

ANTENAS VERTICALES. (DE LA IMPEDANCIA DE ENTRADA Y RENDIMIENTOS)

Armando García Domínguez EA5ND (ex EA5BWL)

Cuando instalamos nuestra antena vertical, ya sea adquirida en el comercio o construida por nosotros mismos, ajustamos la ROE que presenta la antena, siguiendo las indicaciones del folleto del fabricante, con mejor o peor fortuna, en el caso de las antenas comerciales. Si la antena la construimos nosotros, bien siguiendo lo indicado en algún artículo o nuestra intuición, el problema se suele complicar bastante.

Por otra parte, si la antena es corta para la frecuencia de trabajo y necesita elementos de ajuste adicionales (bobinas o capacidades), el problema se puede convertir en insoluble, dado que no conocemos la impedancia que presenta ni las características de la misma (cuánta resistencia y cuánta reactancia). Pero casi todo en esta vida tiene remedio y este problema, también.

Para conocer la impedancia que presenta en su entrada un radiador, podemos optar por emplear varios métodos.

El más costoso pero más exacto es el empleo de un analizador vectorial de redes (unos cuantos miles de euros) que nos proporciona los valores del módulo y la fase de la impedancia y de esta manera, podemos construir el circuito adaptador más conveniente.

También existen analizadores de antena con buena calidad y un precio medio, (400-500 €) que proporcionan la impedancia desglosada en sus valores resistivos y reactivos.

Otro método más barato pero menos preciso, es el empleo de un puente de ruido que nos proporciona la componente resistiva y la reactancia de la entrada. Claro que este tipo de ajuste depende mucho del oído del técnico para discriminar el punto de silencio del puente y del “silencio radioeléctrico” del entorno que nos puede falsear las medidas.

En este artículo, se propone el empleo de un método menos costoso y suficientemente preciso, empleando simplemente un medidor de ROE de buena calidad, algunos números, un poco de imaginación, y otros elementos del taller (Una bobina y una resistencia).

Veamos un caso práctico, ya que un buen ejemplo vale más que mil explicaciones teóricas.

Supongamos que disponemos de una torre que hemos colocado aislada sobre un plano de tierra en el que hemos extendido unos radiales de una determinada longitud, según el espacio que disponemos.

Esta torre es de sección triangular de 16 cm. de lado y 12 m. de altura y queremos conocer sus características para que trabaje en 80 m. (3.7 MHz).

Primero haremos algunos números para ver por dónde andamos:

Para poder aplicar las fórmulas existentes, debemos convertir la torre triangular en su equivalente circular. Una torre de sección triangular de 16 cm. de lado equivale a un cilindro con un “radio equivalente” de: $r = \text{lado} \times 0.4214$, igual a 6.74 cm. (0.0674 m).

Ahora seguimos:

La longitud de onda λ de 3.7 MHz es de $300/3.7$ igual a 81.08 m.

La relación de la altura H de la torre con la longitud de onda, H/λ , es 0.148 λ

La longitud angular de la torre es

$$\beta H = 360 \times \frac{H}{\lambda} = 53.28 \text{ grados}$$

La impedancia característica de la torre Z_0 se calcula por

$$Z_0 = 60 \left[\ln \left(\frac{2H}{r} \right) - 1 \right] = 60 \left[\ln \left(\frac{24}{0'0674} \right) - 1 \right] = 292 \Omega$$

Con estos datos preliminares, vamos a determinar:

La resistencia de radiación en la base R_b (supuesta una distribución triangular de la corriente debido a su corta dimensión)

$$R_b = 40\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda} \right)^2 = 8'65 \Omega$$

La reactancia de entrada X_e , considerada la antena como una línea de transmisión abierta en su extremo lejano, es

$$X_e = \frac{Z_0}{\tan(\beta H)} = -218 \Omega \text{ (reactancia capacitiva)}$$

Bien. Conocemos la reactancia que presenta la torre en su base X_e , pero la resistencia de entrada, no la conocemos ya que dicha resistencia es la suma de R_b (calculada ya) y la resistencia de pérdidas R_p debida al plano de tierra, pérdidas en los conductores y en el entorno de la torre y que no conocemos. Veamos como podemos determinar estos valores desconocidos.

