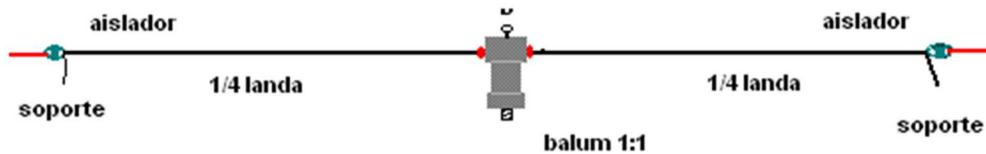


DIMENSIONES DE DIPOLOS SIMPLES PARA BANDAS DE RADIOAFICIONADOS



Antena

Es un dispositivo físico, compuesto por un material conductor capaz de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma las señales enviadas a la línea de alimentación por un generador, en forma de ondas electromagnéticas, para ser enviadas hacia el espacio; y la antena receptora realiza el proceso inverso, cumpliendo con el teorema de reciprocidad. Una antena es también un acoplador de impedancias entre la línea guía ondas y el espacio libre. La longitud de onda influye en el tamaño de las antenas, pues de ella depende en gran medida todas y cada una de las características de la antena. La onda electromagnética viaja en el espacio a una velocidad cercana a los 300000 kilómetros por segundo, dependiendo del medio en que lo hace, por lo que podemos calcular que una onda de radio demora aproximadamente 1/7 de segundo para dar la vuelta al mundo, siguiendo las líneas del círculo máximo. El concepto de la onda se desarrolla porque una corriente eléctrica alterna fluye a través de un alambre (antena) moviendo así campos eléctricos y magnéticos. Esta onda tiene un largo específico, llamado longitud de onda que se representa por la letra griega (λ), y es la medida en que una emisión de onda, en una frecuencia dada con respecto al largo físico de la antena, la mantienen en resonancia. La ecuación para calcular el largo de onda completa puede ser resumida como sigue:

$$\lambda = \frac{300}{f \text{ Mhz}} = \text{metros}$$

Dónde:

f = a la frecuencia en MHz

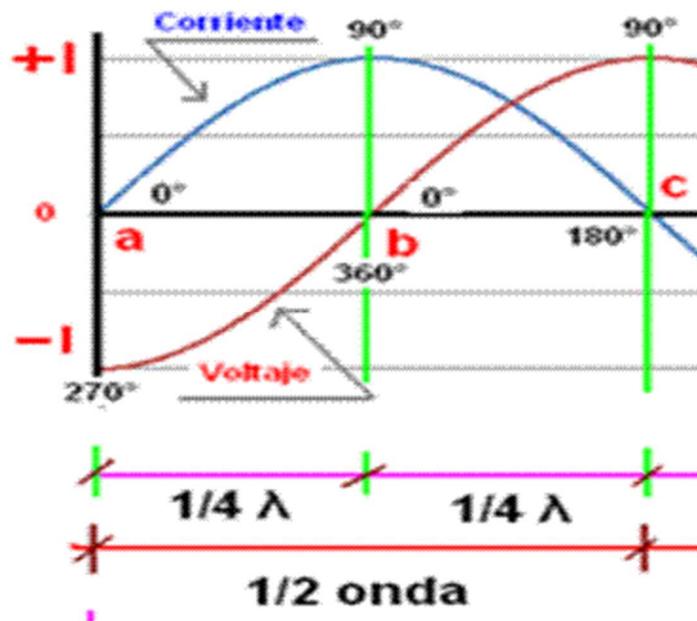
Longitud de onda completa = longitud en metros

Longitud física y longitud eléctrica

Es preciso aclarar que la longitud física o geométrica de un elemento varía ligeramente con respecto a la longitud eléctrica del mismo. La longitud eléctrica se ve afectada debido a la presencia de elementos metálicos, su cercanía con respecto al suelo, y fundamentalmente a causa del diámetro del elemento usado

para construir la antena. Un elemento de gran diámetro afecta de manera diferente que uno de menor diámetro, debido a la presencia de variables capacitivas invisibles.

