

TEORIA DE ANTENAS PARA RADIOAFICIONADOS

Una antena es un conductor de longitud definida que se coloca al final de la línea de transmisión, y que se encarga de transmitir al ambiente, o irradiar, la señal suministrada por el equipo. De todos los elementos de una estación, la antena es el que posee el comportamiento menos predecible, esto debido a que interacciona fuertemente con todo lo que la rodea. Mientras que con un equipo de radio o una línea de transmisión se puede decir con bastante certeza si funcionará o no en una estación dada, con una antena realmente no se tiene plena seguridad hasta que se pone a prueba. Una antena que posee un comportamiento excelente en una estación, puede presentar un comportamiento pobre al trasladarse a otra, o puede suceder a la inversa, una antena que simplemente no trabaja en una estación, puede trabajar perfectamente al trasladarla a otra estación.

Debido a esto, y a la necesidad de aprovechar al máximo la señal que emiten nuestros equipos, es importante el estudio de los principios básicos de las antenas, que nos darán una idea general de cómo se comportan, en qué condiciones sirve una antena dada, y en qué condiciones no sirven.

La antena isotrópica

Sería inútil hablar de antenas si no tenemos algo con que compararlas. Es por esto que se creó una antena imaginaria llamada "*radiador isotrópico*".

El radiador isotrópico es una antena perfectamente omnidireccional, con cero decibeles de ganancia, que irradia la señal en forma de esfera perfectamente uniforme, con la misma intensidad en todas las direcciones.

La *ganancia* de una antena es una medida de su tendencia a concentrar la señal en una dirección específica. Una antena con alta ganancia es altamente direccional, mientras que una antena con baja ganancia es omnidireccional. La unidad para medir la ganancia es el decibel (dB).

El *decibel*, en antenas, es una relación logarítmica entre voltajes, que se usa principalmente para medir ganancia. También el decibel aparece cuando hablamos de dispositivos de audio como medida de la amplificación que brinda un cierto componente. El decibel, dado que es una relación logarítmica, puede tomar valores positivos o negativos.

La antena isotrópica es una antena imaginaria, que no puede fabricarse porque cualquier antena, sin importar que tan perfectamente esté construida, tiene una ganancia dada en alguna dirección. Esa ganancia puede ser de tan solo unas fracciones de dB, pero ahí está presente siempre.

Una antena casi perfecta que también se usa como punto de comparación es el *dipolo estándar* o *dipolo ideal*. Esta antena es un dipolo construido bajo un control estricto de laboratorio, el

cual garantiza que su construcción, sus materiales y su comportamiento son idénticos a un estándar establecido para antenas dipolo. Cuando se opera en condiciones controladas de laboratorio, el dipolo estándar muestra una ganancia de 2.15dB. Como ya se dijo, tanto la antena isotrópica como el dipolo estándar son antenas de comparación. No tienen ninguna utilidad en estaciones reales, debido a lo difícil (o imposible) que resulta construirlas. Su utilidad es principalmente para comparación de otras antenas, principalmente en términos de ganancia. Así, siempre que hablamos de la ganancia de una antena, la comparamos con la del dipolo estándar o radiador isotrópico, y medimos su ganancia en dBi (decibeles sobre el radiador isotrópico) o dBd (decibeles sobre el dipolo estándar).

Por ejemplo, una antena que tiene 10dBi posee 10 decibeles de ganancia por encima del radiador isotrópico: si ponemos a funcionar ambas antenas, el radiador isotrópico exhibirá una ganancia de 0dB, y la antena en cuestión una ganancia de 10dB. También podemos dar la medida en dBd. Si hablamos de 10dBd, estamos diciendo que la antena posee 10dB de ganancia más que el dipolo ideal. O sea, si ponemos a trabajar ambas antenas, el dipolo ideal daría una ganancia de 2.15dB, mientras que nuestra antena daría 10dB más, o sea, 12.15dB.

