

LA ROE QUE NOS CORROE (primera parte)



Hubo un tiempo que las ondas estacionarias no preocupaban a ningún radioaficionado porqué sus equipos artesanales eran capaces de adaptarse a cualquier elemento radiante. Las nuevas técnicas, cable coaxial y equipos transistorizados, trajeron nuevos problemas, entre ellos la temida **R.O.E.**

Sobre la **ROE** se ha hablado mucho durante muchos años pero, al parecer, nunca lo suficiente. Cada nueva generación de radioaficionados se enfrenta a esta curiosa propiedad física de las ondas, sean del tipo que sean, y es conveniente volver a explicar sus causas y sus probables soluciones. Este artículo, y el que próximamente le seguirá, debe leerse despacio, para comprenderlo en toda su larga extensión.

LA ROE QUE NOS CORROE (1ª Parte)

La ROE es un pequeño demonio familiar que siempre ha preocupado a los radioaficionados. Bueno, siempre no. De hecho, se empezó a tomar conciencia de ello cuando se popularizaron el cable coaxial y los equipos transistorizados. Antes de esto, los viejos transmisores a válvulas se conectaban a antenas de hilo largo del tipo Hertz, Marconi, o, a lo sumo, a dipolos con bajadas de línea paralela de escalerilla que no tenían problemas con las ondas estacionarias. El auge del cable coaxial, después de la segunda guerra mundial y el incremento de antenas directivas y verticales, incrementó la eficacia de los elementos radiantes pero, al mismo tiempo, les hizo más vulnerables. Es el precio de la modernidad. Cuanto más sofisticado es un equipo o antena, más componentes usa y más fácil es que uno de ellos falle.

EL MEDIDOR DE ROE

Este aparato está presente en casi todas las estaciones de radio. Hubo un tiempo que surgió la idea que este artilugio no debía permanecer intercalado permanentemente en la línea de antena. La razón esgrimida era que su presencia introducía pérdidas de señal en el sistema radiante. Es cierto. Cualquier conexión extra entre la antena y el emisor - receptor provoca una disminución de la señal recibida o emitida, debido a la resistencia que ofrecen los componentes del aparato y las conexiones físicas por contacto, como los conectores PL, BNC, etc. Pero también es cierto que actualmente existen medidores de ROE de muy buena calidad, conectores de muy bajas pérdidas y

receptores de gran sensibilidad, que compensan con creces las ínfimas pérdidas ocasionadas por este aparato y, además, su presencia es como un vigilante que nos indica en todo momento el estado de la línea, la antena e incluso el equipo. Es arriesgado dar consejos pero, lo único que puedo decir es que en mi estación, todos los equipos de transmisión llevan su correspondiente medidor de ROE intercalado permanentemente.

JUEGO DE IMPEDANCIAS

El medidor de ROE informa del valor de las ondas estacionarias en una línea de transmisión. Éstas aparecen cuando existe una desadaptación entre la antena y el emisor. La salida de antena de la mayoría de los transceptores modernos está fijada en 50 ohmios de impedancia. Los cables coaxiales más habituales, RG-58, RG-8 y RG-213, están fabricados de manera que la relación de sus diámetros dé como resultado una impedancia cercana a los 50 ohmios, que se adapta perfectamente al transceptor. Entonces, si el equipo y el cable tienen igual impedancia y el medidor marca un valor alto de ROE, parece lógico pensar que el problema está en la antena. Es muy probable, pero no siempre ocurre así, como veremos más adelante.

