistema tiene energía solar y eólica, se van a necesitar dos reguladores. Cada regulador tiene que estar conectado a las terminales de la batería directamente (¡a través de un fusible por supuesto!)

Influencia del seguimiento del punto de insolación máxima

Los fabricantes de paneles son optimistas cuando calculan la potencia máxima de energía de sus paneles. Por lo tanto, la energía producida efectivamente por un panel es significativamente menor que la que se declara en la hoja de datos. La potencia máxima de energía sólo se logra a cierto voltaje, a una temperatura de panel de 20 grados Celsius y a una radiación solar de 1000 vatios por metro cuadrado. Esto no es realista ya que un panel se calienta mucho a 1000 W de radiación por metro cuadrado. Las altas temperaturas reducen la generación efectiva de energía de un panel. No hay mucho que hacer aparte de recordar que un panel nunca logra la potencia publicitada.

La influencia del voltaje de salida del panel es lo más importante para considerar en un sistema autónomo. Si se utiliza un regulador de carga simple, el voltaje en el panel cae al nivel del voltaje de la batería. Un panel solar puede tener la máxima eficiencia a 18 voltios –producir 1 amperio con insolación de 1000 W/m² a 30 grados Celsius. Este punto de eficiencia máxima es llamado **punto de máxima potencia** (o **MPP** por su sigla en inglés).

Nuestro panel podría producir:

$$18 \text{ W} = 18 \text{ V} * 1 \text{ A}$$

Si el panel está conectado a una batería de 12.3 voltios, la corriente es un poco mayor que a MPP, quizás 1.1 A, pero el voltaje del panel caería al nivel del de la batería:

$$13,5 \text{ W} = 12,3 \text{ V} * 1,1 \text{ A}$$

La eficiencia en nuestro ejemplo sería solo de un 75% con un regulador de carga simple. Este problema puede ser solucionado usando un regulador solar con seguimiento del punto de máxima potencia. Un regulador de MPP bien diseñado logra una eficiencia de 90%. Un sistema con un regulador simple nunca logra más de 70% del la potencia declarada por el fabricante.

Incrementar la capacidad de la batería y el panel solar

Si quiere combinar dos o más baterías para incrementar la capacidad, interconéctelas en paralelo, es decir, interconecte ambas terminales positivas con un cable grueso. En el cable debe haber un fusible cercano a cada terminal positiva. Interconecte las terminales negativas sin fusibles. Para interconectar paneles solares tampoco se necesitan fusibles.

Circuitos de desconexión a bajo voltaje

Las cargas (su punto de acceso, enrutador u otro dispositivo) estarán conectadas al regulador de carga. La mayoría de éstos viene con circuitos de desconexión por bajo voltaje. Estos circuitos nunca deberían activarse, pues indicaría un serio error de diseño o la presencia de un daño. Si sucede que hay dos reguladores en el sistema que tienen circuitos de desconexión a bajo voltaje, conecte las cargas a un solo regulador, de otra forma éstos podrían dañarse.

Cálculo

El cálculo de un panel solar no es muy diferente al de un sistema con batería de reserva (detallado anteriormente). Obviamente los períodos en los que no hay energía disponible para la carga pueden ser muy largos, y la corriente de carga no es fija lo que complica el cálculo.

Un sistema bien diseñado debe ser capaz de recargar completamente una batería descargada en unos pocos días soleados, al mismo tiempo que provee de energía al equipamiento.

8

Resolución de Problemas

La forma en que usted establezca la infraestructura de soporte de su red es tan importante como el tipo de equipamiento que utilice. A diferencia de las conexiones cableadas, los problemas con las redes inalámbricas a menudo son invisibles, y pueden requerir más capacidades y más tiempo para diagnosticarlos y remediarlos. La interferencia, el viento y otras obstrucciones físicas pueden causar que una red que estaba en funcionamiento desde hace tiempo falle. Este capítulo detalla una serie de estrategias para ayudarlo a formar un equipo de gente que pueda dar soporte a su red de forma efectiva.

Formando su equipo

Cada pueblo, compañía o familia, tiene algunas personas que están intrigadas por la tecnología. Son aquellos a quienes encontramos empalmando el cable de televisión, reparando un televisor roto o soldando una nueva pieza a una bicicleta. Este tipo de gente se va a interesar por su red y querrá aprender tanto como le sea posible. Aunque estas personas son recursos invaluableles, debe evitar impartir todo el conocimiento especializado sobre las redes inalámbricas a una sola persona, porque si su único especialista pierde interés o encuentra un trabajo mejor remunerado en otro lugar, se va a llevar el conocimiento consigo cuando se vaya.

También puede haber muchos adolescentes jóvenes y ambiciosos o adultos jóvenes que se interesan por el tema y tienen tiempo para escuchar, ayudar y aprender acerca de la red. Ellos son de gran ayuda y van a aprender rápidamente, pero el equipo debe enfocar su atención en aquellos que sean los mejores para dar soporte a la red en los meses y años siguientes. Lo más probable es que los adultos jóvenes y los adolescentes se marchen a la universidad o a encontrar empleo, especialmente los ambiciosos, que son a los que les gustaría involucrarse. Estos jóvenes también tienen poca influencia

en la comunidad, donde una persona mayor es probable que tenga más capacidad para tomar decisiones que afecten a la red positivamente. A pesar de que estas personas puedan tener menos tiempo para aprender y parezcan menos interesados, su contribución y educación adecuada acerca del sistema puede ser significativa.

Por lo tanto, una estrategia clave para armar un equipo de soporte es balancear y distribuir el conocimiento entre aquellos que son los más capacitados para darle soporte a la red a largo plazo. Si bien debe involucrar a los jóvenes, no les debe dejar capitalizar el uso o el conocimiento de estos sistemas. Encuentre gente que esté comprometida con la comunidad, que tenga sus raíces en ella, que puedan ser motivados, y enséñeles. Una estrategia complementaria es repartir funciones y obligaciones y documentar toda la metodología y procedimientos. De esta forma la gente puede ser entrenada fácilmente y sustituida con poco esfuerzo.

Por ejemplo, en un proyecto el equipo de entrenamiento seleccionó a un brillante joven recién graduado de la universidad que había vuelto a su pueblo; él estaba muy motivado y aprendió rápidamente. Como aprendió tan rápido, se le enseñó más de lo que se había previsto, y era capaz de lidiar con una variedad de problemas, desde arreglar una computadora a rearmar el cable Ethernet. Desafortunadamente, dos meses después de emprender el proyecto le llegó una oferta para un trabajo en el gobierno y dejó la comunidad. Ni siquiera con la oferta de un salario similar se le pudo retener, ya que la perspectiva de un trabajo estable en el gobierno era más atractiva. Todo el conocimiento de la red y cómo realizar su soporte se fue con él. El equipo de entrenamiento tuvo que volver y comenzar el entrenamiento otra vez. La siguiente estrategia fue dividir funciones y entrenar gente que estuviera establecida de forma permanente en la comunidad: gente que tuviera hijos y casas, y que ya tuvieran trabajo. Llevó el triple de tiempo enseñarles a tres personas hasta que alcanzaron el nivel de entrenamiento del joven universitario, pero la comunidad retuvo ese conocimiento por mucho más tiempo.

Con esto queremos sugerirle que seleccionar por usted mismo a quien se va a involucrar en el proyecto a menudo no es el mejor enfoque. En general es mejor encontrar una organización local o un administrador local, y trabajar con ellos para encontrar el equipo técnico adecuado. Los valores, la historia, las políticas locales y muchos otros factores pueden ser importantes para ellos, mientras que pueden ser completamente incomprensibles para gente que no es de esa comunidad. El mejor enfoque es entrenar a su socio local para darle cierto criterio (asegurándose de que lo comprenden) y para marcar límites firmes. Dichos límites deben incluir reglas acerca del favoritismo y clientelismo, aunque éstas deben considerar la situación local. Probablemente sea imposible decir que usted no puede contratar familiares, pero deben existir inspecciones y balances. Si tenemos un candidato que sea un

familiar, debe haber un criterio claro, y una segunda autoridad que decida sobre su candidatura. También es importante que el socio local tenga esa autoridad y que no sea influido por los organizadores del proyecto, porque de otro modo se compromete su habilidad gerencial. Los socios locales deben ser capaces de determinar quién va a ser la mejor persona para trabajar con ellos. Si son bien instruidos sobre este proceso, entonces los requerimientos de personal serán cumplidos a cabalidad.

La resolución de problemas y el soporte técnico son como el arte abstracto. La primera vez que usted ve una pintura abstracta puede que le parezca un conjunto de pinceladas al azar. Luego de reflexionar en la composición durante un tiempo, puede que comience a apreciar la obra como un conjunto, y la coherencia “invisible” se vuelva real. La mirada de un neófito a una red inalámbrica puede identificar antenas, cables y computadoras, pero le puede tomar bastante tiempo apreciar el objetivo de la red “invisible”. En áreas rurales, es posible que la gente de la localidad deba hacer una inmensa evolución en su comprensión antes de que pueda apreciar una red invisible que fue instalada en su pueblo. Por lo tanto se necesita una introducción paulatina que les haga más fácil aceptar y apropiarse de la tecnología. El mejor método es fomentar el involucramiento de la comunidad. Una vez que los participantes han sido seleccionados y se han comprometido con el proyecto, involúcrelos tanto como sea posible. Déjelos “manejar”. Entrégueles la pinza crimpadora o el teclado y muéstreles cómo hacer el trabajo. Aunque usted no tenga tiempo para explicar cada detalle, y a sabiendas de que haciéndolo de esta manera va a tomar mucho más tiempo, ellos necesitan involucrarse físicamente y ver no sólo lo que ha sido hecho, sino también cuánto trabajo se ha hecho.

El método científico se enseña prácticamente en todas las escuelas occidentales. Mucha gente lo aprende durante sus clases de ciencia en la secundaria. Para decirlo simplemente, se toma un conjunto de variables, luego se eliminan lentamente dichas variables a través de pruebas binarias hasta quedarse con una o pocas posibilidades. Con esas posibilidades en mente, se completa el experimento. Luego se prueba si el experimento produce algo similar al resultado esperado, de lo contrario se calcula nuevamente el resultado esperado y se intenta de nuevo. Al campesino típico se le pudo haber explicado este concepto, pero probablemente no haya tenido la oportunidad de aplicarlo para resolver problemas complejos. Aunque estén familiarizados con el método científico, es probable que no hayan pensado en aplicarlo para resolver problemas reales.

Este método es muy efectivo a pesar de que puede llegar a consumir mucho tiempo. Se puede acelerar haciendo suposiciones lógicas. Por ejemplo, si un punto de acceso que venía funcionando hace mucho, deja de hacerlo repentinamente luego de una tormenta, se puede sospechar que hay un problema con el abastecimiento eléctrico y por lo tanto obviar la mayor parte

del procedimiento. Las personas que han sido adiestradas para dar soporte deben aprender como resolver los problemas utilizando este método, ya que va a haber momentos en los que el problema no es ni conocido ni evidente. Se pueden hacer simples árboles de decisión, o diagramas de flujo, e intentar eliminar las variables para aislar el problema. Por supuesto, esos cuadros no deben ser seguidos ciegamente.

A menudo es más sencillo enseñar este método utilizando primero un problema no tecnológico. Digamos, haga que su estudiante desarrolle un procedimiento de resolución para un problema sencillo y familiar, como por ejemplo, un televisor a batería. Para empezar, sabotee el aparato: póngale una batería sin carga, desconecte la antena e inserte un fusible roto. Pruebe al estudiante, dejándole en claro que cada problema muestra síntomas específicos, e indíquele la manera de proceder. Una vez que haya reparado el televisor, hágalo aplicar este procedimiento a un problema más complicado. En una red, usted puede cambiar una dirección IP, cambiar o dañar cables, utilizar el ESSID equivocado u orientar la antena en la dirección equivocada. Es importante que ellos desarrollen una metodología y un procedimiento para resolver estos problemas.

Técnicas adecuadas para la resolución de problemas

Ninguna metodología de resolución de problemas puede cubrir por completo todos aquellos con los que se va a encontrar cuando trabaja con redes inalámbricas, pero a menudo los problemas caen dentro de uno de los pocos errores comunes. Aquí hay algunos simples puntos a tener en mente que pueden hacer que su esfuerzo para resolver el problema vaya en la dirección correcta.

- **No entre en pánico.** Si usted está arreglando un sistema, significa que el mismo estaba funcionando, con seguridad muy recientemente. Antes de sobresaltarse y hacer cambios impulsivamente, analice la escena y determine exactamente lo que está roto. Si tiene un registro histórico o estadísticas de funcionamiento, mucho mejor. Asegúrese de recolectar la información en primer lugar para poder tomar una decisión bien informada antes de hacer cambios.
- **¿Está conectado?** Este paso a menudo es pasado por alto hasta que muchas otras posibilidades son exploradas. Los enchufes pueden desconectarse muy fácilmente, ya sea accidental o intencionalmente. ¿El cable está conectado a una buena fuente de energía? ¿El otro extremo está conectado a su equipo? ¿La luz de energía está encendida? Esto puede sonar algo tonto, pero usted se verá aún más tonto si pierde mucho tiempo en probar la línea de alimentación de la antena sólo para compro-

bar que el AP estuvo desenchufado todo ese tiempo. Confíe en nosotros, esto sucede más a menudo de lo que la mayoría de nosotros queremos admitir.

- **¿Cuál fue la última cosa que cambiamos?** Si usted es la única persona con acceso a sistema, ¿cuál fue el último cambio que hizo? Si otros tienen acceso a él, ¿cuál fue el último cambio que hicieron y cuándo? ¿Cuándo fue el último momento en el que el sistema funcionó? A menudo los cambios tienen consecuencias imprevistas que pueden no ser notadas inmediatamente. Deshaga ese cambio y vea el efecto que tiene en el problema.
- **Haga una copia de seguridad.** Esto se debe hacer antes de que usted detecte problemas y le servirá después. Si va a hacer una actualización compleja de software al sistema, tener una copia de seguridad significa que puede restaurarlo rápidamente a la configuración previa y comenzar de nuevo. Cuando resolvemos problemas muy complejos, tener una configuración que “más o menos funciona” puede ser mucho mejor que tener una que no funciona para nada (y que no puede restaurar fácilmente desde la memoria).
- **El bueno conocido.** Esta idea se aplica tanto al equipamiento como a los programas. Un *bueno conocido* es cualquier componente que se pueda reemplazar en un sistema complejo para verificar que sus contrapartes están en buenas condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, puede llevar junto con sus herramientas, un cable Ethernet previamente probado. Si sospecha que hay problemas con el cable que está en la instalación, sencillamente puede intercambiar el cable sospechoso con el bueno conocido y ver si las cosas mejoran. Esto es mucho más rápido y menos propenso a los errores que rearmar un cable, y le dice inmediatamente si el cambio solucionó el problema. De la misma forma usted puede tener una batería de repuesto, un cable de antena, o un CD-ROM con una buena configuración conocida para el sistema. Cuando solucionamos problemas complicados, guardar su trabajo en un punto dado nos permite retornar a un estado bueno conocido, aún si el problema no se ha solucionado por completo.
- **Cambie una variable por vez.** Cuando estamos bajo presión para poner un sistema de nuevo en línea, tendemos a actuar impulsivamente y cambiar muchas variables al mismo tiempo. Si lo hace, y sus cambios arreglan el problema, entonces no va a comprender exactamente qué fue lo que ocasionó el problema en primer lugar. Peor aún, sus cambios pueden solucionar el problema original, pero al mismo tiempo generar consecuencias imprevistas que pueden dañar otras partes del sistema. Si cambia sus variables una a la vez, puede entender con precisión qué fue lo que se dañó en primera instancia, y ser capaz de ver los efectos directos de los cambios que va haciendo.

- **No lo dañe.** Si no comprende en su totalidad cómo funciona un sistema, no dude en llamar a un experto. Si no está seguro de si un cambio en particular va a dañar otras partes del sistema, entonces encuentre a alguien con más experiencia, o busque una forma de probar su cambio sin hacer daño. Poner una moneda en lugar de un fusible puede resolver el problema inmediato, pero también puede incendiar el edificio.

