

## LA ANTENA FUNCIONANDO COMO CARGA

Una antena, en su concepción de transmisora o radiant, presenta en sus terminales de entrada, una carga compleja a la línea de transmisión a la que está conectada, compuesta de una resistencia pura y una reactancia añadida que bien puede ser inductiva por la presencia de una inductancia en dicha antena, o capacitiva por la presencia de una capacidad. A este conjunto, le llamamos IMPEDANCIA DE ENTRADA y lo representamos como un número complejo

$$Z_e = R_e \pm jX_e$$

Siendo  $R_e$  la componente resistiva presente en los terminales de entrada y  $X_e$  la reactancia en los mismos terminales.

La resistencia y la reactancia se suman vectorialmente, Es de cir, Cada una de ellas se representa por un vector. El de la reactancia está desplazado 90 grados del de la resistencia, tal como se muestra en la figura 1.

?

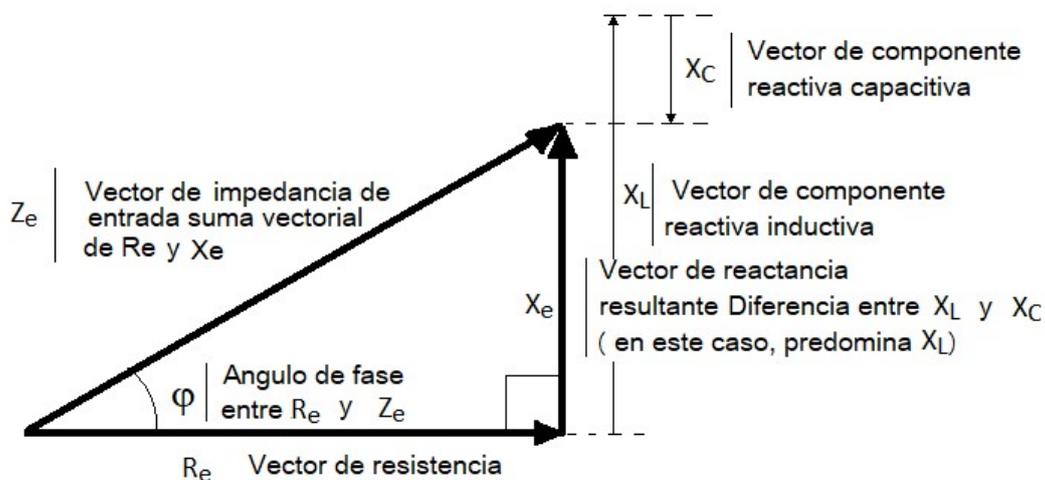


Figura 1

Esta suma y su resultado, conforman el llamado “triángulo de impedancia” de la carga. En la figura, se representa el caso general en el que la carga contiene las dos clases de reactancias: inductiva y capacitiva, con el resultado de su suma algebraica (en realidad, resta, ya que tienen signos opuestos, como indica el sentido de las flechas)

Una antena, puede presentarse con una longitud, corta, exacta o larga respecto a la longitud de onda de la frecuencia para la que está diseñada.