Para convertir de dBi a dBd empleamos la fórmula $dBi = dBd - 2.15$. En el mercado es común ver ganancias expresadas en dBi, principalmente por el efecto de impacto que tiene ver un número más grande. Para un fabricante que quiere vender sus antenas resulta muy cómodo el dBi, pero para un comprador que quiere saber cómo se comporta una antena, tiene poca utilidad, ya que nos compara la antena con una antena que no existe, que nunca ha existido y de cuyo funcionamiento no tenemos mucha idea, más que la teoría.

Para nosotros, lo mejor sería expresar la ganancia en dBd, lo cual nos compara la antena con una que seguro ya tenemos instalada sobre el techo, el dipolo, dándonos una idea más real de su funcionamiento. De ahí la utilidad de la fórmula anterior.

La ganancia de una antena posee un efecto de multiplicación de potencia. Esta multiplicación es causada por concentración de energía en un solo sentido: en vez que la antena irradie energía en 360°, la irradia toda hacia su parte frontal. Cada 3dB de ganancia que tenga una antena, equivale a duplicar la potencia del transmisor.

Por ejemplo, un transmisor conectado a una antena de 9dBd, que transmita 100W de potencia, tendría un desempeño idéntico a un transmisor de 800W de potencia conectado a una antena dipolo ideal (0dBd). Los primeros 3dB de ganancia duplican los 100W, dando como resultado 200W. Estos se duplican por los siguientes 3dB hasta 400W, y finalmente, estos se duplican hasta 800W con los otros 3dB de ganancia finales. En general: $P_s = P_0 \cdot 2^{G/3}$

Donde P_s es la potencia "simulada" por la antena, P_0 es la potencia suministrada a la antena, y G es la ganancia de la antena en decibeles.

Por ejemplo, en el caso anterior:

$$P_s = 100 \cdot 2^{9/3} = 100 \cdot 2^3 = 100 \cdot 8 = 800W$$



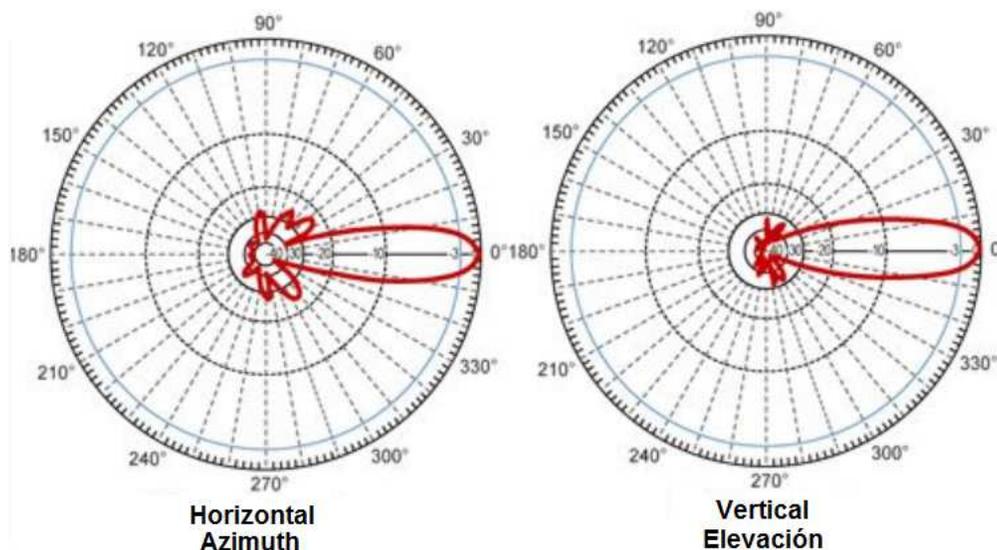
Patrón de radiación de una antena

Cada antena tiene su propia forma de irradiar una señal. Hay antenas que irradian más en una dirección que en otra, hay otras que tienden a irradiar casi por igual en todas las direcciones, y hay antenas que irradian solo en ciertas direcciones.

La forma característica que tiene una antena de emitir la señal es lo que se conoce como *patrón de radiación*. El dipolo de media onda, por ejemplo, tiene un patrón de radiación parecido a la figura de un número ocho, las antenas yagi poseen un patrón elíptico, más elongado hacia el frente.