Es poco probable que la gente que diseñó su red esté disponible veinticuatro horas al día para resolver los problemas cuando aparecen. Aunque su equipo de soporte sea muy capaz de resolver problemas, puede que no sea lo suficientemente competente como para configurar un enrutador desde cero o poner el conector a un cable LMR-400. A menudo es mucho más eficiente tener varios componentes de respaldo a mano, y entrenar a su equipo para reemplazar por completo la pieza rota. Esto puede significar tener un punto de acceso o un enrutador preconfigurado, guardados en un gabinete cerrado, claramente etiquetado y almacenado junto con los cables de respaldo y las fuentes de alimentación. Su equipo puede cambiar el elemento que funciona mal y enviarlo a un experto para que lo repare o coordinar para que se envíe otro equipo de respaldo. Mantener los respaldos seguros y reemplazarlos cuando los usamos puede ahorrarnos mucho tiempo a todos.

Problemas comunes de las redes

A menudo los problemas de conectividad provienen de la rotura de componentes, un clima adverso o simplemente un problema de configuración. Una vez que su red esté conectada a Internet o abierta al público en general, van a aparecer una gran cantidad de amenazas provenientes de los mismos usuarios. Esas amenazas pueden estar en un rango desde las benignas hasta las indiscutiblemente malévolas, pero todas van a tener impacto en su red si no está configurada correctamente. Esta sección se enfoca en algunos problemas comunes encontrados una vez que su red es utilizada por seres humanos reales.

Sitios web alojados localmente

Si una universidad aloja su sitio web localmente, los visitantes del sitio desde fuera del campus y del resto del mundo van a competir con los trabajadores de la universidad por el ancho de banda. Esto incluye el acceso automatizado desde los motores de búsqueda que periódicamente **escanean** su sitio por completo. Una solución para este problema es dividir el DNS y reflejar el sitio. La universidad refleja una copia de sus sitios web en un servidor que puede ser una compañía de almacenamiento web europea, y utiliza el DNS dividido para direccionar a todos los usuarios de fuera de la universidad hacia el sitio reflejado, mientras que los usuarios de la universidad acceden al

mismo sitio pero a nivel local. Los detalles sobre cómo configurar esto se proveen en el capítulo tres.

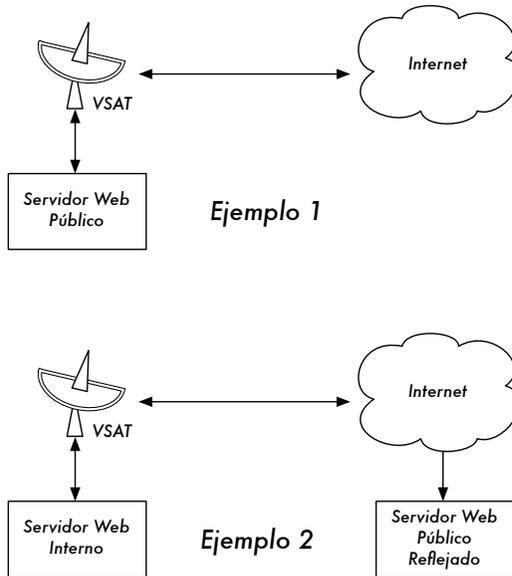


Figura 8.1: En el ejemplo 1, todo el tráfico del sitio web que viene desde Internet debe atravesar el VSAT. En el ejemplo 2, el sitio web público es alojado en un servicio europeo rápido, mientras que en el servidor interno se mantiene una copia para tener un acceso local muy rápido. Esto mejora la conexión del VSAT y reduce los tiempos de carga para los usuarios del sitio web.

Proxis abiertos

Un servidor proxy debe ser configurado para aceptar solamente conexiones desde la red de la universidad, no desde el resto de Internet. Esto se debe a que gente de todos lados se va a conectar y utilizar los proxis abiertos por una variedad de razones, como por ejemplo evitar pagar por ancho de banda internacional. La forma de configurarlo depende del servidor proxy que usted use. Por ejemplo, puede especificar el rango de direcciones IP para la red del campus en su archivo `squid.conf` de manera que esta sea la única red que puede utilizar Squid. Alternativamente, si su servidor proxy está detrás del límite de un cortafuego, puede configurar el cortafuego para que le permita solamente a los servidores internos que se conecten al puerto proxy.

Servidores de retransmisión abiertos

Un servidor de correo electrónico configurado incorrectamente puede ser encontrado por gente inescrupulosa, y usado como un servidor de retransmisión para enviar grandes cantidades de mensajes y de correo no deseado.

Ellos lo hacen para ocultar la verdadera fuente del correo no deseado y para evitar ser atrapados. Para detectar esta vulnerabilidad, haga la siguiente prueba en su servidor de correo electrónico (o en el servidor SMTP que actúa como servidor de retransmisión en el perímetro de la red del campus). Use **telnet** para abrir una conexión al puerto 25 del servidor en cuestión (con algunas versiones Windows de telnet, puede ser necesario escribir 'set local_echo' antes de que el texto sea visible):

```
telnet mail.uzz.ac.zz 25
```

Si se permite conversación de línea de comando interactiva (como el ejemplo que sigue), el servidor está abierto para retransmitir:

```
MAIL FROM: spammer@waste.com
250 OK - mail from <spammer@waste.com>
RCPT TO: innocent@university.ac.zz
250 OK - rcpt to spammer@waste.com
```

En su lugar, la respuesta después del primer **MAIL FROM** debe ser algo así:

```
550 Relaying is prohibited.
```

Una prueba en línea como esta, así como información acerca de este problema, están disponibles en sitios como <http://www.ordb.org/>. Como aquellos que envían correos masivos tienen métodos automatizados para encontrar los servidores de retransmisión abiertos, una institución que no protege sus sistemas de correo es casi seguro que va a ser víctima de abusos. Configurar el servidor de correo para que no sea un relevador abierto consiste en especificar las redes y hosts que están autorizados para transmitir mensajes a través de él en el MTA (por ejemplo, Sendmail, Postfix, Exim, o Exchange). Éste probablemente va a ser el rango de direcciones IP de la red del campus.

Redes entre pares (P2P - peer-to-peer)

El abuso del ancho de banda a través de programas entre pares (P2P) para compartir archivos como Kazaa, Morpheus, WinMX y BearShare se puede prevenir de las siguientes formas:

- **No permita la instalación de nuevos programas en las computadoras del campus.** Para prevenir la instalación de programas como el Kazaa, no debe darse a los usuarios comunes acceso de administrador a las estaciones de trabajo. Muchas instituciones también estandarizan la configuración de sus máquinas, instalando el sistema operativo requerido en una computadora, luego instalan todas las aplicaciones y las configuran de una forma óptima, incluyendo la imposibilidad de que los usuarios instalen nuevas aplicaciones. Una imagen del disco de esta PC se clona a todas

las otras PCs utilizando un programa como Partition Image (vea <http://www.partimage.org/>) o Drive Image Pro (vea <http://www.powerquest.com/>).

Es probable que de vez en cuando los usuarios puedan eludir el control y consigan instalar nuevo software o dañar el que ya tenía instalado la computadora (provocando por ejemplo que esta se “cuelgue” a menudo). Cuando esto pasa, un administrador simplemente puede restablecer la imagen del disco, logrando que el sistema operativo y todo el software en la computadora sean exactamente como se especificó originalmente.

- **Bloquear esos protocolos no es una solución.** Esto pasa porque Kazaa y otros protocolos son lo suficientemente hábiles como para eludir los puertos bloqueados. Por omisión Kazaa utiliza para la conexión inicial el puerto 1214, pero si no está disponible intentará utilizar los puertos 1000 al 4000. Si también están bloqueados, utiliza el puerto 80, haciéndose ver como tráfico de consultas web. Por esta razón los ISPs no lo bloquean, pero sí lo “limitan”, utilizando un administrador de ancho de banda (vea el capítulo tres).
- **Si limitar el ancho de banda no es una opción, cambie el diseño de la red.** Si el servidor proxy y los servidores de correo están configurados con dos tarjetas de red (como se describe en el capítulo tres), y esos servidores no están configurados para reenviar ningún paquete, entonces van a bloquear todo el tráfico P2P. También van a bloquear todos los otros tipos de tráfico como Microsoft NetMeeting, SSH, software VPN, y todos los otros servicios no permitidos específicamente por el servidor proxy. En redes con un ancho de banda escaso se puede decidir que la simplicidad de este diseño prepondera sobre las desventajas que tiene. Esta decisión puede ser necesaria, pero no debe tomarse a la ligera. Los administradores no pueden predecir las formas innovadoras en las que los usuarios van a hacer uso de la red. Si bloqueamos preventivamente todos los accesos, también impediremos que los usuarios puedan hacer uso de cualquier servicio (aún los servicios de ancho de banda lento) que su proxy no soporte. Si bien esto puede ser deseable en circunstancias de ancho de banda muy lento, en general nunca debe ser considerada como una buena política de acceso.

Programas que se instalan a sí mismos (desde Internet)

Existen programas que se instalan a sí mismos y luego utilizan ancho de banda –por ejemplo el denominado Bonzi-Buddy, el Microsoft Network, y otros tipos de “gusanos”. Algunos programas son espías, y permanecen enviando información sobre los hábitos de búsqueda (y de consumo) de un usuario hacia una compañía en algún lugar de Internet. Estos programas se previenen, hasta cierto punto, educando a los usuarios y cerrando las PCs para evitar el acceso como administrador a los usuarios normales. En otros

casos, tenemos soluciones de software para encontrar y remover estos programas problemáticos, como Spychecker (<http://www.spychecker.com/>), Ad-Aware (<http://www.lavasoft.de/>), o xp-antispy (<http://www.xp-antispy.de/>).

Actualizaciones de Windows

Los últimos sistemas operativos de Microsoft Windows suponen que una computadora con una conexión LAN tiene un buen enlace a Internet, y descarga automáticamente parches de seguridad, correctores de fallas y mejoradores, desde el sitio web de Microsoft. Esto puede consumir grandes cantidades de ancho de banda en un enlace a Internet costoso. Los dos posibles enfoques a este problema son:

- **Deshabilitar las actualizaciones de Windows en todas las estaciones de trabajo.** Las actualizaciones de seguridad son muy importantes para los servidores, pero que las estaciones de trabajo en una red privada protegida como la red de un campus las necesiten, es algo debatible.
- **Instalar un Servidor de Actualización de Software.** Este es un programa gratuito de Microsoft que le permite descargar todas las actualizaciones de Microsoft durante la noche al servidor local y luego distribuirlas desde allí a las estaciones de trabajo cliente. De esta forma las actualizaciones de Windows utilizarán el ancho de banda del enlace a Internet durante el día. Desafortunadamente, para que esto funcione, todos los PCs cliente deben ser configurados para utilizar el Servidor de Actualización de Software. Si usted tiene un servidor DNS flexible, también puede configurarlo para que responda todas las solicitudes al sitio web *windowsupdate.microsoft.com*, y lo redireccione hacia su servidor de actualización. Esta es una buena opción sólo para redes muy grandes, pero puede ahorrar una incalculable cantidad de ancho de banda de Internet.

Bloquear el sitio de actualizaciones de Windows en el servidor proxy no es una buena solución porque el servicio de actualización de Windows (Actualización Automática) va a continuar intentando más agresivamente, y si todas las estaciones de trabajo lo hacen, se produce una pesada carga en el servidor proxy. El extracto de abajo es del registro del proxy (registro de acceso Squid) donde esto fue hecho bloqueando los archivos de gabinete Microsoft (.cab).

La mayoría del registro Squid lucía así:

```
2003.4.2 13:24:17 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:18 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:18 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab HEAD 0
2003.4.2 13:24:19 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:19 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:20 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:21 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:21 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab GET 0
2003.4.2 13:24:21 192.168.1.21 http://windowsupdate.microsoft.com/ident.cab
 *DENIED* Banned extension .cab HEAD 0
```

Si bien esto puede ser tolerable cuando tenemos unos pocos PC cliente, el problema crece significativamente cuantos más nodos se agregan a la red. En lugar de forzar al servidor proxy a procesar solicitudes que siempre van a fallar, tiene más sentido redireccionar los clientes del Software de Actualización a un servidor local de actualización.

Programas que suponen un enlace de gran ancho de banda

Además de las actualizaciones de Windows, muchos otros programas y servicios dan por sentado que el ancho de banda no es un problema, y por lo tanto lo consumen por razones que el usuario no puede predecir. Por ejemplo, los paquetes anti-virus (como el Norton AntiVirus) se actualizan a sí mismos directamente desde Internet, automática y periódicamente. Sería mejor si esas actualizaciones se distribuyeran desde el servidor local.

Otros programas como el reproductor de video RealNetworks, descarga actualizaciones y publicidad automáticamente, así como envía información sobre los hábitos de uso a un sitio en Internet. Pequeñas aplicaciones (conocidas como *applets*) aparentemente inocuas (como Konfabulator y miniaplicaciones que crean accesos directos desde el escritorio del usuario, conocidas como *Dashboard widgets*) sondean continuamente los servidores de Internet buscando información actualizada. Esta información puede requerir poco ancho de banda (como las actualizaciones del estado del tiempo o de noticias), o mucho ancho de banda (como las cámaras web). Estas aplicaciones deben ser limitadas o bloqueadas por completo.

Las últimas versiones de Windows y Mac OS X tienen un servicio de sincronización horaria. Este mantiene el reloj de la computadora en la hora exacta conectándose a dos servidores de sincronización en Internet. Para eso es

mejor instalar un servidor local de hora y distribuir la hora exacta desde allí, en lugar de ocupar el enlace de Internet con esas solicitudes.

Tráfico de Windows en el enlace a Internet

Las computadoras que tienen el sistema operativo Windows se comunican entre ellas usando **Network Basic Input/Output System - NetBIOS** (es una interfaz de programación que permite a las aplicaciones instaladas en computadores diferentes dentro de una red local comunicarse) y **Server Message Block - SMB** (un protocolo para compartir archivos, impresoras, puertos y otros servicios y dispositivos entre computadores). Estos protocolos operan sobre TCP/IP y otros protocolos de transporte. SMB es un protocolo que realiza **elecciones** para determinar cuál computadora va a ser el **buscador maestro**. El buscador maestro es una computadora que mantiene una lista de todas las computadoras, recursos compartidos e impresoras que usted puede ver en el **Entorno de Red**. La información sobre recursos compartidos también es transmitida a intervalos regulares.

El protocolo SMB fue diseñado para redes LAN y causa problemas cuando la computadora con Windows está conectada a Internet. A menos que el tráfico SMB sea filtrado, se esparcirá por el enlace a Internet, desperdiciando el ancho de banda de la organización. Para prevenirlo se pueden tomar los siguientes pasos:

- Bloquear el tráfico SMB/NetBIOS saliente en el enrutador perimetral o en el cortafuego. Este tráfico consume ancho de banda, y peor aún, presenta un riesgo de seguridad. Muchos “gusanos” en Internet y herramientas de penetración buscan activamente SMB abiertos, y explotan dichas conexiones para ganar ulterior acceso a su red.
- **Instale ZoneAlarm en todas las estaciones de trabajo (no en el servidor).** Una versión gratuita se puede encontrar en <http://www.zonelabs.com/>. Este programa le permite al usuario determinar cuáles aplicaciones pueden hacer conexiones a Internet y cuáles no. Por ejemplo, Internet Explorer necesita conectarse a Internet, pero el Explorador de Windows no. ZoneAlarm puede bloquear el Explorador de Windows para que no lo haga.
- **Reduzca los recursos compartidos de la red.** Idealmente, sólo el servidor de archivos debería tener recursos compartidos. Puede utilizar una herramienta como SoftPerfect Network Scanner (disponible en <http://www.softperfect.com/>) para identificar fácilmente todos los recursos compartidos en su red.

