

Antenas

(Última actualización 2005-09-14)

Por Miguel R. Ghezzi (LU 6ETJ)

www.solred.com.ar/lu6etj

SOLVEGJ Comunicaciones

www.solred.com.ar/solvegj

Antenas

Si hubiera que elegir elementos técnicos que simbolicen al siglo XX, seguramente la antena será uno de los candidatos preferidos. *¡Jamás existió algo parecido a una antena en toda la historia de la humanidad...!* El automóvil fue precedido por un carruaje, el avión por el vuelo de un pájaro. La antena de radio no tiene antecedentes... La antena hace posible la maravilla de la radio. Es muy sugestivo que algo que puede llegar a ser muy sencillo pueda lograr tanto. Un transmisor o receptor requerirá piezas más o menos complicadas, pero para construir la antena basta con un trozo de alambre...!

En principio puede decirse que el propósito fundamental de una antena es recibir o transmitir radiaciones electromagnéticas. Los circuitos electrónicos de los transmisores y receptores de radio generan o reciben corrientes o tensiones eléctricas de altas frecuencias, pero para poder viajar por el espacio esas señales eléctricas deben convertirse primero en campos electromagnéticos. Esa es justamente la función de la antena: *convertir señales eléctricas en campos electromagnéticos y viceversa*. Los dispositivos que convierten una forma de energía en otra, se denominan "*transductores*".

También puede concebirse como un dispositivo encargado de convertir; ondas electromagnéticas "*conducidas*" por una línea de transmisión o guía de ondas, en ondas que pueden propagarse libremente en el espacio. Es una suerte de interfase entre el espacio y la línea, por eso es muy importante, distinguir claramente la antena de la línea de transmisión, como hacemos con la lámpara del cable que la alimenta (y no renegar más tarde al tratar de comprender procesos más complejos). La antena es la antena y la línea (o bajada), es la línea; las propiedades de una no influyen en las de la otra. Sus finalidades son absolutamente diferentes, mientras la línea no debe irradiar energía al espacio, la antena si debe hacerlo de allí la necesidad de distinguirlos.

Puesto que la función principal de la antena es convertir una forma de energía a otra, como en cualquier otro proceso semejante será importante la eficiencia. Esa será la meta importante a lograr con cualquier antena de la estación. Para ello normalmente se precisan antenas que tengan las dimensiones que ayuden a este proceso y han de ser construidas e instaladas de manera de evitar pérdidas de energía en forma de calor en sus propios componentes u objetos circundantes.

Las antenas no irradian energía igualmente en todas las direcciones, entonces será fundamental comprender que hay que hacer todo lo necesario para que la energía

disponible se irradie en las direcciones (tanto horizontales como verticales) que garanticen su llegada a las zonas de interés. Esta distribución geométrica de la energía recibe el nombre de "*diagrama de radiación*" o *directividad* de la antena. Todas las antenas tienen alguna directividad y cuando la diferencia no radica en su rendimiento de conversión de la energía, cualquier otra ventaja o desventaja en su capacidad de comunicación ha de ser asociada principalmente a sus características directivas.

La directividad horizontal (acimutal) de una antena se aprovecha en muchas antenas para concentrar la energía disponible en una determinada dirección de la rosa de los vientos como se hace con el reflector de una linterna. También se emplean para mejorar la recepción de señales provenientes de esa dirección del mismo modo que cuando se utilizan los animales sus orejas para recibir los sonidos.

La directividad vertical es de gran importancia en las comunicaciones ionosféricas puesto que dependen del ángulo con que las señales llegan y salen reflejadas por la ionosfera, por esa razón se prefieren diagramas de radiación con ángulos bajos para comunicados a larga distancia. La directividad vertical de las antenas comunes dependen fundamentalmente de la altura sobre el suelo de las mismas, así que aunque suele creerse que en las FE/HF la altura no es importante porque las señales llegan a su destino mediante los reflejos, no es del todo cierto porque los ángulos de radiación bajos se logran solamente con buena altura en las antenas sencillas.

En FME/VHF se logran bajos ángulos en el diagrama de radiación también aumentando la altura y apelando a sumar antenas (colineales) en sistemas más complejos que son más fáciles de realizar en esas frecuencias por el menor tamaño de las antenas involucradas.

La idea popular de que, por la antena "salen" las ondas de radio del transmisor y que ella "capta" las ondas que emplea el receptor, es esencialmente correcta pero puede expresarse mejor diciendo que: Las antenas son dispositivos que permiten *intercambiar energía* entre los equipos de radio y el espacio por donde se propagarán las señales.

Cuando corresponda puede reemplazarse la idea de espacio por la de "*medio*", como por ejemplo, aire, agua, cemento, tierra, etc. pero ahora estamos interesados en apuntar al concepto de espacio como lugar vacío, desprovisto de cualquier tipo de sustancia.

También se dice que las antenas son *transductores* pues así se llaman los dispositivos que convierten una manifestación de la energía en otra, en nuestro caso las tensiones y corrientes eléctricas que produce el transmisor en campo electromagnético o, a la inversa, el campo electromagnético que envuelve a la antena en tensiones y corrientes eléctricas que se aplican al receptor.

Las antenas son objetos imprescindibles en la estación de radio. Vale la pena insistir en que una antena siempre será mejor que "*ninguna antena*", no permita que la búsqueda de la mejor para tal o cual banda posponga indefinidamente la instalación una antena que, aunque no sea ideal, permita poner a la estación en actividad.

A diferencia de la electrónica o la informática, casi no varían con el paso del tiempo ni surgen a diario nuevas antenas que mejoren la aptitud de las antiguas. Las antenas son prácticamente las mismas desde hace más de cincuenta años y sus variaciones han sido

menores, lo que se aprenda de ellas seguirá siendo cierto y aplicable en el futuro. Las antenas poseen variadas propiedades eléctricas que convendrá conocer lo mejor posible para comprender sus posibilidades. Estas propiedades son materia de conversación y debate permanente entre los apasionados de la radio.

Es necesario subrayar que la línea de alimentación *no* forma parte de la antena (a menos que por alguna razón el sistema de antena se proyecte para que la línea de alimentación si sea parte del sistema irradiante). La línea de alimentación no influye ni debería influir en las propiedades irradianes de la antena. De hecho un trasmisor podría estar conectado directamente en la antena misma sin ninguna clase de línea de transmisión y la antena, naturalmente, funcionaría exactamente igual. Concebir la antena como un todo con su línea es un error muy común que origina gran confusión. Todos los modelos teóricos desarrollados científicamente se han realizado separando estos dos componentes del sistema y esos son los que encontrará en la literatura seria.

Impedancia de la antena

El punto de conexión de la antena a la línea de transmisión presenta ciertas propiedades eléctricas que pueden caracterizarse mediante una impedancia, que llamaremos "*impedancia del punto de alimentación*" es decir una combinación de resistencia y reactancia simbolizadas mediante un resistor y un inductor o capacitor que pueden representarse en serie o en paralelo según convenga. Hay que recordar que estos componentes no existen realmente, sino que únicamente simbolizan el comportamiento eléctrico de la antena (son constantes "distribuidas").

Corresponden al *punto de alimentación* porque su valor en otras partes de la antena es diferente.

Esta impedancia dependerá, entre otras cosas, de la frecuencia de operación, del tipo de antena, de su realización práctica, del lugar de emplazamiento, etc.

La línea de alimentación puede conectarse en diferentes puntos de la antena, según convenga, recordando que encontraremos valores muy diferentes en ellos.

Por ejemplo, una antena de media onda puede tener en el centro valores cercanos a 50 Ohm, mientras que en el extremos fácilmente alcanza varios miles de Ohm. Esta propiedad se emplea frecuentemente para hallar un punto en que se produzca una buena adaptación entre la impedancia de la antena y la característica de la línea. Cuando eso sucede en la línea aparecen ondas estacionarias (recuerde que esto no es perjudicial, en si mismo) dando lugar a la muy nombrada ROE (SWR - Standing Wave Ratio, en inglés). También tenga presente que las antenas no tienen "ROE", las líneas de transmisión "tienen ROE", por eso frases tales como: "*bajé la ROE de mi antena*" son erróneas lo que se puede disminuir es la ROE sobre la línea. . .

Resistencia de radiación y de pérdidas

Una antena ideal irradiaría toda la energía en forma de ondas electromagnéticas en la frecuencia que recibe la energía radiofrecuente. En las antenas reales parte de la energía se pierde en forma de calor que también es una forma de electromagnetismo,

aunque situada en otra región del espectro; por eso insistimos en que estamos interesados en que la energía se irradie en la frecuencia en la cual se ha generado. Aunque la parte resistiva de la impedancia puede tener valores muy diferentes, podemos representarla mediante dos resistencias ficticias que si fueran colocadas en lugar de la antena darían cuenta de la energía que llega a ella.

- A. Una resistencia asociada a la energía que se ha irradiado al éter en la frecuencia de operación, conocida como "*Resistencia de radiación*"
- B. Una resistencia asociada a energía no irradiada que se disipa en forma de calor. Esta es la "*Resistencia de pérdidas*".

En general la resistencia de pérdidas resulta de:

- Pérdidas en la resistencia propia de los conductores y/o bobinas que eventualmente pudieran formar parte de la misma.
- Pérdidas en sus materiales aisladores (normalmente muy pequeñas con materiales modernos).
- Pérdidas originadas por objetos cercanos que afectan la antena por acoplamiento mutuo.

Eficiencia

Las dos resistencias que acabamos de ver se vinculan directamente con un parámetro importantísimo de la antena: Su capacidad para convertir la energía que recibe del transmisor en energía electromagnética irradiada en la frecuencia de operación, esta capacidad es su *eficiencia*.

La eficiencia es más alta cuanto más baja es la resistencia de pérdidas en relación con la resistencia de radiación. La eficiencia depende de esta relación, así. una antena con 40 Ohm de resistencia de radiación y 10 Ohm de pérdidas, será tan eficiente como otra que posea 400 Ohm de resistencia de radiación y 100 Ohm de pérdidas.

Cuando se proyecta una antena o bien la instalación de la misma, hay que tratar de conseguir la máxima eficiencia posible. La eficiencia tiende a disminuir rápidamente cuando el largo de la antena es menor que media longitud de onda ya que la resistencia de radiación disminuye bastante rápidamente cuando se acorta la longitud de la antena, mientras que la resistencia de pérdidas no. Cuando es posible disminuir la resistencia de pérdidas en la misma cantidad que disminuye la resistencia de radiación. la eficiencia no se ve afectada, por eso, toda vez que se deba disminuir la longitud de una antena, hay que hacer los mayores esfuerzos para disminuir las pérdidas, por ejemplo empleando buenos conductores y aisladores y bobinas o capacitores del mejor factor de calidad; manteniéndola alejada de objetos capaces de absorber la energía: árboles, masas metálicas de pobre conductividad, construcciones varias y, por supuesto, la misma tierra y tratando de emplear cargas capacitivas en sus extremos (sombreros). Como consejo accesorio no utilice en su antena móvil bobinas de carga pequeñas, de poco diámetro, con espiras juntas o alambre delgado...

Existe la errónea creencia que las antenas pequeñas son ineficientes de por sí, el principio de conservación de la energía exige que toda la energía entregada a una antena correctamente adaptada sea disipada. Si de alguna manera fuera posible reducir la resistencia de pérdidas a cero, por más pequeña que fuera la antena, ella no tendría más remedio que disipar la energía en su resistencia de radiación (irradiarla), desafortunadamente en la práctica no resulta fácil reducir la resistencia de pérdidas, entre otras cosas porque las pérdidas dependen de la "*densidad del campo*" y en las antenas pequeñas el campo se concentra en regiones también pequeñas, haciendo que los materiales que están en presencia del campo disipen más energía; en las antenas de mayores dimensiones, el campo está menos "concentrado" y por lo tanto es menor la absorción de las sustancias responsables de las pérdidas (resistencias, dieléctricos, etc.). Un ejemplo notable de antena pequeña que cuando es bien construida y montada, ofrece resultados similares a las de mayores dimensiones es la antena de cuadro sintonizado (Magnetic Loop).

Reactancia de la antena

La impedancia del punto de alimentación también puede presentar reactancia inductiva o capacitiva. Las reactancias de por sí, no producen ninguna pérdida de energía. Si la antena presenta reactancia de cualquier signo, no significa que no funcionará bien (a menos que resulte de una falla imprevista), por eso no es importante que la reactancia sea nula o próxima a cero. Puede tener cualquier valor sin que eso afecte el rendimiento y de la antena. Frecuentemente será necesario cancelar esa reactancia con otra igual y opuesta para presentar a la línea de transmisión un valor puramente resistivo (que además debería ser igual al de la impedancia característica de la línea), sobre todo si la línea tiene pérdidas importantes en presencia de ondas estacionarias y el componente usado para lograr esa cancelación podría presentar alguna pérdida adicional. Si la línea tiene bajas pérdidas tampoco es imprescindible cancelar la reactancia sobre la antena misma pudiendo hacerse donde resulte más conveniente, por ejemplo, cerca del transmisor.

La reactancia de la antena depende de sus dimensiones en relación con la longitud de onda, pero también está fuertemente influida por el acoplamiento mutuo con objetos o conductores cercanos, a veces colocados intencionalmente para lograr algún resultado esperado, como los directores o reflectores en una antena direccional.