En su versión más sencilla, el dipolo consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro, y de radio mucho menor que el largo. La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del dipolo, y puede calcularse como $150/\text{frecuencia}$ (MHz). El resultado estará dado en metros. A causa del efecto de puntas, la longitud real será algo inferior, del orden del 95% de la longitud calculada. Por ejemplo: para obtener una antena resonante en la banda de 10m, a la frecuencia de 28,9MHz, el dipolo tendrá teóricamente 5,21 metros de largo. En la práctica, el largo real físico del dipolo será algo menor, del orden de 4,95m. La longitud real del dipolo a la frecuencia de resonancia dependerá de muchos otros parámetros, como el diámetro del conductor, o bien, la presencia de otros conductores en su proximidad. En el espacio ideal y a una distancia de la tierra mayor a varias longitudes de onda, la impedancia del dipolo simple es de 73Ω .



Si a esta fórmula la dividimos entre 2 y la multiplicamos por un factor de acortamiento, tenemos que, la longitud física de una antena dipolo de media onda se puede expresar mediante:

$$L = k (300/2f)$$

Por lo tanto, para un dipolo, la longitud física será:

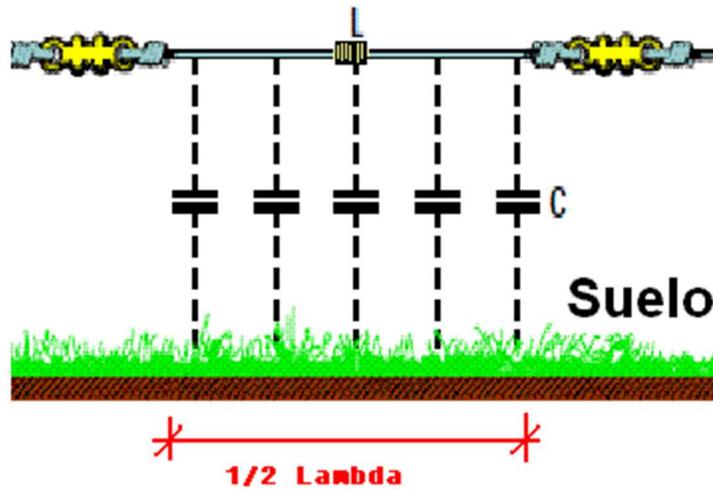
$$L = k (150/f)$$

Donde:

L = longitud física del dipolo de media onda (metros)

f = frecuencia empleada (MHz)

k = factor de relación semi longitud diámetro del elemento de antena.



En el estudio de las líneas de Tx se observó que la longitud de onda en la línea era menor que la longitud de onda correspondiente a una señal de la misma frecuencia, pero viajando en el espacio libre. Y esta diferencia era provocada por las distintas velocidades de propagación. En la antena sucede una situación similar, provocada por la presencia misma de la antena en la vecindad del suelo y otros conductores, contribuyendo también los soportes de aislamiento, con lo cual se introducen capacitancias que afectan la velocidad de la onda en la antena. Se denomina longitud eléctrica a la calculada utilizando la longitud de onda en el espacio libre. La longitud física es la longitud real que debe tener la antena, de acuerdo a la explicación anterior. Obviamente ésta es más corta que la longitud eléctrica. Este acortamiento es a menudo referido como efecto de puntas (end effect). El valor de k va a variar de acuerdo a la longitud del dipolo dividida entre el diámetro del material utilizado en la antena de acuerdo a la tabla siguiente:

Relación L/d	k	Relación L/d	k	Relación L/d	k	Relación L/d	k
10	0.925	45	0.955	200	0.967	3000	0.974
15	0.935	50	0.956	300	0.968	4000	0.975
20	0.940	60	0.960	400	0.969	5000	0.976
25	0.945	70	0.962	500	0.970	6000	0.977
30	0.950	80	0.963	1000	0.971	7000	0.978
35	0.952	90	0.964	1500	0.972	8000	0.979
40	0.954	100	0.965	2000	0.973	9000	0.980

Como puede apreciarse en la gráfica anterior, los valores de k son variables de acuerdo a la relación longitud del dipolo entre el diámetro del mismo. L/d.