Gusanos y virus

Los gusanos y los virus pueden generar una gran cantidad de tráfico. Por ejemplo el gusano W32/Opaserv aún prevalece, a pesar de que es muy viejo. Se esparce a través de los recursos compartidos de Windows y es detectado por otras personas en Internet porque intenta esparcirse aún más. Por esta razón es esencial que haya una protección anti-virus instalada en todas las PCs. Más esencial aún es la educación de los usuarios en cuanto a no ejecutar archivos adjuntos, así como no dar respuesta a correos no deseados. De hecho debería haber una política de que ni las estaciones de trabajo, ni el servidor, puedan correr servicios que no están utilizándose. Una computadora no debería tener recursos compartidos a menos que fuera un servidor de archivos; y un servidor no debería correr servicios innecesarios. Por ejemplo, los servidores Windows y Unix generalmente corren un servicio de servidor web por omisión. Éste debería deshabilitarse si dicho servidor tiene una función diferente; cuantos menos servicios corra una computadora, menos posibilidades tiene de ser atacada.

Lazos de reenvío de correo electrónico

Ocasionalmente, un error cometido por un único usuario puede llegar a causar un problema serio. Por ejemplo, un usuario cuya cuenta universitaria está configurada para reenviar todo el correo a su cuenta personal en Yahoo. El usuario se va de vacaciones, y todos los correos que le fueron enviados se siguen reenviando a su cuenta en Yahoo la cual puede crecer sólo hasta 2 MB. Cuando la cuenta de Yahoo se llene, va a comenzar a rebotar los correos para la cuenta de la universidad, la cual inmediatamente los va a reenviar a la cuenta de Yahoo. Un lazo de correo electrónico se forma cuando se envían y re-envían cientos de miles de correos, generando un tráfico masivo y congestionando los servidores de correo.

Existen opciones dentro de los servidores de correo que son capaces de reconocer los lazos. Estas opciones deben activarse por omisión. Los administradores también deben tener cuidado de no apagarlas por error. Debe también evitar instalar un sistema de re-envío SMTP que modifique los encabezados de los correos de tal forma que el servidor de correo no pueda reconocer el lazo que se ha formado.

Descargas pesadas

Un usuario puede iniciar varias descargas simultáneas, o descargar grandes archivos tales como 650MB de imágenes, acaparando la mayor parte del ancho de banda. La solución a este tipo de problemas está en el entrenamiento, hacer descargas diferidas, y monitoreo (incluyendo monitoreo en tiempo real, como se subrayó en el capítulo seis). La descarga diferida se puede implementar al menos de dos formas:

En la Universidad de Moratuwa, se implementó un sistema utilizando el direccionamiento URL. A los usuarios que acceden a direcciones **ftp://** se les ofrece un directorio donde cada archivo listado tiene dos enlaces: uno para la descarga normal, y otro para la descarga diferida. Si se selecciona la descarga diferida, el archivo especificado se pone en cola para descargarlo más tarde, y al usuario se le notifica por correo electrónico cuando la descarga está completa. El sistema mantiene una memoria intermedia (*cache*) de archivos descargados recientemente, y cuando los mismos se solicitan de nuevo, los recupera inmediatamente. La cola de descarga se ordena según el tamaño del archivo, por lo tanto los archivos pequeños se descargan primero. Como una parte del ancho de banda se dedica para este sistema aún en las horas pico, los usuarios que solicitan archivos pequeños pueden recibirlos en minutos, algunas veces hasta más rápido que una descarga en línea.

Otro enfoque puede ser crear una interfaz web donde los usuarios ingresan el URL del archivo que quieren descargar. El mismo se descarga durante la noche utilizando una tarea programada (o **cron job** por su nombre en inglés). Este sistema funciona solamente para usuarios que no sean impacientes, y que estén familiarizados con los tamaños de archivos que pueden ser problemáticos para descargarlos durante las horas de trabajo.

Envío de archivos pesados

Cuando los usuarios necesitan transferir archivos grandes a colaboradores en cualquier lugar en Internet, se les debe enseñar cómo programar la subida (*upload*) del archivo. En Windows, subir archivos a un servidor FTP remoto se puede hacer utilizando un guión (*script*) FTP, que es un archivo de texto con comandos FTP similares a los siguientes (guardado como **c:\ftpscript.txt**):

```
open ftp.ed.ac.uk
gventer
mysecretword
delete data.zip
binary
put data.zip
quit
```

Para ejecutarlo, escriba esto desde la línea de comando:

```
ftp -s:c:\ftpscript.txt
```

En computadoras con Windows NT, 2000 y XP, el comando puede guardarse en un archivo como **transfer.cmd**, y ser programado para correr en la noche utilizando las Tareas Programadas (Inicio → Configuración → Panel

de Control → Tareas Programadas). En Unix, se puede hacer lo mismo utilizando las opciones *at* o *cron*.

Usuarios enviándose archivos unos a otros

Los usuarios a menudo necesitan enviarse archivos grandes. Si el receptor es local, es un gasto innecesario de ancho de banda enviarlos vía Internet. Para eso se debe crear un recurso compartido en el servidor web local Windows / Samba / Novell, donde un usuario puede colocar archivos grandes para que otros los descarguen.

Como una alternativa se puede escribir una interfaz web para que un servidor web local acepte un archivo pesado y lo coloque en un área de descarga. Después de cargarlo al servidor web, el usuario recibe un URL correspondiente al archivo, que puede transmitir a sus colaboradores locales o internacionales para que accedan al archivo. Esto es lo que ha hecho la Universidad de Bristol con su sistema FLUFF. La universidad ofrece una facilidad para la carga de archivos pesados (FLUFF por su sigla en inglés) disponible en <http://www.bristol.ac.uk/fluff/>. Esos archivos pueden ser accedidos por cualquiera al que se le haya dado su ubicación. La ventaja de este enfoque es que los usuarios pueden brindar acceso a sus archivos a usuarios externos, mientras el método de archivos compartidos funciona sólo para los usuarios dentro de la red del campus. Un sistema como este se puede implementar fácilmente como un guión (*script*) CGI utilizando Python y Apache.

9

Estudios de Casos

No importa cuánto planeemos el montaje de un enlace o nodo, inevitablemente, vamos a tener que lanzarnos a instalar algo. Ese es el momento de la verdad que demuestra cuán acertadas eran nuestras estimaciones y predicciones.

Es un día muy fuera de lo común, cuando todo ocurre precisamente como lo planeamos. Aún después de instalar su primer nodo, el décimo o el número cien, se va a encontrar que las cosas no funcionan como las planeó. Este capítulo describe algunos de nuestros más memorables proyectos de redes. Si está pronto a embarcarse en su primer proyecto inalámbrico o es un veterano en esto, es reconfortante recordar que siempre hay algo para aprender.

Consejos generales

Las economías de los países en desarrollo son muy diferentes de la del mundo desarrollado, y por lo tanto un proceso o solución diseñada para un país más desarrollado puede no ser adecuada en el Oeste de África, o en Asia del Sur. Específicamente, el costo de los materiales producidos localmente y el costo de la mano de obra van a ser insignificantes, mientras los bienes importados pueden ser mucho más caros, comparados con su costo en los países desarrollados. Por ejemplo, uno puede construir e instalar una torre por el 10% del costo de la torre en los Estados Unidos, pero el precio de la antena puede llegar a ser el doble. Las soluciones que capitalizan las ventajas competitivas locales, mano de obra barata y materiales locales, van a ser las más fáciles de replicar.

Encontrar el equipamiento adecuado es una de las tareas más difíciles en los países en desarrollo. Debido a que el transporte, las comunicaciones y los sistemas económicos no están desarrollados, los materiales y el equipa-

miento pueden ser difíciles de encontrar. Un fusible, por ejemplo, puede no ser fácil de conseguir en algunos países, por lo que es una gran ventaja que pueda ser sustituido por un cable que se queme e interrumpa la corriente cuando ésta alcance un cierto amperaje. Encontrar sustitutos para los materiales también estimula al desarrollo de la capacidad empresarial local, así como al sentido de apropiación del sistema, además de ahorrar dinero.

Recipientes para el equipamiento

Objetos de plástico de bajo costo se encuentran por cualquier lado en el mundo en desarrollo, pero están hechos con materiales de mala calidad, generalmente muy delgados, haciéndolos inadecuados para proteger el equipamiento. Los tubos de PVC son sin duda más resistentes, y están diseñados para ser impermeables. En el oeste de África, el PVC más común se encuentra en los almacenes de venta de productos para plomería, con calibres que oscilan entre los 90mm y los 220 mm. Los puntos de acceso como el Routerboard 500 y 200 pueden entrar en dichos tubos, que, sellados con tapas en los extremos, pueden crear una cubierta a prueba de agua muy robusta. También tienen la ventaja de ser aerodinámicos y poco interesantes para los transeúntes, además de que el espacio dejado alrededor del equipamiento asegura una adecuada circulación de aire. A menudo es bueno dejar un agujero de ventilación en la parte inferior de la cubierta de PVC, aunque he aprendido que dejar agujeros abiertos puede ser un problema. En una ocasión las hormigas decidieron construir su hormiguero a 25 metros sobre el piso, adentro del tubo de PVC que contenía un punto de acceso, por eso se aconseja que si queremos evitar infestaciones utilicemos una malla de alambre para cubrir el agujero de ventilación.

Mástiles para antena

Recuperar materiales usados se ha transformado en una industria importante en los países más pobres. Desde autos viejos hasta televisores, cualquier material que tenga valor será desarmado, vendido y reutilizado. Por ejemplo, los autos son desmantelados pieza por pieza, día a día, el metal resultante es clasificado y luego cargado a un camión para ser vendido. Los trabajadores metalúrgicos locales estarán ya familiarizados con la construcción de un mástil para televisión con metal desechado. Con unas pequeñas adaptaciones, esos mismos mástiles pueden ser rediseñados para redes inalámbricas.

El mástil típico es el poste de 5 metros, compuesto por un único tubo de 30mm de diámetro enterrado en el cemento. Es mejor construir el mástil en dos partes, con una parte removible que encastra en una base con un diámetro levemente más grande. Alternativamente, el mástil puede ser hecho con brazos empotrados de forma segura a un muro. Este proyecto es

fácil, pero requiere el uso de escalera para poder completarlo por lo que se sugiere tener precaución.

Este tipo de mástil puede ser aumentado varios metros con la ayuda de cables tensores. Para fortalecer el poste, plante 3 líneas separadas 120 grados, con una caída de por lo menos 33 grados desde la punta de la torre.

Por sobre todas las cosas: involucre a la comunidad

El involucramiento de la comunidad es imperativo para asegurar el éxito y la sustentabilidad del proyecto. Involucrar a la comunidad en el proyecto puede ser el desafío más grande, pero si se hace, la tecnología no cubrirá sus necesidades, ni será aceptada. Más aún, la comunidad puede atemorizarse y menoscabar la iniciativa. Sin importar cuán complejo sea un emprendimiento, un proyecto exitoso necesita apoyo de aquellos a los que va a servir.

Una estrategia efectiva para ganar apoyo es encontrar una persona influyente y respetada cuyas motivaciones sean buenas. Encuentre a la persona o personas que más se puedan interesar por el proyecto. A menudo, va a necesitar involucrar a personas influyentes como consejeras, o como miembros del comité directivo. Esta gente ya cuenta con la confianza del resto, sabe a quién contactar y puede hablar el lenguaje de la comunidad. Tómese su tiempo y sea selectivo en encontrar la gente adecuada para su proyecto. Ninguna decisión afecta más a su proyecto que tener en su equipo personas de la comunidad, eficaces y de confianza.

Tome también en cuenta a los actores clave en una institución o comunidad. Identifique aquella gente que probablemente se oponga o apoye su proyecto. Tan temprano como sea posible, intente obtener el apoyo de los defensores potenciales y mantenga al margen a los detractores. Esto es una tarea difícil que requiere un conocimiento íntimo de la institución o comunidad. Si el proyecto no tiene un aliado local, puede requerir un tiempo para adquirir este conocimiento y confianza de la comunidad.

Sea cuidadoso cuando elige sus aliados. Una reunión "del municipio" es útil para observar la política, alianzas y feudos locales en acción. Después de eso es más fácil elegir con quien aliarse y a quien mantener al margen. Trate de no generar un entusiasmo sin garantías, es importante ser honesto, franco y no hacer promesas que no puede cumplir.

En comunidades con altos índices de analfabetismo, enfóquese en servicios de transformación de digitales a analógicos, tales como Internet para estaciones de radio, imprimir artículos y fotos en línea, y otras aplicaciones no textuales. No intente introducir una tecnología en una comunidad sin comprender qué aplicaciones realmente le van a servir. A menudo la comunidad no va a tener idea acerca de qué nuevas tecnologías ayudarán a solucionar

sus problemas, por lo tanto, proveer nuevas características es inútil si no comprendemos cómo se va a beneficiar la comunidad.

Cuando recolecte información, verifique los datos que le dan. Si quiere saber el estado financiero de una compañía/organización, pida ver una factura de electricidad o de teléfono. ¿Han pagado sus cuentas? A veces los beneficiarios potenciales van a comprometer sus propios valores deseando ganar fondos y equipos. Pero mucho más a menudo, los socios locales que confían en usted, serán francos, honestos y serviciales.

Otro error común es lo que yo llamo síndrome de “padres divorciados”, donde las ONGs, donantes y socios no se informan entre sí sobre su involucramiento con el beneficiario. Los beneficiarios astutos pueden ganar atractivas recompensas permitiendo que las ONGs y los donantes derrochen equipos, capacitación y fondos. Es importante conocer qué otras organizaciones están involucradas de manera que pueda comprender como impactan sus actividades a la suya. Por ejemplo, una vez diseñé un proyecto para una escuela rural en Mali; mi equipo instaló un sistema de fuente abierta con computadoras usadas, y pasó varios días capacitando a la gente en cómo usarlo. El proyecto fue catalogado como un éxito, pero muy poco después de su instalación, otro donante llegó con nuevas computadoras Pentium 4 corriendo Windows XP, y los estudiantes rápidamente abandonaron las viejas computadoras y se prepararon para usar las nuevas. Hubiera sido mejor negociar con la escuela de antemano, para conocer su compromiso con el proyecto. Si hubieran sido francos, las computadoras que ahora están sin uso podrían haber sido entregadas a otra escuela donde sí serían utilizadas.

En muchas comunidades rurales de economías no desarrolladas, las leyes y políticas son débiles, y los contratos pueden no tener valor alguno, aunque a veces se pueden encontrar otras maneras de asegurarse. Aquí es donde los servicios pre-pago son ideales, porque no requieren un contrato legal; se asegura el compromiso por la inversión de fondos antes de que se brinde el servicio.

Cuando se hacen adquisiciones también se requiere que los involucrados inviertan en el proyecto. Siempre se debe pedir el compromiso recíproco de la comunidad.

Cancelar la implementación, es una opción que debe evaluarse siempre. Si no se puede tener un aliado y una comunidad convencida, el proyecto debe considerar seleccionar a una comunidad o beneficiario diferente. Es decir, que debe haber una negociación; el equipamiento, el dinero y la capacitación no pueden ser simples obsequios, la comunidad debe estar involucrada y contribuir.

--lan Howard

Estudio de caso: Cruzando la brecha con un simple puente en Timbuctú

Las redes en última instancia conectan personas, y por lo tanto siempre contienen un componente político. El costo de Internet en economías menos desarrolladas es alto y la capacidad de pago es baja, lo que agrega desafíos políticos. Intentar imponer una red donde las redes humanas no están funcionando completamente bien es casi imposible, en el largo plazo. Tratar de hacerlo puede dejar el proyecto sobre una base social inestable, amenazando su existencia. Aquí es donde el bajo costo y la movilidad de una red inalámbrica pueden ser ventajosos.