Antenas resonantes

Se denominan **antenas resonantes** a aquellas que presentan en su punto de alimentación una impedancia puramente resistiva (o fundamentalmente resistiva) a cierta frecuencia; ello sucede cuando su longitud es próxima a múltiplos enteros de media longitud de onda, facilitando la transferencia de la energía si la impedancia característica de la línea es similar a la resistencia del punto de alimentación de la antena.

Contrariamente a lo que popularmente se cree, no hay nada especial en la resonancia de una antena que la haga imprescindible o tan siquiera necesaria. La eficacia de una antena

no depende en absoluto de que sea o no "resonante"; es solo una característica que puede ser útil y nada más. Existen muchos ejemplos de excelentes antenas no resonantes, pudiendo citarse, por ejemplo, la antena de 5/8 de onda, las de hilo largo o las rómbicas.

Una típica antena resonante es el dipolo de media onda que ofrece en su centro una resistencia en los alrededores de los 70 Ohm (cuando se opera en su frecuencia de resonancia), puesto que las líneas coaxiales comunes tienen valores similares se ve claramente la ventaja de utilizarlas en este modo.

Dibujo Orr pag 805

Adaptación de impedancia

La adaptación de impedancia entre la antena y la línea y entre esta y el transmisor es quizás uno de los temas que ocupan más la atención en las conversaciones cotidianas. Sea por una exageración de la importancia del asunto o porque al tener todos los problemas resueltos en el interior de un equipo comercial, se enfoca la atención sobre los pocos que permanecen fuera, la cuestión de la adaptación de impedancias está siempre presente, la palabra clave es *ROE*. . .

Cuando la impedancia de antena no es igual que la impedancia característica de la línea, aparecen sobre la línea ondas estacionarias. Las ondas estacionarias no tienen buena prensa en el ambiente radial, muy pocos están dispuestos a reconocer las virtudes de las mismas, la mayoría no las querrá en sus líneas, y algunos harán toda clase de esfuerzos para hacerlas desaparecer de sus vidas. Para evitarlas bastará con adaptar la impedancia de la antena a la línea ya sea modificando convenientemente la antena o empleando dispositivos especiales contruidos a tal efecto. En muchas antenas se encontrarán ingenios destinados a este propósito bajo la forma de transformadores o dispositivos que reciben enigmáticos nombres: "*delta*", "*gamma*", "*balun 4 a 1*", entre otros tantos. Todos ellos comparten la propiedad de *transformar la impedancia de la antena en un valor tan igual a la característica de la línea como sea posible*. A menudo esto solo podrá lograrse en una reducida porción de la banda de operación.

Cuando la impedancia de la antena no es igual a la característica de la línea, la impedancia que la línea presenta al equipo no será ni la de la antena ni la característica (excepto cuando la línea tiene una longitud eléctrica de 1/2 onda, en este caso presentará al equipo una impedancia idéntica a la de la antena); una línea de 50 Ohms conectada a una antena de 75 Ohms, nunca mostrará en sus terminales de entrada una resistencia de 50 Ohms pura.

Los equipos normalmente se diseñan para operar sobre una impedancia próxima a los 50 Ohms (lo cual no significa que el equipo tenga una impedancia de salida de 50 Ohms, como se suele creer). Los equipos más económicos no suelen tener incorporados dispositivos para corregir diferencias de impedancia de carga, pero seguramente tendrán circuitos electrónicos para disminuir la potencia de salida y protegerlos de desadaptaciones potencialmente peligrosas para su integridad.

En ese caso puede intercalarse entre el equipo y la línea algún sistema para transformar la impedancia que presenta la línea al valor que el equipo precise (por lo general 50 Ohms). Estos circuitos suelen ser redes de inductores y capacitores, generalmente ajustables. En la actualidad algunos equipos comerciales cuentan con dispositivos capaces de hacerlo automáticamente. Se conocen como "*acopladores de línea*" o "*Transmatch*", esta última voz proviene del inglés "*transmitter matching*", y es de uso popular.

Los antiguos equipos con salida valvular siempre incluían un dispositivo de adaptación con sus controles accesibles al operador. Mediante ellos se realizaba "*la carga*" del equipo, tal cosa era justamente un procedimiento para adaptar la impedancias de la línea a la impedancia de carga que precisaba la etapa de salida valvular.

Anchura de banda de una antena

La anchura de banda (o ancho de banda) de una antena es el rango de frecuencias en que tiene capacidad o aptitud para funcionar de acuerdo a lo esperado *en algún aspecto que nos interese*. Es necesario especificar cuál característica nos interesa; por ejemplo, puede ser el "*ancho de banda de ganancia*" refiriéndose al rango de frecuencias en que la antena presenta una ganancia esperada (normalmente dentro de los 3 dB), o "*ancho de banda de ROE*", al intervalo de frecuencias en que la ROE sobre la línea esté por debajo de un valor dado (normalmente menor que 2:1), también puede definirse un "*ancho de banda de impedancia*" y así sucesivamente.

Polarización

Como se explicó en el capítulo dedicado al electromagnetismo, la polarización de una onda es el ángulo que forma con el horizonte la componente eléctrica de la señal. Que el campo sea paralelo o perpendicular al suelo influye mucho en el desempeño de las antenas que se hallan en sus cercanías. En la práctica los aficionados emplean varios tipos de polarización, horizontal, vertical, doble, circular, elíptica. Normalmente será horizontal o vertical. En las antenas simples la polarización coincide con la orientación del elemento irradiante, entonces un dipolo horizontal irradiará con polarización horizontal y una antena vertical de 1/4 de onda lo hará con polarización vertical, por ejemplo. Los conductores tienden a cancelar rápidamente las ondas cuyo plano de polarización coincide con el plano del conductor, por eso las antenas que irradian con polarización horizontal tienen pobre rendimiento cuando están a baja altura, mientras que las verticales se desempeñan mejor. Esta particularidad hace que se obtengan mucho mejores resultados en el mar con polarización vertical que con horizontal. El efecto está relacionado con la longitud de onda, de este modo, cuando la longitud de onda es pequeña (frecuencias más elevadas), pueden permitirse alturas menores en las antenas horizontales.

La polarización de las señales una vez que han sido irradiadas puede variar a medida que atraviesan diferentes medios o sufren reflexiones, la polarización con la cual la señal

arribará a destino en un determinado instante puede ser imprevisible. Suelen emplearse en transmisión o recepción sistemas de polarización doble o circular para evitar el desvanecimiento por cambio de polarización.

El hecho de que la polarización de las señales recibidas pueda llegar a ser aleatorio, no significa que la polarización de la antena transmisora o receptora no tenga importancia y resulte lo mismo emplear una u otra en el transmisor o receptor, pues varias propiedades de la antena dependen de la polarización con que emitan o reciban (por ejemplo sus lóbulos de radiación), independientemente de lo que suceda con la polarización de la señal que ya abandonó las misma.

Campo cercano y lejano (near field, far field)

Se llama "campo cercano" de la antena al campo que predomina en una zona cercana en la cual se almacena energía, ya sea en la forma de campo eléctrico o magnético. En esta zona la antena se comporta, en tal sentido, como un capacitor o un inductor, la energía que está en juego, no se irradia sino que se intercambia entre la antena y el espacio adyacente, por lo tanto no se irradia. El *campo lejano* es el que predomina y finalmente el único que tiene importancia en zonas más alejadas de la antena. Este campo ya es una onda electromagnética en toda regla, (en el cercano era simplemente un campo eléctrico y un campo magnético).

Naturalmente existe una zona intermedia en la cual ambos tipos de campo coexisten. La zona de campo cercano es muy importante pues en ella tendrán influencia sobre las características eléctricas y directivas de la antena los objetos que allí existan. Esos objetos pueden ser colocados intencionalmente como los elementos parásitos de una Yagi, pero también pueden ser estructuras o materiales que pueden influir negativamente en el comportamiento de la antena, distorsionando su diagrama directivo o alterando su impedancia.

Otra cuestión digna de mención es que los ruidos eléctricos o magnéticos producidos por aparatos diversos afectan más a algunos tipos antenas que a otros, dentro del campo cercano.

Por ejemplo: los ruidos producidos por descargas electrostáticas (que superan el valor de tensión de ruptura del aire) tendrán más influencia sobre una antena tipo Hertz que sobre un aro magnético y a la inversa, los ruidos predominantemente magnéticos molestarán más sobre el aro que sobre la Hertz.

Vale la pena insistir que los ruidos producidos a distancias mayores (dentro del campo lejano) ya son ondas electromagnéticas y una antena será más inmune a uno u otro únicamente por sus características directivas y/o polarización.

Hay diversas maneras de analizar dónde termina el campo cercano y comienza el lejano, pero en principio esa distancia puede definirse como: Longitud de onda en metros / 6,28.

Las mediciones de intensidad de campo de una antena deben realizarse a una distancia mayor que la resultante de dicha cuenta para ser válidas.

La antena de media onda o "Hertz"

La antena más básica y sencilla quizás sea la antena de media onda o "*antena Hertz*". Consiste de un simple trozo de tubo o alambre cuya longitud es justamente muy próxima a la media onda

Es, sin duda, la antena más popular en las bandas de HF y la más fácil de realizar y poner a punto. Puede alimentarse por un extremo, en este caso se la llama Hertz "Zeppelin", porque así la alimentaban en los dirigibles; alimentada fuera de centro (generalmente al 14 %), en este último caso, con línea unifilar de la llama "*Windom*" y con cable coaxial, *Windom "Carolina"*.

Alimentada en el centro es la configuración más usual, pues se adapta muy bien a un cable coaxial común. A diferencia de la antena tipo Marconi no depende de una conexión a tierra para funcionar. Puede montarse en cualquier posición (vertical, horizontal, etc.). Actualmente, para recibir el nombre de antena Hertz se acepta que, debe operar de manera que su longitud sea media onda a la frecuencia de trabajo (porque en los primeros experimentos de Hertz, la oscilación se producía en la frecuencia de auto resonancia de su antena).

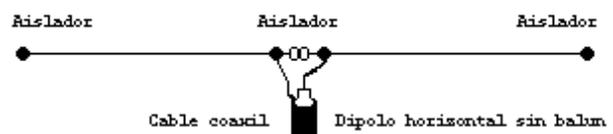
Si se opera en un múltiplo de esa frecuencia (o cualquier otra) y está alimentado al centro, cambia su nombre por el de "*doblete*" o "*dipolo*", aunque se trate del mismo objeto. Si queremos ser precisos podemos decir: "*se trata de un antena Hertz para tal banda, operando en armónicos*". La antena Hertz, puede montarse en cualquier posición, horizontal, vertical, inclinada, etc.

Es casi un milagro que un dispositivo tan simple proporcione tan buenos resultados. Descubrirá que es una antena muy difícil de superar, por su sencillez, practicidad y rendimiento.

La longitud en metros de un dipolo de media onda en HF se calcula mediante la fórmula $150/f$ [MHz]. A este resultado habrá que quitarle de 1 a 5 % de la longitud dependiendo de la altura de la antena sobre el terreno, el diámetro del conductor empleado y si posee o no balun y si el alambre es desnudo o aislado. **Nota:** La fórmula $142,5/f$ es una regla práctica que casi siempre le dará una antena corta (cuando hay balun), utilice un número mayor en el numerador pues siempre será más fácil acortar una antena larga que tener que añadirle cable o tubo a una que ha quedado corta... Si el dipolo no tiene balun puede suceder que parezca más largo (resuena por debajo de la frecuencia calculada), esto sucede porque la malla del cable coaxial pasa formar parte de la antena.

Las antena dipolo o "doblete"

Es una antena que debe tener ambos extremos a un mismo potencial respecto del punto central (no el mismo que el del centro), quiere decir que ha de ser simétrica, para ello debe estar alimentada en el centro. El concepto de "*doblete*", no está asociado a ninguna longitud en especial (a diferencia de la Hertz). La antena de Hertz de media onda alimentado al centro es un caso particular del doblete).



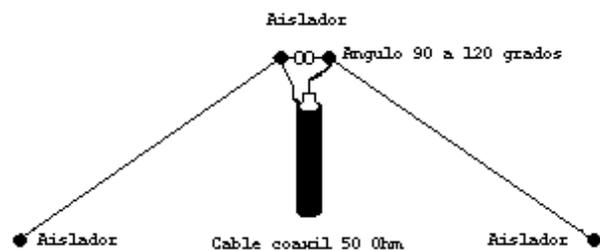
Frecuentemente la longitud del doblete será menor que $1/2$ onda y podrá verla con el nombre de "*dipolo acortado*". Una antena de Hertz alimentada al centro es al mismo tiempo un doblete, pero una antena de Hertz alimentada al extremo (Zeppelin), o en cualquier otro punto ya deja de serlo (porque es asimétrica).