Por lo tanto la longitud total de un dipolo de media onda viene dada por la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{2} \text{ lambda} = \frac{150 \times k}{f \text{ Mhz}} = \text{metros}$$

Fórmula para calcular la longitud de un dipolo 1/2 lambda, 1/4 de lambda por cada lado del dipolo.

Para calcular el valor de esa relación tenemos, por ejemplo, un dipolo para 7.080MHz construido con tubo de 0.05mts de diámetro. Tenemos:

$$L = k (150/f) \text{ longitud del dipolo}$$

$$L = (150/7.080) = 21.18 \text{ metros.}$$

$$\text{Diámetro} = 0.05\text{mts.}$$

$$\text{Relación longitud diámetro} = 21.18 / 0.05 = 423$$

Buscamos el valor L/d más cercano en la tabla a 423 y encontramos el de 400 que nos da un valor de k =0.969, por lo que sustituimos en la fórmula $L = k (150/f)$ por $L = 0.969 \times (150 / 7.080) = 20.52\text{m.}$ será la longitud de nuestro dipolo de 5cm de diámetro para 7.080MHz. Ahora, si ese mismo dipolo lo hiciéramos con un alambre de 2.5mm tenemos:

$$L = k (150/f)$$

$$\text{Longitud del dipolo } L = (150 / 7.080) = 21.18\text{metros}$$

$$\text{Diámetro } 0.0025\text{mts.}$$

$$\text{Relación longitud diámetro} = 21.18 / 0.0025 = 8,472$$

Buscamos el valor L/d más cercano en la tabla a 8,472 y encontramos el de 8,000 que nos da un valor de k=0.979, por lo que sustituimos en la fórmula $L = 0.979 \times (150 / 7.080) = 20.74\text{m.}$ será la longitud de nuestro dipolo de 2.5mm de diámetro para 7.080MHz. Como podemos apreciar, el dipolo de tubo de 5cm de diámetro tiene menor longitud que el dipolo de alambre de 2.5mm, esto se debe a que presenta mayor capacitancia con respecto al suelo, al tener mayor diámetro el elemento. Por lo tanto, este efecto comprueba que la longitud física y la longitud eléctrica de la antena tienen diferentes valores. Aunque físicamente tiene una longitud menor, eléctricamente tiene una longitud de onda. Por lo tanto

$k = (\text{velocidad de la onda en la antena} / \text{velocidad en el espacio libre}; 3 \times 10^8 \text{m/seg}).$

Si la longitud de tu antena no te resuena con estas fórmulas, eso nos indica que la impedancia de tu antena no corresponde con la del equipo, y por ello verás una relación de ondas estacionarias. Por ejemplo, un dipolo horizontal tendrá una impedancia de 75Ω . Es por ello $75\Omega / 50\Omega = 1.5$, esta ROE de 1.5 la puedes corregir con un transformador de impedancias, ya sea un balun de 1.5:1 o un gamma match, y no modificando la longitud de la antena; otra manera sería cambiando la inclinación de tu dipolo, o de los radiales (si es que se trata de una antena vertical), hasta que logres obtener una relación 1:1. Pues no es lo mismo poner un transformador de impedancias en la antena, que acoplar la antena con un atenta radios (antena tuner). Toma en cuenta que si varías la inclinación de tu antena variará también su lóbulo de radiación y por lo tanto la ganancia en ciertas direcciones cambiará.