El equipo del autor fue consultado por financiadores para determinar cómo conectar en Timbuctú la desértica capital de Mali, una estación de radio rural con un pequeño telecentro (2 computadoras) a Internet. Timbuctú es ampliamente conocida como un puesto de avanzada en el área más remota del mundo. En este lugar, el equipo decidió implementar un modelo que ha sido llamado el **modelo inalámbrico parasitario**. Este modelo extiende la red a otro sitio cliente usando un simple puente inalámbrico. Este modelo fue elegido porque no requiere una inversión significativa por parte de la organización. Al tiempo que da una fuente de ingresos al telecentro, no agrega un costo operacional significativo. Esta solución significa que el sitio cliente puede obtener Internet barato, aunque no tan rápido o confiable como una solución dedicada. Debido a los patrones de uso opuestos entre la oficina y el telecentro no hubo una disminución perceptible de la velocidad de la red para ninguna de las partes. Pensando en una situación ideal, hubiese sido mejor animar al pequeño telecentro para que se convirtiera en un ISP, pero se consideró que ni el telecentro ni el mercado estaban listos para esto. Como siempre pasa, existían serias preocupaciones acerca de si este telecentro podía lograr la autosostenibilidad una vez que sus financiadores se fueran. Por lo tanto esta solución minimizaba la inversión inicial logrando 2 objetivos: primero, extendía Internet al beneficiario (una estación de radio), a un costo accesible. Segundo, agregaba una pequeña fuente de ganancia adicional para el telecentro a la vez que no incrementaba sus costos operacionales, ni agregaba complejidad al sistema.

La gente

A pesar de tener un nombre reconocido mundialmente, Timbuctú es un sitio remoto. Siendo un símbolo, muchos proyectos han querido “plantar bandera” en las arenas de esta ciudad desértica. Por lo tanto, hay varias actividades de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en esta área. En el último conteo había 8 conexiones satelitales en Timbuctú, la mayoría de las cuales sirven a intereses especiales excepto por las dos empresas de trans-

porte de datos, SOTELMA e Ikatel. Actualmente utilizan un enlace VSAT para conectar sus redes telefónicas con el resto del país. El telecentro utiliza una conexión X.25 a una de estas empresas de telecomunicaciones, que luego retransmite esta conexión a Bamako. Con relación a otras ciudades remotas en el país, Timbuctú tiene un número bastante grande de personal entrenado en tecnologías de la información, tres telecentros, más el nuevo telecentro instalado en la estación de radio. En cierto grado la ciudad está saturada de Internet, imposibilitando la sustentabilidad de cualquier interés privado o comercial.

Elecciones de diseño

En esta instalación el sitio cliente está a sólo 1 km de distancia con línea visual. Fueron instalados dos puntos de acceso Linksys modificados, a los que se instaló el *firmware* OpenWRT y configurados en modo puente. Uno fue instalado en la pared del telecentro, y el otro a 5 metros sobre el mástil de la estación de radio. Los únicos parámetros de configuración requeridos en ambos dispositivos fueron el ssid y el canal. Se usaron simples antenas panel de 14 dBi (en <http://hyperlinktech.com/>). Del lado de Internet, el punto de acceso y la antena fueron sujetados usando tornillos empotrados en el costado del edificio, de cara al sitio cliente. Allí, se utilizó un mástil de antena existente. El punto de acceso y la antena fueron montados utilizando anillos para tubería.

Para desconectar el cliente, el telecentro simplemente desenchufa el puente que está de su lado. Eventualmente se puede instalar un sitio adicional, que también va a tener su propio puente en el telecentro, de forma tal que el personal del mismo pueda desconectar al cliente si éste no ha pagado. A pesar de que parezca cruda, esta solución es efectiva y reduce el riesgo de que el personal pueda cometer errores mientras realiza cambios a la configuración del sistema. Tener un puente dedicado a una conexión también simplifica la instalación en el sitio central, ya que el equipo de instalación es capaz de elegir el mejor lugar para conectar los sitios clientes. A pesar de que no es una solución óptima puentear una red (en lugar de enrutar el tráfico de red), cuando el conocimiento en tecnología es bajo y uno quiere instalar un sistema simple, puede ser una solución razonable para redes pequeñas. El puente hace que los sistemas instalados en el sitio remoto (la estación de radio) aparezca como simplemente conectado a la red local.

Modelo financiero

El modelo financiero es simple. El telecentro cobra una cuota mensual, de cerca de \$30 por computadora conectada, a la estación de radio, lo cual es mucho más barato que la alternativa. El telecentro está ubicado en el patio de la oficina del Alcalde, por lo tanto el cliente principal es el personal del Alcalde. Esto es importante ya que la estación de radio no quería competir

con la clientela del telecentro, y el sistema de la estación fue pensado en primera instancia para el personal de la radio. El puente redujo costos, lo que significa que esta base reducida de clientes podía sostener el costo de Internet sin competir con el telecentro, su proveedor, a su vez, el telecentro tenía la posibilidad de desconectar la estación de radio si ésta no pagaba. Este modelo también permitía compartir los recursos de red, por ejemplo la estación tenía una nueva impresora láser, mientras que el telecentro tenía una impresora a color y como los computadores clientes estaban en la misma red, se podía imprimir en cualquiera de los sitios.

Capacitación

Se requiere poca capacitación para dar soporte a esta red. Se le mostró al personal del telecentro cómo instalar el equipamiento y la resolución de problemas básicos, tales como reiniciar los puntos de acceso (apagar-encender), y cómo reemplazar la unidad si ésta falla. Esto le permitía al equipo del autor simplemente enviar un repuesto y evitar los dos días de viaje a Timbuctú .

Resumen

La instalación fue considerada una medida provisoria, mientras se buscaba una solución más completa. Aunque puede ser considerada como un éxito, aún no ha llevado a la construcción de mayor infraestructura física. Ha acercado las TICs a una solución de radio y reforzado las relaciones locales cliente/proveedor.

Así como está, el acceso a Internet aún es un emprendimiento caro en Timbuctú. La política local e iniciativas competidoras subsidiadas están en camino, pero esta solución sencilla ha demostrado ser un caso ideal de uso. Llegar hasta aquí le tomó varios meses de análisis y pensamiento crítico al equipo, pero resultó que la solución más simple proporcionó el mayor beneficio.

--Ian Howard

Estudio de caso: Encontrando una base sólida en Gao

En Mali, un día en auto al este de Timbuctú está Gao. Esta ciudad rural, que se parece más un gran poblado, está ubicada sobre el río Níger justo antes de que éste baje al sur cruzando Níger y siguiendo a Nigeria. La ciudad se inclina suavemente hacia el río, y tiene pocos edificios con más de dos pisos de alto. En el 2004 se instaló un telecentro en Gao. El objetivo del proyecto

fue brindar información a la comunidad con la esperanza de que una comunidad mejor informada resultara en una ciudadanía más saludable y educada.

El centro proveía información en CD-ROM, películas y radio, pero Internet es la cornucopia de información para el centro. Es un telecentro estándar con 8 computadoras, una impresora todo-en-uno, escáner, fax, teléfono y cámara digital. Para alojar el telecentro se construyó un pequeño local de dos espacios. Está ubicado un poco alejado del centro de la ciudad, lo cual no es algo ideal para atraer clientes, pero el lugar fue elegido por la favorable disposición de su anfitrión. El sitio recibió fondos para toda la construcción necesaria, del mismo modo se proveyó de equipamiento y entrenamiento inicial. Se esperaba que el telecentro fuera autosuficiente después de un año.

Varios meses después de su inauguración, el telecentro estaba atrayendo pocos clientes. Usaba un módem para conectarse por línea discada a un proveedor de Internet en la capital. Esta conexión era lenta y poco confiable, por lo que el financiador patrocinó la instalación de un sistema VSAT. Ahora hay varios sistemas VSAT disponibles en la región; la mayoría de ellos se han puesto en servicio muy recientemente. Previo a esto sólo se disponía de sistemas de banda C (que cubren un área mayor que los de banda Ku). Recientemente se ha colocado fibra en casi todos los túneles de transporte subterráneo y canales de Europa, suplantando los servicios satelitales que son más caros. Como resultado, los proveedores están redirigiendo sus sistemas VSAT a nuevos mercados, sobre todo África Central y Occidental, y Asia del Sur por lo que en esas zonas varios proyectos empezaron a utilizar los sistemas satelitales para conectarse a Internet.

Después de que se instaló el sistema VSAT, la conexión ofrecía 128 kbps de descarga y 64 kbps de carga, y costaba cerca de \$400 por mes. El sitio tenía problemas para captar suficientes ingresos que le permitieran pagar este alto costo mensual, por lo que el telecentro solicitó ayuda; por eso se llamó a una persona contratada que había sido entrenada por el autor para instalar un sistema inalámbrico. Este sistema dividiría la conexión entre tres clientes: otro beneficiario, una estación de radio y el telecentro, pagando cada uno la suma de \$140. Este colectivo cubría los costos del enlace VSAT, y los ingresos extra del telecentro junto con la estación de radio cubrirían el soporte y la administración del sistema.

La gente

A pesar de ser capaces y entusiastas, el equipo del autor no realizó la instalación. En su lugar motivamos la contratación de una empresa local. Fuimos capaces de dar confianza al telecentro acordando capacitar y apoyar a la empresa local en el cumplimiento total de la instalación. La premisa de esta decisión fue desmotivar la dependencia de una ONG a corto plazo, y por el

contrario generar confianza y relaciones entre proveedores de servicio locales y sus clientes. El diseño demostró ser productivo. Este enfoque le tomó mucho más tiempo de trabajo al equipo del autor, quizás dos veces más, pero la inversión ha comenzado a generar ingresos. Las redes aún se están instalando y el autor y su equipo están ahora en sus hogares en Europa y Norte América.

Elecciones de diseño

Inicialmente se pensó que la conexión dorsal se haría en la estación de radio que ya tenía una torre de 25 metros. Esa torre sería usada para retransmitir a otros clientes, evitando la instalación de torres en los sitios cliente, ya que la torre estaba por encima de cualquier obstáculo en la ciudad. Para realizar esto se discutieron tres enfoques: instalar un punto de acceso en modo repetidor, usar el protocolo WDS, o emplear un protocolo de enrutamiento mesh. Un repetidor no era deseable ya que añadiría latencia (por el problema que tiene un repetidor de un solo radio) a una conexión que ya es lenta. Las conexiones VSAT necesitan enviar paquetes desde y hacia el satélite, introduciendo cerca de 3000 ms de demora para un viaje de ida y vuelta. Para evitar este problema se decidió usar una radio para conectarse a los clientes, y una segunda radio para la conexión dorsal dedicada. Para simplificar, se decidió hacer de este enlace un simple puente, por lo que el punto de acceso en la estación de radio estaría en la misma LAN física que el telecentro.

En las pruebas este enfoque funcionó, pero en el mundo real su desempeño fue pésimo. Después de muchos cambios, incluyendo el reemplazo de los puntos de acceso, el técnico decidió que debía haber un problema de software o de equipo afectando el diseño. El técnico decidió ubicar los puntos de acceso directamente en el telecentro usando un pequeño mástil de 3 metros, y no usar un sitio de retransmisión en la estación de radio. En este diseño, los sitios cliente también requirieron de pequeños mástiles. A pesar de que todos los sitios fueron capaces de conectarse, las conexiones fueron a veces débiles y presentaron una pérdida masiva de paquetes.

Más adelante, durante la temporada de polvo, las conexiones se volvieron cada vez más erráticas y menos estables a pesar de que los sitios cliente estaban de 2 a 5 km de distancia utilizando 802.11b. El equipo teorizó que las torres en cada uno de los lados eran demasiado cortas, bloqueando la zona Fresnel. Después de discutir muchas teorías, el equipo se dio cuenta de que el problema era la estación de radio: la frecuencia de radio de 90.0 MHz era casi la misma que la frecuencia de la conexión Ethernet de alta velocidad (100 BaseT). Mientras transmitía, la señal FM (a 500 vatios) estaba opacando completamente la señal en el cable Ethernet.

Por lo tanto, se requería cable revestido o cambiar la frecuencia del cable Ethernet. Se subieron más los mástiles, y la velocidad Ethernet en la estación de radio se cambió a 10 Mbps. Esto cambió la frecuencia en el cable a 20 MHz y por lo tanto se evitó la interferencia de la transmisión FM. Los cambios resolvieron ambos problemas, incrementando la fortaleza y confiabilidad de la red. La ventaja de utilizar mesh o WDS es que los sitios cliente se podían conectar a cualquiera de los puntos de acceso, directamente al telecentro o a la estación de radio. Eventualmente, quitar la dependencia de la estación de radio como repetidor muy probablemente hará que la instalación sea más estable a largo plazo.

Modelo financiero

El sistema de satélite utilizado cuesta aproximadamente \$400 por mes. Para muchos proyectos de información y comunicación para el desarrollo esto constituye un costo mensual difícil de manejar. Estos proyectos usualmente pueden comprar equipamiento y pagar por el establecimiento de una red inalámbrica, pero la mayoría no logran asumir los costos de una red después un corto período de tiempo (incluyendo los gastos recurrentes por el pago del enlace a Internet y los gastos operacionales). Se debe encontrar un modelo donde el costo mensual de la red se cubra con los aportes de aquellos que la usan. Sin embargo para la mayoría de los telecentros comunitarios o estaciones de radio esto es costoso ya que a menudo el único plan posible es compartir los costos con otros usuarios. En este caso para hacer de Internet algo más asequible, el sitio usó la tecnología inalámbrica para compartir Internet con la comunidad, permitiendo que un gran número de organizaciones accedieran a Internet, mientras se reducían los costos por cliente.

En Mali, una comunidad rural tiene apenas unas pocas organizaciones o compañías que puedan costear una conexión a Internet. Para aquellos lugares donde hay pocos clientes y el costo de Internet es alto, el modelo desarrollado por este equipo incluyó los **clientes ancla**: clientes que son sólidos y de bajo riesgo. En el caso de esta región, las ONG extranjeras (Organizaciones No Gubernamentales), las Agencias de Naciones Unidas y las grandes empresas comerciales, están entre las pocas que califican.

Entre los clientes seleccionados para este proyecto había tres considerados como clientes ancla, que colectivamente pagaban el costo mensual entero de la conexión de satélite. Al mismo tiempo, se conectó un segundo beneficiario (una estación de radio comunitaria). Cualquier ingreso proveniente de los beneficiarios contribuía a generar un depósito para gastos futuros, pero no se pudo acceder a él debido al estrecho margen económico en el que ambos servicios comunitarios operaron. Los clientes que no pagaban podían ser desconectados y retomaban el servicio una vez que lo podían afrontar nuevamente.

Capacitación necesaria: quién, qué, y por cuánto tiempo

La empresa local le enseñó al técnico del telecentro las cosas básicas del soporte de la red, que era bastante rudimentaria. Para cualquier otro trabajo que se saliera de la rutina como por ejemplo agregar un nuevo cliente, se contrataba aparte. Por consiguiente no fue imperativo enseñar al personal del telecentro cómo dar soporte al sistema en su globalidad.

Lecciones aprendidas

Compartiendo la conexión, el telecentro es ahora autosuficiente y además, tres sitios adicionales tienen acceso a Internet. A pesar de que tomó más tiempo, y quizás hubo que invertir más dinero, fue mucho más valioso haber podido encontrar el talento local adecuado, así como apoyarlos en la construcción de relaciones con los clientes. Un proveedor local es capaz de ofrecer el soporte y el seguimiento necesario para mantener y expandir la red. Esta actividad está generando capacidades a nivel local, y al mismo tiempo demanda por el servicio, lo que permitirá que subsecuentes proyectos de TICs se desarrollen sobre esta base.

--Ian Howard

Estudio de caso: Spectrópolis, Nueva York

En septiembre de 2003 y octubre de 2004, *NYCwireless* produjo *Spectrópolis*. Este evento celebraba la disponibilidad de redes inalámbricas abiertas (Wi-Fi) en el bajo Manhattan y exploraba sus implicaciones en el arte, la comunidad y el espacio compartido. *Spectrópolis* es el primer festival de artes inalámbricos del mundo y fue pensado como una forma de darle a la naturaleza tecnocéntrica de la tecnología Wi-Fi una forma más accesible. La idea fue crear para los residentes y visitantes de Nueva York una forma de “ver” y “sentir” las señales inalámbricas que impregnan la ciudad (especialmente la red Wi-Fi libre que *NYCwireless* mantiene en muchos parques de la ciudad), que de otra forma serían invisibles.