Dipolo Hertziano

Casi toda teoría de antenas comienza con el estudio de un doblete *de dimensiones mucho menores que la longitud de onda de trabajo*. Las configuraciones reales se analizan combinando los campos de múltiples dobletes infinitesimales. Ese procedimiento da origen al llamado "*método de los momentos*" con los cuales se estudian las complicadas relaciones vectoriales que intervienen en la formación de los diagramas de radiación de las antenas en los modernos sistemas de diseño asistido con computadoras. Estos métodos numéricos proveen resultados tan ajustados a la realidad que ya son de utilización prácticamente universal. Así, para complicar más las cosas, un "*dipolo hertziano*", no es lo mismo que una "*antena Hertz...*"

La V invertida

Una variante común del dipolo de media onda es la llamada "*V invertida*" recibe este nombre porque su forma es similar a esa letra "*puesta de cabeza*". Es una de las favoritas porque basta un soporte más o menos elevado para montarla convenientemente, (la Hertz convencional requiere dos, uno en cada extremo). En la práctica hay muy poca diferencia en los resultados del dipolo horizontal y la V invertida, no es necesario preocuparse demasiado por la elección de una u otra. (Dibujo modificado de flashwebhost.com)

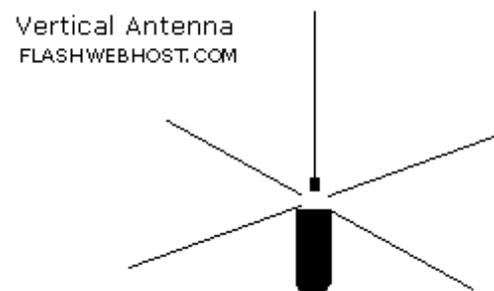


La antena de cuarto de onda o "*Marconi*"

La antena de cuarto de onda también es una antena fácil de acoplar al equipo, de polarización vertical, sencilla y de buenas características. Se llama *Marconi* pues es semejante a las que empleaba el célebre inventor en sus comienzos.

Consiste de un conductor vertical cuya longitud es aproximadamente $1/4$ de onda, separado algunos centímetros del suelo sobre el cual se conecta un terminal de la línea de transmisión; el otro, (habitualmente la malla de un cable coaxial) se conecta a la tierra mediante una jabalina hincada en el terreno. (Dibujo modificado de flashwebhost.com)

Su característica distintiva es justamente la de emplear a la tierra como parte del sistema. Marconi recurría a este expediente empleando un concepto similar al empleado hasta hoy en la distribución de energía eléctrica y durante mucho tiempo en la



telegrafía alámbrica consistente en emplear a la tierra como conductor.

Desafortunadamente la tierra no es un buen conductor de la electricidad en las frecuencias de radio superiores a unos pocos Megahertz (y no sirve de mucho enterrar una jabalina hasta la napa freática en radiofrecuencias), eso hace casi imprescindible (si se espera un buen rendimiento) idealizar el comportamiento del terreno empleando muchos conductores que se instalan formando radios o rayos que parten de la toma de tierra y se distribuyen uniformemente a lo largo de un círculo. Convendrá que la longitud de cada radio sea similar o superior a la del irradiante. A este sistema de cables se lo denomina *plano de tierra artificial*. Por esta razón en FE (HF), sobre todo en las bandas más bajas no resulta muy fácil instalarla. Para la banda de ochenta metros este tipo de antena alcanza los 20 m de altura y precisa un diámetro de unos cuarenta metros para la instalación de los radiales.

Es una antena resonante, apreciada por su bajo lóbulo de radiación que favorece los DX's, cuando se instala sobre terrenos muy conductores o en el mar, es valiosa para efectuar comunicaciones locales por *onda superficial* en las frecuencias más bajas donde el dipolo horizontal no resulta adecuado por las pérdidas que la tierra produce en el campo eléctrico polarizado horizontalmente.

Cuando se instala alejada del suelo (en términos de longitudes de onda), no es necesario emplear muchos radiales para el plano de tierra artificial; con solo dos ya funciona muy bien (lo usual son tres o cuatro). Eso es posible porque el aire, a diferencia de la tierra, tiene muy pocas pérdidas.

En casi todas las bandas de VHF y diez metros es una de las antenas más populares por su simplicidad y buen desempeño. Como en los vehículos es más práctico montar antenas verticales es una antena ideal para el propósito. En VHF se aprovecha una superficie conductora como el techo para el plano de tierra artificial y en HF toda la carrocería como acoplamiento capacitivo con la tierra.

Es muy fácil de construir y sin dispositivos de adaptación de impedancias se acopla a las líneas de transmisión usuales (RG-8, RG-213, RG-58) con una adaptación prácticamente perfecta. Es una antena recomendable tanto para la estación móvil como para la fija.

En las frecuencias más bajas de FE (HF), se las emplea en vehículos con bobinas intercaladas en el irradiante para su sintonización (cancelación de la reactancia fuertemente capacitiva resultante de su corta longitud), a pesar de que su pequeña longitud disminuye mucho su rendimiento, igualmente muestran un comportamiento bastante satisfactorio. Otro factor que contribuye a su menor rendimiento es que el plano de tierra artificial que provee un vehículo es muy inferior al óptimo y, como se dijo solo sirve para acoplar el sistema capacitivamente a la tierra.

Antenas multibanda

Tener varias antenas optimizadas para cada banda de operación puede ser deseable, pero la mayoría de los aficionados pocas veces tienen esa oportunidad, sobre todo

cuando de antenas direccionales se trata. Es una práctica corriente disponer de una o más antenas capaces de operar cada una de ellas en varias bandas. La antena multibanda más común en la estación suele ser una direccional de FE (HF) que comúnmente opera en las tres bandas más populares, 20, 15 y 10m. También es común ver dipolos provistos de elementos que permiten alargar o acortar su longitud eléctrica automáticamente, aprovechando los efectos de los circuitos resonantes paralelos, estos dispositivos se conocen como "*trampas*". Hay muchas maneras de realizar antenas multibanda que se describirán en las secciones constructiva que acompañan a este manual.

Cierta creencia que las antenas multibanda dan, de por sí, pobres resultados es totalmente errónea. Es posible que cierta antena multibanda sea inferior a otra monobanda, pero eso obedecerá a parámetros de diseño que justamente den ese resultado, por la misma razón una antena monobanda puede producir resultados inferiores a una multibanda bien concebida. Existen antenas multibanda que superan ampliamente a antenas monobanda, puede citarse un caso típico en la conocida antena rómbica. El desempeño de la antena depende únicamente de su rendimiento eléctrico y su directividad, estos parámetros nada tienen que ver con su capacidad para operar en una o más bandas.

Antenas de hilo largo (long wire)

En rigor se define como antena de hilo largo a aquella cuya longitud es superior a media onda a la frecuencia de operación, pero sus propiedades distintivas se hacen notar cuando su longitud es bastante mayor. La antena de hilo largo suele alimentarse en un extremo y habitualmente requerirá de algún dispositivo de adaptación de impedancias para acoplarla cómodamente al transmisor. El diagrama de radiación de una antena de este tipo produce una directividad bastante acentuada en ángulos próximos a la dirección del hilo. Vale la pena destacar que esta directividad produce ganancia de potencia. No hay que confundir la antena de hilo largo con las antenas que se describen a continuación. Como contrapartida, se trata de una antena desbalanceada que no puede alejarse de las fuentes de ruido domésticas, lo que le da cierta desventaja frente a un dipolo bien montado, correctamente balanceado instalado a buena altura.

Antenas de longitud aleatoria (random wire)

Cualquier alambre de dimensiones arbitrarias que puedan acercarse (o superar, desde luego) la media onda en la frecuencia de transmisión o recepción será un muy eficiente radiador o recolector de energía, siempre que se tomen recaudos para evitar pérdidas por la cercanía de objetos o de la misma tierra (como sucede con cualquier otra antena).

A diferencia de una antena resonante alimentada al centro, su impedancia difícilmente coincidirá con la de la línea de alimentación por lo que requiere algún dispositivo de adaptación de impedancias, normalmente un dispositivo conocido como "*Transmatch*" (del inglés "*Transmitter Matching*") o "Sintonizador de antena" (nombre técnicamente inapropiado, pero que igualmente conservamos por razones históricas).

Si no hay pérdidas notables en el sintonizador, una antena de este tipo funcionará muy bien en condiciones usuales, si su longitud no es muy pequeña en comparación la media longitud de onda.

Estas antenas pueden operar en cualquier frecuencia, si el adaptador de impedancia lo permite y generalmente son fáciles de instalar por lo cual son favoritas en las salidas casuales.

Es posible que un alambre cualquiera, por su longitud, en las bandas más altas se comporte como "hilo largo", presentando alguna directividad indeseada, conviene arbitrar medios para variar la longitud en cada caso, y eso facilitará la tarea de los sintonizadores.

Antenas con trampas

En algunas antenas multibanda (que pueden ser direccionales u omnidireccionales, horizontales o verticales, etc.), se utilizan circuitos sintonizados en paralelo intercalados en serie con los conductores de la antena. Estos circuitos sintonizados llamados "*trampas*", funcionan como interruptores automáticos, desconectando secciones de antena que no son necesarias para la frecuencia de trabajo. Usualmente estos "interruptores" se van abriendo de manera de ir acortando la longitud de la antena a medida que aumenta la frecuencia.

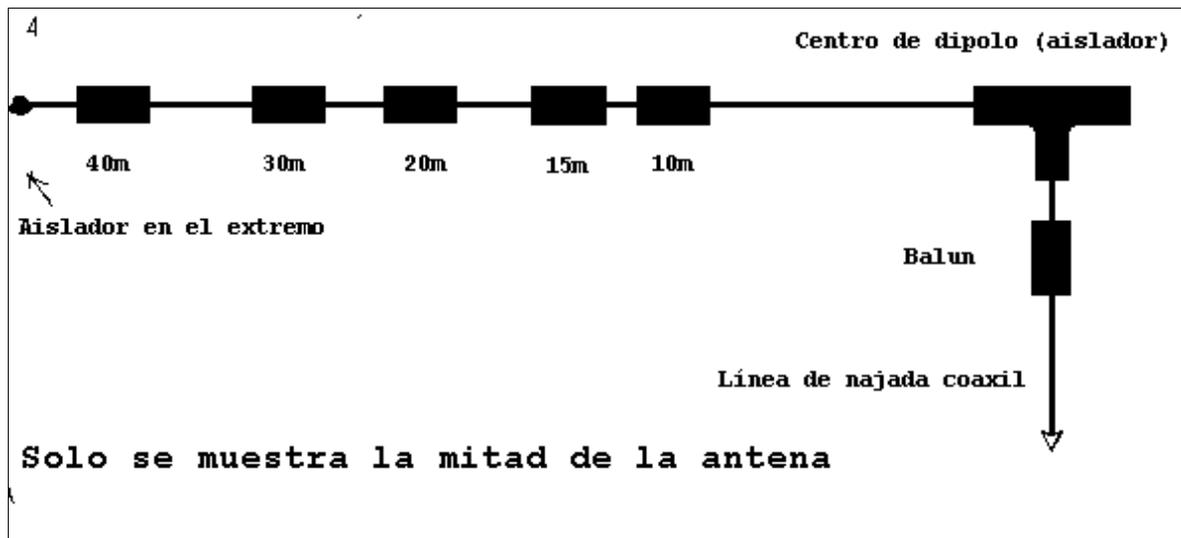
Podrían emplearse interruptores reales, tales como relevadores u otro ingenio mecánico, pero esos componentes complican la realización práctica.

Esta solución aprovecha la propiedad que poseen los circuitos sintonizados en paralelo de impedir el paso de corriente en su frecuencia de resonancia.

Una de las ventajas de esta disposición es que el irradiante se comportará como un dipolo de media onda en cada banda por lo cual el diagrama de radiación será el correspondiente a uno de estos (bastante omnidireccional). Las antenas de hilo largo, las antenas doblote operando en armónicos o las multibanda tipo G5RV o similares producen diagramas de radiación diferentes en cada banda con puntos ciegos notables que resultan perjudiciales a la hora de realizar comunicaciones en ciertas direcciones. Otra ventaja del sistema consiste en sintonizar automáticamente el irradiante y los elementos parásitos de una direccional multibanda tipo Yagi o similar.

La figura muestra un dipolo multibanda con trampas realizadas mediante cable coaxil.

Antenas con trampas



Dibujo (modificado) y fotos John DeGood, NU3E

Antenas logarítmicas

Hay distintas clase de antenas logarítmicas. Las más conocidas son las del tipo direccional que han sido empleadas durante años en los receptores de TV. Su principal propiedad es la de operar sobre un amplio rango de frecuencias sin ajustes ni interruptores de ninguna clase. Esta propiedad ha permitido cubrir la gran porción de espectro asignada a los canales de TV con dos o tres antenas, una para los canales del 2 al 6, otra para 8 a 13 y otra para todos los de UHF. Algunos aficionados han empleado con éxito estas antenas en HF, pero el tamaño de estas estructuras generalmente es prohibitivo para la mayoría, sobre todo porque las antenas multibanda normales superan en ganancia a las logarítmicas típicas. También existen antenas logarítmicas no direccionales, tales como las del tipo espiral y otras.



Antenas acortadas

Por razones de espacio o conveniencia



muchas veces no es posible utilizar antenas con la longitud ideal, por lo tanto se recurre a diversos métodos para acortarlas. Cuando una antena de media o de cuarto de onda se acorta, su resistencia de radiación disminuye y eso tiende a disminuir rápidamente la eficiencia, pero más allá de eso la antena comienza a presentar en su punto de alimentación una reactancia capacitiva muy importante que dificulta su acoplamiento a las líneas de alimentación normales, para cancelar esta reactancia se recurre al expediente de intercalar una reactancia inductiva que la cancele. Estas reactancias son conocidas colectivamente como "*bobinas de carga*". Con este procedimiento se consiguen buenos resultados. También se emplean otras formas para "*alargar*" eléctricamente a la antena, por ejemplo superficies que producen cargas capacitivas sobre sus extremos conocidas como "sombrosos" porque se utilizan comúnmente a tope de las antenas verticales, o plegamientos de los conductores de la antena llamados cargas lineales. También se están experimentando disposiciones de los conductores basadas en ciertas leyes matemáticas conocidos como antenas fractales.