ARITMÉTICA ASOMBROSA

Casi todas las antenas comerciales vienen preparadas para conectarse a un cable coaxial de 50 ohmios de impedancia entonces, ¿cómo es que aparecen desadaptaciones? Pues porque esta impedancia viene ajustada a un margen de frecuencias limitado. Según la frecuencia que usemos, el tamaño de la antena varía y, a veces, lo hace considerablemente. Estudiemos un ejemplo para que se vea claramente. Usted ya conoce sobradamente la fórmula para calcular la longitud (en metros) de un dipolo de media onda: $142,5 / f$ (en MHz.) Observemos que ocurre cuando variamos la frecuencia en un dipolo de VHF:

$$142,5 / 144,500 \text{ MHz.} = 0,986 \text{ metros } \frac{1}{2}$$

¿Qué ocurre si incrementamos la frecuencia 1000 kHz ?

$$142,5 / 145,500 \text{ MHz} = 0,979 \text{ metros } \frac{1}{2}$$

¡Qué curioso! Aumentando 1000 kilohercios, la diferencia de longitud es de tan sólo 0,007 metros o, lo que es lo mismo, 7 milímetros. Técnicamente, esto significa que en el gráfico la curva de ROE, esta será prácticamente plana. Pero, ¿qué pasará en la banda de 80 metros? Vamos a comprobarlo.

$$142,5 / 3,5 \text{ MHz.} = 40,71 \text{ metros } \frac{1}{2}$$

Variemos ahora la frecuencia en 200 kHz.

$$142,5 / 3,7 \text{ MHz.} = 38,51 \text{ metros } \frac{1}{2}$$

¡Asombroso! Mientras que en VHF con la variación de 1000 kilohercio, la longitud de la antena variaba 7 milímetros, en HF, variando 200 kHz la

diferencia es de 2,20 metros. Evidentemente, el gráfico que representa esta nueva curva de ROE será parecido a una V. Entonces, si la diferencia es tan grande, ¿afectará esto la impedancia de la antena? Según se mire. La impedancia de una antena dipolo de media onda, a una frecuencia y longitud dadas, permanece inalterable. Esto significa que si construimos un dipolo semionda para una frecuencia determinada, su impedancia será siempre (en condiciones ideales) 73 ohmios. Sin embargo, si mantenemos intacta esta longitud de onda pero variamos la frecuencia de emisión, el tamaño físico de la antena no se corresponderá con la frecuencia de ataque, produciéndose desadaptaciones que engendrarán ondas estacionarias en la línea coaxial.

EL FONTANERO

Estas ideas abstractas son difíciles de comprender. Intentaré explicarlo mejor con un ejemplo de fontanería. Supongamos que tenemos un lavabo con su correspondiente grifo y desagüe. El fontanero que lo ha instalado calculó el diámetro del tubo de evacuación teniendo en cuenta el caudal de agua que suministra el grifo y el uso que le va a dar. Pero puede ocurrir que a usted le guste lavarse las manos con el grifo abierto al máximo o bien, que el fontanero no tuviese en aquel momento un tubo del tamaño adecuado y le puso otro algo menor. Cuando usted abre totalmente la llave del paso de agua, ésta empieza a suministrar un elevado volumen de líquido, supongamos que 10 litros por minuto. Si el tubo el desagüe sólo puede absorber 8 litros por minuto, se producirá un sobrante de dos litros que, de momento, se acumulará en el recipiente del lavabo pero no tardará mucho en desbordarse. Para solucionar el problema, usted puede adoptar tres soluciones:

- 1.- Instalar un grifo de suministro menos caudal.**
- 2.- Instalar un lavabo más grande.**
- 3.- Instalar un desagüe del tamaño adecuado al caudal del grifo.**

Seguramente que en seguida se habrá dado cuenta a de donde quiero llegar. El caudal que suministra el grifo ha de estar proporcionalmente ajustado al caudal que desagua el tubo. Con las antenas ocurre algo muy parecido. La longitud de la antena ha de ajustarse a la frecuencia de utilización. Si las diferencias son muy pequeñas, el problema pasa desapercibido pero si son grandes, como ocurre con las antenas de HF en 40, 80, 160 metros, ha de buscarse soluciones que evite daños al equipo o que transforme la mayor parte de la potencia de RF en calor.