La idea de *Spectrópolis* surgió de una serie de discusiones en el invierno de 2003 entre Dana Spiegel, en ese momento miembro de *NYCwireless*, y Brooke Singer, una artista independiente de *New Media* y profesora asociada de *SUNY Purchase*.

Spectrópolis tuvo lugar en el *City Hall Park*, un *hotspot* gratuito de conexión inalámbrica muy conocido en la ciudad de Nueva York. El festival exponía trabajos de arte de doce artistas internacionales. Cada pieza de arte integraba y hacía uso de una o más formas de tecnología inalámbrica, incluyendo entre otras Wi-Fi, *Bluetooth*, Radio y GPS. Cada pieza fue pensada

para explorar cómo las tecnologías inalámbricas afectan nuestras experiencias urbanas diarias. Las piezas se exhibieron por tres días en los exteriores del parque, y los artistas permanecían allí exponiendo el trabajo artístico y explicando sus obras a los visitantes.

Además de las obras de arte, *Spectrópolis* ofrecía cinco talleres y tres paneles de discusión. Los talleres ofrecían una mirada muy cercana a las tecnologías de comunicación inalámbrica y daban la oportunidad de participar y poner manos a la obra. Los talleres intentaban educar tanto al público técnico como al común, y desmitificar las tecnologías realizando presentaciones.

Los paneles exploraban las implicaciones a gran escala de las tecnologías inalámbricas en la sociedad, las políticas públicas, el activismo y las artes. Cada panel se enfocó en un área particular de influencia de las tecnologías inalámbricas, con exposiciones de varios especialistas reconocidos.

Para el evento se eligió un espacio abierto en el parque público, principalmente porque esta ubicación nos brindaba la posibilidad de atraer un gran número de asistentes, así como ubicaba el evento en un espacio por el que pasa mucha gente en días laborables y también en fines de semana. Uno de los objetivos del evento fue llegar hasta los residentes locales y a personas que de otra forma no asistirían a un evento centrado en tecnologías. Durante el tiempo en que *Spectrópolis* estuvo en el *City Hall Park*, miles de personas vinieron al parque cada día, y muchas de ellas se detuvieron a mirar una o más obras de arte.

Desde el punto de vista de la visibilidad, realizar *Spectrópolis* en un espacio público exterior fue muy importante, y el tráfico de personas por la zona definitivamente dio como resultado la atracción de mucha gente que de otra forma no habría concurrido al evento. Por otro lado, Nueva York tiene una larga historia de exhibición de arte en exteriores, aunque este arte casi siempre es completamente escultórico en su forma y pensado para participar en el paisaje pero no para ser interactivo. El trasladar desde un museo o una galería nuevos medios de arte altamente interactivos hacia un espacio público creó una discordancia con las expectativas del público.

¿Por qué es importante Spectrópolis?

Spectrópolis es un intento de darle vida a la tecnología inalámbrica y a Wi-Fi en particular más allá del correo electrónico y la navegación por la web. Las obras de arte interactivas expuestas en *Spectrópolis* están comprometidas con algo más allá del “uso laboral” al que el público en general asocia a Wi-Fi. Al presentarles las tecnologías inalámbricas por medio del “juego” y la “exploración”, *Spectrópolis* remueve gran parte de los miedos que la gente tiene con respecto a las nuevas tecnologías, y les permite considerar las

grandes implicaciones que ellas tienen en su vida, sin quedar atrapados en el “cómo” del uso de la tecnología en sí misma.

Spectrópolis es un evento único porque se enfoca en el impacto social de las tecnologías inalámbricas, como oposición a las tecnologías en sí mismas. La amplia mayoría de la gente tiene miedo de experimentar con la tecnología (esto es más común en los adultos que en los niños) o simplemente no les interesa. Si bien Wi-Fi y las tecnologías celulares han tenido importantes avances en la sociedad en general, lo han hecho dentro del espacio creado por dos actividades sociales bien reconocidas: hablar por teléfono y el acceso a Internet (correo electrónico, web, IM, etc.).

Por otro lado, *Spectrópolis* se enfocó en la naturaleza etérea de las señales inalámbricas. El hecho de que haya Wi-Fi en un parque se puede indicar con signos y etiquetas adhesivas en las ventanas, pero no es lo mismo crear un artefacto tangible en la forma de obras de arte que lleve este concepto a los hogares, de la misma forma que los bancos, los árboles y el pasto le muestran al público los servicios que provee el parque. Tener Wi-Fi en los espacios públicos no es la puerta a una comunidad, pero sí un recurso público que puede compartirse y apreciarse por todos tanto como la sombra de un gran árbol.

Organizaciones participantes

NYCwireless, a través de Dana Spiegel, tuvo la tarea de producir *Spectrópolis*. *NYCwireless* es una organización sin fines de lucro que se dedica y posibilita el crecimiento del acceso inalámbrico público y gratuito a Internet en la Ciudad de Nueva York y sus alrededores. *NYCwireless*, se fundó en el año 2001, y es una organización compuesta por voluntarios con siete miembros directivos, cinco grupos de trabajo en intereses especiales y aproximadamente sesenta miembros activos.

NYCwireless se asoció con otras organizaciones locales así como con personas destacadas de la comunidad *New York Arts* quienes dedicaron su tiempo voluntariamente para ayudar a seleccionar y producir el evento. *Spectrópolis* fue financiada por *Alliance for Downtown New York* (DTA), y la compañía *Business Improvement District* (BID). DTA también financia varios *hotspots* inalámbricos públicos y gratuitos en el centro de Nueva York, incluyendo el del *City Hall Park*, donde se llevó a cabo *Spectrópolis*. El *Lower Manhattan Cultural Council* (LMCC), una fundación de inversión y promoción del arte, financió la curaduría (el proceso de selección de las obras a ser expuestas) de *Spectrópolis*. LMCC fue la sede de varias reuniones, y supervisó el proceso de invitar y evaluar a los artistas y sus trabajos en preparación para el evento. Además, varias personas contribuyeron con una significativa cantidad de tiempo a *Spectrópolis*: Wayne Ashley (Curador,

LMCC), Yury Gitman (Curador), Jordan Silbert (Productor), y Jordan Schuster (Productor).

Aceptación de la comunidad

La comunidad local recibió a *Spectrópolis* bastante bien, los principales grupos que asistieron al evento fueron: investigadores en comunicaciones inalámbricas, proponentes de comunicaciones inalámbricas, artistas y público en general.

Para llevarlo adelante y generar interés en el evento nos pusimos en contacto con los artistas locales y las comunidades universitarias. Recibimos una gran cantidad de correos electrónicos solicitando información para asistir al evento de personas de la zona así como del resto del continente (principalmente Estados Unidos y Canadá). Algunos entusiastas sobre la temática inalámbrica llegaron desde Europa. Además, la comunidad universitaria local estuvo particularmente interesada, participando con estudiantes de *NYU*, *SUNY*, *New School*, *Parsons*, y otras escuelas cercanas. Durante el evento asistieron algunas personas que trajeron sus propios proyectos al parque y los instalaron.

También enviamos un anuncio de prensa a los medios y sitios web locales para informar a la comunidad general de la Ciudad de Nueva York sobre el evento. Si bien no fuimos contactados previamente al evento por el público en general, hubo algunas personas que nunca antes habían tenido acceso a equipamiento inalámbrico, que se registraron en nuestros talleres y en los paneles. Los residentes locales y los visitantes venían al evento principalmente para experimentar con las obras de arte. Tuvimos miles de personas cada día visitando el parque y experimentando al menos con algunas obras.

Además del interés por el arte, vinieron muchas personas a hacer preguntas sobre la tecnología inalámbrica en general, y en específico la Wi-Fi pública. Muchas de ellas fueron orientadas desde la cabina de información de *NYCwireless* que estaba instalada en el medio del parque. Una gran cantidad de personas habló directamente con los artistas (nosotros esperábamos esto, y esa fue la razón por la que queríamos que los artistas mostraran sus propios trabajos) acerca de la obra que habían creado, cómo habían trabajado y por qué habían hecho esa obra.

Para muchos de los asistentes, *Spectrópolis* fue la primera ocasión en que tuvieron una experiencia con Wi-Fi como algo más que simplemente una tecnología de Internet. Varios se sorprendieron de que las tecnologías inalámbricas pudieran ser algo más que una llamada por teléfono celular o una página web en un café, y se sintieron complacidos de comprender mejor los usos alternativos de Wi-Fi, que eran explorados por las obras de arte. En algunos casos, la relación entre las señales inalámbricas y las obras de arte

estaban ocultas y eran oscuras, como con la *Sonic Interface* del artista Akit-sugu Maebayashi. En otros trabajos, como *Upper Air* realizado por *DSP Music Syndicate*, la obra de arte estaba diseñada para apoyar la existencia de tecnología inalámbrica, y exploraba la relación tecnológica de ambos, el observador y el arte.

Algunas piezas como *Jabberwocky* por Eric John Paulos y Elizabeth Goodman, hacían uso de la tecnología para investigar las relaciones sociales en ambientes urbanos. Esos trabajos fueron importantes y significativos porque relacionaban la tecnología inalámbrica con algo que era claramente una experiencia humana, como localizar una persona en una multitud. En el caso particular de *Jabberwocky*, el observador era forzado a ver los límites de la tecnología inalámbrica, y a hacer uso de las habilidades humanas para llenar las brechas.

Diseños GPS, un taller realizado por Jeremy Wood, extendía la noción de humanos + tecnología dando como resultado algo más grande que la suma de sus partes. Lo que hizo Wood fue liderar grupos de gente alrededor del centro de la ciudad de Nueva York para crear diseños a gran escala de sus movimientos. Esta obra de arte personalizaba la experiencia de las tecnologías inalámbricas más que cualquier otro proyecto.

Todos los proyectos forzaban a las personas a reevaluar sus relaciones con las tecnologías que usaban. Más que simplemente ver el espectro público y las redes inalámbricas bajo una nueva luz, *Spectrópolis* hizo que la gente pensara en cómo esas tecnologías enriquecen y permean sus vidas. Dialogando con los artistas luego del evento, todos quedaron sorprendidos por lo comprometida que estaba la gente. Aquellos que interactuaron con las obras de arte tuvieron una mejor comprensión de la naturaleza efímera de las señales inalámbricas. Para los visitantes del evento, *Spectrópolis* hizo de conceptos abstractos como el espectro y las redes inalámbricas públicas algo mucho más concreto, y les dio una forma de comprender esos conceptos que no les podría dar el simple hecho de utilizar un teléfono celular, o una computadora portátil con Wi-Fi; por todo esto *Spectrópolis* fue un gran éxito.

Proyectos

En *Spectrópolis* se expusieron los siguientes proyectos y artistas:

- **WiFi Ephemera Cache** por Julian Bleecker
- **UMBRELLA.net** por Jonah Brucker-Cohen y Katherine Moriwaki
- **Microrradio Sound Walk** por free103point9 Transmission Artists
- **Urballoon** por Carlos J. Gómez de Llarena

- **Bikes Against Bush** por Joshua Kinberg
- **InterUrban** por Jeff Knowlton y Naomi Spellman
- **Hotspot Bloom** por Karen Lee
- **Sonic Interface** por Akitsugu Maebayashi
- **Jabberwocky** por Eric John Paulos y Elizabeth Goodman
- **Upper Air** por The DSP Music Syndicate
- **Twenty-Four Dollar Island** por Trebor Scholz
- **Text Messaging Service** y **Following 'The Man of the Crowd'** por Dodgeball + Glowlab

Planificación

La planificación de *Spectrópolis* comenzó aproximadamente con un año de anterioridad al evento. Desde el comienzo, los representantes de *NYCwireless*, *LMCC*, y *DTA*, así como los productores y curadores se reunían una vez por mes para establecer el plan y ejecutar el evento. El costo para producir *Spectrópolis* fue de aproximadamente 11.000 dólares americanos.

Puede encontrar más información en el sitio web de *Spectrópolis 2004* en <http://www.spectropolis.info/> y en mi blog *Wireless Community* en <http://www.wirelesscommunity.info/spectropolis>.

--Dana Spiegel

Estudio de caso: La búsqueda de acceso a Internet asequible en zonas rurales de Mali

Por varios años la comunidad internacional para el desarrollo ha promovido la idea de cerrar la brecha digital. Ese abismo invisible que ha dado forma a un acceso diferente a la riqueza de información y a las tecnologías de la comunicación (TIC) entre el mundo desarrollado y el mundo en vías de desarrollo. El acceso a las herramientas de información y comunicación ha sido expuesto como algo que tiene un impacto dramático en la calidad de vida. Para muchos donantes cansados por décadas de mantener actividades de desarrollo tradicionales, la instalación de un telecentro en el mundo en desarrollo luce como un esfuerzo realizable y que vale la pena. Sin embargo, debido a que la infraestructura no existe, es mucho más caro y difícil hacerlo en el mundo en desarrollo que en países desarrollados; más aún, muy pocos modelos han mostrado cómo sostener estas actividades. En este sentido para ayudar a mitigar algunos de los costos de llevar Internet hacia zonas

rurales del mundo desarrollado, el equipo del autor ha promovido el uso de sistemas inalámbricos para compartir los costos de una conexión a Internet. En noviembre de 2004, un proyecto afiliado le pidió al equipo del autor que pusieran a prueba un sistema inalámbrico en un telecentro instalado recientemente en una zona rural de Mali, 8 horas hacia el suroeste en una camioneta 4x4 desde Bamako, la capital.

Esta ciudad rural, ubicada en el límite de una reserva, obtiene el agua de la represa Manitali la cual provee de energía a un tercio del país. Esta ubicación es afortunada porque la energía hidroeléctrica es mucho más estable y disponible que la que se obtiene con un generador a diesel. Aunque los motogeneradores son menos estables, algunas comunidades rurales se consideran afortunadas de tener al menos esa fuente de electricidad.

La ciudad también se ve beneficiada por estar en una de las regiones más fértiles del país, en el cinturón del algodón, la cosecha que más rinde en Mali. Se creía que este lugar presentaría menos dificultades que las zonas rurales de Mali para instalar un telecentro auto-sostenible, sin embargo al igual que muchos experimentos, esta prueba estaba llena de desafíos.

Tecnológicamente hablando era una tarea simple. El equipo instaló en 24 horas una red inalámbrica 802.11b que compartía la conexión VSAT a Internet del telecentro con otros 5 servicios locales: la alcaldía, la gobernación, el servicio de salud, el concejo municipal y el servicio de asesorías a la comunidad.

Estos clientes habían sido seleccionados durante un reconocimiento, dos meses antes. Durante esa visita el equipo entrevistó a los potenciales clientes y determinó quiénes podían conectarse sin instalaciones caras o complicadas. El telecentro está alojado en la estación de radio comunitaria. Las estaciones de radio tienden a ser lugares muy buenos para alojar redes inalámbricas en las zonas rurales de Mali, ya que están bien ubicadas, tienen electricidad, seguridad, y gente que comprende por lo menos las cosas básicas de las transmisiones de radios. También son espacios naturales de encuentro del pueblo. Además de que era claro que proveer acceso a Internet a las estaciones de radio proporciona mejor información a sus escuchas. Para una cultura que es principalmente oral, la radio se convierte en el medio más efectivo para brindar información.

De la lista de clientes de arriba, se notará que los mismos son todos estatales o para-estatales. Esto resultó ser una mezcla difícil, ya que hay una animosidad y resentimiento considerable entre los distintos niveles de gobierno, y hubo disputas continuas con relación a los impuestos y otros asuntos fiscales. Afortunadamente el director de la estación de radio, el promotor de la red, era muy dinámico y fue capaz de sobrellevar estos problemas políticos.