En un patrón de radiación hay direcciones en las que se emite mucha energía, y direcciones en donde casi no se emite energía. Estos vienen a formar las llamadas direcciones "sordas" de las antenas, donde prácticamente no se reciben señales.

Los patrones de radiación de una antena, por lo general, son brindados por el fabricante en las especificaciones, en forma de gráfico como el siguiente:



El gráfico izquierdo nos muestra el llamado patrón azimutal, que sería la forma de irradiar de la antena si la miramos desde arriba. El gráfico derecho muestra el patrón de irradiación vertical o en elevación, como si miráramos la antena desde el

costado. Los puntos donde la curva (elipse) se aleja más del centro del gráfico son las direcciones que tienen mayor ganancia, mientras que los puntos donde la curva toca el centro, son direcciones de cero irradiaciones.

Estos dos patrones son muy importantes a la hora de seleccionar una antena, el primero nos muestra que tan direccional es la antena, y el segundo nos muestra que tan bajo es su ángulo de irradiación.

Para trabajo de DX, buscamos antenas con alta direccionalidad azimutal y bajo ángulo de irradiación vertical.

En términos generales, el patrón de irradiación de una antena es también su patrón de recepción. Cuando una antena emite, actúa como un lente, concentrando la señal en ciertas direcciones. Cuando una antena recibe, actúa como un embudo, concentrando la señal de solo ciertas direcciones.

Leyes prácticas de las antenas

Existen muchos mitos cuando se trabaja con antenas, algunos basados en observaciones erróneas o subjetivas acerca del rendimiento. Es muy importante tener las siguientes tres reglas presentes siempre que se trabaje con antenas:

No existen antenas mágicas: a una antena se le suministra una cierta cantidad de energía, y la antena irradia siempre una cantidad igual o inferior de energía. No existe antena que amplifique la cantidad de energía suministrada. Las antenas direccionales concentran la energía en una cierta dirección (similar a como lo hace un foco), pero la energía que está irradiando es la misma que se le suministró.

Cualquier dispositivo ajeno a un conductor simple que se introduzca en una antena generará una pérdida: esto significa que las trampas, inductores, capacitores, etc. que se introduzcan en una antena se "comen" parte de la señal internamente. La antena más efectiva siempre es la antena pura, sin trampas, ni bobinas, sin embargo, para longitudes de onda mayores puede resultar un buen cambio el sacrificar un poco de energía para aumentar la cantidad de irradiación de la antena.

Los acopladores no son una solución mágica al ajuste: como veremos, existen dispositivos (sintonizadores, balunes, bobinas, etc.) en el mercado que sirven para "ajustar" una antena y hacerla irradiar en una banda donde normalmente no lo haría. La regla para el uso de estos dispositivos es que éstos no ajustan realmente la antena, solamente hacen que el transmisor crea que la antena está ajustada. Una antena no resonante en una cierta banda, no resonará aunque se coloque un sintonizador entre medio y aunque el medidor de ajuste diga que si está resonando (si colocamos el medidor después del sintonizador, veremos una realidad muy distinta acerca del ajuste).

Impedancia, frecuencia resonante y ROE de una antena

Existen dos características importantes de una antena que se deben tener siempre presentes, su *frecuencia resonante* y su *impedancia*.

La *frecuencia resonante* es la frecuencia a la cual la antena se vuelve eléctricamente resonante, y en la cual existe una cancelación interna mínima de la señal de radio. A esta frecuencia resonante la antena irradia el 100% de la señal que se le proporciona. Normalmente la longitud de los elementos irradiantes coincide con las longitudes de onda resonantes para lograr ese efecto, las cuales son los múltiplos impares de la media onda ($1/2$, $3/2$, $5/2$, etc.). Sin embargo, dependiendo de la antena, pueden usarse otras longitudes con similar éxito.

La *impedancia* de una antena es una especie de resistencia que posee toda antena, y de hecho todo sistema eléctrico, y que se deriva del efecto combinado de resistencia de los elementos, reactancias capacitivas y reactancias inductivas. La impedancia afecta la transferencia de energía entre las diferentes partes de un sistema de radio. En cuanto a impedancia, la regla general es que, para lograr una máxima transferencia de energía a la antena, la impedancia de la antena debe ser igual a la impedancia de la línea de transmisión, la cual debe ser igual a la impedancia del equipo de radio.