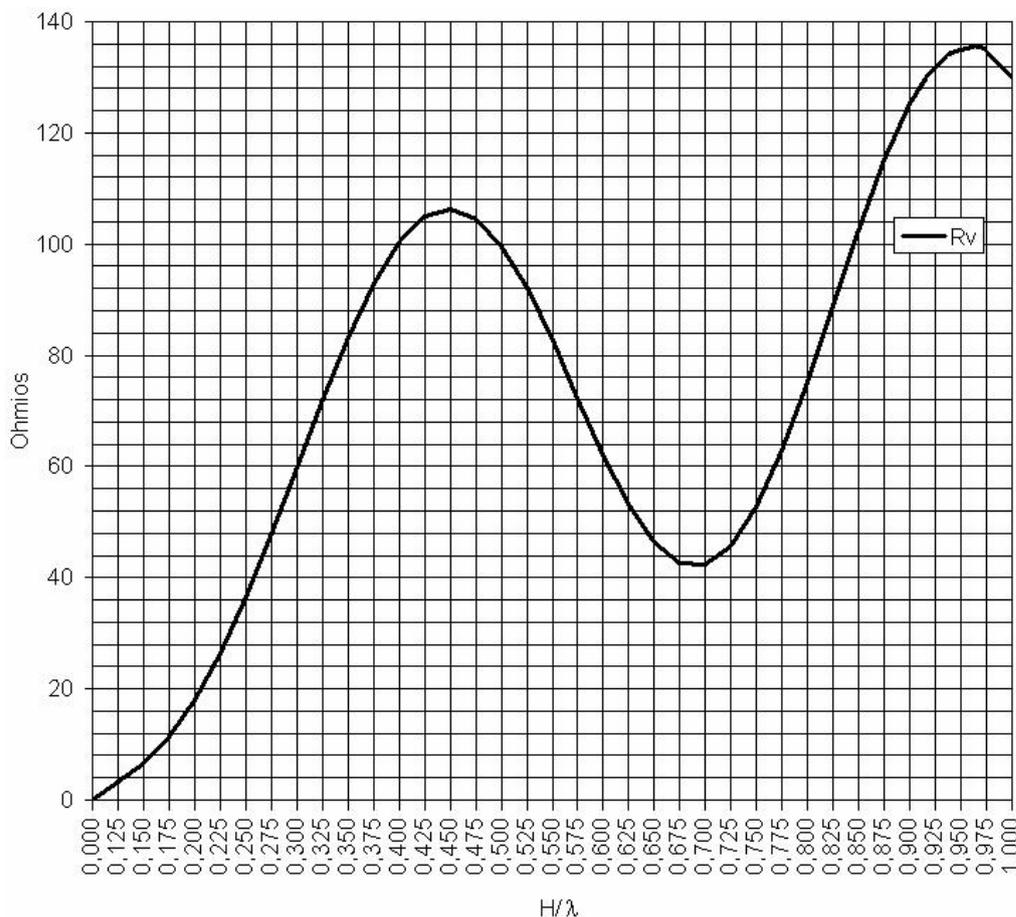
Si la antena es corta, predominará la reactancia capacitiva ( $-jX$ ) y si es larga, la reactancia presentada en sus terminales, será inductiva ( $+jX$ ).

Para longitudes exactas, no existirá reactancia. Sólo habrá resistencia y diremos que la antena está en resonancia. La impedancia de entrada será

$$Z_e = R_e + j0$$

En cuanto a la resistencia de entrada, sabemos que está compuesta por la resistencia de radiación (responsable de la potencia de radiación de la antena), más las diferentes resistencias de pérdidas que puedan existir y que va a restar eficiencia al funcionamiento de la antena. Esta resistencia de radiación, despreciando las resistencias de pérdidas, variará con la longitud de la antena. Esa variación, se muestra en la gráfica 1 para longitudes desde cero a 1 longitud de onda para una antena vertical (monopolo) con plano de tierra.

En ella podemos ver que para valores de longitud menores de  $\frac{1}{4}$  de onda, La resistencia de radiación es menor de 36 ohmios que es la resistencia justa en resonancia. Así mismo, al aumentar la longitud más allá del cuarto de onda, aumenta la resistencia hasta un máximo, con la longitud cercana a la media onda, volviendo a descender hasta un mínimo alrededor de una longitud de  $\frac{3}{4}$  de onda en que comienza a aumentar hasta que alcanza la longitud de onda. Vemos que esa variación es cíclica en periodos de media onda (excepto los valores menores de  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda).



Aquí  
la

## grafica 1

La gráfica corresponde a valores en el vientre de corriente de un monopolo (para un dipolo, esos valores son el doble de los mostrados) Esto quiere decir lo siguiente. Al igual que los valores de corriente, a cada punto del radiador, le corresponde un valor de resistencia de radiación. En los métodos de cálculo de la misma, el valor de la resistencia de radiación considerado para cálculos de potencia radiada, es el correspondiente al vientre de corriente y a partir de ese valor, el de la resistencia en la entrada se determina por:

$$R_e = \frac{R_v}{\text{sen}^2(\beta H)}$$

Siendo:

Re.- La resistencia de radiación vista en la entrada

Rv.- La resistencia de radiación presente en el vientre de corriente

H.- semilongitud del dipolo o altura del monopolo en metros

$\beta H$ .- Longitud angular del radiador  $\frac{2\pi H}{\lambda}$  en radianes, o  $\frac{360H}{\lambda}$  en grados.