El error más frecuente es, a la hora de hacer una antena, acortar la antena o alargarla, y se les olvida tomar en cuenta las impedancias que presenta dicha antena, debido a su cercanía con respecto a suelo o a objetos metálicos, y empiezan modificando las longitudes físicas de la antena, o sea sacándola de resonancia y después no conformes con ello, creen que eso lo pueden corregir alargando o acortando las líneas de alimentación. Una antena de 300Ω desde luego que nos generará ondas estacionarias, mas todos sabemos que eso se corrige con un transformador de impedancias, ya sea balun, gamma, o sistemas de transformación con líneas, estos elementos, aunque están dentro de las antenas, no quiere decir que formen parte de ellas.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE ALAMBRES DE COBRE									
Calibre	Area de la sección transversal	Diámetro	Peso	Temple duro		Temple semiduro		Temple suave	
				Número de producto	Carga de ruptura	Número de producto	Carga de ruptura	Número de producto	Carga de ruptura
AWG	mm ²	mm	kg / km		N		N		N
18	0.823	1.02	7.32		379		300		218
16	1.31	1.29	11.6		601		471		346
14	2.08	1.63	18.5		947		739		552
12	3.31	2.05	29.4		1505		1158		877
10	5.26	2.59	46.8		2341		1815		1394
8	8.37	3.26	74.4		3681		2845		2134
6	13.3	4.11	118		5718		4521		3391

dBd y dBi

La relación de ganancia expresada en dBd y dBi viene dada por la fórmula: $G_{dBi} = G_{dBd} + 2,15$; donde: G_{dBd} = Ganancia en dB de una antena comparada con una antena de referencia del tipo de dipolo de 1/2 onda.

G_{dBi} = Ganancia en dB de una antena comparada con una antena de referencia del tipo ficticia denominada isotrópica que distribuye la energía en todas las direcciones.

Por ejemplo, una antena con ganancia de 9dBi es equivalente a emplear una referida a un dipolo de 1/2 onda de tan solo 6,85dBd, por lo tanto, $9\text{dBi} = 6,85\text{dBd} + 2,15$.

Tabla de medidas para construir dipolos para las bandas de radioaficionados

Frecuencia en Mhz	Banda en mts	Longitud onda completa mts.	velocidad de la luz	factor $k=L/2D$ relación long-diametro	Longitud eléctrica $1/4\lambda$ metros	Longitud física $1/4\lambda$ metros de cada lado
1.83	160	163.93	300.00	0.95	40.98	38.93
1.84	160	163.04	300.00	0.95	40.76	38.72
1.85	160	162.16	300.00	0.95	40.54	38.51
3.50	80	85.71	300.00	0.95	21.43	20.36
3.60	80	83.33	300.00	0.95	20.83	19.79
3.70	80	81.08	300.00	0.95	20.27	19.26
3.80	80	78.95	300.00	0.95	19.74	18.75
7.03	40	42.67	300.00	0.95	10.67	10.14
7.08	40	42.37	300.00	0.95	10.59	10.06
7.10	40	42.25	300.00	0.95	10.56	10.04
7.15	40	41.96	300.00	0.95	10.49	9.97
7.20	40	41.67	300.00	0.95	10.42	9.90
10.10	30	29.70	300.00	0.95	7.43	7.05
14.05	20	21.35	300.00	0.95	5.34	5.07
14.10	20	21.28	300.00	0.95	5.32	5.05
14.15	20	21.20	300.00	0.95	5.30	5.04
14.20	20	21.13	300.00	0.95	5.28	5.02
14.25	20	21.05	300.00	0.95	5.26	5.00
18.07	17	16.60	300.00	0.95	4.15	3.94
21.10	15	14.22	300.00	0.95	3.55	3.38
21.25	15	14.12	300.00	0.95	3.53	3.35
21.30	15	14.08	300.00	0.95	3.52	3.35
24.89	12	12.05	300.00	0.95	3.01	2.86
26.50	11	11.32	300.00	0.95	2.83	2.69
27.00	11	11.11	300.00	0.95	2.78	2.64
27.50	11	10.91	300.00	0.95	2.73	2.59
28.00	10	10.71	300.00	0.95	2.68	2.54
28.57	10	10.50	300.00	0.95	2.63	2.49
29.68	10	10.11	300.00	0.95	2.53	2.40
52.10	6	5.76	300.00	0.95	1.44	1.37
146.00	2	2.05	300.00	0.95	0.51	0.49
147.00	2	2.04	300.00	0.95	0.51	0.48
435.00	0.70	0.69	300.00	0.95	0.17	0.16
1,230.00	0.25	0.24	300.00	0.95	0.06	0.06