La impedancia de nuestro equipo de radio y de la línea de transmisión coaxial es constante, son lo general 50Ω . Por lo tanto, para lograr una transferencia adecuada de energía debemos tener en nuestra antena una impedancia de 50Ω . Esto resulta fácil en algunos casos, pero en otros resulta inusualmente difícil lograr el ajuste, y es necesario emplear sistemas de transformación de impedancias, que son dispositivos que convierten una impedancia a otra para acoplarla a la radio.

El dispositivo acoplador más común es el *balún*, una especie de transformador que convierte impedancias. También existen los *sintonizadores de antenas*, los cuales son acopladores variables, que pueden convertir todo un rango de impedancias a 50Ω .

Una forma de medir el efecto combinado de resonancia e impedancia es mediante la *relación de ondas estacionarias* (ROE o SWR). La ROE es una relación logarítmica obtenida a partir de los voltajes en el cable coaxial, que nos indica el porcentaje de señal que se está reflejando de vuelta hacia el transmisor. En una antena apropiadamente ajustada, la ROE será 1.1:1, y conforme va aumentando el desajuste, se da mayor ROE.

Para equipos de HF de baja potencia (100 - 150W) se ha determinado que una ROE de 1.5:1 o menos es perfectamente aceptable, incluso una de 2:1 puede ser trabajada con algo de cuidado. Por encima de 2:1 la cantidad de energía reflejada se vuelve considerable, nuestra estación se vuelve ineficiente y además podemos provocar daños a nuestro equipo.

El dispositivo usado para medir la ROE se conoce como *medidor de ondas estacionarias*, *medidor SWR* o *roímetro*.

Tipos de antenas

Existen muchos tipos diferentes de antenas disponibles en el mercado. Cada una tiene sus características propias de funcionamiento y sus requerimientos en cuanto a altura, alimentación, etc.

Una antena que irradia básicamente por igual en todas las direcciones se llama *omnidireccional*. La antena que concentra la señal hacia una dirección específica se llama *direccional*.

Antenas verticales

Las antenas verticales, también conocidas como *whips*, son antenas cuyo elemento irradiante se encuentra en posición vertical. Son antenas que ocupan relativamente poco espacio horizontal, lo cual las hace ideales para trabajo en condiciones confinadas, y además son las únicas antenas existentes que no requieren altura considerable sobre el suelo para dar un ángulo de irradiación bajo.

La antena vertical posee dos partes, la primera es un elemento irradiante vertical, el cual puede medir desde 0.25 hasta 0.63 longitudes de onda. La segunda parte es un elemento conductor por donde puede retornar la corriente a la antena.

Esta segunda parte de la antena puede tomar muchas formas, la más comúnmente vista es un juego de tres o más alambres de un cuarto de longitud de onda. Estos alambres se colocan a una altura sobre el suelo que permita darles un ángulo de 45° aproximadamente (necesario para un ajuste apropiado de impedancia), y se conocen como *plano de tierra* o *counterpoise* en inglés.

Si la antena se coloca a muy baja altura, los alambres del plano de tierra pueden ir en posición horizontal sobre el suelo, lo cual funciona igual de bien que a 45°, pero puede hacer un poco más difícil el ajuste, debido a que la impedancia de la antena diferirá de lo 50Ω requeridos.

En terreno con muy buena conductividad (por ejemplo, en las costas de los ríos) el plano de tierra puede ser sustituido por el mismo suelo utilizando una jabalina de puesta a tierra. Esto da muy buenos resultados, debido a que proporciona un plano de tierra prácticamente infinito que minimiza las pérdidas en corriente de retorno hacia la antena.

Algo similar ocurre en los techos metálicos de las casas, donde el plano de tierra puede ser sustituido por las mismas chapas del techo, utilizando tornillos apropiados para realizar la sujeción. La longitud del whip puede ir, como se dijo, de 0.25 a 0.63 longitudes de onda, cuanto mayor sea, más energía irradiará la antena. Las longitudes naturalmente resonantes de la longitud de onda son puntos ideales para ubicar la longitud, ya que en estos puntos la ROE de la antena ajusta en un punto muy cercano a 1:1. Por encima de 0.63 longitudes no se recomienda fabricar antenas, dado que se vuelve difícil su ajuste debido a diferencias en impedancia que ocurren a causa de la longitud del whip.