Antenas fantasmas

La "*antena fantasma*" no es propiamente una antena. En inglés se la conoce como "*dummy load*". Consiste en uno o más resistores que se conectan en reemplazo de la verdadera antena para realizar pruebas y ajustes sin provocar interferencias u ocupar espacio en el éter otorgando, de paso, una carga ideal para los equipos.

La antena o "*carga*" fantasma tiene que ser capaz de absorber la potencia del transmisor (convirtiéndola íntegramente en calor) durante un período razonable sin dañarse ni variar sus características. Normalmente se la fabrica con uno o más resistores combinados para obtener el valor necesario, normalmente 50 Ohm. El resistor debe estar convenientemente blindado para que la carga no irradie energía en la frecuencia que se la está utilizando (porque el calor es también una irradiación de energía). Una buena carga no presenta reactancia en las frecuencias para la cual está previsto utilizarla.

Las antenas fantasmas pueden confeccionarse fácilmente en forma artesanal y son un auxiliar inestimable para ajustar los equipos, de manera segura y sin molestar a los colegas del aire.

Balunes.

Un dispositivo con dos terminales, como un resistor o una antena dipolo, puede tener aplicada una tensión entre sus bornes pero ninguna tensión respecto de tierra. En este caso se dice que el dispositivo está "*balanceado*" (respecto de tierra), porque a un ligero aumento de tensión en uno de sus terminales corresponde una disminución igual de la tensión en el otro de manera que en conjunto la tensión respecto de tierra sea nula (de allí la idea de asociarlo con los platillos de una balanza simple porque cuando uno de ellos sube, el otro baja exactamente en la misma medida).

Por otra parte podríamos pensar a ese mismo dispositivo con uno de sus terminales

conectado a tierra, en tal caso al aplicarle tensión, al estar uno de los terminales conectado a tierra, necesariamente el otro tendrá una tensión cualquiera respecto de tierra. Por lo tanto un aumento o disminución en esa tensión no será correspondido con ninguna variación en el que está a tierra. En este caso se dice que el dispositivo está "*desbalanceado*".

Frecuentemente en electrónica es necesario conectar un dispositivo que está desbalanceado a otro que debe estar balanceado, en tal caso se recurre a dispositivos llamados "*balunes*", palabra que proviene de la contracción de dos palabras en inglés **BAL**anced to **UN**balanced.

Por ejemplo, conviene, por diversas razones, que nuestro transmisor tenga su chasis unido eléctricamente a tierra y también tiene ventajas que el cable que va hacia la antena sea un cable blindado con su malla conectada a tierra. En este caso el sistema transmisor-cable es un sistema *desbalanceado*, según acabamos de ver. Nos interesa conectarlo a una antena tipo dipolo de media onda que por otras razones convendrá que tenga ambas ramas balanceadas respecto de tierra. Para lograrlo se intercala entre el coaxil y la antena un *Balun* que se encargara de la tarea.

Hay varias formas prácticas de lograr ese resultado, así, los balunes se construyen con distintas e ingeniosas disposiciones eléctricas. Pueden realizarse con cables, tubos o arrollamientos sobre núcleos de ferrite o hierro pulverizado con forma toroidal o solenoidal. Los balunes pueden construirse para que sean al mismo tiempo transformadores de impedancia.

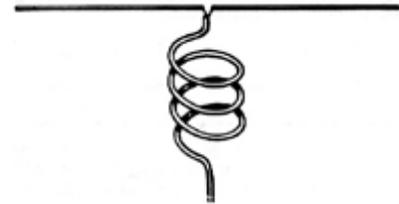
La instalación de balunes en las antenas no siempre es esencial y a veces su realización práctica introduce más problemas de los que resuelve, por ejemplo los armados con ferrites inadecuados pueden introducir pérdidas importantes o saturarse con potencias no muy elevadas dando lugar a producción de señales espurias. (Nota: los balunes realizados con núcleos de ferrite tienen por objeto, casi siempre, funcionar en "banda ancha", es decir que se espera que funcionen bien en al menos una década de frecuencias, por ejemplo de 3 a 30 MHz, por ello si la antena es monobanda es preferible no emplear esta clase de balunes para evitar sus inconveniente asociados. Utilice preferentemente los denominados "*choke balun*").

Cuando la antena tipo dipolo se acopla al coaxil sin balun se produce un efecto de alargamiento eléctrico de la misma porque al conectar el cable desbalanceado a la antena el equilibrio de las corrientes se establece con la circulación de una corriente sobre el lado exterior de la malla del coaxil, haciendo que la malla del coaxil pase a formar parte de la antena dando lugar a una irradiación de energía por parte de este. La radiación de la línea dará lugar a una deformación del diagrama de radiación típico del dipolo balanceado, no muy importante, pero que puede ser necesario considerar cuando se desea controlar los resultados con precisión. Esta irradiación no necesariamente representa un defecto ni producirá por si misma interferencias en otros equipos, pero, si el coaxil pasa muy cerca de otras instalaciones eléctricas, esa radiación, por la

cercanía física puede afectar aparatos sensibles. Si el coaxil pasa alejado de otras instalaciones (tanto como la antena), no hay ninguna razón para que la corriente de radiofrecuencia afecte a otros equipos más de lo que la antena misma puede hacerlo...! Recuerde que un balun no es un dispositivo sino una forma de utilizar ese dispositivo, será balun si lo usamos como balun, pero podrá ser un simple transformador de aislamiento si se lo emplea entre dos dispositivos desbalanceados. Tampoco es un balun un transformador toroidal con núcleo de ferrite, a menos que se lo esté utilizando precisamente con ese propósito.

El "choke" balun

Mencionamos aparte este balun porque representa una solución muy eficaz y muy sencilla para realizar balunes. Consiste simplemente en arrollar el mismo cable coaxil de la bajada creando un solenoide para producir un efecto de choke o inductancia para bloquear la circulación de corrientes sobre la parte exterior de la malla de blindaje preservando así el balance de la antena. No es un balun de banda ancha aunque funcionará perfectamente en un par contiguo de ellas. Como no es necesario emplear balunes de banda ancha en antenas monobanda, la ventaja de utilizar un dispositivo con pérdidas despreciables sin efectos indeseados debido a saturación del núcleo, como este, es indudablemente la mejor razón para adoptarlos en la estación. En la práctica están desplazando rápidamente en los sistemas de antena a los antiguamente populares balunes (con o sin núcleo de ferrite) realizados con varios bobinados. Una propiedad importante, que lo hace más interesante aún, es que impide la circulación de corrientes de RF por la parte exterior de la línea aún cuando la antena en si misma, no se encuentre bien balanceada.



Directividad - Ganancia

Las corrientes y cargas eléctricas que existen en los conductores de la antena tendrán una cierta distribución geométrica peculiar la cual dependerá de su diseño mecánico y eléctrico, así, cada parte infinitesimal de antena contribuye al campo total, tanto en intensidad como en fase, de tal modo que la intensidad del campo irradiado variará de acuerdo a la dirección considerada. Este fenómeno que se denomina "*directividad*", se produce naturalmente y estará presente en todo conductor que irradie energía radiofrecuente. Encontrará muchos dibujos en los cuales se representa gráficamente la intensidad de campo en función de la dirección, sea esta vertical u horizontal. Se llaman "*diagramas de radiación*" y los encontrará muy útiles para elegir las antenas más convenientes para cada aplicación.

La directividad puede controlarse parcialmente a partir de un diseño ingenioso de la antena lo cual da lugar a muchos diseños prácticos interesantes.

La directividad de una antena se modifica por la cercanía de objetos absorbentes y/o reflectantes de las señales, una propiedad que se aprovecha para lograr directividad; también se consigue directividad, alimentando diferentes conductores con las fases

adecuadas para lograr el objetivo..

La reflexión en cuerpos relativamente cercanos juega un papel fundamental en la generación del diagrama de radiación de cualquier antena. Un cuerpo muy especial que produce un efecto importantísimo en el diagrama de radiación vertical de casi todas las antenas que empleamos los radioaficionados *es la tierra*, entendiendo como tal no al planeta sino al *terreno* situado entre las antenas transmisora y receptora.

El radiador isotrópico

Es una antena imaginaria que irradia energía igualmente en todas las direcciones, tanto verticales como horizontales. En la práctica no puede construirse tal antena pero se utiliza como una referencia conveniente en los cálculos teóricos para caracterizar la directividad o ganancia de otras antenas que si, poseen existencia real. Es una suerte de antena patrón que, al igual que el metro o el kilogramo, sirve para fijar la unidad de ganancia. La ganancia de las antenas se especifica en relación con esta antena ficticia colocando el sufijo "i" en la ganancia expresada en decibeles, por ejemplo 6 dBi

Antenas direccionales - Ganancia

Las antenas direccionales tienen un comportamiento análogo al de un reflector, como en una linterna común, pueden enfocar la energía disponible en cierta dirección en transmisión o, en recepción, como en una lupa, recogiendo la energía proveniente de un área mayor, lográndose resultados equivalentes a los que resultarían de emplear más potencia en los transmisores. Esta valiosa cualidad se denomina "*ganancia*".

La ganancia de las antenas siempre está asociada a alguna forma de directividad, porque son elementos pasivos que responden al *principio de conservación de la energía* y no pueden crearla. Toda ventaja que, en este sentido, una antena pueda tener por sobre otra, si no es debida a una mayor eficiencia, se deberá a una mayor concentración de la energía disponible en cierta dirección, sea esta intencional o no, recuérdelo: *no hay ganancia sin directividad...!*, por eso siempre que una antena provea "*ganancia*" lo hará hacia ciertas direcciones en detrimento de otras.

Existen antenas que poseen directividad mas no ganancia, inclusive pueden presentar gran atenuación, pero igualmente pueden resultar útiles para discriminar ruidos provenientes de ciertas zonas, para favorecer estaciones que se hallen en cierta dirección, separándolas de otras que podrían ocasionar interferencia, para fines goniométricos, etc.

Repase varias veces la siguiente definición hasta estar seguro de comprenderla:

La ganancia de una antena se define como "el cociente entre la energía que habría que aplicarle a un radiador isotrópico y la que realmente se aplica sobre la antena que se está midiendo, para lograr la misma intensidad de señal en una dada dirección".

En esta definición de ganancia no se toma en cuenta el rendimiento eléctrico de la

antena (a la que se supone sin pérdidas, lo cual es bastante cierto para antenas que no son acortadas y se montan alejadas de objetos absorbentes). En rigor esta es una definición de directividad, la de ganancia es idéntica pero toma en cuenta las posibles pérdidas de la antenna real. Un ejemplo ayudará a aclarar la idea:

Si a un radiador isotrópico hay que aplicarle 10 watts para que produzca en dirección Norte la misma intensidad de señal que la antenna directiva marca ACME, entonces la antenna ACME tiene una ganancia de 10 (veces) respecto de la isotrópica que en decibeles también es 10 dBi. Los decibeles son unidades logarítmicas de uso muy frecuente en electrónica. También hay que destacar que si bien en el ejemplo se tomo la dirección Norte, en rigor la dirección que ha de considerarse es tanto en el sentido horizontal (acimutal) como vertical.

Directividad horizontal (acimutal)

Es el sector o ángulo horizontal hacia o desde el cual la antenna recibe o transmite la energía más efectivamente. Esta propiedad permite, en recepción, eliminar ruidos o interferencias no deseadas que provengan de direcciones distintas de la deseada. Se da mucho valor a aquellas antenas que proveen diagramas directivos "limpios", es decir libres de lóbulos secundarios y que poseen una discriminación frente-espalda mayor. No debemos creer que cuanto mayor ganancia posea una antenna mejor será, pues la ganancia está asociada siempre a la directividad. Cuando la directividad es horizontal, puede ser incómoda de operar pues lleva tiempo rotar una antenna, también podemos no escuchar una estación débil que provenga de otra dirección. La situación empeora cuando se trata de comunicar con varias estaciones a al vez. Por esto convendrá acompañarnos de una antenna omnidireccional (o casi) y disponer de medios rápidos para la conmutación entre una y otra.

No hay que confundir directividad horizontal con polarización horizontal. Una antenna que posea directividad horizontal puede tener polarización vertical, horizontal, circular o mixta indistintamente. Las antenas directivas más comunes son las tipo Yagi o cuádricas (Quads), pero hay muchas otras configuraciones útiles.

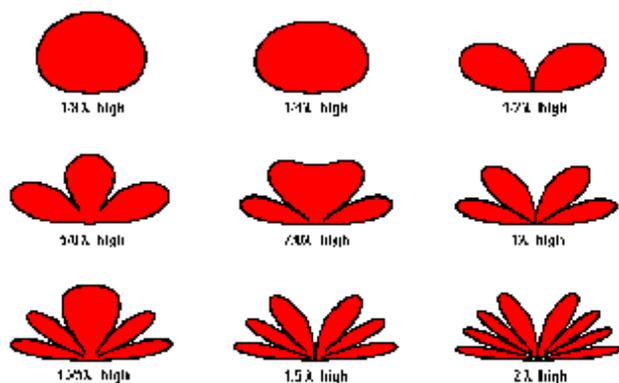
Dibujos de diagramas directivos por ejemplo pag 810 Orr

Directividad vertical

Dibujo luxorion

Es el sector o ángulo sobre el plano vertical hacia el cual la antenna transmite energía más efectivamente (puede decirse lo mismo para recepción).