Tabla de longitudes de cada lado de dipolos con un valor $k=5$, donde $1 - 0.05 = 0.95$, para construir tu dipolo selecciona la frecuencia de la primer columna y toma la longitud de la última columna que será la medida para cada brazo del dipolo.

Acortamiento eléctrico

La longitud real de un dipolo respecto a su homólogo ideal es un 5% menor. A ese efecto de puntas se lo llama acortamiento eléctrico y es acorde a la relación longitud-diámetro del dipolo. Para frecuencias inferiores a 30MHz, el factor de velocidad (o de acortamiento) se considera para propósitos prácticos, de 0.95 (un 5 % más corta). Realmente se debe tomar en cuenta el diámetro del conductor con el que se fabrica la antena, sobre todo a frecuencias mayores.

¿Cable desnudo o recubierto?

En nuestras pruebas, el utilizar cable desnudo en el dipolo es bastante coincidente con las fórmulas estándar, aunque si utilizas cable recubierto, el efecto dieléctrico del cable te hará recortar la antena en bastante longitud a la frecuencia deseada, aunque creas lo contrario, a mayor grueso del forro, más corta la antena.

Propiedades eléctricas

Tensión y corriente

En la frecuencia de resonancia del dipolo, el punto medio es un nodo de tensión y un vientre de corriente. Quiere decir que: "la corriente media en el centro del dipolo es máxima, y decrece hasta llegar a cero en los extremos", mientras que "la tensión media es cero en el centro, y va aumentando hasta ser máxima en los extremos del dipolo".

Diagrama de radiación

La antena dipolo no irradia en todas las direcciones con la misma potencia; se dice entonces que es una antena direccional. En la dirección en la cual irradia con la máxima potencia, la onda electromagnética tiene una potencia de 2,2dB por encima del promedio. Se llama ganancia de un dipolo a esa relación de 2,2dB entre la potencia irradiada en la dirección más favorecida, y la potencia promedio. En otras direcciones, lógicamente, el dipolo debe irradiar una energía inferior al promedio; la antena dipolo no genera potencia.

Polarización

Cuando la antena dipolo es paralela al plano de la tierra, la componente eléctrica de la onda es paralela al plano de la tierra: se dice que tiene polarización horizontal. Cuando la antena dipolo es perpendicular al plano de la tierra, la componente eléctrica de la onda es emitida perpendicularmente al plano de la tierra: se dice que tiene polarización vertical. En HF, y en VHF, en clase de emisión banda lateral única, se prefiere la polarización horizontal, y en VHF en clase de emisión frecuencia modulada, la polarización vertical.

Impedancia

La impedancia de un dipolo de base y en el espacio ideal es de 73Ω en su punto de alimentación, ya que a medida que se aleja del centro, aumenta considerablemente la impedancia de la antena. En la práctica, la impedancia real será una función importante de la altura. La impedancia característica de un dipolo replegado y en el espacio ideal, es de 300Ω ; claro que también dependiendo de la altura a la que se encuentre la antena, conforme aumente la altura aumenta la impedancia hasta cierto punto. O bajando la antena puedes llegar a los 125Ω .