Elecciones de diseño

El equipo técnico determinó que el punto de acceso sería instalado en la torre de la estación de radio a 20 metros de altura, justo sobre los dipolos de la radio FM, y no tan alto como para interferir con la cobertura a los sitios clientes, que en su mayoría se encuentran en una depresión del terreno parecida a un tazón. Luego el equipo se enfocó en cómo conectar a cada cliente con el sitio. Una antena omnidireccional de 8 dBi (de Hyperlinktech, <http://hyperlinktech.com/>) bastaría para proveer cobertura a todos los clientes. La antena elegida tenía una inclinación hacia abajo de 15 grados, asegurando que dos de los clientes que se encontraban a menos de un kilómetro de distancia pudieran recibir una señal fuerte. Algunas antenas tienen un ancho de haz vertical muy estrecho y por lo tanto “sobrepasan” a los sitios cercanos. También se consideraron antenas panel y se notó que se requerían al menos dos, y un segundo radio o divisor de potencia, pero parecía algo innecesario para el caso de esta instalación. La siguiente fórmula muestra cómo calcular el ángulo entre la antena del cliente y la antena de la estación base, utilizando trigonometría básica.

$$\begin{aligned} \tan(x) &= \text{diferencia de elevación} \\ &+ \text{altura de la antena de la estación base} \\ &- \text{altura de la antena CPE} \\ &/ \text{distancia entre los sitios} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan(x) &= 5\text{m} + 20\text{m} - 3\text{m} / 400\text{m} \\ x &= \arctan(22\text{m}/400\text{m}) \\ x &\approx 3 \text{ grados} \end{aligned}$$

Además del equipo del telecentro (4 computadoras, una impresora láser, un conmutador de 16 puertos), la estación de radio tenía una estación de trabajo Linux instalada por el autor del proyecto para la edición de audio. Se instaló un pequeño conmutador en la estación de radio y se colocó un cable Ethernet a través del patio del telecentro en una tubería de plástico enterada a 5 cm.

Desde el conmutador principal, se conectaron dos cables a un punto de acceso Mikrotik RB220. El RB220 tenía dos puertos Ethernet, uno que conectaba al VSAT a través de un cable cruzado, y un segundo que conectaba al conmutador central de la estación de radio. El RB220 se coloca dentro de un tubo PVC a modo de caja estanca, y la antena omnidireccional de 8 dBi (Hyperlink Technologies) está montada directamente encima de la tapa de PVC.

El RB220 corre un derivado de Linux, Mikrotik versión 2.8.27, que controla la red y provee DHCP, cortafuego, DNS y enruta el tráfico al VSAT utilizando NAT. Mikrotik responde a una poderosa línea de comandos y a una interfaz gráfica relativamente amigable e integral. Es una pequeña computadora x86, diseñada para ser usada como punto de acceso o computadora embe-

bida. Estos puntos de acceso tienen capacidad POE, dos puertos Ethernet, un puerto mini-PCI, dos ranuras PCMCIA, un lector CF (usado por su NVRAM), es tolerante a las fluctuaciones de temperatura y soporta una variedad de sistemas operativos x86. A pesar del hecho de que el software Mikrotik requiere licenciamiento, había una base sustancial instalada en Mali, y el sistema tenía una interfaz gráfica poderosa y amigable, superior a otros productos. Debido a los factores mencionados el equipo acordó usar estos sistemas, incluido el programa Mikrotik para controlar las redes. El costo total del RB220 con licencia nivel 5, Altheros mini-pci a/b/g y POE fue de \$461. Usted puede encontrar estos componentes en la página de Mikrotik en <http://www.mikrotik.com/routers.php>.

La red fue diseñada para tener en cuenta la expansión, segregando las diferentes sub-redes de cada cliente; se establecieron sub-redes privadas de 24 bits. El AP tiene una interfaz virtual en cada sub-red y realiza todo el enrutamiento, permitiendo también hacer el trabajo de cortafuegos en la capa IP. Nota: esto no provee de un cortafuego en la capa de red, por lo tanto, usando un rastreador de red como tcpdump uno puede ver todo el tráfico en el enlace inalámbrico.

Para limitar el acceso exclusivamente a los suscriptores, la red utiliza control de acceso a nivel de MAC ya que se percibió poco riesgo de seguridad para la red. En esta primera fase, se dejó la implementación de un sistema de seguridad más riguroso para el futuro, cuando se tenga tiempo para encontrar una interfaz más sencilla para controlar el acceso. Por otro lado se incitó a los usuarios a usar protocolos seguros, tales como https, pops, imaps, etc.

El proyecto afiliado había instalado un sistema VSAT (DVB-S) banda C. Estos sistemas satelitales normalmente son muy confiables y muy utilizados por los ISP. Es una unidad grande y cara, en este caso era un plato de 2,2 metros de diámetro que costó aproximadamente \$12.000, con instalación incluida. También es caro de operar: el costo de una conexión a Internet de 128 kbps de descarga y 64 kbps de carga era de aproximadamente \$700 por mes. Este sistema tenía varias ventajas comparado con un sistema Ku, incluyendo: mejor resistencia al mal tiempo, menor probabilidad de contención (número de usuarios que compiten por el mismo servicio) y es más eficiente transfiriendo datos.

La instalación de este VSAT no fue ideal, ya que el sistema corría en Windows, los usuarios eran capaces de cambiar rápidamente algunas configuraciones, incluyendo agregar una contraseña a la cuenta inicial que trae el sistema por omisión. El sistema no tenía UPS o batería de respaldo, de forma que cuando ocurría una interrupción de energía el sistema se reiniciaba y esperaba una contraseña, hace tiempo olvidada. Para empeorar esta situación, el software del VSAT no fue configurado para que se restaurara automáticamente, causando cortes innecesarios que podrían haber sido

resueltos con el uso de una UPS, una configuración apropiada del software del VSAT como servicio, y una limitación del acceso físico al MODEM. Como todos los propietarios de equipo nuevo, la estación de radio quería mostrarlo, por lo tanto no fue ocultado de la vista de todo el mundo. En este caso hubiera sido preferible un espacio con puertas de vidrio que mantuviera la unidad segura pero visible.

El sistema inalámbrico era bastante simple. Todos los clientes seleccionados estaban dentro de 2 km de distancia de la estación de radio. Cada sitio tenía un lugar desde el cual se podía ver físicamente la estación de radio. En el sitio cliente, el equipo eligió usar CPE comerciales. Basándose en el precio se eligieron: el puente CPE Powernoc 802.11b, pequeñas antenas planas SuperPass de 7 dBi, y adaptadores caseros POE. Para facilitar la instalación del CPE y la antena plana, se montaron sobre una pequeña pieza de madera que pudo ser instalada en el muro exterior del edificio de cara a la estación de radio.

En algunos casos la pieza de madera era un bloque angulado para optimizar la posición de la antena. Adentro se utilizó un POE hecho de un amplificador de señal de televisor (12V) para alimentar las unidades. En los sitios cliente no había redes locales, por lo que el equipo tuvo que instalar cables y concentradores para proveer Internet a cada computadora. En algunos casos fue necesario instalar adaptadores Ethernet y sus manejadores (esto no fue determinado durante la evaluación). Se decidió que, dado que las redes de los clientes eran simples, sería fácil puentearlas. Si era necesario, la arquitectura IP podía permitir un futuro particionamiento y el equipo CPE soportaba el modo STA (cliente). Utilizamos un puente PowerNOC CPE que costó \$249 (disponible en http://powernoc.us/outdoor_bridge.html).

Durante la instalación de la red inalámbrica se involucró al personal local, el cual aprendió todo, desde el cableado, hasta el emplazamiento de la antena. A la instalación le siguió un programa intensivo de entrenamiento que llevó varias semanas y fue pensado para enseñarle al equipo las tareas del día a día, así como la resolución de problemas de la red.

Para realizar el soporte del sistema, excepto la instalación del cable, aprendida rápidamente por los técnicos, se seleccionó a un joven graduado universitario que había vuelto a la comunidad. El cableado de las redes Ethernet es muy similar a reparar e instalar cables coaxiales lo cual los técnicos de la radio ya hacían regularmente. El joven graduado también requirió muy poco entrenamiento, el equipo dedicó la mayor parte del tiempo en ayudarlo a comprender cómo dar soporte a los elementos básicos del sistema y del telecentro. Muy pronto después de que el telecentro abriera, los estudiantes se aprestaron a recibir entrenamiento sobre el uso de las computadoras: 20 horas por mes de entrenamiento y de uso de Internet por solamente \$40, una ganga si lo comparamos con los \$2 por hora por tener

acceso a Internet. El hecho de proveer este entrenamiento fue una fuente significativa de ingresos y era una tarea para la que el joven universitario estaba bien preparado.

Desafortunadamente, y algo que no sorprendió en lo más mínimo, el joven se fue para la capital, Bamako, después de recibir una oferta de trabajo en el gobierno. Esto, efectivamente, dejó al telecentro abandonado; su miembro más capaz técnicamente, y la única persona que estaba entrenada para dar soporte al sistema se había ido, y con él la mayoría del conocimiento necesario para operar el telecentro y la red. Luego de mucha deliberación, el equipo determinó que sería mejor no entrenar a otro joven, sino enfocarse en el personal local permanente, a pesar de su limitada experiencia técnica. Esto tomó mucho más tiempo, nuestros instructores tuvieron que regresar y dar un total de 150 horas de entrenamiento, se les enseñó a varias personas cada función, y las tareas de soporte del telecentro se dividieron entre el personal.

El entrenamiento no se detuvo allí; una vez que los servicios de la comunidad estaban conectados, necesitaban acceso. Parecía que aunque estaban participando, las autoridades, incluyendo al alcalde, no estaban utilizando el sistema. El equipo notó la importancia de que los tomadores de decisiones utilizaran el sistema, y les dieron entrenamiento a ellos y su personal. Esto quitó un poco de la mística de la red y logró que las autoridades de la ciudad se vieran involucradas.

Seguido al entrenamiento, el programa monitoreó el lugar y comenzó a proveer resultados, evaluando las formas en las que el modelo podía mejorarse. Es importante destacar que las lecciones aprendidas aquí fueron aplicadas en otros lugares.

Modelo financiero

El telecentro comunitario ya estaba establecido como una actividad no lucrativa, y tenía la obligación de auto sostenerse a través de la venta de sus servicios. El sistema inalámbrico se incluyó como una fuente suplementaria de ingresos porque las proyecciones financieras iniciales para el telecentro indicaban que no iban a llegar a pagar la conexión VSAT.

Basados en la investigación, y en consulta con las personas de la estación de radio quienes eran los que gestionaban el telecentro, se seleccionaron varios clientes. Además, la estación de radio negoció contratos de soporte con su socio financiero. En esta primera fase, los clientes se seleccionaron basados en la facilidad de instalación y la posibilidad expresa de pagar por el servicio. A los clientes se les consultó si podían pagar una cuota de suscripción como lo describiremos más adelante.

Decidir cuánto cobrar fue una actividad muy importante, la cual requirió de consulta y de experiencia que la comunidad no tenía en cuanto a proyecciones financieras. El equipamiento se pagó con un subsidio, para ayudar a la comunidad, pero los clientes debían pagar una cuota de suscripción que serviría para asegurar su compromiso. Esta era equivalente a una cuota por mes de servicio.

Para determinar el costo mensual por la misma porción de ancho de banda comenzamos con la siguiente fórmula:

$$\text{VSAT} + \text{salarios} + \text{gastos (electricidad, proveedores)} = \text{ingresos del telecentro} + \text{ingresos por los clientes de la red inalámbrica}$$

Habíamos estimado que el telecentro debía tener aproximadamente \$200 a \$300 por mes de ingresos. Los gastos totales se estimaron en \$1.050 por mes que fueron divididos de la siguiente forma: \$700 para el VSAT, \$100 para salarios, \$150 para la electricidad, y aproximadamente \$100 para los proveedores. Para balancear la ecuación se requerían aproximadamente \$750 de ingresos provenientes de los clientes de la red inalámbrica. Esta cantidad rondaba los \$150 por cada cliente, lo cual era manejable para ellos y parecía viable pero requería de buen clima, y no daba lugar a complicaciones.

Debido a que se había complicado un poco la situación, contactamos expertos en negocios quienes modificaron la fórmula como sigue:

$$\text{Gastos mensuales} + \text{amortización} + \text{fondos de seguridad} = \text{ingresos totales}$$

Los expertos en negocios fueron muy rápidos al indicar que se necesitaba amortización para el equipo, o se podría decir “fondos de reinversión” así como fondos para imprevistos, para asegurar que la red pudiera continuar si un cliente no pagaba, o si se rompía algún equipo. Esto sumaba aproximadamente \$150 por mes de amortización (equipo valuado en \$3.000, amortizado por 24 meses), y el valor por un cliente que se atrase en sus pagos por \$100. Además sumar otro 10% para tener en cuenta la devaluación (\$80), todo lo cual equivale a un gasto de \$1.380 por mes. Intentando implementar este modelo, finalmente se determinó que la amortización es un concepto muy difícil de trasladar a la comunidad, y que ellos no considerarían que los clientes se pudieran atrasar en el pago. Por lo tanto se utilizaron ambas fórmulas, la primera para el telecentro y la segunda para nuestro análisis interno.

Como descubrimos rápidamente, los pagos regulares no son parte de la cultura en las zonas rurales de Mali. En una sociedad agraria todo es por estaciones (temporadas), y por lo tanto también lo son las entradas. Esto signi-

fica que los ingresos de la comunidad fluctúan muchísimo, y más aún debido a que las instituciones públicas involucradas también tienen largos ciclos administrativos con poca flexibilidad. A pesar de que teóricamente tienen el dinero para pagar por el servicio, puede tomar muchos meses para que se haga el pago. Por otro lado, aparecieron otras complicaciones fiscales. Por ejemplo, el alcalde firmó y utilizó los impuestos de la radio para pagar por su suscripción. Por supuesto que esto no contribuye al flujo de dinero. Desafortunadamente, el proveedor de VSAT tiene poca flexibilidad o paciencia, ya que su ancho de banda es limitado y sólo podía dar servicio a aquellos dispuestos a pagar puntualmente.

La administración del flujo de caja se volvió un tema primario de preocupación. Primero, las previsiones de ingresos en las proyecciones financieras mostraron que aún con una visión optimista, no sólo tendrían problemas para tener los suficientes ingresos para pagar las cuotas a tiempo, sino también para obtener el dinero del banco en Bamako. Las carreteras cercanas al pueblo pueden ser peligrosas, debido a la cantidad de contrabandistas de Guinea y los rebeldes que vigilan los caminos de Costa de Marfil. En consecuencia, el telecentro no fue capaz de pagar a su proveedor que le suspendió el servicio, y de ese modo también se suspendieron los pagos de los clientes.

Antes de que el proyecto fuera capaz de encontrar soluciones a estos problemas, el costo del VSAT ya había puesto al telecentro en deudas. Después de varios meses, debido a problemas técnicos así como a los elementos presentados en este análisis, el VSAT de banda C fue reemplazado con un sistema de banda Ku mucho más económico. A pesar de que era un sistema más barato, aún era suficiente para el tamaño de la red. Este sistema costó solamente \$450, lo cual, ignorando la amortización y los temas de seguridad, hacía la red accesible. Desafortunadamente, debido a la falta de pagos, la red no fue capaz de pagar por la conexión VSAT después del período inicial de subsidio.

Conclusiones

Construir una red inalámbrica es relativamente sencillo, pero hacer que funcione es mucho más un problema administrativo que técnico. Se necesita un modelo de pagos que considere la reinversión y los riesgos, o la red finalmente va a fracasar. En este caso, el modelo de pago no fue apropiado y no cumplía con los ciclos fiscales de los clientes ni con las expectativas sociales. Un análisis de riesgo apropiado habría concluido que un pago mensual de \$700 (o aún de \$450) dejaba muy poco margen entre los ingresos y los gastos para compensar las deficiencias fiscales. Por otro lado, la gran demanda y las necesidades de educación limitan la expansión de la red.

Luego de la capacitación la red funcionó durante 8 meses sin problemas técnicos significativos. Posteriormente, una sobretensión eléctrica causada por la caída de un rayo destruyó gran parte del equipamiento en la estación, incluido el punto de acceso y el VSAT. Como resultado, en este momento el telecentro ya no está funcionando y esta fórmula fue considerada una solución inapropiada.