De momento, necesitaremos una bobina variable de una inductancia total de alrededor de 20 μH que insertaremos en serie con el medidor de ROE entre la entrada de la torre y la línea coaxial de alimentación.

Con la bobina cortocircuitada, aplicaremos potencia (la suficiente para que el medidor de ROE se excite). En estas condiciones, la ROE será muy alta. Comenzaremos a introducir inductancia, variando la bobina, hasta conseguir un punto en el que la ROE sea mínima (aunque no, 1:1), después del cual, si seguimos introduciendo inductancia, la ROE volverá a aumentar. En el punto de ROE mínima, la inductancia introducida ha compensado la reactancia capacitiva de entrada; el valor de la inductancia será de 9'37 μH que corresponde a una reactancia inductiva de 218 Ω y sólo tendremos presente en la base de la torre la resistencia de entrada R_e . La ROE medida que es de 1'25:1 nos indicará la relación entre la R_e y la Z_0 de la línea coaxial (50 Ω) por lo que con una simple división obtendremos la resistencia de entrada a la torre. Pero existe un punto sutil. Con una Z_0 de la línea de 50 Ω , se mide la misma ROE con una resistencia de entrada de 25 Ω que de 100 Ω (ROE = 2:1), luego estamos ante una incertidumbre ya que como, $ROE = \frac{Z_0}{R_e}$ pero también $ROE = \frac{R_e}{Z_0}$ (numerador > denominador), no sabemos si la resistencia de entrada calculada anteriormente es la que corresponde a $R_e/50$ ó $50/R_e$. En este caso la R_e puede ser $50/1'25 = 40 \Omega$ ó $50 \times 1'25 = 62'5 \Omega$

Para evitar esta incertidumbre, nos veremos obligados a insertar también una resistencia adicional R_a de valor conocido para asegurarnos de que la R_e es mayor de 50 Ω y así aplicar la relación $R_e/50$.

$$\text{Entonces, } R_e = 50 \times ROE_{\text{mínima}}$$

A esta R_e le restaremos el valor de la resistencia adicional R_a y el calculado para R_b y obtendremos la resistencia de pérdidas R_p .

Así podremos determinar el rendimiento esperado del radiador.

Con estas consideraciones y suponiendo que la resistencia adicional que hemos insertado sea de 50 Ω , (Ver apéndice 1) sigamos con nuestras medidas. En la figura 1 se ve la disposición de los distintos elementos mencionados

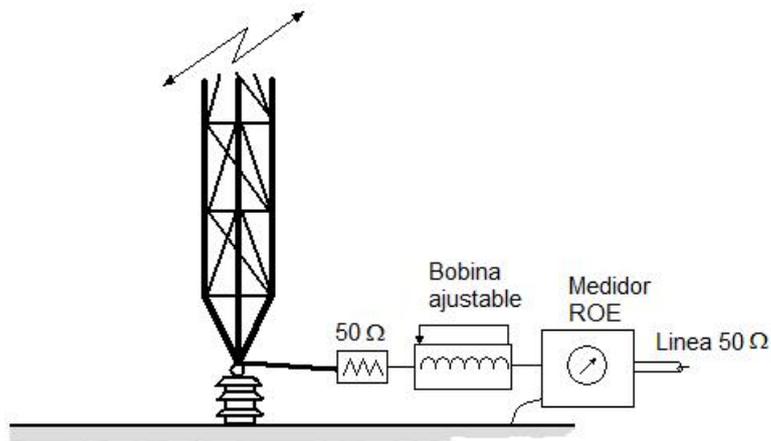


Fig. 1

Al insertar la resistencia de 50Ω , la ROE mínima, tiene un valor de 1'8:1

En estas condiciones, la Resistencia de entrada sería:

$R_e = 50 \times ROE = 50 \times 1.8 = 90 \Omega$ (el otro valor que cumple la misma ROE es $50/1.8 = 27.77 \Omega$ que no es válido ya que al menos sabemos que hay una resistencia de 50Ω y la resistencia de pérdidas,

$$R_p = R_e - R_a - R_b = 90 - 50 - 8.65 = 31.35 \Omega.$$

Por otra parte, vemos que la resistencia de entrada R_e de la torre es, $R_b + R_p = 40 \Omega$, que es uno de los dos valores hallados antes de insertar la resistencia de 50Ω y que correspondían a una ROE de 1'25:1.

Esta ROE que presenta la torre una vez compensados los 218Ω de reactancia capacitiva con la bobina de $9.37 \mu\text{H}$, en lo que respecta a la adaptación de impedancias, es un valor suficientemente bueno, y podríamos decir que “hemos ajustado la ROE de la antena”

El otro aspecto que tenemos que considerar, es el rendimiento que viene determinado por :

$$\eta = \frac{R_b}{R_e} \times 100 = \frac{8.65}{40} \times 100 = 21.6\% \quad (\text{que es bastante pobre})$$

A partir de aquí, aunque aparentemente hemos “optimizado” la antena “porque hemos quitado la ROE”, debemos centrar nuestros esfuerzos en minimizar la resistencia de pérdidas para aumentar el rendimiento. Por otra parte, disminuir R_p supone disminuir también R_e y aumentar la ROE pero eso no nos debe preocupar porque el ajuste de las impedancias es sencillo con los elementos que ya tenemos. Por ejemplo: Si consiguiéramos eliminar la resistencia de pérdidas ($R_p = 0$), la resistencia de entrada sería $R_b = 8.65 \Omega$ y la ROE en esa circunstancia sería de 5'78:1. Esto nos obligaría a adaptar los 8.65Ω a los 50 de la línea coaxial además de eliminar X_e .

El procedimiento es sencillo:

Consideraremos el circuito de entrada, que estaría compuesto por la R_b en serie con X_e (recordemos que $R_p = 0$), en su equivalente paralelo. Los valores equivalentes paralelo para $R_b = 8.65 \Omega$ y $X_e = 218 \Omega$ serían:

$$R_{bp} = \frac{R_b^2 + X_e^2}{R_b} = 5503 \Omega; \quad X_{ep} = \frac{R_b^2 + X_e^2}{X_e} = 218.3$$

Si colocamos la bobina que habíamos conectado en serie y que tiene una reactancia de 218Ω (observemos que el equivalente paralelo X_{ep} tiene prácticamente el mismo valor que X_e , si R_b es de

pequeño valor), en paralelo con los terminales de la base de la torre, tendremos un circuito resonante paralelo con una impedancia infinita, en paralelo a su vez con una resistencia de 5503Ω que adaptaremos a los 50Ω del coaxial aprovechando la bobina como un auto transformador. Para ello recordando la relación de espiras e impedancias en el auto transformador,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \text{ y suponiendo que la bobina tiene 30 espiras en total, adaptaremos las impedancias}$$

conectando el conductor vivo del coaxial en la espira n° ;

