

# La magia del cable coaxial

Por Toni Polit Polit, EB5GDG  
y José A. López, EA3GQU.

*Los cables coaxiales, por todos conocidos, no solo transportan energía de RF, sino que también tienen otras interesantes aplicaciones.*

A partir del desarrollo tecnológico e industrial posterior a la Segunda Guerra Mundial, los radioaficionados dispusimos de la línea coaxial para transmisión a precio accesible, así como conectores específicos adecuados. El cable coaxial tiene ventajas e inconvenientes, la principal desventaja respecto de las líneas de cinta o abiertas, son las pérdidas (en dB/m), comparativamente elevadas.

Las partes del cable coaxial son el conductor central o "vivo", que siempre es de cobre; el dieléctrico, que es el material que separa y aísla el vivo del conductor exterior, o malla y que suele ser de polietileno macizo, PE, polietileno expandido, PEE, o FOAM; y la cubierta exterior, suele ser también de polietileno.

La parte de la calidad que nos interesa es principalmente la atenuación, seguida del precio por metro. Han de saber que tanto un factor como otro están ligados, son inseparables y se basan en el material del dieléctrico y las características de la malla. Como norma general, para la malla es mejor el cobre que el aluminio; y es mejor el polietileno expandido que el polietileno macizo o sólido para el dieléctrico.

La línea de transmisión, como su nombre lo indica, tiene como misión principal la de transportar energía de radiofrecuencia desde el transceptor hacia la antena y viceversa. También entra en este rango el interconectar los diferentes equipos y accesorios que forman la instalación del aficionado. Cuando nos referimos al tramo que enlaza la antena con el equipo, se le llama «línea de bajada de antena», o simplemente, «bajada de antena»; nos referiremos a ella en varias ocasiones.

Como ya deben saber, y si no se los recordamos, una línea de transmisión adaptada, con las impedancias acordes entre generador y carga, no altera la ROE independientemente de su longitud. Dicho de otro modo, en un sistema de antena donde la ROE sea 1:1 o muy próximo a ella, la longitud de la línea no afecta a la ROE. En determinadas condiciones en que la ROE se aleja de ser ideal, esto cambia y es debido a las pérdidas en la línea.

Aparte de transportar energía RF de un punto a otro, el cable coaxial se puede emplear como condensador, con una rigidez dieléctrica o aislamiento de 2500 V como mínimo. El fabricante del cable suele indicar la capacidad en picofaradios por metro (pF/m)

Otra cualidad muy interesante es la de transformador de impedancias, de las líneas de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  onda. La línea de  $\frac{1}{4}$  de onda tiene la inestimable cualidad de transformar impedancias de un extremo a otro. Para que esto funcione, no olviden nunca aplicar en el cálculo el factor de velocidad  $F_v$  de la línea en cuestión, que siempre facilita el fabricante.

La naturaleza eléctrica de la línea de  $\frac{1}{4}$  de onda nos permite adaptar impedancias para varias aplicaciones; no es difícil de entender y vale la pena saberlo. La línea de  $\frac{1}{2}$  onda también tiene su personalidad y se construye a base de juntar dos secciones de línea de  $\frac{1}{4}$  de onda, obviamente. Insistimos nuevamente en que no olviden aplicar el  $F_v$  correcto.

La línea de transmisión de  $\frac{1}{4}$  de onda te permite adaptar una  $Z$  alta en un extremo de línea, a otra  $Z$  más baja en el extremo opuesto, y viceversa.

La línea de  $\frac{1}{2}$  onda invierte de nuevo este comportamiento, que también tiene utilidad si se le sabe sacar partido. Para entrar en materia, vamos con el ejemplo del dibujo:

Se trata de un monopolo plegado, tipo Ground Plane, con una  $Z$  estimada en resonancia de  $100 \Omega$ . Dejando aparte el valor de  $R_r$  y  $X$ , no van a poder adaptarlo a su sistema de  $Z = 50 \Omega$  que es lo normal, porque inmediatamente se van a encontrar con una  $ROE = 2$ , debido a que la  $Z$  de antena es el doble que lo que necesitan, es decir, los  $50 \Omega$  del equipo. Pues bien, lo pueden solucionar de forma barata y elegante, con un tramo de LÍNEA ADAPTADORA de  $\frac{1}{4}$  de onda, que también se le llama TRANSFORMADOR DE  $\frac{1}{4}$ . Este tramo de línea "mágica" debe adaptar una  $Z$  de antena de valor  $100 \Omega$ , a una  $Z$  de equipo de  $50 \Omega$ . A esta línea adaptadora se le abrevia  $Z_L$ , y la fórmula, muy sencilla, la tienen también en la figura. No hace falta que en este caso hagan cálculos.