--lan Howard

Estudio de caso: Usos comerciales en África del Este

A través de una descripción de usos comerciales inalámbricos en Tanzania y Kenia, este capítulo enfoca soluciones técnicas que proveen una disponibilidad del 99,5%, en acceso a Internet y conexión de datos en países en desarrollo. En contraste a los proyectos que se dedican al acceso ubicuo, nosotros nos enfocamos en brindar servicios a organizaciones, en general a aquellas que tienen necesidades críticas de comunicación internacional. Describiré dos enfoques comerciales de conectividad de datos inalámbricos radicalmente diferentes, resumiendo las lecciones clave aprendidas durante diez años en África del Este.

Tanzania

En 1995, junto con Bill Sangiwa, fundé CyberTwiga, una de los primeros ISPs en África. A mediados de 1996 comenzaron los servicios comerciales, limitados a la transmisión de correo electrónico a través de discado por un enlace SITA de 9.6 kbps (¡que costaba más de US\$ 4000 por mes!). Sintiéndonos frustrados por los servicios PSTN erráticos, y alentados por el despliegue exitoso de una red de tres nodos punto a multipunto para las autoridades de los puertos de Tanzania, negociamos con la compañía celular local para colocar una estación base punto a multipunto en su torre central. A fines de 1998, al conectar varias corporaciones a este sistema privado WILAN a 2.4 GHz validamos el mercado y nuestra capacidad técnica para proveer servicios inalámbricos.

Como los competidores también instalaban redes a 2.4 GHz surgieron dos cosas: existía un mercado saludable para los servicios inalámbricos, pero debido al ruido RF a 2.4 GHz la calidad de la red se vio disminuida. Nuestra fusión con la compañía celular a mediados del año 2000 incluía planes de una red inalámbrica nacional construida sobre la infraestructura celular existente (torres y enlaces de transmisión) y asignaciones de espectros de RF privados.

La infraestructura ya estaba en sitio (torres para celulares, enlaces de transmisión, etc.), por lo tanto el diseño de las redes de datos inalámbricas y su despliegue era algo sencillo. La capital de Tanzania, Dar es Salaam, es un lugar muy plano, y dado que el socio celular operaba una red análogica, las torres eran muy altas. Una empresa asociada en el Reino Unido, Tele2, había comenzado operaciones con el equipamiento Breezecom (ahora Alvarion) a 3.8/3.9 GHz, por lo tanto seguimos su ejemplo.

A fines del 2000, habíamos establecido una cobertura en varias ciudades, utilizando circuitos de transmisión E1 fraccionados para transporte (*back-haul*). En la mayoría de los casos el pequeño tamaño de las ciudades conectadas justificaba el uso de una sola estación base omnidireccional PMP; solo en la capital comercial, Dar es Salaam, se instalaron estaciones base de tres sectores. Los límites de ancho de banda se configuraban directamente en los radios de los clientes quienes normalmente tenían una única dirección IP pública. Los enrutadores de borde en cada estación base enviaban tráfico a las direcciones IP estáticas de los clientes evitando que el tráfico de difusión inundara la red. Las presiones del mercado mantuvieron los precios bajos en aproximadamente US\$ 100 mensuales por 64 kbps, pero en aquel momento (mediados/fines del 2000) los ISPs podían operar con tasas de sobresuscripción impresionantes y muy provechosos. Las aplicaciones muy consumidoras de ancho de banda como las que comparten archivos entre pares (P2P), voz, y ERPs simplemente no existían en África del Este. Con los enormes costos de las llamadas internacionales, las organizaciones rápidamente pasaron del fax al correo electrónico, a pesar de que el costo del equipamiento inalámbrico estaba entre US\$ 2000-3000.

Las capacidades técnicas se desarrollaron localmente, requiriendo capacitación del personal en el extranjero sólo en temas como SNMP y UNIX. Además de mejorar las capacidades de la compañía, estas oportunidades de entrenamiento generaron lealtad entre el personal. Teníamos que competir en un mercado laboral en tecnologías de información muy limitado con compañías internacionales explotadoras de oro, con las Naciones Unidas, y con otras agencias internacionales,

Para asegurar la calidad de las instalaciones a los clientes, se contrató una empresa local de radio y telecomunicaciones muy bien capacitada y el progreso de la obra se controlaba estrictamente con tarjetas de trabajo. Las altas temperaturas, el duro sol ecuatorial, la lluvia y las tormentas eléctricas sometían el equipamiento externo a condiciones extremas; la integridad del cableado de RF era vital.

Los clientes a menudo no tenían personal competente en telecomunicaciones, abrumando a nuestros empleados con la tarea de configurar muchos tipos y topologías diferentes de equipamiento de red.

Los obstáculos de infraestructura y las regulaciones a menudo impedían las operaciones. La compañía celular controlaba estrictamente las torres, por lo tanto si había un problema técnico en las estaciones base podían pasar horas o días antes de que pudiéramos tener acceso a la misma. A pesar de los generadores de respaldo y los sistemas UPS que teníamos en cada ubicación, la energía eléctrica siempre era problemática. Para la compañía celular el suministro de energía en las estaciones base era menos crítico. Los suscriptores celulares simplemente se asociaban a otra estación base; pero nuestros suscriptores fijos al servicio inalámbrico de datos se quedaban sin línea.

En cuanto a las regulaciones, la mayor interrupción ocurrió cuando las autoridades de telecomunicaciones decidieron que nuestra operación era la responsable de interferir las operaciones del satélite en la banda C para el país entero, y nos ordenó desconectar nuestra red.

A pesar de que los datos demostraron que no éramos los responsables de la falla, el regulador decomisó nuestros equipamientos en una maniobra altamente publicitada. Por supuesto la interferencia persistía, y más tarde se determinó que provenía del radar de un barco ruso dedicado a controlar las actividades espaciales. Negociamos en reservado con el regulador, y fuimos recompensados con 2 x 42 MHz de espectro privado en las bandas 3,4/3,5 GHz. Los clientes se conectaron por líneas discadas durante el mes que tomó reconfigurar las estaciones base y la instalación de nuevos CPE.

Al final la red creció hasta alcanzar aproximadamente 100 nodos ofreciendo buena conectividad, aunque no excelente, a 7 ciudades a través de más de 3000 km de enlaces de transmisión. Sólo la asociación con el operador celular hizo que esta red fuera posible. La escala del negocio de Internet/datos por sí sólo no habría justificado construir una red de datos de esas dimensiones y hacer las inversiones necesarias para tener frecuencias privadas. Desafortunadamente, el operador celular tomó la decisión de cerrar el negocio de Internet a mediados de 2002.

Nairobi

A principios del año 2003 fui contactado por una compañía keniana, AccessKenya, que cuenta con un fuerte apoyo del Reino Unido y respaldo técnico para diseñar y desplegar una red inalámbrica en Nairobi y sus alrededores. Beneficiándonos con el apoyo de magníficos profesionales en redes y negocios, un equipamiento inalámbrico mejorado, los progresos en la interconexión de redes, y un mercado más grande, diseñamos una red de alta disponibilidad que obedecía a las regulaciones locales.

Dos factores regulatorios determinaron el diseño de nuestra red. En ese momento en Kenia los servicios de Internet tenían un licenciamiento

separado a los de redes de públicas de datos, y una misma compañía no podía tener ambas licencias. Transmitiendo el tráfico de múltiples ISP competidores o usuarios corporativos, la red tenía que operar con total neutralidad. Por otro lado las frecuencias “privadas”, como las 3,4/3,5 GHz, no estaban asignadas exclusivamente a un sólo proveedor, y estábamos preocupados por la interferencia, y la capacidad técnica y/o voluntad política del regulador para hacer cumplir la ley. Además, el espectro en 3,4/3,5 GHz era muy caro: alrededor de US\$ 1000 anuales por MHz, por cada estación base. Es decir, una estación base que usaba 2 x 12 MHz implicaba el pago de licencias de más de \$10,000 al año. Como Nairobi es un lugar montañoso con muchos árboles altos y valles, las redes inalámbricas de banda ancha demandaban muchas estaciones base. Los gastos debidos al licenciamiento simplemente no tenían sentido. En contraste, las frecuencias de 5,7/5,8 GHz estaban sujetas a una única tasa anual de aproximadamente US\$ 120 por radio desplegado.

Para acogernos al primer requerimiento regulatorio elegimos proveer servicios utilizando túneles VPN punto a punto, no por una red de rutas IP estáticas. Un ISP nos entregaría una dirección IP pública en su NOC. Nuestra red realizaba una conversión de IP pública a privada y el tráfico transitaba nuestra red en un espacio IP privado. Del lado del usuario, se realizaba una conversión de IP privada a pública proveyéndole todas las direcciones enrutables requeridas a la red del usuario.

La seguridad y la encriptación contribuían a la neutralidad de la red y la flexibilidad constituía una ventaja competitiva de nuestra red. El ancho de banda se limitaba a nivel del túnel VPN. Basado en la experiencia de operabilidad de nuestra compañía afiliada en el Reino Unido, VirtualIT, seleccionamos Netscreen (ahora parte de Juniper Networks) como el vendedor de enrutadores cortafuego VNP.

Nuestro criterio para el equipamiento de banda ancha inalámbrico eliminaba dispositivos de altas prestaciones. Factores de forma, confiabilidad y facilidad de instalación fueron más importantes que el rendimiento. Todas las conexiones internacionales a Internet a Kenia en el 2003, y aún en este momento, son realizadas vía satélite. Con costos 100 veces más grandes que la fibra óptica, la conectividad satelital pone un techo económico en la cantidad de ancho de banda adquirido por los usuarios finales. Juzgamos que la mayoría de nuestros usuarios requerían una capacidad en el orden de 128 a 256 kbps. Por ello seleccionamos la plataforma Canopy recientemente introducida por Motorola, considerándola en línea con nuestro negocio y nuestro modelo de red.

Broadband Access, Ltd., nació en julio de 2003, lanzando la red “Blue” (Azul). Comenzamos en pequeño, con una única estación base. Queríamos

que la demanda motivara nuestra expansión, en lugar de confiar en la estrategia de construir grandes tubos y esperar poder llenarlos.

Canopy, y mejoras de terceros, como las estaciones base omnidireccionales, nos permitieron hacer crecer nuestra red al mismo ritmo que crecía la cantidad de tráfico, bajando los gastos iniciales de capital. Sabíamos que la compensación vendría cuando la red se expandiera; en ese momento tendríamos que sectorizar el tráfico y realinear los radios de los clientes. La curva de aprendizaje suave de una red pequeña más tarde pagó grandes dividendos. El personal técnico se sentía cómodo con el soporte de una red simple, en lugar de tener que lidiar con ella además de equipos de RF y de una topología lógica complejos. Para darles un ejemplo, el equipo técnico tomó clases de entrenamiento Motorola durante dos días.

Utilizando un diseño típico punto a multipunto, con estaciones base enlazadas a una estación central mediante troncales de microondas de alta velocidad Canopy, la red se desplegó en los techos de los edificios, no en torres de antenas. Todos los arrendamientos estipulaban el acceso del personal al suministro de energía 24 horas los 7 días de la semana, protegiendo la exclusividad de nuestra frecuencia de radio. Por otro lado, no queríamos restringir a los dueños de ofrecer espacio en sus techos a los competidores siempre que se garantizara que nuestros servicios no se verían interrumpidos.

Las instalaciones en los techos proveían muchas ventajas, acceso físico ilimitado y sin restricciones por la oscuridad o la lluvia, ayudando a alcanzar el objetivo de un 99.5% de disponibilidad de red. En los grandes edificios también había muchos clientes, y fue posible conectarlos directamente al corazón de nuestra red de microondas. Las instalaciones en techos tenían la desventaja de que había más tráfico de personas –los trabajadores manteniendo el equipo (A/C), o reparando goteras ocasionalmente podían dañar el cableado. Como resultado, todas las estaciones base se instalaban con dos grupos de cableado para todos los elementos de la red, uno principal y uno de repuesto.

La prospección de sitios confirmaba la disponibilidad de un camino libre para las ondas de radio y para los requerimientos de los clientes. El equipo de prospección registraba las coordenadas de cada cliente mediante GPS, y llevaba un medidor de distancia láser para determinar la altura de los obstáculos. Luego de la recepción del pago por el equipamiento se contrataban personas para realizar las instalaciones, siempre bajo la supervisión de personal técnico. Además, Canopy tiene la ventaja de que las CPE y los elementos de las estaciones de base son livianos, por lo tanto para hacer la mayoría de las instalaciones no se necesitan muchas personas. El cableado de las unidades Canopy es muy simple, con cables UTP para exteriores conectando los radios directamente a las redes de los clientes. Por todo

esto se podían hacer instalaciones completa y adecuadamente en menos de una hora, y el equipo contratado no requería de entrenamiento avanzado o herramientas especiales.

Como recolectamos cientos de posiciones de usuarios con el GPS comenzamos a trabajar junto con una compañía de topografía para incluir esos lugares en mapas topográficos, lo que constituyó una herramienta clave de planificación para el emplazamiento de estaciones base.

La arquitectura de túnel VPN punto a punto, con sus capas física y lógica separadas requiere que los clientes adquieran el ancho de banda inalámbrico y el equipamiento VPN. Para un estricto control de calidad, rechazamos categóricamente que los clientes adquirieran su propio equipamiento; ellos nos lo debían comprar a nosotros para tener garantías de servicio y de repuestos, de esta forma cada cliente tenía el mismo paquete. Generalmente las instalaciones costaban del orden de US\$ 2500, y los costos mensuales por el ancho de banda de 64 a 128 kbps eran de US\$ 500-600. Un beneficio del enfoque de túnel VPN era que podíamos cortar el tráfico de un cliente en la red lógica (por ejemplo, si su red había sido atacada por un gusano o si no pagaban la cuenta), mientras que la capa de radio permanecía intacta y manejable.

Cuando la red creció de una estación base a diez, y el servicio se expandió hasta la ciudad de Mombasa, el diseño de red de RF y los enrutadores se fueron proveyendo de redundancia o de sustitución en caliente (*hot swap*). Se requirieron considerables inversiones en inversores y UPS de doble conversión en cada estación base para mantener el servicio a despecho de un suministro errático de energía eléctrica. Después de varios problemas con los clientes que atribuimos a los apagones (caída de las conexiones VPN), simplemente incluíamos una pequeña UPS como parte del paquete de equipamiento.

Agregar un analizador de espectro portátil a nuestro capital inicial de inversión fue costoso, pero altamente justificado cuando operábamos la red, para ubicar operadores deshonestos, confirmar las características operativas del equipo y verificar la cobertura de RF mejorando nuestro desempeño.

El prestar una atención extrema al monitoreo nos permitió afinar bien el desempeño de la red y almacenar datos históricos de gran valor. Los mismos eran graficados mediante MRTG o Cacti (como lo describimos en el capítulo seis), y se obtenían datos sobre parámetros de fluctuación de retardo (*jitter*), RSSI, y tráfico que permitían detectar operadores deshonestos y posibles deterioros de los cables / conectores, así como la presencia de gusanos en las redes de los clientes. No era algo poco común que los clientes reclamaran que su servicio se había interrumpido durante horas o días y demandara un crédito; en esos casos el monitoreo histórico verificaba o invalidaba di-

chos reclamos. La red *Blue* en Tanzania combinó varias lecciones sobre cómo mejorar la RF y las tecnologías de red.

Lecciones aprendidas

Por los próximos años los circuitos satelitales van a proveer toda la conectividad a Internet para África del Este. Varios grupos han presentado propuestas para dar conectividad mediante fibra submarina, lo que revitalizará las telecomunicaciones cuando suceda. En comparación con regiones con conectividad de fibra, los costos de ancho de banda en África del Este van a permanecer aún muy altos.

Por lo tanto las redes de ancho de banda inalámbricas para distribuir servicios de Internet no deben enfocarse en el rendimiento, sino en la confiabilidad, la redundancia y la flexibilidad.