ANTENA LARGAS Y CORTAS

¿Qué ocurre cuando queremos transmitir en una frecuencia para la cual la antena es corta o larga? Pues que se produce un desajuste de impedancias entre la antena y la línea, entendiéndose como línea el conjunto emisor-coaxial. En términos generales, podemos comprobar si la antena es larga o corta a una frecuencia dada, simplemente tomando nota de las lecturas que nos proporciona el medidor de ROE y deduciéndolo del **Primer Principio Fundamental**:

Si aumenta la frecuencia, la longitud de la antena disminuye. Si baja la frecuencia, la longitud de la antena aumenta.

LA ROE

Supongamos que usted ha construido un dipolo de media onda para la banda de 40 metros, empleando la fórmula **$142,5 / f$ (en MHz)** La instala, comprueba la ROE y se da cuenta que es algo elevada para la frecuencia de trabajo que fue diseñada. Esto le lleva pensar que su antena puede ser larga o corta. ¿Cómo averiguarlo? En algún lugar ha leído que la ROE es el resultado de dividir la impedancia de la antena por la impedancia de la línea $Z = (D / d)$. Suponiendo que su medidor le indique un valor de 3, usted no sabe si la antena tiene una impedancia de 150 ó 16 ohmios. Pero no importa. A usted lo único que le preocupa es que existe un desajuste y sabe que acortando o alargando el radiante, posiblemente quedará resuelto. Para saber si debe cortar o alargar, dibuje un gráfico de la curva de ROE para averiguar hacia donde se desplaza. Efectúe varias mediciones con su instrumento de ROE. Como mínimo una al principio de banda, otra en medio y una al final. Con ello obtendrá tres puntos de referencia que unirá entre sí con una línea. Tal vez no sea suficiente y deba medir valores fuera de banda para concretar la tendencia. Con el gráfico bien dibujado, tal como aparece en la imagen que acompaña este comentario, podemos enunciar el **Segundo Principio Fundamental** del radioaficionado experimentador de antenas:

Si la ROE disminuye cuando aumenta la frecuencia, la antena es corta. Si la ROE disminuye al bajar la frecuencia, la antena es larga.

PERO LA ROE SIGUE...

La ROE es muy tozuda y aparece cuando menos se la espera. Puede darse el caso que la antena esté cortada a la medida correcta, de acuerdo a la frecuencia de trabajo pero siga habiendo ROE. Entonces le espera un trabajo detectivesco, analizando todas las posibles causas, y buscando pruebas y evidencias que la descubran. Hemos aprendido que una de las causas de la aparición de la ROE es la desadaptación entre la antena y la línea. Si la antena está bien, la ROE puede esconderse en la línea de transmisión. Pero, ¿no habíamos quedado que el cable coaxial, por construcción tiene una impedancia fija de 50 ohmios? Es cierto pero pueden ocurrir causas que lo modifiquen. Para entenderlo es preciso saber cómo está construido un cable coaxial.

EL CABLE COAXIAL

La palabra coaxial indica dos curvas que tiene el mismo eje. En este caso, se trata de dos cilindros con un eje común. El cable coaxial está formado por dos conductores, el central, conocido comúnmente por *vivo* y el exterior o malla. Normalmente están separados entre sí por un *dieléctrico*. Este es un material *no conductor* que puede ser de diferentes tipo (macizo, espumoso o aire) según la calidad del cable y el % de pérdidas que se esté dispuesto a asumir.

La impedancia del cable coaxial viene determinada por la relación entre los diámetros de ambos conductores. Esto significa que usted puede averiguar la impedancia de un cable simplemente midiéndolo con un *pie de rey*, instrumento de precisión para medir grosores. De ahí se deduce que, si por algún motivo esta separación fija se ve modificada, la impedancia variará igualmente. Los cables coaxiales padecen tres clases de averías:

1.- Por aplastamiento o estiramiento de una sección.

2.- Por la humedad que se introduce en sus extremos mal aislados.

3.- Por el deterioro de su funda exterior, como consecuencia de la acción de los rayos del sol, especialmente los ultravioletas.