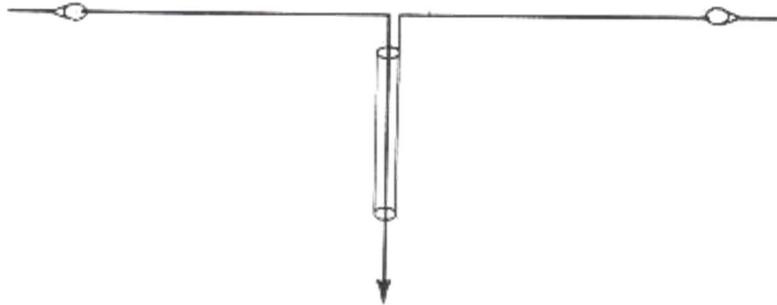
Dipolo en V invertida

Cuando el espacio disponible no permite extender el dipolo horizontalmente en toda su longitud, se puede adoptar la configuración de las antenas dipolo en "V invertida", que son una buena solución y que presenta incluso algunas ventajas frente al dipolo horizontal. Esta antena se instala utilizando un solo mástil, que la sustenta por su centro o suspendida de una driza. Con un ángulo de 90 grados en el vértice entre las ramas, esta antena presenta un diagrama de radiación prácticamente omnidireccional, ángulos de salida bajos y una impedancia próxima a los 50Ω , que la hace apta para ser alimentada con cable coaxial. Es un dipolo cuyos brazos han sido doblados el mismo ángulo respecto del plano de simetría. Tiene la forma de una V invertida, de ahí su nombre. La realización exige algunas precauciones. Autores como Brault y Piat recomiendan que el ángulo de la V no sea inferior a 120 grados, y que los extremos de la V estén lo más lejos posible del suelo; la proximidad de los extremos a la tierra induce capacidades que alteran la frecuencia de resonancia. El dipolo en V invertida es sumamente apreciado por los radioaficionados que transmiten en expediciones, porque con un simple mástil de unos nueve metros, un poco de cable y de cuerda de nylon, es posible instalar rápidamente una antena transportable, liviana, y poco voluminosa. La antena dipolo es la más sencilla que se puede construir y está derivada de la forma fundamental de antena formada por un solo conductor, cuya longitud es igual a la mitad de la longitud de onda de la señal transmitida. Esta antena está formada por dos conductores cuya longitud total es igual a la longitud de media onda de la señal. Los conductores están aislados en los extremos de cualquier superficie conductora y separada en el centro por otro aislador. De estos dos terminales centrales se conecta la línea de transmisión que va al equipo. Debido a que cada banda de HF (160m, 80m, 40m, 20m, 10m, etc.) tiene una longitud de onda diferente, necesitaríamos una antena dipolo para cada una de ellas, lo que ocuparía mucho espacio y haría muy difícil su conexión al transmisor. Para superar esta dificultad, se pueden construir antenas dipolo multibanda, es decir, que funcionen en todas las bandas y que tengan una sola línea de transmisión. Existen básicamente dos formas para fabricar una antena dipolo multibanda: en el primer caso se instalan varios dipolos utilizando los mismos mástiles o soportes y el mismo cable coaxial; y en el segundo caso

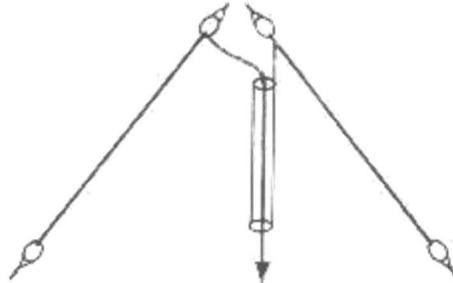
se utiliza un solo alambre y el sistema de trampas sintonizadas, las cuales corresponden a una serie de bobinas y condensadores.