La directividad vertical puede estar asociada a cualquier diagrama directivo horizontal. Por ejemplo puede tener una



marcada directividad vertical, favoreciendo ángulos muy bajos, y no ser directiva (omnidireccional) en el plano horizontal. Una antena de esta clase recibe y transmite igualmente en cualquier dirección de la rosa de los vientos, pero no desperdicia energía emitiéndola hacia el cielo (a menos que justamente esa hubiera sido la intención). Este es el comportamiento típico de las antenas omnidireccionales verticales con ganancia empleadas mucho en VHF y UHF, como por ejemplo las sumas de dipolos colineales.

Es importante señalar que en FE (HF) la directividad vertical se utiliza para enfocar energía hacia la ionosfera en los ángulos que resulten más convenientes para la comunicación a ciertas distancias. En general se prefiere una directividad vertical que favorezca los ángulos de radiación más bajos para alcanzar los destinos más lejanos con pocas reflexiones. No es extraño, sin embargo, la utilización de antenas que otorgan preferencia a los ángulos cercanos a la vertical, para lograr reflexiones en la ionosfera que devuelvan la señal *"hacia abajo"* proveyendo mejor cobertura local. Esto es posible, sobre todo en las frecuencias más bajas de FE (HF), donde la frecuencia crítica de la capa ionizada permite este tipo de reflexión. Este modo de propagación se conoce como *"Onda celeste de incidencia casi vertical"*, (en inglés: NVIS: **N**ear **V**ertical **I**ncidence **S**kywave).

A menudo se buscan antenas con muy poca directividad vertical y horizontal, tal es el caso por ejemplo de antenas para comunicaciones con satélites artificiales de órbita baja que están muy poco tiempo en la zona de alcance y que rápidamente barren el cielo desde el horizonte hasta el cenit en muchas direcciones de la rosa de los vientos.

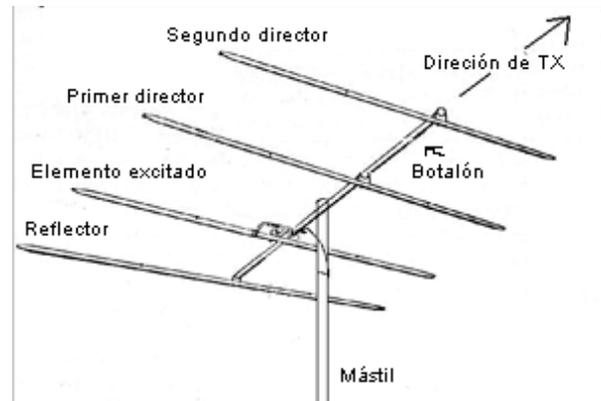
Conviene señalar que la directividad vertical de las antenas cercanas a la tierra depende principalmente de la altura de la antena sobre el terreno, vale sobre todo en los espectros de FE (HF) y FME (VHF). Eso es porque las propiedades directivas verticales de una antena situada sobre un plano más o menos conductor como el suelo se modifican sustancialmente por la presencia de éste. En FE (HF) se verifica para todas las antenas normales y en VHF, recién en comunicaciones entre aviones (por las alturas involucradas) puede prescindirse del efecto del suelo. También el uso de antenas direccionales apuntadas hacia arriba para comunicaciones satelitales queda parcialmente fuera de esta observación.

Resumiendo, la altura de la antena sobre el terreno es la que define fundamentalmente la formación de los lóbulos que favorecerán un DX o una comunicación local, la altura es entonces la variable más importante a este respecto. Tenga esto bien presente cuando se trate de antenas horizontales pues a menudo escuchará decir que tal o cual antena horizontal tiene "ángulo de disparo más bajo", (por ejemplo, un dipolo común, una antena "Bazooka" o cualquier otra variante más o menos similar). El diagrama de radiación vertical de las antenas verticalmente polarizadas también depende fundamentalmente de la altura, con la salvedad que cuando están cerca del suelo (a diferencia de las horizontales), pueden producir lóbulos de radiación muy bajos, circunstancia aprovechable donde los terrenos son buenos conductores para lograr antenas con buen

desempeño en DX por el bajo ángulo de radiación vertical. Las antenas de polarización horizontal a baja altura (en términos de longitudes de onda) no pueden producir ángulos de radiación bajos y en general sufren de mayor atenuación por la presencia de tierra, por la misma razón tampoco las verticales cuando están instaladas sobre suelos de pobre conductividad.

La antena direccional Yagi - Uda

Recibe el nombre de sus inventores japoneses, los señores Hidetsugu Yagi y Shintaro Uda, quienes la describieron en 1.926. Las antenas tipo Yagi son las antenas direccionales más populares, se emplean en rangos de frecuencia que van desde los pocos MHz hasta pocos Giga Hertz. Son confiables livianas y sus características directivas han sido muy bien estudiadas por lo cual son muy conocidas, hay muchos diseños prácticos y programas de diseño asistido para lograr de ellas sus mejores características. (figura modificada de www.signalengineering.com)



Elementos parásitos

Las antena Yagi (y otras) consiguen su directividad mediante los llamados "*elementos parásitos*". El nombre deriva de que ellos son conductores que se interponen en el campo eléctrico y magnético del conductor principal de la antena al cual está conectado el transmisor (note que no hemos dicho "*electromagnético*" sino "*eléctrico y magnético*"), razón por la cual se inducen en ellos corrientes eléctricas. En los comienzos de la electricidad a las corrientes inducidas se las llamaba "*parásitas*", porque producían pérdidas, por ejemplo, las corrientes de Foucault en los transformadores.

Estas corrientes inducidas hacen que los elementos parásitos irradien, a su vez energía radiofrecuente de tal manera, que su campo se combina armoniosamente produciendo un refuerzo en cierto sentido (en la dirección deseada), a expensas de las demás direcciones, produciendo la directividad buscada.

El elemento que recibe la energía directamente del transmisor recibe el nombre de "*Elemento Excitado*", en la Yagi es normalmente un dipolo de media onda abierto o plegado. Los elementos parásitos, son dipolos abiertos realizados mediante un simple conductor recto.

A los elementos parásitos que se hallan en la dirección de máxima radiación se los denomina "*Directores*", porque de algún modo dirigen la energía hacia esa dirección.

Al elemento situado inmediatamente al lado del excitado, pero en la dirección opuesta

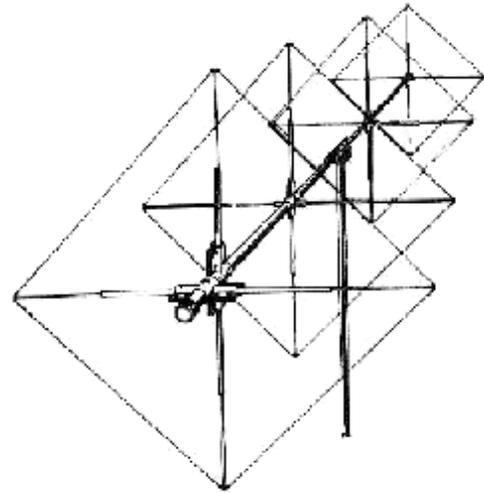


(decimos que está detrás) se lo llama "*Reflector*", porque su función es impedir que la energía se emita "*hacia atrás*" (puede haber más de un reflector también). (figura modificada de www.signalengineering.com)

La Yagi es una antena que puede montarse para que irradie ondas polarizadas vertical u horizontalmente por el simple expediente de colocar sus elementos en forma vertical u horizontal. También pueden combinarse en el mismo soporte elementos con ambas polarizaciones.

La antena direccional "Quad"

Es una antena muy apreciada por los radioaficionados, especialmente por los de la "*vieja guardia*". El funcionamiento se basa en el mismo principio que la Yagi; también consta de un elemento excitado y de elementos parásitos. La diferencia radica en que tanto el elemento excitado como los parásitos están hechos con conductores que forman un cuadrado o diamante. Puede alimentarse para producir ondas polarizadas vertical u horizontalmente. Sus virtudes parecen ser: menor radio de giro, mejor relación frente espalda, menor peso, pero, como en otros órdenes hay quienes prefieren unas y quienes otras. (figura modificada de www.kimware.com)



Propiedades eléctricas del terreno

Lo usual es que las antenas estén montadas próximas a la tierra (en el sentido amplio que incluye ríos y mares), como se acaba de explicar, ella modifica la formación del campo electromagnético irradiado tanto en FE (HF) como en FME (VHF). Es necesario distinguir dos maneras en que la tierra influye en nuestra historia:

Hemos visto que en las antenas tipo Marconi, el terreno suele formar parte de su sistema *eléctrico*, él se convierte en uno de los conductores de la antena que se conectan al transmisor, por lo tanto las características del mismo influirán decididamente en el funcionamiento del sistema, si el suelo constituye uno de los conductores de la antena, debemos entender que la tierra irradia. Importa reconocer que la radiación electromagnética de la tierra siempre forma parte del sistema, inclusive en antenas en que la tierra no forma parte de su sistema eléctrico (tal como los dipolos) a través de la reflexión (la radiación de la tierra se produce debido a las corrientes eléctricas del transmisor, directas o inducidas).

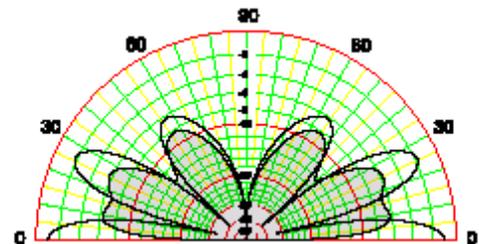
En las antenas que precisan de la tierra importan las propiedades eléctricas *del sitio sobre el que están montadas*, si es mal conductor, podría mejorarse o reemplazarse por un buen plano de tierra artificial. Reiterando: en estas antenas se debe considerar al terreno como parte integral de la misma.

Una vez que la onda electromagnética ha abandonado la antena, *ya no tiene nada que ver con ella*, es una entidad independiente, con vida propia. La antena podría desaparecer y la onda electromagnética no se enteraría de la novedad. Pero el comportamiento de esta onda electromagnética ya irradiada también es fuertemente afectado por la presencia de la tierra, aunque *no son ya las características del suelo inmediatamente cercano a la antena sino las de la geografía vecina* (que puede alcanzar varios kilómetros).

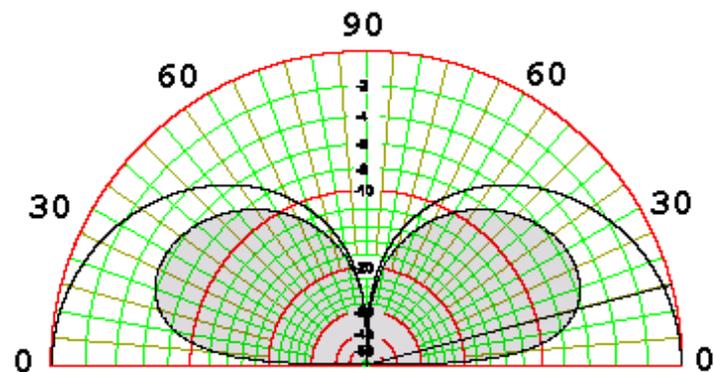
Naturalmente nada puede hacerse para cambiar las condiciones del terreno en estas condiciones. Las propiedades de la tierra también influyen cuando la señal se refleja en ella luego de ser devuelta por la ionosfera para dar lugar al siguiente salto; la onda celeste induce corrientes en ella y estas corrientes a su vez producen nueva radiación (ese es el fenómeno de la reflexión).

Aunque la propagación sea por reflexión ionosférica, la tierra jugará un papel esencial, porque el diagrama de radiación vertical de las antenas usuales en las proximidades de tierra depende de la tierra para formarse (aunque la antena esté a muchas longitudes de onda de altura sobre ella, como sucede en VHF).

Si la vecindad geográfica fuera perfectamente conductora se obtendrían diagramas de radiación verticales muy nítidos, como muestra la figura en las líneas más exteriores, al compararlo con el correspondiente a una tierra promedio húmeda (diagrama en gris) se observa que el diagrama se torna menos definido y los nulos desaparecen. Eso no es tan malo porque en los puntos de mínima radiación esta no llega a anularse como sucedería sobre un terreno perfectamente conductor.



En la figura se compara el diagrama de una antena vertical sobre un suelo ideal o buen conductor (como el agua de mar), indicado con la curva exterior, y un suelo medio (zona en gris). Se ve perfectamente que en terreno mal conductor, la propiedad de producir lóbulos de radiación con máximos en ángulos próximos a 0° que tendría una antena vertical no se puede explotar porque no hay radiación en ángulos bajos..



Esta propiedad de las antenas verticales rodeadas de geografías buenas conductoras, favorece claramente a las comunicaciones marítimas entre embarcaciones en el mar (o entre embarcaciones y estaciones costeras).

En tales condiciones se logran alcances bastante superiores en las FE y FME, tanto con ondas directas como reflejadas en la ionosfera. Recordemos que no estamos hablando

del terreno justo debajo de la antena, sino el de sus inmediaciones. Los diagramas han sido extraídos del manual de antenas de la ARRL.