Esta forma de calcular la resistencia de radiación en la entrada de una antena, se basa en los métodos del “vector de Pointing” o el de “la fuerza electromotriz inducida” que son dos procedimientos muy laboriosos de ejecutar por lo que es necesaria la ayuda de un ordenador y herramientas de cálculo como matlab, u otras como una hoja de cálculo de Excel. También, los cálculos de la reactancia son igualmente complicados y laboriosos, cuando se determina, por los mismos métodos sin ayuda de un ordenador, ya que se siguen los mismos criterios que la resistencia de radiación.

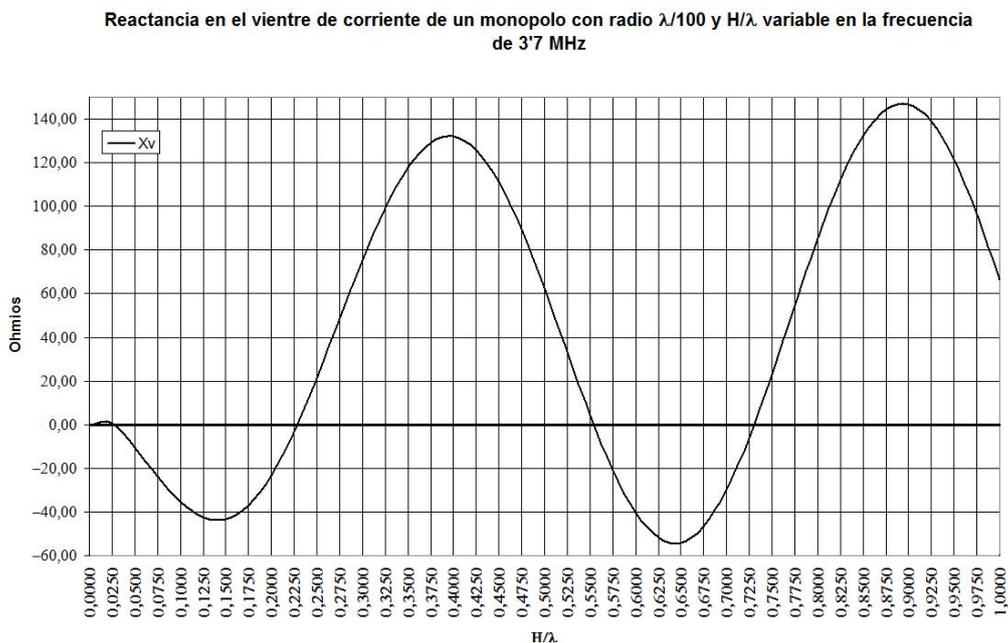
Estos métodos de cálculo, se realizan a partir del supuesto en que la distribución de la corriente en el radiador es de carácter senoidal, lo que, al parecer, es “casi cierto” por lo que el error que se pueda producir es despreciable.

Sin embargo, con la aparición de los ordenadores y gracias a su potencia de cálculo, en la actualidad, se utiliza otro procedimiento de cálculo, considerado más preciso, llamado “método de los momentos” que es el que utilizan los programas de cálculo EZNEC y sus derivados como por ejemplo el MMANA-GAL, muy usado por los radioaficionados.

Bien. Hasta ahora hemos considerado los valores teóricos de los componentes de la Impedancia de entrada en los terminales de una antena. Es hora de considerar, bajo un punto de vista práctico, la existencia de otros parámetros (resistencias de pérdida) que afectan a dicha impedancia.

En el caso de un dipolo, si su longitud es resonante, no consideraremos otra resistencia adicional más que la que ofrece el hilo conductor de la misma que por su pequeño valor, no se suele considerar en los cálculos. Otra cosa es que el dipolo sea corto para la frecuencia de diseño o su longitud no coincida con múltiplos de  $\frac{1}{4}$  longitudes de onda. En casos, cuya longitud sea menor de  $\frac{1}{4}$  de onda o esté entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  en su entrada está presente una reactancia capacitiva por lo que para llevar la antena a resonancia, deberemos insertar una inductancia (carga) en el radiador. Pero esa carga, ofrece una resistencia óhmica de pérdidas que se sumará a la resistencia de radiación y habrá que tener en cuenta ya que como hemos dicho antes afecta a la eficiencia de la antena.. En el resto de casos, la reactancia, será inductiva (radiador largo), como se puede ver en la gráfica 2, que aunque se refiere a un monopolo, dada la similitud con un dipolo nos puede servir igualmente ( los valores para el dipolo serán el doble de los mostrados en la gráfica).