Con bastante aproximación, para adaptar de 100 a 50  $\Omega$ , se necesita un tramo de  $\frac{1}{4}$  de onda de  $Z_0 = 75 \Omega$ . Así de fácil. Naturalmente, esto solo es válido para un margen muy estrecho de frecuencias, que suele coincidir más o menos con el ancho de banda de la antena. Si se les ocurre hacer resonar esta antena en su tercer armónico, la línea adaptadora sigue siendo igualmente válida, pues nada ha cambiado, mientras los tramos de  $\frac{1}{4}$  de onda sean IMPARES. Si han hecho la medi-

ción correcta de longitud y aplicado el Fv adecuado, un medidor de ROE conectado al lado del transmisor, les dará un valor muy próximo a 1:1, pese a que la Z de antena sean 100  $\Omega$  y la Zo de la línea sean 75  $\Omega$ ...

Pero, ¿qué pasará si prolongo la línea adaptadora con otro tramo igual de  $\frac{1}{4}$  de onda?, pues tal y como está en el dibujo, se invertirán de nuevo las condiciones anteriores, y volveremos a tener los 100  $\Omega$  de la Z de antena. Como es lógico, el medidor de ROE volverá a marcar ROE = 2. De esto se desprenden dos hechos importantes, que son:

1. Que la línea adaptadora de  $\frac{1}{2}$ , (que es  $\frac{1}{4}$  más otro  $\frac{1}{4}$ ), no modifica las impedancias de un extremo con respecto al otro, pese a ser de Zo = 75  $\Omega$ . A efectos de la corriente de RF, es como si el tramo de  $\frac{1}{2}$  onda no estuviese.

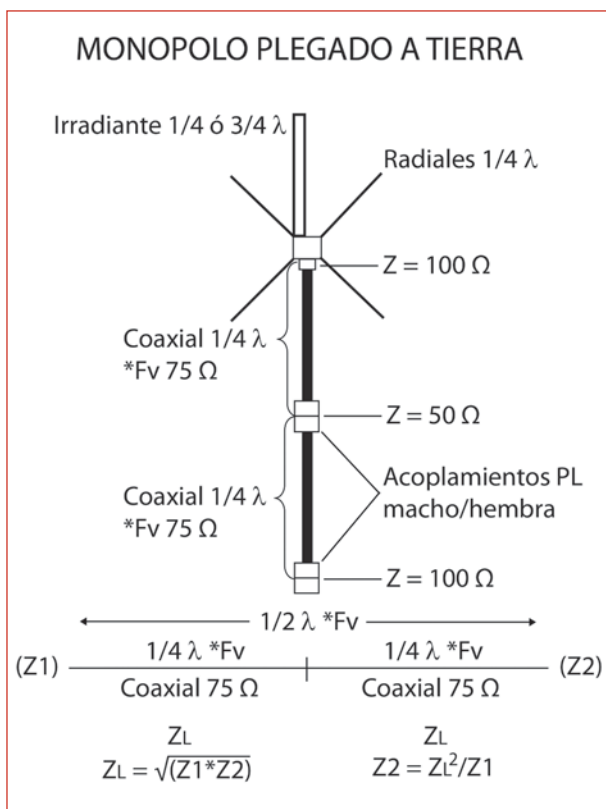
2. Que la impedancia característica de la línea Zo de  $\frac{1}{2}$  onda no influye sobre las impedancias. Las impedancias de entrada y salida son independientes de la Zo de la línea. O sea, en un sistema de 50  $\Omega$ , pueden insertar una línea de  $\frac{1}{2}$  onda de 75  $\Omega$ , y es como si no estuviese conectada.

Una línea de  $\frac{1}{2}$  onda no modifica las impedancias de un extremo a otro y, además, su impedancia característica no influye en el sistema de antena... pues bien; pongamos un ejemplo práctico: pueden utilizar cable coaxial del tipo de televisión de 75  $\Omega$  de impedancia característica para hacer una bajada de antena para la banda de 10m, para la banda de 2m o la de 70cm. Da lo mismo que el cable coaxial sea de 75  $\Omega$  y la antena sea de Z = 50  $\Omega$  y el equipo también, la única condición es que la línea de bajada esté cortada a  $\frac{1}{2}$  o múltiplos de ella, teniendo en cuenta el factor de velocidad. Puesto en cifras sería, para el caso de la banda de 10m y necesitando una bajada de 12 metros; Línea de TV, tres medias ondas serían 15 m, multiplicado por el Fv 85 % da como resultado 12,75 metros. O sea, que con cable común de TV podemos conectar una antena de 10m de Z = 50  $\Omega$  con el equipo, también con Z=50 Ohmios.