La principal desventaja de la antena vertical resulta ser su patrón de irradiación omnidireccional, el cual no solo irradia energía hacia zonas inútiles del planeta donde no se ubican estaciones que queramos comunicar, sino que también permite la entrada de ruido de direcciones ajenas a que nos interesa. Adicionalmente al ser vertical, la antena posee una polarización similar a la que posee naturalmente el ruido eléctrico, lo cual la

hace más propensa a recibir este tipo de ruidos que una antena horizontal.

Antenas horizontales

La mayoría de antenas direccionales en bandas de radioaficionados resultan ser antenas horizontales. Una antena horizontal es una antena cuyo plano de dirección se encuentre en posición horizontal respecto al suelo.

Las antenas horizontales deben ubicarse como mínimo a media longitud de onda sobre el suelo para asegurar su funcionamiento óptimo, idealmente ubicándolas a una longitud de onda sobre el suelo. Por debajo de la media longitud se producen interacciones entre el suelo y la antena, las cuales le restan eficiencia y direccionalidad, y aumentan su ángulo de irradiación.

Yagi

La antena yagi es una de las antenas direccionales más utilizadas en bandas de radioaficionados. Su nombre deriva del apellido del científico japonés que la diseñó originalmente.

La yagi consiste en un elemento tipo dipolo que irradia la señal. Detrás de este elemento se ubica uno más largo que refleja la señal hacia el frente, y es conocidos como reflector. Por delante del elemento irradiante también se pueden ubicar elementos ligeramente más cortos, que se conocen como directores y sirven para darle mayor direccionalidad a la señal reflejada.

Las yagis son fabricadas para longitudes que van desde los 80m hasta los 70cm o menos. En longitudes muy cortas son especialmente populares las yagis con gran cantidad de directores, especialmente para trabajo de satélites y comunicaciones espaciales.

La yagi puede tener una ganancia que va desde valores muy bajos hasta valores superiores a los 10dBi, dependiendo de la cantidad de reflectores y directores que posea.

Loops

Los loops son antenas cerradas, generalmente fabricadas con alambre, que tienen una longitud de onda completa. Existen muchas configuraciones de loops, siendo las más populares el loop cuadrangular (o cúbico) y el loop triangular (o delta).

Aunque pueda parecer que el loop forma un cortocircuito entre los dos terminales del equipo de radio, en realidad lo que ocurre es que la corriente al encontrarse un conductor resonante, empieza a irradiar, dando su funcionamiento a la antena.

Cuando el loop se ubica en posición vertical, la irradiación ocurre con mayor direccionalidad en un plano perpendicular al del alambre.

Los loops son ideales para trabajar bandas de mayor longitud, y pueden resultar especialmente útiles en 160 y 80 metros, cuando no se tiene suficiente terreno para colocar un dipolo o un alambre largo de un cuarto de longitud de onda.

Contrario a la creencia popular, los loops y sus antenas derivadas tienen el mismo requisito de altura de media longitud de onda sobre el suelo que tiene cualquier otra antena horizontal. Sin

embargo, en los loops el efecto de una altura baja es ligeramente menos pronunciado.

Para una frecuencia dada, entre un loop triangular y un loop cuadrangular, el loop cuadrangular es superior debido a que encierra mayor área. En general, entre mayor área encierre un loop, más efectivo será. El loop ideal sería circular, sin embargo, resulta bastante difícil (o imposible) de construir con alambre.

Cuadracúbicas o cuadrangular cúbica

La antena cuadracúbica (cubical quad) es una antena derivada de la antena loop. En general consiste en un loop irradiante, con loops reflectores por detrás y loops directores al frente. Es, en cierta forma, una antena yagi fabricada a partir de loops.

Una ventaja que tiene la cuadracúbica es que ocupa menos espacio que una antena yagi, y generalmente se fabrica con un único elemento irradiante y elemento reflector. Su ganancia es similar a la de una yagi, y se puede fabricar en tipo multibanda sin afectar considerablemente sus dimensiones.