En cuanto al monopolo, existe además otra resistencia de pérdidas a tener en cuenta, que es la presentada por el sistema de tierra en el retorno de las corrientes de conducción, que también se suma a la resistencia de radiación en la entrada y que en muchas ocasiones es de un valor superior a la misma. Esta resistencia de tierra es variable en el tiempo, ya que depende del grado de conductividad del terreno así como del grado de humedad y contenido de sales del mismo, y afectará a la ROE existente en la línea de alimentación.



gráfica 2

Estos cálculos de reactancia son teóricos y no tienen en cuenta el efecto terminal por lo que para un monopolo con una longitud eléctrica de  $0'25 \lambda$ , presenta  $21 \Omega$  de

reactancia inductiva que se elimina con una longitud física ligeramente menor (un 95% aproximadamente de la teórica). Este punto se observa en la gráfica que para el caso del radiador calculado, la resonancia corresponde a una longitud de  $0,225 \lambda$  que supone un acortamiento del 10%.

Según la gráfica 1 la resistencia de radiación en el vientre de corriente para el monopolo, valdría  $26 \Omega$  en lugar de los  $36 \Omega$  teóricos ó  $52 \Omega$  en el caso de un dipolo

Bien. La antena como carga, debe cumplir el teorema de máxima transferencia de energía para que el rendimiento del conjunto sea el 100%. Para ello, dado que la impedancia interna del generador (transceptor) y la impedancia característica de la línea de transmisión que alimenta la antena, tienen el mismo valor ( $50 \Omega$  teóricos resistivos) la impedancia de entrada de la antena debe tener ese mismo valor con ausencia de reactancia para conseguir un sistema de alimentación adaptado.

Ahora bien. Si la antena presenta reactancia, bien porque sea corta o demasiado larga, como muestra la gráfica 2, nuestro primer paso será compensar esa reactancia, para conseguir la resonancia de la antena

Si la línea de transmisión que alimenta la antena, presentara una impedancia compleja porque hubiera presencia en sus terminales de conexión a la antena de algún valor de reactancia además de los  $50 \Omega$ , la impedancia de entrada de la antena, debería presentar los mismos  $50 \Omega$ , más una reactancia de signo contrario a la presentada por la línea de transmisión. (Impedancia conjugada).

En el supuesto más habitual que es encontrarse con una antena corta, la impedancia de entrada presenta una resistencia de pequeño valor (menor de  $36 \Omega$  para un monopolo o  $73$  para un dipolo) y una reactancia capacitiva de más alto valor cuanto más corta sea la antena.

Nuestro objetivo final será convertir esa impedancia de entrada compleja en un valor resistivo puro de  $50 \Omega$ . Para ello, deberemos compensar la reactancia capacitiva, añadiendo otra reactancia del mismo valor, pero de signo contrario, es decir, una reactancia inductiva mediante la cual, se anula la reactancia presente en la entrada de la antena y ésta, estará en resonancia

Una vez conseguido este objetivo, sólo queda adaptar la baja resistencia de radiación en la entrada, a los  $50 \Omega$  del sistema de alimentación.

Existen varios procedimientos para lograr esta adaptación de resistencias de los que vamos a enumerar alguno de ellos.

Mediante un tramo de línea de transmisión

**Línea de tramo de  $\frac{1}{4}$  de onda.**- Se trata de intercalar un tramo de un cuarto de longitud de onda de una línea de transmisión cuya impedancia característica " $Z_0$ ", responda a la siguiente fórmula

$$Z_0 = \sqrt{R_e \times 50}$$

Esta línea transformadora se puede intercalar entre los terminales de la antena y los de la línea de alimentación propiamente dicha, o insertada en un punto determinado de la línea de alimentación. Ver figura 2