Este sistema de bajada tiene varias ventajas, siempre que la operación sea monobanda o frecuencias armónicas. El caso de la antena para 10m es independiente, pero nada nos impide tener una antena colineal bibanda para 144 y 432 MHz alimentada con línea coaxial de TV. Si comparamos el cable coaxial de TV de 75  $\Omega$  con el típico coaxial RG-58 o RG-213, la ventaja económica es evidente, pues un buen coaxial de TV cuesta la mitad que un buen RG-58 y la cuarta parte del valor del RG- 213. En cuanto a atenuación, el cable de TV es muy similar al RG-213, o sea, la mitad de pérdidas comparado con el RG-58.

Y si asignamos una potencia máxima admisible de 1000 W al RG-213 y 100 W al RG-58, el cable de TV puede soportar sin ningún problema 250 W.

También es útil saber que podemos añadir una línea de 75  $\Omega$  a una bajada de antena ya existente de 50  $\Omega$ , por ejemplo, en una activación, o una extensión de emergencia en la cual no disponemos de línea de transmisión de 50  $\Omega$ .



Está claro que, si no queremos problemas de desadaptaciones, lo correcto es que tanto la antena, la línea de transmisión y la salida del equipo transmisor tengan todos la misma impedancia nominal y así poder cumplir sin inconvenientes el principio de Máxima Transferencia de Energía. Pero las opciones de las líneas adaptadoras de diferente impedancia están ahí y alguna vez les pueden ser útiles. También está el inconveniente de las bandas múltiples que no guardan relación armónica entre sí, como puede ser en la gama HF todas las bandas asignadas a los aficionados. Por último, está el engorro que supone el conexionado, ya que hay que recurrir a conectores PL específicos para cable coaxial de 7 mm de diámetro, o contar con los reductores adecuados.

El cable coaxial de 75  $\Omega$  se puede conseguir bajo las denominaciones RG-59/U, y RG-6/U, con los estándares de calidad MIL-C17. El tipo RG-59 suele tener mayores pérdidas, pues el dieléctrico es de polietileno sólido, pero, aun así, es perfectamente válido para VHF. El RG-6 es el típico cable coaxial de TV, muy económico y fácil de conseguir en prácticamente todas las casas del ramo.

## MAGIA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Más ejemplos prácticos: en teoría, la línea de  $\frac{1}{4}$  de onda "ideal" transforma una baja Z en un extremo (que puede ser un cortocircuito), en una alta Z en el extremo opuesto, que se asemeja a un circuito abierto. En la vida real, hablamos de transformar cifras tan bajas de Z = 2, 3 ó 4  $\Omega$ , a valores de 2500 - 3000  $\Omega$ . Esto lo sabemos de las antenas "J", la horquilla inferior no es otra

cosa que una línea de  $\frac{1}{4}$  de onda, que adapta la muy alta  $Z$  del irradiante a la baja  $Z$  de la línea de transmisión coaxial, que es la bajada de antena. La construcción de la horquilla es muy agradecida; aunque en este caso estamos hablando de una línea abierta, no es nada crítica en cuanto a separación entre los conductores y, en algún punto de la parte inferior de la "J", antes del cortocircuito, vamos a poder encontrar un punto de conexión con la  $Z$  adecuada a la  $Z_0$  (impedancia característica) de nuestra línea de bajada. El mismo principio se emplea para conectar una bajada coaxial a una línea escalera de antena Zeppelin. El Fv de la horquilla ronda el 95 - 98 %.

La línea adaptadora de  $\frac{1}{2}$  onda, en cambio, actúa al revés que la línea de  $\frac{1}{2}$  onda. La baja  $Z$  de un extremo se manifiesta exactamente igual en el otro extremo. Si hacemos un extremo abierto, pues lo mismo en el otro.

Esto es útil para hacer mediciones, por ejemplo. Si quieren saber la  $Z$  real de su antena con mucha aproximación, la bajada de esa antena ha de tener múltiplos de  $\frac{1}{2}$  onda. De esta forma tan sencilla, la  $Z$  de un extremo, será la misma que la  $Z$  en el otro extremo. Por supuesto, esto solo sirve para un margen estrecho de frecuencias y sus armónicas.