Algunas configuraciones de dipolos

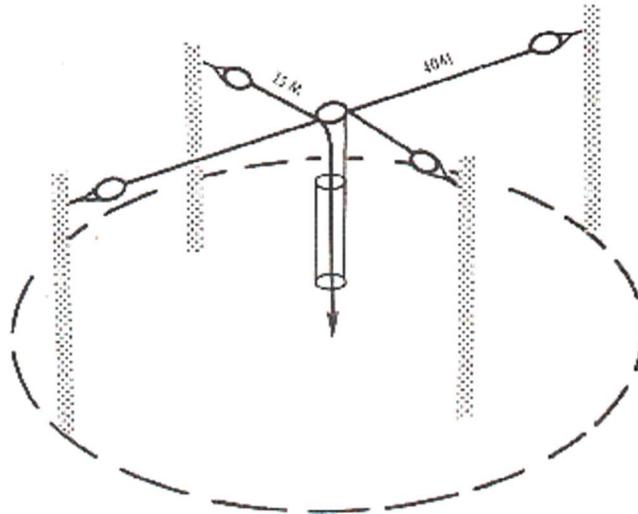
Monobanda simple - Polarización horizontal



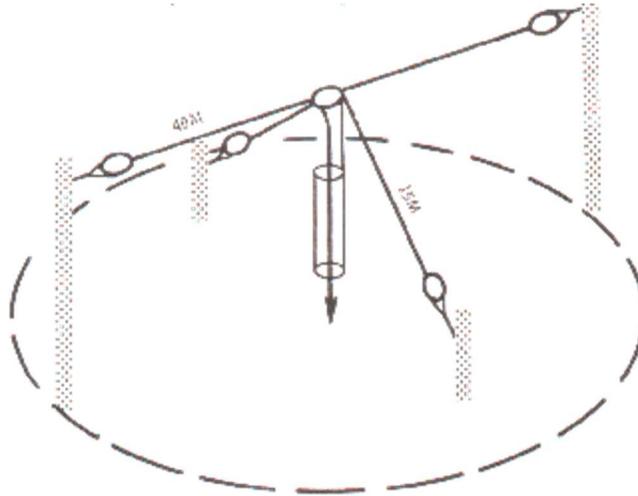
Monobanda simple en V invertida - Polarización vertical



Doble banda - Polarización horizontal



Doble banda - Polarización mixta



Influencia del material utilizado para la construcción de la antena

La resistencia al paso de la corriente en los diversos materiales influye en el rendimiento de la antena. Por ejemplo, si tenemos una antena con alambre de cobre, tendrá 0,1dB más de ganancia que una hecha con alambre de aluminio, y si esta se construye con acero, bajará su rendimiento en más de 3dB.

Ahora el diámetro del conductor influye también en la ganancia de la antena. Si tenemos una antena de alambre y otra hecha con tubo, se notará que en la antena hecha con tubo tendrá más ancho de banda a cambio de perder 0.15dB, lo cual es muy poco, sobre todo si la antena la usamos para frecuencias bajas, puesto que, si tenemos una antena para altas frecuencias con un conductor muy grueso, o sea que su relación longitud diámetro sea muy pequeña, ahí sí es contraproducente utilizar diámetros muy gruesos.

Como conclusión, las antenas de alambre son más económicas, tienen mejor ganancia de acuerdo a lo antes expuesto, y las antenas hechas con tubos de aluminio tienen la ventaja de ser más ligeras en peso que las hechas con tubo de cobre, y sobre todo, el costo del aluminio es más barato que el cobre. A partir de este análisis podrás decidir qué tipo de material utilizarás para la construcción de tus antenas en función de propiedades, costo y frecuencia del espectro.

Consideraciones mínimas para el buen desempeño de un dipolo

Cada segmento debe ir aislado en sus extremos: el punto de ataque o toma de coaxial irá al centro.

Cada brazo debe medir 1/4 de onda con respecto a la frecuencia central de trabajo.

La altura mínima desde la superficie del suelo, también será de 1/4 de onda.

La longitud del cable coaxial deberá ser igualmente un múltiplo aproximado de 1/2 longitud de onda, multiplicado por su factor de velocidad.