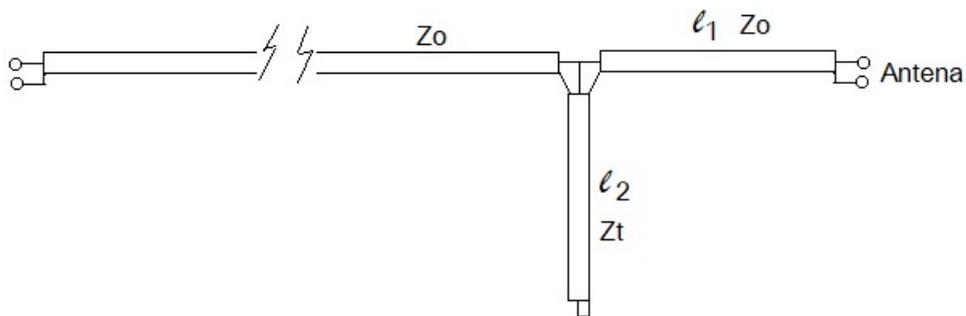


Figura 2

**Tramo de línea de transmisión.**- Se intercala en la línea de alimentación con una impedancia característica distinta a la misma y a una distancia adecuada del extremo de dicha línea de alimentación. Según la Figura 3

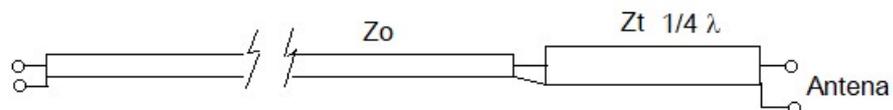


Figura 3

Con una adecuada elección de  $l_1$  y  $l_2$  conseguiremos los 50  $\Omega$  para conectar a la línea de alimentación

**Stub.**- Se trata de un tramo de línea de transmisión cuya impedancia característica puede ser igual, o no, a la de la línea de alimentación, conectada en paralelo en un punto determinado de dicha línea. El stub puede estar en su extremo, en circuito abierto o en cortocircuito, aunque se recomienda esta última opción para evitar radiaciones por su extremo. Ver Figura 4.

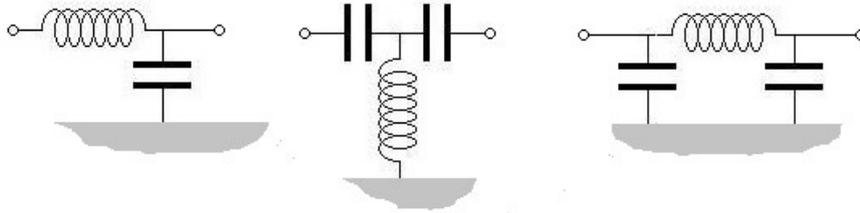


Aquí la Figura 4

Al igual que si usamos un tramo de línea de alimentación, deberemos calcular  $l_1$  y  $l_2$  para conseguir los 50  $\Omega$  en la conexión de la línea de alimentación

**Elementos de constantes concentradas** (inductancias y capacidades).- Se trata de la conexión, bien en los terminales de la antena o en los de entrada de la línea de

alimentación de un conjunto de estos elementos, adecuadamente dispuestos, para transformar cualquier impedancia compleja, a los  $50 \Omega$  del sistema. En la figura 5 se ven algunos ejemplos



Aquí la figura 5

Como se ve, los procedimientos para adaptar la impedancia compleja de una antena al sistema de  $50 \Omega$ , es muy variado y a la vez muy extenso, existiendo amplia literatura al respecto, aunque nosotros no vamos a incidir más en ello.

La condición de resonancia y adaptación de la impedancia de entrada de una antena, se consigue exactamente a una sola frecuencia, pero existe una banda de frecuencias alrededor de ésta, en la que el grado de desadaptación se considera tolerable hasta la presencia en la línea de alimentación de una ROE de 2, lo que supone una potencia reflejada por la antena del 11'11% de la potencia suministrada a la antena.

La "distancia" o diferencia entre las dos frecuencias a las que se produce esa reflexión, se le denomina "ancho de banda" de la antena

Por último, tenemos que comentar que para poder adaptar la carga que representa una antena para el sistema de alimentación a la misma, necesitamos disponer de un analizador de antenas (muy asequible, hoy en día para nuestras necesidades). En el caso de los monopolos, el tema se complica dado que las pérdidas de tierra son imprevisibles y difíciles de medir. En la revista de Diciembre de 2015 publiqué un artículo sobre este tema, describiendo un método sencillo y casero para determinar la resistencia de pérdida de una antena vertical.

Armando García

EA5ND