Ley de reciprocidad

En general las propiedades de una antena son las mismas en trasmisión o recepción. Si la antena es más eficiente en trasmisión, también lo será en recepción. Lo mismo sucede con sus propiedades directivas; si una antena irradia mejor hacia el norte y no hacia el resto de los puntos cardinales, recibirá mejor las señales provenientes del norte que las de otros puntos cardinales.

Aprenda a modelar antenas

Hay disponibles poderosísimos programas de diseño asistido (algunos gratuitos), con los que podrá simular todo un sistema de antenas, incluyendo los efectos de la tierra y los materiales utilizados. No solamente ayudan a construir y prever el comportamiento de las antenas, sino, sobre todo, a comprender y verificar la influencia de los distintos factores que intervienen en la radiación.

Con estos programas podrá visualizar lo que está sucediendo y adquirirá una visión conceptual inestimable a la hora de interpretar los resultados de los sistemas reales. En la sección "*La computadora personal en la radio*", hay más información sobre el sujeto.

Interferencias en RF

Con el nombre de "*Interferencias de Radio Frecuencia*" IRF (RFI) se conocen los fenómenos que impiden recibir correctamente una señal de radio o funcionar apropiadamente a un equipo electrónico. Designa únicamente los fenómenos originados por objetos tecnológicos, sean accidentales o intencionales. Si la fuente es de origen natural se prefiere el concepto de *ruido*. Una interferencia puede impedir o estorbar equipos propios o ajenos; el aficionado puede tanto ser responsable como víctima de las mismas.

En las intencionales, su responsable lo hace justamente con el objeto de impedir o dificultar las comunicaciones o el funcionamiento de aparatos sensibles. Aunque se consideran normales en operaciones militares, son ilegales, faltas de ética o inmorales en otros ámbitos. Interesa estudiar las interferencias involuntarias, aunque eso no implique que sean desconocidas por su responsable.

Las interferencias que pueden encontrarse en la operación radial son legión y un análisis detallado de las mismas excede el marco del apunte, pero mencionaremos algunas de las más comunes:

- Radiaciones indeseadas de equipos electrónicos industriales u hogareños que utilizan partes capaces de emitir energía en el espectro radioeléctrico. Producen muchos inconvenientes porque hoy casi todos los aparatos disponen de algún

circuito electrónico capaz de producir alguna forma de radiofrecuencia, por ejemplo: transformadores de pulsos, incorporados a lámparas de alumbrado domiciliario, monitores de computadoras, circuitos de alimentación y barrido de televisores, fuentes de alimentación conmutadas, etc.

- Radiaciones espurias de equipos que fueron construidos para producir señales de radio, ya sea por mal funcionamiento del equipo, falta de blindajes o inadecuado filtrado. Pueden ser radiaciones que resultan ser múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de operación denominadas como *armónicas* (a la fundamental se la considera la primera armónica), o ser autooscilaciones de una o más etapas, productos de mezcladores internos, escapes de etapas que deberían estar encerradas en cajas blindadas, etc.
- Radiaciones producidas por la combinación de una o más señales en un tercer aparato que se halla en la vecindad de transmisores que funcionan correctamente pero que al combinarse en este tercer aparato pueden producir radiaciones perturbadoras, por ejemplo intermodulación de emisoras de broadcasting.
- Sobrecarga o bloqueo de los equipos receptores. Esta es una de las causas más comunes de interferencia en receptores de TV o FM domésticos por parte de la estación de aficionados, generalmente por un diseño inadecuado del receptor que no contempla su operación en presencia de intensos campos radiofrecuentes.
- Falla de blindaje en sistemas cuya operación debería estar confinada, tal como los tendidos de videocable, adonde la señal puede ingresar provocando interferencias en los receptores de TV o egresar produciendo interferencias en los sistemas de recepción de la estación. Cabe mencionar que no son responsabilidad del emisor las interferencias que puedan producirse en un sistema de videocable o red similar. También debe decirse que las normas de apantallado mínimo permitidas para los sistemas de video cable en algunos países no son tan rigurosas para evitar su recepción en las cercanías de un tendido de este tipo (por ejemplo la interferencia del canal 18 de cable en la banda de dos metros).
- Falla de blindaje o mala construcción de dispositivos cuyo funcionamiento requiere de la producción de energía radiofrecuente pero que no están destinados a producir señales inteligentes. Hornos de inducción, máquinas de diatermia, etc.
- Idem para equipos que producen chispas de todo tipo, tales como escobillas de motores, máquinas de soldar películas de plástico
- Luces fluorescente, balastos electrónicos, letreros luminosos de Neón, dimmers, televisores, computadoras y monitores, equipos de electromedicina, aisladores sucios o con fallas en las líneas de alimentación (sobre todo las media y alta tensión), electrocutadores de insectos, controles automáticos de encendido de luces, luces navideñas, falsos contactos en culotes de lámparas incandescentes o lámparas a punto de quemarse, etc.
- Interferencias sobre equipos no diseñados para utilizar ondas de radio: amplificadores de audio, teléfonos comunes, computadoras, etc. Estas nunca resultan de una falla en los equipos emisores porque los aparatos mencionados deberían contar con protecciones adecuadas para que ellas no los afecten. Muchos fabricantes no se preocupan por proteger a sus clientes en su afán de bajar los

precios, sacrificando la calidad de sus productos.

Las interferencias son un problema técnico pero suelen ser un asunto espinoso para la convivencia social del aficionado con sus vecinos (y aun familiares) o sus pares. La tendencia a responsabilizar o más bien culpar al que produce la señal de radio es casi inevitable, tanto por legos como por los más o menos entendidos. El vecino suele estar poco dispuesto a entender que "*causa*" no está necesariamente asociado a "*responsabilidad*" o "*culpa*". La *causa* puede ser la transmisión (aunque sea técnicamente inobjetable), pero la *culpa* bien puede obedecer a fallas en el aparato afectado. Hacer comprender esto a un vecino enojado requiere tiempo, paciencia y por sobre todo mucho tacto y comprensión.

Cuando un aficionado es la víctima de una interferencia esta mucho más obligado a cerciorarse que ella no proviene de fallas o insuficiente prestación de su propio equipo. Si en esta eventualidad el aficionado procediera como un lego no haría honor a su condición. Producir interferencias por funcionamientos descuidados o abusivos de los equipos, como sobrecargar los amplificadores lineales para lograr mayor potencia media, anular los circuitos de control automático de nivel de los transmisores con el mismo objetivo, sobremodular a sabiendas las etapas finales de un equipo de AM o sobredesviar uno de FM, no reparar osciladores inestables que se corren hasta canales adyacentes ocupados, utilizar anchos de banda de audio que producen la ocupación innecesaria de canales adyacentes entre otros pueden indicar, falta de formación falta de ética operativa cuando no, *pura y simple mala educación*.

Consejos mínimos

Cuando alguien señale a su estación como una posible fuente de interferencia trate que le proporcione toda la información posible. Es de tontos enojarse con el mensajero por la mala noticia y él probablemente esté dispuesto a ayudar en la solución del problema si se le presenta la solicitud con franqueza y reconocimiento. Tal vez pueda hallarse irritado, con o sin razón, en tal caso una actitud cordial y amistosa rápidamente lo hará mudar de actitud.

Lo primero que debemos hacer es controlar que nuestros propios aparatos domésticos funcionan satisfactoriamente cuando la estación está en funcionamiento, ello nos permitirá invitar al vecino a verificar que en nuestra casa las cosas funcionan bien, aunque no alcance será una prueba de buena fe que con el tiempo será apreciada..

Cuando se trata de una interferencia en aparatos domésticos que no son de radio (es decir que no contienen receptores), no hay motivos para preocuparse por nuestros transmisores: Cualquier interferencia en equipos de audio, tocadiscos, parlantes de computadoras, teléfonos convencionales (especialmente los electrónicos no inalámbricos), canillas, calefones y demás cacharros domésticos, será con seguridad un problema de ellos. Quizás la solución no esté en sus manos y requiera de un técnico; trate de tener en su agenda un par que sepan cómo lidiar con estos asuntos. Pocos

técnicos conocerán lo suficiente sobre interferencias de RF a menos que también sean colegas o especialistas en sistemas de radio. Usted no está obligado a hacerse cargo de los gastos, pero recomendar una persona idónea que resuelva el inconveniente es un mínimo ético ineludible. Si el servicio afectado fuera provisto por terceros es posible que a ellos corresponda la solución, ya sea por medio de las garantías de fábrica o las empresas prestadoras.

Las interferencias en TV (*ITV - TVI*) producidas por equipos de FE (HF) en la mayoría de los casos resultan de problemas del receptor o la instalación asociada. Si en su hogar o en el de otros vecinos próximos no hay problemas, será un indicador prácticamente infalible de fallas en el sistema afectado. Hay buenas probabilidades de que se deban a sobrecarga de las etapas de un sintonizador de TV que no tiene selectividad o rango dinámico suficiente para evitar el ingreso de la señal a circuitos donde pueden producirse las respuestas espurias. Hay chance de que el problema se solucione empleando un filtro pasaltos fabricado específicamente para este fin. Estos filtros impiden el ingreso al receptor de TV de frecuencias inferiores a 54 MHz, produciendo gran atenuación en las señales del transmisor de FE que pueden alcanzar al sintonizador. Antes de seguir adelante, si su TV no presenta problemas tenga o no un filtro instalado, trate de hacerlo funcionar en la instalación de su vecino, si lo hace correctamente seguramente la falla está en el aparato que está reemplazando o la falta de un filtro en él.

Antenas receptoras en malas condiciones (y las antenas baratas pasan a este estado rápidamente), líneas de bajada con falsos contactos, interrumpidas, añadidas, etc. pueden causar problemas; son los siguientes candidatos en la pesquisa. El cable de bajada de la antena del TV y los cables de alimentación de energía domiciliaria, por su longitud, pueden comportarse como eficaces antenas capaces de recoger la señal de su transmisor lo cual produce importantes corrientes de radiofrecuencia sobre ellas. Hacer que el cable de bajada de la antena de TV forme un pequeño rollo o bobina puede ayudar a bloquear la corriente inducida sobre él, hacer lo mismo con el cable de toma de corriente del receptor puede ser una posible cura.

Filtros de interferencias

Los filtros son circuitos destinados a impedir o dejar pasar únicamente ciertas gamas de frecuencia, aunque también existen otros destinados a diversas funciones importantes en la electrónica. Su diseño y construcción tiene tantas variantes que constituye casi una especialidad, pero pueden definirse por sus cualidades fundamentales.

- Un filtro pasabajos permitirá pasar únicamente frecuencias inferiores a cierto valor.
- Un filtro pasaltos dejará pasar únicamente frecuencias superiores a cierto valor.
- Un filtro pasabanda dejará pasar un intervalo de frecuencia impidiendo el paso de las menores o mayores a ese intervalo.

- Un filtro eliminador de banda, impedirá el paso de un intervalo de frecuencias y se lo permitirá a todas aquellas superiores e inferiores a dicho intervalo.

Dependerá de un adecuado diseño, que tan efectiva y precisamente él pueda seleccionar las frecuencias que se hallen dentro o fuera de sus características de paso y atenuación. También dependerá de la calidad de los materiales empleados y de una adecuada construcción mecánica y eléctrica.

Todos los transmisores bien diseñados y contruidos incorporan algún tipo de filtro para impedir la radiación de frecuencias indeseadas o armónicas resultantes de sus procesos internos. En la salida de cualquier transmisor deberá disponerse siempre de un filtro pasabajos que impida la irradiación de frecuencias armónicas. Puesto que la producción de armónicas son prácticamente inevitables en los amplificadores (aún en los correctamente diseñados), la instalación de estos filtros es imperativa en la mayoría los equipos modernos.

También debe proveerse de algún filtrado para evitar que el equipo introduzca radiofrecuencia en la línea de energía domiciliaria. Estos "*filtros de línea*" son comunes en casi todos los equipos modernos y exigidos reglamentariamente. Para su correcta operación y por razones de seguridad suelen precisar de una buena toma de tierra eléctrica y de radiofrecuencia.

Sintonizador de antena o Acoplador de antena, Transmatch o ATU Antenna Tunner Unit

El *Transmatch* o "*Sintonizador de antena*" (este último no es un nombre adecuado pero se continúa empleando por razones históricas) es un dispositivo compuesto fundamentalmente por inductancias y capacidades variables, en ingeniosas configuraciones, que le permiten realizar las transformaciones necesarias para convertir la impedancia de una antena o carga al valor nominal requerido por el transmisor (normalmente 50 Ohms).

Pueden ser manuales o automático y los equipos más modernos y de mayor precio pueden incluir uno automático en su gabinete principal.

Todos los sintonizadores introducen alguna pérdida en el proceso, normalmente mayor, cuanto mayor es la diferencia de impedancias a adaptar, por ello, si usted puede operar con una buena antena que no requiera de uno o solo una pequeña compensación, probablemente obtendrá mejor rendimiento de su sistema.

Exigir demasiado a un acoplador puede arruinar las bajísimas pérdidas típicas de una línea abierta, por ejemplo: con un dipolo de 1/2 onda para 80 m alimentado al centro, operado en 40m, mediante una bajada de 1/2 onda en 40m, encontraremos que la altísima impedancia que presenta el dipolo de 80 operado en 40, se repita en el punto de alimentación de la línea. Esto hará que una parte importante de la potencia se desperdicie en calor, porque somete al acoplador a condiciones extremas).