$$\frac{5503}{50} = \frac{30^2}{n^2} \text{ y despejando, } n = 2,85 \approx 3$$

El montaje se ve en la figura 2

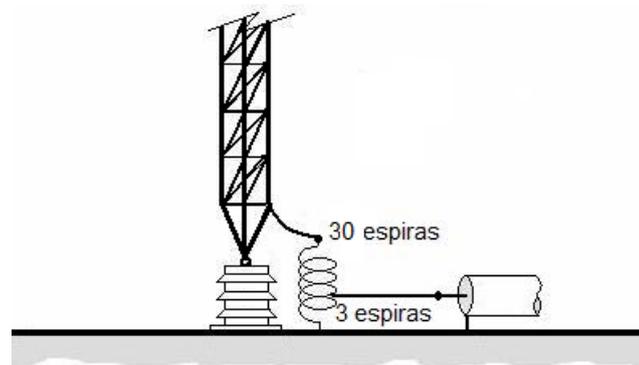


Fig 2

De esta manera, hemos conseguido adaptar la R_b ($8,65 \Omega$) de la antena, a los 50Ω de la línea (ROE =1:1) con lo que la absorción de la potencia será óptima y el rendimiento cercano al 100%, gracias al conocimiento preciso de los componentes de la impedancia de entrada. En la práctica, la resistencia de pérdidas R_p nunca es cero por lo que hemos contemplado una situación ideal pero el procedimiento de cálculo y ajuste en una antena vertical corta es el expuesto sustituyendo R_b por R_e .

De todas maneras en este tipo de montaje se debe evitar que la relación de espiras sea grande porque la adaptación se vuelve muy crítica y cualquier pequeña variación accidental de la R_e , supondría un desequilibrio grande de las impedancias

Nota.- En los cálculos he obviado deliberadamente el alargamiento aparente de la altura de la torre por simplificar conceptos y por la poca relevancia que tiene en este caso.

Asimismo tampoco he tenido en cuenta la resistencia a la RF introducida por la bobina y que también formaría parte de la resistencia de entrada, dado que no he tratado de realizar cálculos exhaustivos y era un dato poco importante para el propósito del artículo.

Apéndice1.-

He utilizado una resistencia de 50Ω , en primer lugar, para asegurar que la resistencia de entrada sea mayor de 50Ω , como he dicho antes y en segundo lugar por ser un valor normalizado y puede ser utilizada para otros propósitos futuros. Sin embargo para este propósito, puede tener cualquier otro valor que cumpla los requisitos de $R_e > 50$

Por ello mismo, he construido la resistencia tratando de minimizar la inductancia parásita de la misma. Para ello he agrupado 4 resistencias de 200Ω ($1/2 w$) en paralelo, con los terminales lo más cortos posibles a través de unas láminas anchas de hoja de latón y con los terminales de salida hechos con malla de coaxial acabadas en pinzas para su conexión a cualquier dispositivo. Un esquema se muestra en la figura 3.

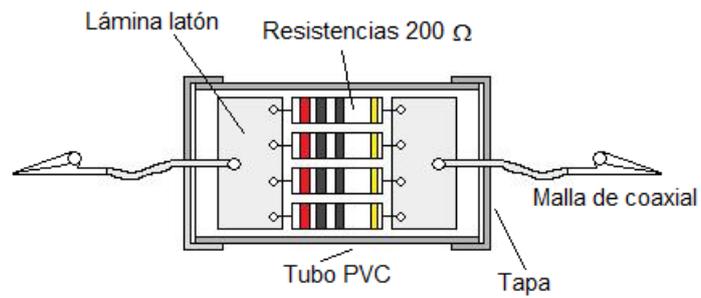


Fig. 3

El conjunto lo he alojado en un trozo de tubo de PVC con tapas para evitar deterioros durante su manipulación y darle rigidez mecánica, La vista exterior de la resistencia se ve en la figura 4

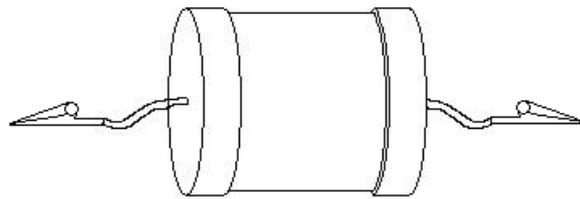


Fig 4

Armando García
EA5ND (ex EA5BWL)

Nota.- Publicado por el autor en La revista CQ Radioamateur en Julio de 2010