En el punto de ataque es conveniente situar un balún de relación 1:1.

Para ajuste de la ROE, se deberá acortar o alargar levemente los elementos, o variar el ángulo de caída de los mismos.

Reglas básicas:

A mayor altura del dipolo, ángulo de radiación más bajo y mayor ganancia.

A mayor despeje de elementos circundantes, menor alteración a los lóbulos de disparo, mayor ganancia.

A mayor grosor del cable irradiante utilizado, mayor anchura de banda, ajuste menos crítico.

La altura respecto al suelo modifica lo siguiente:

La impedancia de la antena, baja de acuerdo a la altura de la antena y sube a mayor altura de la misma, por lo tanto, varía el SWR y la ganancia.

Una antena dipolo a poca altura, tiene un lóbulo de radiación muy omni-direccional, muy bueno si lo que quieres es trabajar estaciones a nivel regional, obteniendo una ganancia de 5.75dBi en el plano horizontal, muy por abajo de los 7.7dBi si estuviera a $1/2$ lambda de altura.

Su ángulo de radiación vertical es muy alto a baja altura de antena con respecto al suelo, con un lóbulo de radiación muy omni-direccional.

Bajando las puntas del dipolo se logra bajar la impedancia de la antena de 75Ω a 50Ω . Un ángulo entre hilos de unos 90 a 120 grados puede ser una abertura adecuada.

A mayor altura de antena, mayor longitud eléctrica del dipolo y a menor altura, menor longitud del dipolo, variando hasta un 3% en su longitud eléctrica.

Un dipolo a una altura de $1/2$ lambda tiene un diagrama de radiación muy eficiente con un ángulo de radiación vertical cercano a los 27 grados, muy bueno para el DX.

Cuando se utilizan conductores de gran diámetro, baja la impedancia de la antena en unos cuantos ohmios, por lo tanto, la ROE también baja casi insignificante, al variar la impedancia nos da la impresión de que los elementos deberán ser por lo tanto eléctricamente más cortos. Debido a la relación longitud - diámetro, los lóbulos de radiación se mantienen constantes, pero lo que sí varía significativamente es el ancho de banda a partir de la frecuencia resonante.

Un dipolo horizontal tiene una impedancia alrededor de 67.75Ω , por lo cual $67.75/50\Omega$ nos arrojará una $ROE=1.36$, que podrían corregir con un balún de 1.36:1, para que con él, quede la ROE 1:1 cuando está cerca de $1/2$ lambda, y de unos 86Ω a $1/4$ de lambda con ROE de $86.81\Omega / 50\Omega=1.74$ SWR, balún óptimo 1.74:1.

La ganancia al frente o espalda del dipolo estará en unos 7.66dBi o $7.66-2.15= 5.51$ dB, y por los costados será menor, en 11dBi $G_{max}-G=7.7-(-3.3)=11$ dBi cuando se tiene la antena a media lambda de altura con respecto al suelo.

La ganancia del dipolo horizontal a baja altura con respecto al suelo puede perder varios dB de ganancia en antena. La resistencia de radiación de una antena con una longitud igual a un número n de

medias longitudes de onda se puede determinar a partir de: $R = 73 + 69 \log n$.

La altura de la antena respecto al suelo conductor es un factor importante que afecta la resistencia de radiación: algunas ondas radiadas son reflejadas por este. Estas ondas, al regresar a la antena inducen una corriente cuya magnitud y fase dependen de la distancia entre la antena y el suelo. Si llegan en fase habrá más radiación (y R será mayor); sucede lo contrario si llegan en oposición de fase. El resultado es una serie de variaciones respecto al valor de R con la antena situada en el espacio libre. Como la componente reflejada es la más débil, el rango de la fluctuación disminuye a medida que la antena se separa del suelo. Esta variación es mayor cuando la antena se coloca en posición horizontal.