Algunos sintonizadores se comportan como red pasabajos y otros como pasaaltos, los primeros pueden otorgar alguna supresión adicional de armónicos, pero los segundos no

(generalmente los tipo "T" con capacitores en serie y bobina en derivación), conviene tenerlo presente.

Los sintonizadores tienen rangos de adaptación restringidos, algunos son mejores para adaptar impedancias elevadas, otros impedancias bajas. No es extraño que un sintonizador no pueda acoplar algunas impedancias que se hallan fuera de sus posibilidades de ajuste. Generalmente agregando o quitando algo de longitud a la línea de transmisión o variando la longitud de la antena si utiliza, por ejemplo, un hilo largo, podrá lograr que la impedancia caiga en el rango de ajuste.

Blindaje o apantallamiento de los equipos

Dentro de los transmisores existen corrientes de radiofrecuencia resultantes de su funcionamiento normal, que no deben salir hacia el exterior. Tanto el cableado o los diversos dispositivos internos pueden comportarse como antenas capaces de irradiar energía produciendo interferencias en otros sistemas. La única salida o entrada de radiofrecuencia deberían ser los terminales previstos para la antena.

En las frecuencias inferiores, donde la longitud de onda es muy superior al tamaño de los componentes y conexiones, la eficacia de estos como radiadores de energía (antenas) es pobre, pero a medida que la frecuencia aumenta llega un punto que hasta un pequeño trozo de cable ya constituye una buena antena.

Para evitar radiaciones indeseadas, el equipo electrónico debe estar contenido en un gabinete metálico totalmente cerrado, evitando ranuras o intersticios importantes. Los orificios de ventilación deberán ser pequeños en relación a la longitud de onda empleada y preferentemente contruidos con tela o malla metálica.

Lo mismo puede decirse de los equipos receptores, no solo contienen en su interior circuitos osciladores y amplificadores que pueden irradiar energía, sino que, peor aún, pueden captar señales indeseadas por sus conductores internos, estropeando sus mejores características. Imagine disponer de un circuito de entrada con capacidad para rechazar señales indeseadas de intensidad millones de veces mayores que la que se intenta recibir, el cual puede ser "puenteado" por las mismas, haciendo que su cableado se comporte como una antena justamente para esas señales no deseadas...

En cuanto a las interferencias de los diversos aparatos eléctricos que pueden perturbar su recepción, la primera medida a tomar es revisar cuidadosamente las posibles fuentes existentes en el propio domicilio. Lo más sencillo es interrumpir totalmente la energía en el hogar cada vez que se descubre un ruido. La cercanía de objetos eléctricos propios siempre tendrá más oportunidad de ser escuchada por su receptor. Si puede mantenerlo alimentado a baterías de inmediato advertirá que proviene de su propia estación y facilitará la localización. Lo mismo puede decirse si sus vecinos le permiten realizar la experiencia.

Si la interferencia no desaparece o no obtiene permiso, el segundo paso será tratar de ver si se escucha en un receptor común de broadcasting de ondas medias cuya antena incorporada posee propiedades directivas que pueden ayudar a localizar la fuente.

Verifique si operando el equipo a baterías la interferencia desaparece (manteniendo la tensión de línea), en tal caso el ruido puede estar ingresando al receptor por la línea de alimentación y hará falta un filtro adecuado, aunque de todas maneras es seguro que ese ruido tiene gran chance de ser captado por la antena, de manera que convendrá eliminarlo en la fuente.

Montaje de antenas

Hace no muchos años montar la antena de radio no solamente era una tarea más o menos sencilla y placentera que se realizaba con la ayuda de colegas siempre dispuestos a dar un a mano y el apoyo del barrio que veía con simpatía y aprobación a esa especie de héroes anónimos del éter que eran los radioaficionados quienes tanto podían obtener un raro remedio, dando la vuelta al mundo para hallarlo, como proveer de comunicaciones de emergencia durante catástrofes naturales, que afectaban seriamente a sistemas de comunicaciones relativamente precarios, como la telefonía y telegrafía alámbrica. Las cosas han cambiado, al menos un poco. El radioaficionado ya no es aquel legendario Quijote del aire, a los ojos de un público que dispone de elaboradísimos e infalibles sistemas de comunicación que van desde un teléfono celular hasta una enlace permanente con el Universo vía Internet (al menos eso cree o le hacen creer...) Hoy un radioaficionado no es visualizado como una especie de ángel guardián del barrio, en todo caso se lo asociará a una especie de *monstruo de Frankenstein* capaz de lastimar con sus ondas a los nuevos y celosos dioses domésticos, comenzando por el jefe de todos ellos: El televisor...

Si a eso se suma que las personas tienden a conocerse, ya no jugando al carnaval o festejando la Navidad en la calle, sino en ubicuos salones de "chat" al tiempo que el universo parece haber entrado en su fase de *Big Crunch* a juzgar por el mezquino espacio que va quedando en las densas ciudades, instalar la antena es una faena que consideraría con temor el mismísimo Indiana Jones.

Quienes viven en departamentos padecerán de restricciones cuando no de prohibiciones contractuales que tratarán de impedirle colgar esos "horribles alambres" en la terraza del edificio (si usted vive en mi país, Argentina, recuerde que las leyes lo amparan en ese sentido).

Si habita alguna zona residencial suburbana podría hallar también restricciones municipales del mismo tipo, es muy común en países del primer mundo, donde casi todo está prohibido (desde poseer un loro hasta montar la antena direccional). Si se tiene la suerte de habitar en algún exótico país sudamericano o en regiones igualmente salvajes, es posible que el vecindario no haga demasiado caso de los alambres, porque como se puede ver en cualquier serie norteamericana los latinos adoran la desprolijidad, especialmente si es colorida (aún así es probable que allí también reciba miradas desconfiadas porque también llega la TV), lo principal es que hay buenas posibilidades de hallar un par de puntos elevados donde colgar el primer dipolo. El dipolo es como una bandera, si logra hacerlo ondear algunos días, será *territorio liberado*, las posibilidades

de ampliar la instalación serán alentadoras...

El montaje de las antenas puede ser una tarea muy sencilla y elemental o una aventura peligrosa, dependiendo del tipo de antena, el lugar de emplazamiento y las precauciones que se tomen.

Cuando las antenas son livianas, cortas, simples, y montadas a baja altura, por lo general la tarea será fácil y segura, pero aún en estos casos no hay que arriesgarse. Aún en un simple montaje sobre una terraza o tejado hay numerosas oportunidades para lastimarse, caer de considerable altura o tocar accidentalmente cables de energía eléctrica. Nunca trabaje solo y asegúrese que alguien esté supervisando su trabajo, puede ser un familiar o amigo que, a menudo podrá ver aquello que a usted se le puede escapar por abstraerse en la tarea.

Nunca suba o trabaje sin dispositivos de sujeción que impidan caídas, ropa resistente y calzado de suela aislante y antideslizante.

Esté atento a los cables del tendido eléctrico y calcule bien que las distancias a los mismos sean suficientes para proveer holgado margen de seguridad para que con los movimientos, usted o los materiales, lleguen a rozar o engancharse con ellos. Si hay riesgo no dude en solicitar una desconexión provisoria por un profesional en la materia.

Evite que las antenas estén montadas de manera tal que si cayeran pudieran hacerlo sobre cables de energía eléctrica o lugares transitados por personas. Por más segura que parezca una instalación siempre hay alguna probabilidad de errores, fallas de material o fatiga de los mismos. El paso del tiempo es un gran enemigo en este aspecto.

El montaje de torres, si bien está al alcance del aficionado, es preferible que lo realicen profesionales. Requiere de conocimiento, experiencia y de entrenamiento físico adecuado. El entrenamiento y la salud física normales no bastan, pues la tensión e incomodidad que produce trabajar en las alturas, agota rápidamente las energías de las personas que no están acostumbradas.

No encontrará fácilmente instaladores familiarizados con la colocación antenas direccionales para HF, tales como Quads o Yagis; la mayoría instala habitualmente antenas de VHF o UHF. En estas situaciones conviene consultar con los colegas para encontrar personal idóneo.

Los mástiles de caño que alcanzan los seis metros de altura, comienzan a tornarse incontrolables al intentar llevarlos a la vertical sin el concurso de puntos elevados que ayuden, mediante cuerdas a elevarlos con seguridad. No permita que haya curiosos o niños desprotegidos mientras trabaja con ellos, planifique bien las operaciones.

Tratándose de alambres largos como los que resultan de un dipolo simple para 80 metros el mayor peligro está en el tendido eléctrico. Trate de usar cable aislado con protección para la luz ultravioleta para la antena (el cable de tendido eléctrico para

exteriores es adecuado), no solo se evita la oxidación del mismo, sino que si llegara a cortarse y caer el riesgo es menor. Tenga presente que una antena operada a la máxima potencia legal y aún menores, puede producir quemaduras severas si llegan a tocar la piel. Tenga mucho cuidado si las personas transitan en las cercanías. Jamás permita que una antena esté accesible a los niños o puedan ser tocadas accidentalmente.

Cuando instale antenas de alambres trate en lo posible de colocar roldanas que permitan bajarlas para inspección o ajustes. Cuestan muy poco y facilitan mucho las tareas.

Para operar en ochenta metros con un dipolo de media onda harán falta dos puntos que estén separados unos cuarenta metros, si es más mejor, porque la distancia faltante se cubre con prolongaciones que no forman parte de la antena, pero si es algo menor, no importa, pueden dejarse caer las puntas o plegarse en alguna otra dirección. Lo más importante es ganar toda la altura posible y conseguir que esté alejado de paredes, vegetación y otros cables. Los cables del resto de los servicios suelen tener una dirección perpendicular a la línea de la acera o calle, si puede montar su antena perpendicular a ellos habrá menor chance de inconvenientes con esos servicios, tanto para ellos como para posibles ruidos que se propaguen por ese cablerío, si además esa dirección coincide con el máximo del diagrama de radiación (que es perpendicular a la dirección del dipolo) ya es todo un éxito. considere que el mismo dipolo puede ser un punto de sujeción de otras antenas aisladas de él, así que su altura y solidez pueden ser de ayuda para ello. Especialmente hay que recordar que dos dipolos para dos bandas diferentes que tengan el doble de frecuencia una de otra pueden alimentarse con la misma bajada sin interacción si son perpendiculares (hay que olvidarse de la famosa antena *butterfly*, mariposa o moño que publican todos los handbook, lograr que resuenen en el centro de todas las bandas es hechicería avanzada).

Torres

Las torres reticuladas de acero pretensado son económicas, fáciles de instalar y muy seguras. Con una torre de aproximadamente 18m de altura pueden montarse todas las antenas de la estación: dipolos independientes para cada banda, omnidireccionales y direccionales para VHF/UHF y una direccional para HF.

La torre puede ser más baja o más alta pero cualquier altura entre 15 y 24 m le proporcionará una excelente estructura de soporte. Trate de adquirir una torre de generoso diámetro en sus parantes (entre 15 y 18 mm es un valor adecuado) con caras de 26 a 27 cm. Le resultará muy cómoda si tiene peldaños horizontales para el ascenso o para trabajar períodos no muy prolongados.

Si planea instalar una antena de HF importante, le convendrá disponer de un accesorio antitorque que aporte resistencia adicional a los momentos de rotación que puede producir la antena de HF, al estar sometida a rachas de viento durante períodos tormentosos. Estos accesorios consisten de brazos rígidos que sobresalen de la torre sobre los cuales se fijan las riendas y que por la palanca que producen evitan que la torre tienda a girar sobre si misma.

Trate de adquirir torres galvanizadas "*en caliente*", es decir que su recubrimiento de zinc resulte de la inmersión en el metal fundido, su mayor costo queda ampliamente justificado por su durabilidad. Instale bulones de acero y asegúrese de que los mismos queden bien protegidos de la oxidación. Bulones de acero inoxidable será adecuados para la mayoría de los casos.

Riostras

Las riostras o vientos son cables o alambres de acero (hoy se emplean exitosamente cables de fibras sintéticas) que se encargan de mantener a la torre en posición vertical y por sobre todo evitar que la misma torsione por los momentos de inercia a que está sometida. La torre presenta gran resistencia a la compresión y a la flexión por su diseño, pero pierden rigidez rápidamente si por falta de un arriostrado adecuado se les permite retorcerse sobre su eje. Es muy importante para impedirlo que la tensión de las riendas sea suficiente.

Conviene que las riostras sean de cable de acero galvanizado o acero inoxidable si el presupuesto lo permite. El alambre de acero galvanizado empleado en alambrados de campo es un buen material y de gran resistencia que puede emplearse con éxito en muchas ocasiones pero es más frágil y susceptible de fallas por fatiga. A veces presentan soldaduras poco visibles que pueden cortarse.