La confiabilidad de nuestra red inalámbrica fue nuestro punto clave para lograr ventas. Del lado de la red esto se traducía en inversiones cuantiosas para la sustitución de infraestructura, como los respaldos de energía y la atención de los detalles como la conectorización de los cables (*crimping*) y el cableado en sí. En este sentido, las razones más comunes por las que un único usuario perdía conectividad eran problemas de cableado o de conectorización, mientras que esencialmente no hubo fallas debido a los radios. Una ventaja clave de competitividad de nuestro proceso de instalación en el cliente era que obligábamos al personal contratado a adherirse estrictamente a las especificaciones. Por esta razón fue que los sitios cliente bien gestionados permanecían conectados por cientos de días con cero caída no programada de la red. Controlábamos nuestra infraestructura tanto como nos era posible (por ejemplo en los techos de los edificios).

En nuestra experiencia, las alianzas con los proveedores celulares que parecían potencialmente tan atractivas, trajeron más problemas de los que resolvieron. En África del Este, el negocio de Internet genera una fracción de los ingresos de la telefonía móvil, y por lo tanto es marginal con respecto a las compañías celulares. Intentar desarrollar una red utilizando infraestructura que no le pertenece y que además, desde el punto de vista del proveedor celular es un gesto de buena voluntad, va a repercutir en que sea imposible cumplir con las obligaciones de servicio.

Implementar redes de gran redundancia, con capacidad para respaldo o hot-swap es una proposición muy costosa en África. Sin embargo, los enrutadores centrales y el equipamiento VPN en nuestro punto central de presencia eran completamente redundantes, estaban configurados para hacer un respaldo consistente, y para ser probados rutinariamente. En el caso de las estaciones base tomamos la decisión de no instalar enrutadores duales, pero sí tener en stock enrutadores de repuesto. Juzgamos que en el peor

de los casos, de 2 a 3 horas sin red (un fallo a la 1AM de un domingo, bajo la lluvia) sería aceptable para los clientes. Del mismo modo, los miembros del personal que trabajaban los fines de semana tenían acceso a un armario de emergencia que contenía respaldos para el equipamiento de los clientes, tales como radios y proveedores de energía.

En el diseño lógico y en el de RF de la red se desarrolló la flexibilidad. La arquitectura de túnel VPN punto a punto desarrollada en Nairobi fue extraordinariamente flexible en cuanto al servicio a los clientes o las necesidades de la red. Como un simple ejemplo, las conexiones cliente podían programarse para detenerse durante las horas de menos tráfico para permitir realizar un respaldo fuera del sitio. También podíamos vender múltiples enlaces a destinos separados, incrementando el retorno de nuestras inversiones en la red al tiempo que ofrecíamos nuevos servicios a los clientes (como monitoreo remoto de cámaras CCTV).

Con respecto a la RF, teníamos suficiente espectro para planificar una expansión, así como para armar un diseño de red de radio alternativa en el caso de tener interferencia. Con el crecimiento de las estaciones base, probablemente el 80% de nuestros clientes estaban al alcance de dos estaciones base de modo que si una estación base fallaba, podíamos restaurar el servicio rápidamente.

El separar las capas lógica y de RF en la red *Blue* introdujo un nivel adicional de complejidad y costos. Considerando la realidad a largo plazo de que las tecnologías de radio van a avanzar más rápidamente que las técnicas de interconexión, separar las redes, en teoría, nos da la flexibilidad de reemplazar la red RF existente sin afectar la red lógica. O podemos instalar diferentes redes de radio a tono con las nuevas tecnologías (Wimax), o las necesidades de los clientes, manteniendo la misma red lógica.

Finalmente, uno debe rendirse ante la evidencia de que las sofisticadas redes que desplegamos serían completamente inútiles si no cumplimos escrupulosamente con los compromisos con el cliente. Esto es, después de todo, por lo que se nos paga.

Para más información

- Broadband Access, Ltd. <http://www.blue.co.ke/>
- AccessKenya, Ltd. <http://www.accesskenya.com/>
- VirtualIT <http://www.virtualit.biz/>

--Adam Messer, Ph.D.

Apéndice A: Recursos

Recomendamos estos recursos para que quienes lo deseen, puedan aprender más acerca de los variados aspectos de las redes inalámbricas (los mismos están disponibles solamente en inglés). Si quiere conocer más enlaces y recursos, visite nuestro sitio web en <http://wndw.net/>.

Antenas y diseño de antenas

- Cushcraft technical papers on antenna design and radio propagation, <http://www.cushcraft.com/comm/support/technical-papers.htm>
- Free antenna designs, <http://www.freeantennas.com/>
- Hyperlink Tech, <http://hyperlinktech.com/>
- Pasadena Networks LLC, <http://www.wlanparts.com/>
- SuperPass, <http://www.superpass.com/>
- Unofficial NEC-2 code archives, <http://www.si-list.org/swindex2.html>
- Unofficial NEC-2 radio modeling tool home page, <http://www.nittany-scientific.com/nec/>
- USB WiFi dish designs, <http://www.usbwifi.orcon.net.nz/>

Herramientas para la resolución de problemas de redes

- Cacti network monitoring package, <http://www.cacti.net/>
- DSL Reports bandwidth speed tests, <http://www.dslreports.com/stest>
- Ethereal network protocol analyzer, <http://www.ethereal.com/>
- Iperf network performance testing tool, <http://dast.nlanr.net/Projects/lperf/>
- iptraf network diagnostic tool, <http://iptraf.seul.org/>
- MRTG network monitoring and graphing tool, <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/>
- My TraceRoute network diagnostic tool, <http://www.bitwizard.nl/mtr/>
- Nagios network monitoring and event notification tool, <http://www.nagios.org/>

- Ntop network monitoring tool, <http://www.ntop.org/>
- RRDtool round robin database graphing utility, <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/rrdtool/>
- SmokePing network latency and packet loss monitor, <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/smokeping/>
- SoftPerfect network analysis tools, <http://www.softperfect.com/>
- Squid transparent http proxy HOWTO, <http://en.tldp.org/HOWTO/mini/TransparentProxy-2.html>
- ttcp network performance testing tool, <http://ftp.arl.mil/ftp/pub/ttcp/>

Seguridad

- AntiProxy http proxy circumvention tools and information, <http://www.antiproxy.com/>
- Anti-spyware tools, <http://www.spychecker.com/>
- Driftnet network monitoring utility <http://www.ex-parrot.com/~chris/driftnet/>
- Etherpeg network monitoring utility, <http://www.etherpeg.org/>
- Introduction to OpenVPN, <http://www.linuxjournal.com/article/7949>
- Lavasoft Ad-Aware spyware removal tool, <http://www.lavasoft.de/>
- OpenSSH secure shell and tunneling tool, <http://openssh.org/>
- OpenVPN encrypted tunnel setup guide, <http://openvpn.net/howto.html>
- Privoxy filtering web proxy, <http://www.privoxy.org/>
- PuTTY SSH client for Windows, <http://www.putty.nl/>
- Sawmill log analyzer, <http://www.sawmill.net/>
- Security of the WEP algorithm, <http://www.isaac.cs.berkeley.edu/isaac/wep-faq.html>
- Spyware prevention for Windows XP (German), <http://www.xp-antispy.de/>
- Stunnel Universal SSL Wrapper, <http://www.stunnel.org/>
- TOR onion router, <http://tor.eff.org/>
- Weaknesses in the Key Scheduling Algorithm of RC4, http://www.crypto.com/papers/others/rc4_ksaproc.ps
- Windows SCP client, <http://winscp.net/>
- Your 802.11 Wireless Network has No Clothes, <http://www.cs.umd.edu/~waa/wireless.pdf>
- ZoneAlarm personal firewall for Windows, <http://www.zonelabs.com/>

Optimización del ancho de banda

- Cache hierarchies with Squid, <http://squid-docs.sourceforge.net/latest/html/c2075.html>
- dnsmasq caching DNS and DHCP server, <http://thekelleys.org.uk/dnsmasq/doc.html>
- Enhancing International World Wide Web Access in Mozambique Through the Use of Mirroring and Caching Proxies, <http://www.isoc.org/inet97/ans97/cloet.htm>
- Fluff file distribution utility, <http://www.bristol.ac.uk/fluff/>
- Microsoft Internet Security and Acceleration Server, <http://www.microsoft.com/isaserver/>
- Microsoft ISA Server Firewall and Cache, <http://www.isaserver.org/>
- Pittsburgh Supercomputing Center's guide to Enabling High Performance Data Transfers, http://www.psc.edu/networking/perf_tune.html
- RFC 3135: Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3135>
- Squid web proxy cache, <http://squid-cache.org/>

Redes mesh

- Champaign-Urbana Community Wireless Network software, <http://cuwireless.net/download>
- Freifunk OLSR mesh firmware for the Linksys WRT54G, <http://www.freifunk.net/wiki/FreifunkFirmware>
- MIT Roofnet Project, <http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/doku.php>
- OLSR mesh networking daemon, <http://www.olsr.org/>
- Real-time OLSR topology viewer, <http://meshcube.org/nylon/utils/olsr-topology-view.pl>

Sistemas operativos y manejadores

- HostAP wireless driver for the Prism 2.5 chipset, <http://hostap.epitest.fi/>
- m0n0wall wireless router OS, <http://m0n0.ch/wall/>
- MadWiFi wireless driver for the Atheros chipset, <http://madwifi.org/>
- Metrix Pebble wireless router OS, <http://metrix.net/metrix/howto/metrix-pebble.html>

- OpenWRT wireless router OS for Linksys access points, <http://openwrt.org/>
- Pebble Linux, <http://nycwireless.net/pebble/>

Herramientas inalámbricas

- Chillispot captive portal, <http://www.chillispot.org/>
- Interactive Wireless Network Design Analysis Utilities, <http://www.qsl.net/n9zia/wireless/page09.html>
- KisMAC wireless monitor for Mac OS X, <http://kismac.binaervarianz.de/>
- Kismet wireless network monitoring tool, <http://www.kismetwireless.net/>
- MacStumbler wireless network detection tool for Mac OS X, <http://www.macstumbler.com/>
- NetStumbler wireless network detection tool for Windows and Pocket PC, <http://www.netstumbler.com/>
- NoCatSplash captive portal, <http://nocat.net/download/NoCatSplash/>
- PHPMyPrePaid prepaid ticketing system, <http://sourceforge.net/projects/phpmy prepaid/>
- RadioMobile radio performance modeling tool, <http://www.cplus.org/rmw/>
- Terabeam wireless link calculation tools, <http://www.terabeam.com/support/calculations/index.php>
- Wellenreiter wireless network detection tool for Linux, <http://www.wellenreiter.net/>
- WiFiDog captive portal, <http://www.wifidog.org/>
- Wireless Network Link Analysis tool by GBPRR, <http://my.athenet.net/~multiplx/cgi-bin/wireless.main.cgi>

Información general relacionada a redes inalámbricas

- DefCon long distance WiFi shootout, <http://www.wifi-shootout.com/>
- Homebrew wireless hardware designs, <http://www.w1ghz.org/>
- Linksys wireless access point information, <http://linksysinfo.org/>
- Linksys WRT54G resource guide, <http://seattlewireless.net/index.cgi/LinksysWrt54g>
- NoCat community wireless group, <http://nocat.net/>
- POE guide by NYCWireless, <http://nycwireless.net/poe/>
- Ronja optical data link hardware, <http://ronja.twibright.com/>

- SeattleWireless community wireless group, <http://seattlewireless.net/>
- SeattleWireless Hardware comparison page, <http://www.seattlewireless.net/HardwareComparison>
- Stephen Foskett's Power Over Ethernet (PoE) Calculator, <http://www.gweep.net/~sfoskett/tech/poecalc.html>

Vendedores de equipamiento de redes

- Alvarion wireless networking equipment, <http://www.alvarion.com/>
- Cisco wireless networking equipment, <http://www.cisco.com/>
- Metrix outdoor wireless networking kits, <http://metrix.net/>
- Mikrotik wireless network equipment, <http://www.mikrotik.com/routers.php#linx1part0>
- PowerNOC outdoor wireless networking equipment, http://powernoc.us/outdoor_bridge.html
- RAD Data Communications networking hardware, <http://www.rad.com/>
- Redline Communications WiMax wireless networking equipment, <http://www.redlinecommunications.com/>
- Trango wireless networking hardware, <http://www.trangobroadband.com/>
- WaveRider wireless hardware, <http://www.waverider.com/>

Servicios de redes

- Access Kenya ISP, <http://www.accesskenya.com/>
- Broadband Access Ltd. wireless broadband carrier, <http://www.blue.co.ke/>
- Virtual IT outsourcing, <http://www.virtualit.biz/>
- wire.less.dk consultancy and services, <http://wire.less.dk/>

Entrenamiento y educación

- Association for Progressive Communications wireless connectivity projects, <http://www.apc.org/wireless/>
- International Network for the Availability of Scientific Publications, <http://www.inasp.info/>
- Makerere University, Uganda, <http://www.makerere.ac.ug/>
- Radio Communications Unit of the Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, <http://wireless.ictp.trieste.it/>
- World Summits on Free Information Infrastructures, <http://www.wsfii.org/>

Miscelánea de enlaces

- Cygwin Linux-like environment for Windows, <http://www.cygwin.com/>
- Graphviz graph visualization tool, <http://www.graphviz.org/>
- ICTP bandwidth simulator, <http://wireless.ictp.trieste.it/simulator/>
- ImageMagick image manipulation tools and libraries, <http://www.imagemagick.org/>
- NodeDB war driving map database, <http://www.nodedb.com/>
- Open Relay DataBase, <http://www.ordb.org/>
- Partition Image disk utility for Linux, <http://www.partimage.org/>
- RFC 1918: Address Allocation for Private Internets, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1918>
- Spectropolis NYC art project, <http://www.spectropolis.info/>
- Ubuntu Linux, <http://www.ubuntu.com/>
- wget web utility for Windows, <http://xoomer.virgilio.it/hherold/>
- WiFiMaps war driving map database, <http://www.wifimaps.com/>

Books

- *802.11 Networks: The Definitive Guide, 2nd Edition*. Matthew Gast, O'Reilly Media. ISBN #0-596-10052-3
- *802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation*. Bruce Alexander, Cisco Press. ISBN #1-587-05164-8
- *The ARRL Antenna Book, 20th Edition*. R. Dean Straw (Editor), American Radio Relay League. ISBN #0-87259-904-3
- *The ARRL UHF/Microwave Experimenter's Manual*. American Radio Relay League. ISBN #0-87259-312-6
- *Building Wireless Community Networks, 2nd Edition*. Rob Flickenger, O'Reilly Media. ISBN #0-596-00502-4
- *Deploying License-Free Wireless Wide-Area Networks*. Jack Unger, Cisco Press. ISBN #1-587-05069-2
- *TCP/IP Illustrated, Volume 1*. W. Richard Stevens, Addison-Wesley. ISBN #0-201-63346-9
- *Wireless Hacks, 2nd Edition*. Rob Flickenger and Roger Weeks, O'Reilly Media. ISBN #0-596-10144-9

Apéndice B: Asignación de Canales

Las siguientes tablas listan los números de los canales y frecuencias centrales utilizadas para 802.11a y 802.11b/g. Si bien todas estas frecuencias están en las bandas sin licenciamiento ISM y U-NII, no todos los canales están disponibles en los diferentes países. Muchas regiones imponen restricciones en la potencia de salida y el uso interno / externo de algunos canales. Esas regulaciones cambian rápidamente, por lo tanto revise las regulaciones locales antes de transmitir.

Estas tablas le muestran la frecuencia central de cada canal. Los canales son de un ancho de 22MHz en 802.11b/g, y de 20MHz en 802.11a.

802.11b / g			
Canal #	Frecuencia Central (GHz)	Canal #	Frecuencia Central (GHz)
1	2,412	8	2,447
2	2,417	9	2,452
3	2,422	10	2,457
4	2,427	11	2,462
5	2,432	12	2,467
6	2,437	13	2,472
7	2,442	14	2,484

802.11a	
Canal #	Frecuencia Central (GHz)
34	5,170
36	5,180
38	5,190
40	5,200
42	5,210
44	5,220
46	5,230
48	5,240
52	5,260
56	5,280
60	5,300
64	5,320
149	5,745
153	5,765
157	5,785
161	5,805