Los tramos de  $\frac{1}{4}$  de onda siempre han de ser impares, porque si no, serían medias ondas.

Los tramos de  $\frac{1}{2}$  onda pueden ser múltiplos pares e impares.

Nunca olviden aplicar el factor de velocidad de la línea en cuestión.

En una línea coaxial, las pérdidas son el punto débil, pero pueden jugar a nuestro favor. Les ponemos un ejemplo de datos reales, comprobado para la ocasión: Línea de transmisión de cable coaxial de  $Z_0 = 50$  Ohmios, tipo RG-58 U, norma MIL C-17, de buena calidad.

Longitud = 14 m, que es una bajada habitual.

ROE = 1:1, ya que lleva carga artificial.

Pérdidas, según frecuencia:

28 MHz = 30 %.

Pueden obtener esta medida aplicando 10 W en un extremo, y viendo que salen 7 W.

145 MHz = 50 %.

Lo mismo que antes; entran 10 W y salen 5 W.

440 MHz = 80 %.

Mismo procedimiento. Esto es con un buen cable y ausencia de ROE. En caso de tener una ROE significativa, habría que sumar las pérdidas correspondientes.

Lógicamente, los conectores PL empleados están al mismo nivel de calidad. Para transmitir en UHF, el cable RG-58 es totalmente inadecuado. Pueden tolerarlo en VHF, sabiendo que la ganancia de antena va a compensar las pérdidas en la línea hasta cierto punto. Esto es la parte mala del cable coaxial.

La parte "buena" de las pérdidas es que también son en el sentido del retorno, es decir, con ROE. De nuevo he recurrido a las cargas artificiales, para generar ROE = 2 y ROE = 3 en la gama HF, puesto que visto lo visto, en V y UHF, las pérdidas por ROE son secundarias.

ROE sobre pérdidas de la línea, en frecuencia de 28 MHz:

ROE de 1 = 1 en el extremo final, manifiesta ROE 1=1 en el extremo del principio. Lógico, pues las pérdidas son pequeñas.

ROE de 2,1 en el extremo final, manifiesta una ROE de 1,7 en el extremo del principio.

ROE de 2,8 en el extremo final, manifiesta una ROE de 2,1 en el extremo del principio.

La conclusión está a la vista; cuanto más alto es el valor de la ROE más lo atenúa la línea de transmisión, por las pérdidas en el sentido del retorno. Esto juega a nuestro favor, puesto que quien sufre la ROE es el equipo transmisor. Una línea un poco más larga de lo imprescindible no es tan mala solución. Tenemos más pérdidas, de acuerdo, pero el transmisor estará más desahogado sin necesitar acoplador de antena. Un recurso a tener en cuenta.

Algunos consejos para valorar la calidad de un cable cualquiera, sea de TV o de línea para transmisión:

**1.** El cobre es caro, pero es mejor conductor que el aluminio. El aluminio aligera en peso y costo el cable coaxial. Se pueden emplear cables coaxiales con lámina y malla de aluminio, pero al menos que tengan un porcentaje de trenzado u apantallamiento del 75 %.

**2.** Si después de quitarle la funda, no se ve el dieléctrico a través del trenzado de la malla, puedes calcular un porcentaje del 90 %, que es excelente. Si se ve un poco, calculen un 80 %. Buen cable. Si apenas tiene trenza, o ves grandes claros, calculen un 50 %, y ya se pueden olvidar de ese cable, pues tendrá grandes pérdidas.

**3.** La funda debe estar serigrafiada con el tipo de cable. Si no tiene nada, vamos mal. Les tocará averiguar la  $Z_0$ , el Fv, y las pérdidas, aunque todo puede hacerse en casa. Nuestro consejo es NO comprarlo, a no ser que sea muy barato, y lo quieran como bajada de reserva.

**4.** Que veamos RG-58, o RG-59 no es suficiente. Tan solo nos informa de su impedancia. Los estándares aceptables son A/U. El fabricado bajo la norma MIL/C 17 es el mejor, aunque hoy en día se copia todo y es mejor mirarlo por dentro.

**5.** Cubierta externa: Lo habitual es que sea PVC, bajo los colores normales negro, blanco náutico, gris o marrón. La funda siempre estará apretada sobre la malla o conductor interior; si está muy holgada o se pela fácilmente, es mala señal.

**6.** La calidad está relacionada con el precio. Compren el mejor cable que puedan pagar, a la larga es una inversión. Queda el recurso de conseguir cable en rollos de 100 m y luego repartirlo con otros colegas. Ahorrarán dinero.