Anclajes

Los puntos de anclaje de la torre, son los lugares donde se sujetan las riostras. Hay numerosas opciones de las que citaremos las más comunes:

- Anclaje mediante pasamuros: consisten en barras de acero provistas de una rosca por un lado y un ojal por el otro. Se practica un orificio sobre una pared de material de buena calidad y se pasa por ella el hierro, al que se le agrega una arandela de gran diámetro y unas tuerca y contratuerca para asegurar que no pueda despasarse. Sobre el ojal se hacen firmes las riostras.
- Anclajes a muertos: Los muertos son vigas o placas de hormigón enterradas a cierta profundidad de las que sale una varilla de acero provista de un ojal para hacer firmes las riostras. La superficie o longitud y la profundidad dependerán de la altura de la torre, la naturaleza del terreno y los esfuerzos a que esté sometida debido a los vientos predominantes en la zona. Eso hace que su cálculo quede bien fuera de los alcances de este manual.
- Anclajes a vigas verticales enterradas. A veces se emplean vigas de hormigón con armazón interno de acero, montadas verticalmente e hincadas en el terreno y provistas de una superficie que impide que cedan ante la tensión de las riendas. Se utilizan sobre todo cuando es necesario evitar que los alambres lleguen hasta el nivel del suelo donde pueden estorbar el paso o representar algún peligro para quienes transitan en sus inmediaciones.
- Anclajes a árboles: *Bajo ninguna circunstancia deberán emplearse árboles como puntos de sujeción de los anclajes, no solamente porque los árboles pueden*

enfermar y perder rápidamente resistencia, sino que su mismo crecimiento somete a las riendas a estiramientos o aflojamientos inaceptables para su función.

Eligiendo su primer antena

La decisión acerca de cuál antena utilizar para la estación tiene muchas variantes y posibilidades, lo principal es no dejar que esas variantes retrasen la instalación de la primer antena. Es preferible instalar una antena cualquiera que tenga alguna oportunidad de funcionar y luego modificarla o agregar otra, a no tener ninguna antena... Utilice siempre antena exterior para trasmisión, las antenas interiores son interesantes para hacer experiencias, pero tienen poca eficiencia y seguramente provocarán trastornos en el funcionamiento de los equipos electrónicos domésticos, incluido su propio transmisor....

Una antena que jamás lo defraudará en HF, es la clásica antena de Hertz, alimentada al centro, con bajada de cable coaxil (es un dipolo de media onda), horizontal o en "V invertida". Es fácil de construir, muy eficiente y se adapta naturalmente a los equipos estándar.

No presenta ninguna clase problemas, excepto quizás su longitud en las bandas más bajas, y se desempeña muy bien con coaxiles baratos en operación monobanda. Si no tiene espacio para montarla totalmente extendida, intente hacerlo plegándola en forma de Z o de U, tanto vertical como horizontalmente. También puede intentar plegarla formando un cuadrado. El objetivo es instalar la longitud de alambre necesaria para completar media onda sin recurrir a bobinas de carga que compliquen el diseño o el ajuste. Si es posible siempre confeccione un Choke balun, si no, igualmente funcionará bien sin él.

Si es posible utilice antenas monobanda, son más fáciles de ajustar y difícilmente le traigan algún inconvenientes. Más adelante podrá experimentar distintas variantes de excelentes antenas multibanda. Varias antenas monobanda caseras serán casi siempre mejores y más baratas que una buena multibanda comercial.

En HF utilice dipolos hechos con cable de cobre, cualquiera que sea capaz de mantenerse colgado sin cortarse servirá. Puede ser desnudo o aislado. No utilice nunca alambre de hierro ni acero inoxidable (marginalmente puede usar hierro galvanizado con zinc). Es admisible el acero (para evitar estiramientos o soportar cargas pesadas) si está cobreado con suficiente espesor para que la corriente de RF circule únicamente por el cobre (CopperClad).

La mayoría de las antenas se desempeñarán mejor si están alejadas de suelo. Todas funcionarán mejor si están despejadas y alejadas de otros objetos u antenas.

En las bandas bajas de HF, al principio, evite las antenas verticales hasta conocer bien los detalles de su funcionamiento y sus limitaciones (en relación con su ángulo de radiación en terrenos pobres, captación de ruido y por sobre todo la relación con su

sistema de tierra). En 15 m o 10 m donde ya es posible instalar alejadas del suelo antenas de 1/4 de onda con planos de tierra artificiales, o antenas de 1/2 o 5/8 de onda alimentadas en la base, tiene vía libre para utilizarlas desde el principio con buenos resultados.

No instale antenas con bajada de línea abierta a menos que comprenda bien las implicaciones de su uso. Son muy buenas, pero será mejor dejarlas para cuando tenga conocimientos sólidos en líneas o "recetas seguras", pueden traerle más dificultades de las que imagina.

Tampoco conviene tentarse con las ofertas de pequeñas antenas multibanda comerciales. Los vendedores no estarán en el QTH a la hora de los ajustes... Pueden ser interesantes para el aficionado experimentado que comprende los detalles que lograrán su sintonía y eficiencia.

En muchos países la banda para Novicios es 80m, donde hay más dificultades físicas para montar una antena eficiente. Frecuentemente la mejor solución al problema del espacio *es dejar de ser Novicio...*

En VHF puede elegir casi cualquier antena, una simple antena de 1/4 de onda con plano de tierra que puede construirse por unas monedas constituye una excelente opción difícil de superar. También puede comprar una económica "Slim Jim" o "Ringo", pero el cuartito de onda funcionará igualmente bien si lo arma con los valores métricos sugeridos sin necesidad de ningún tipo de ajuste.

La antena móvil

En HF

Hay muchos diseños de antenas móviles para HF, pero ciertos principios básicos son comunes a todas ellas. La mayoría serán antenas verticales. Cuando hablamos del rendimiento de las antenas, mencionamos que hay una estrecha relación entre la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas.

La antena móvil tiene una limitación fundamental: Su longitud... y la resistencia de radiación estás absolutamente ligada a esa longitud. Cuanto más pequeña es esa longitud en relación con la longitud de onda de trabajo, menor será la resistencia de radiación y este es un factor que conspira contra el rendimiento porque la resistencia de pérdidas se mantiene más o menos constante, entonces más y más energía se desperdicia en las resistencias de pérdidas a medida que bajamos de frecuencia.

Nuestros esfuerzos para obtener el máximo provecho de una antena móvil han de dirigirse hacia ambos objetivos. Aumentar la resistencia de radiación y disminuir la resistencia de pérdidas...

Aumentando la resistencia de radiación...

Al ser la antena corta respecto de la frecuencia de autorresonancia, presentará una gran reactancia capacitiva, la cual se compensa mediante una reactancia inductiva instalada en serie con el conductor que oficia de elemento irradiante. Esta inductancia se la conoce coloquialmente como "la bobina de carga", ella puede instalarse cerca del extremos inferior, del medio o del extremo superior del irradiante. La bobina de carga en la base (que inclusive puede estar en el interior del vehículo), ofrece menores complicaciones mecánicas y aerodinámicas, y por razones que no explicaremos aquí la menor resistencia de radiación.

La bobina de carga en el centro aumenta algo la resistencia de radiación y representa un compromiso eléctrico mecánico muy utilizado, tanto en lo aerodinámico como en lo referente a la tendencia a oscilar mecánicamente alrededor del punto de equilibrio. La bobina de carga a tope presenta los mayores problemas mecánicos y aerodinámicos, pero a cambio ofrece la mayor resistencia de radiación. La diferencia, a igualdad de pérdidas externas, puede ser muy importante ⁽¹⁾. El empleo de carga capacitiva a tope (sombrero capacitivo) ayudará a aumentar la resistencia de radiación. Algunos diseños comerciales han utilizado este punto de vista.

Disminuyendo la resistencia de pérdidas...

Las pérdidas en una antena móvil están determinadas principalmente por la resistencia de pérdidas del plano de tierra. El plano de tierra en las bandas más bajas no es el automóvil (aunque la estructura metálica de un camión de transporte puede ser más significativa, no significa una gran mejora), sino el verdadero terreno que está debajo. La función de la carrocería y chasis del vehículo es sobre todo la de oficiar como un capacitor de placas planas que se encarga de realizar la conexión eléctrica a la tierra real a través de su reactancia. Así, la resistencia de pérdidas del terreno, es una propiedad del mismo sobre la cual no tendremos control, lo máximo que podremos hacer en este sentido es asegurarnos que las conexiones del transmisor y antena al chasis o plataforma portante del vehículo sean muy buenas y que el conjunto tenga buena continuidad.

El siguiente elemento sobre el cual podemos trabajar para disminuir las pérdidas, es el Q de la bobina de carga. Esto se consigue utilizando bobinas de generoso diámetro (tal vez unos 6cm), con una relación longitud a diámetro de por lo menos 2, con alambre también de buen diámetro (1,5 a 3 mm, podrían autosoportarse), con sus espiras separadas entre si aproximadamente un diámetro y de ser posible autosoportadas evitando formas plásticas para sostén de las mismas, (por supuesto considerando un soporte aislante interno para vincular la sección superior e inferior del mástil cuando se utiliza carga en la base o el centro). Todo ello es posible de realizar en la práctica.

Finalmente, la resistencia en el punto de alimentación de la antena será menor que 50 Ohms, esto implica que en resonancia encontraremos algún valor de relación de ondas estacionarias. Exceptuando en la banda de 10 m (para antenas de 2,5 m de longitud), este valor será superior a 1,5 : 1, será mayor cuanto más baja sea la impedancia en el

punto de alimentación. Teniendo en cuenta que la resistencia de radiación tiende a ser muy baja en las frecuencia inferiores, un valor *alto* de ROE en resonancia *ies una buena noticia!*, mientras que un valor bajo es una mala noticia... En efecto, la ROE es mayor cuanto menor sea la impedancia del punto de alimentación y, en condiciones normales, esto sucede cuando disminuye la resistencia de pérdidas, por eso son sospechosas todas las antenas cortas que presentan por si mismas baja ROE en resonancia (no olvide el efecto de las pérdidas del terreno antes de culpar a la antena por la baja ROE).

Puesto que la impedancia del punto de alimentación en resonancia es resistiva puede adaptarse a la impedancia de carga requerida por el trasmisor mediante un transformador de RF (Unun) o un transmatch, pero dadas las características del sistema convendrá evitar el transformador y recurrir a una red adaptadora en "L" constituida por un inductor en serie con la antena y un capacitor en derivación a masa, que ofrecerá pérdidas mucho menores que el transformador. Esta red solo requiere el capacitor, porque el inductor puede sustituirse ajustando la longitud del látigo de manera tal que la antena esté sintonizada por debajo de su frecuencia de resonancia (será "*larga*") y así presentará cierta reactancia inductiva que oficiará de inductor de la red adaptadora, restando solamente conectar un capacitor fijo o tipo trimmer de mica para que trabaje en la red adaptadora. Así, mediante un simple capacitor en la base (que habrá que cambiar para cada banda) se consigue una adaptación prácticamente sin pérdidas.

En VHF

La antena de VHF/UHF móvil, no presenta, felizmente, mayores inconvenientes y, en contraste con sus hermanas mayores de HF, pueden ser muy eficientes.

Hay distintos montajes, pero tratándose de VHF, sabemos que aquellos situados a mayor altura darán, sin la menor duda los mejores resultados.

La antena favorita suele ser una montada en la canaleta que, en Argentina, llamamos "*gotera*" a la altura del techo. Este montaje tiene la desventaja de su asimetría por lo cual puede esperarse un diagrama de radiación no omnidireccional, pero, teniendo en cuenta el pronunciado fadding que sufren las señales por reflejos a medida que el vehículo se mueve, no es un factor importante. Si puede montar la antena en el centro del techo tendrá una radiación más uniforme.

Si considera que en un enlace típico de VHF, duplicar la altura produce un aumento del radiohorizonte del 40 % y una "*ganancia de altura*" de 6 dB, advertirá que montar la antena sobre el baúl o sobre el paragolpes (o parachoques) no será precisamente elección afortunada....

La antena más sencilla es la cuarto de onda, es muy económica pues solo requiere un simple alambre rígido, usualmente de acero (pero que debería ser de alpaca o Copperclad porque el acero es muy mal conductor de la RF).

Casi todos los aficionados se inclinan por una antena de 5/8 alimentada en el extremo, porque otorga alguna ganancia adicional debido a su ángulo de radiación más aplastado, pero usted debe decidirse luego de hacer su propia experiencia.

Existen modelos comerciales bibanda o tribanda para quienes poseen equipos con estas prestaciones y aún algunas colineales con cierta ganancia.

El secreto de la antena móvil para VHF es sobre todo su altura, si usted puede montarla aún más elevada que el techo en un mástil, su estación se distinguirá de la mayoría.

Literatura consultada en este capítulo

RESNICK, Robert, HALLIDAY David , *"Física" (parte II)*. Compañía Editorial Continental, S.A. 1972.

SEARS, Francis. ZEMANSKY, Mark. *"Física"*. Editorial. Aguilar. 1970.

SEARS, Francis. *"Fundamentos de Física III - Optica"*. Editorial Aguilar. 1963.

NIKOLSKY, V. *"Electrodinámica y propagación de ondas de radio"*. Editorial MIR. Moscú..

RAUCH, Charles Jr. (W 8JI), *"Radiation and fields"*. WWW.

"Antenna Book".. ARRL.Press. 2001

Referencias

(1) (BYRON W, *"Short vertical antennas for low bands"*, Ham Radio. Mayo 1983. pag 36 - 40)

Copyright © 2004 - 2005 Miguel Ricardo Ghezzi - LU 6ETJ.- Argentina

[Volver a la página principal](#)

Copyright de los dibujos

David Knight (G3YNH)

Radio Handbook William Orr

Field Antenna Handbook UD Marine Corps USA