Adicionalmente la antena cuadracúbica tiene la ventaja de absorber menos ruido que otras antenas, debido precisamente al circuito que forma su elemento irradiante/receptor.

El dipolo de media onda

La antena más simple de fabricar, y la más popular entre radioaficionados principiantes resuelta ser el *dipolo de media onda*.

El dipolo de media onda es una antena formada por dos brazos de un cuarto de longitud de onda (dando la longitud total de media onda), los cuales pueden colocarse en posición horizontal o inclinados hacia abajo. Estas posiciones le dan los nombres de "*dipolo extendido*" y "*V invertida*" respectivamente.

Los brazos se encuentran aislados uno del otro por algún material no conductor. Si la antena se fabrica usando tubería de aluminio, este material suele ser PVC o madera, mientras que en antenas fabricadas con alambre conductor se utilizan mucho los aisladores cerámicos o de plástico.

La longitud total que debe tener un dipolo de media onda se calcula mediante la siguiente fórmula: $l = (300 / f) \times 0.475$
Donde l está en metros y f en MHz. Si queremos la longitud de cada brazo, debemos dividir el resultado anterior por 2.

La fórmula anterior resulta ser precisamente la fórmula básica de longitud de onda, modificada por un factor de 0.475. Este factor de 0.475 está compuesto de dos números: $0.95 / 2$

La explicación del número 2 es simplemente que el dipolo mide media longitud de onda de largo. La ecuación de longitud nos da la longitud completa de onda, y debemos dividirla entre dos para obtener la media onda.

El 0.95 es un factor que se introduce para corregir un efecto eléctrico que se produce en el dipolo, conocido como *efecto de puntas*. El efecto de puntas es un efecto que hace que, para la señal de radio, el alambre sea más largo de lo que realmente es,

por lo general en un valor que anda alrededor de 5%. El 0.95 busca precisamente restar ese 5% de exceso a la longitud calculada y dar la longitud resonante correcta.

Puede ser o no necesario incluir el factor 0.95 a la hora de fabricar una antena dipolo, dependiendo de las condiciones y ubicación que se le den a la antena. Lo mejor es, a la hora de calcular la longitud de los brazos, cortarlos a una longitud no corregida, y posteriormente recortarlos si fuera necesario para lograr la resonancia deseada. Es preferible fabricar una antena larga y luego recortarla, que fabricar una "eléctricamente correcta" y encontrarse luego con que está demasiado corta, y sin forma de alargarla para lograr el ajuste.

El dipolo, como antena horizontal, debe ubicarse a media longitud de onda sobre el suelo, u óptimamente a una longitud de onda completa. Normalmente su impedancia es lo suficientemente cercana a 50Ω para no tener que emplear sistemas de acople de impedancias.

Antenas parabólicas

Un tercer tipo de antena, que puede clasificarse a parte de las verticales y horizontales, son las parabólicas. Estas son antenas que poseen forma de parábola (curva circular) y que se utilizan en situaciones donde se requiere una muy alta direccionalidad de la señal.

Las antenas parabólicas constan de dos partes: un plato curvo, que actúa como reflector para direccionar la señal, y un emisor que por lo general se ubica a una distancia sobre el plato. El emisor envía la señal hacia el plato, en donde se refleja y se direcciona hacia su destino.

Por lo general las antenas parabólicas se fabrican para bandas de 70cm hacia abajo, en donde los equipos de alta potencia son bastante caros y resulta más viable utilizar alta ganancia con baja potencia que la situación inversa. Además, para que una antena parabólica sea efectiva, el tamaño del reflector utilizado debe ser muy semejante o superior a la longitud de onda utilizada, lo cual hace las antenas parabólicas demasiado grandes para emplearse en bandas de mayor longitud.

Las antenas parabólicas se utilizan mucho en comunicaciones satelitales y enlaces de alta frecuencia para telecomunicaciones. Reciben poco uso por parte de los radioaficionados, debido a su alto costo y requerimientos funcionales en cuanto a rotores, mecanismos de control, etc.