El cable coaxial tiene una vida limitada. La parte que queda en el exterior de la instalación debería substituirse cada cinco años como mínimo. Si durante la inspección semestral de su sistema radiante noto que la cubierta exterior presenta fisuras, está decolorada o muy rígido, cámbielo antes de que sea demasiado tarde. El **Tercer Principio Fundamental** del experimentador antenista dice:

El cable coaxial será de la mejor calidad que se pueda conseguir en cada momento.

EL MITO DE LA LONGITUD

Existe un mito muy extendido que cree que el cable coaxial ha de medir múltiplos de media longitud de onda. La verdad es que no importa cuánto mida el cable de la antena. Lo que sí ha de procurar a toda costa es que se cumpla el **Cuarto Principio Fundamental** del antenista aficionado:

Si la antena está bien instalada y resuena a la frecuencia de trabajo, la longitud del cable coaxial ha de ser la suficiente para que llegue con holgura desde el punto de alimentación de la antena hasta la conexión del transceptor.

La superstición es debida la mala interpretación de algunas características de los cables coaxiales.

La primera dice que *un cable coaxial de media longitud, una vez se le ha aplicado el coeficiente de corrección, tiene la propiedad de reproducir en su extremo opuesto la misma impedancia que presenta la antena en el punto de alimentación.*

La segunda hace referencia a las longitudes de $\frac{1}{4}$ de onda. *Si se intercala una longitud de $\frac{1}{4}$ de onda de una impedancia determinada entre una antena y su correspondiente línea de alimentación, puede conseguirse una transformación de impedancias, adecuada a las necesidades del transmisor.*

La tercera explica que una longitud de cable coaxial, dispuesta de cierta manera, puede usarse al mismo tiempo como transformador de impedancias y

simetrizador, pasando de una línea asimétrica (coaxial) a una antena simétrica (dipolo)

EL TERCER CONDUCTOR

A pesar de lo dicho, en ocasiones alguien intenta desmontar esta teoría con una demostración práctica. Veamos un ejemplo. En una instalación, aparentemente en buen estado, se comprueba la aparición de una ROE elevada, la cual desaparece en el momento que se aumenta la longitud del cable de alimentación. El radioaficionado deduce que existe una clara relación entre la ROE y la longitud del cable coaxial. Se trata de una apreciación errónea pues no se ha tenido en cuenta la intervención de otro factor determinante: *el tercer conductor* del cable coaxial. A primera vista, en un cable coaxial solo se distinguen dos conductores, el interno (vivo) y el externo (malla), sin embargo, a efectos de radio frecuencia (RF.), y en determinados casos, puede aparecer un tercer conductor.

La energía de radio frecuencia tiene la particularidad de penetrar solo unas pocas micras en el metal sobre el cual transita. En un cable coaxial se producen corrientes en los dos conductores, iguales y en sentido contrario. Mientras una sube por el vivo, la otra baja por la parte *interna* de la malla. Ambas se cancelan entre sí, actuando la malla como un blindaje de la energía de RF. que circula por el *vivo*. Precisamente, esta es una de las principales características del coaxial, impedir que aparezcan radiaciones espurias. No obstante, cuando se produce una de estas situaciones:

- **Que la antena está mal diseñada.**
- **Que el cable coaxial (que por construcción es asimétrico), alimente una antena simétrica, como el dipolo.**
- **Que alimente una antena vertical sin plano de tierra.**
- **Que el punto de alimentación de la antena ofrezca una anómala resistencia al paso de la RF.**
- **Que el coaxial discorra paralelo y muy próximo a la antena horizontal.**

En cualquiera de estos casos, se da una inducción sobre la parte externa de la malla y aparece el *tercer conductor*, que no es otro que la parte externa de la malla, llevando corrientes en sentido contrario a las que conduce la malla interna. Entonces el cable radia como si fuera una antena. De ahí que, al variar la longitud del cable de alimentación, la ROE también varía. De la misma manera, por el simple hecho de moverlo, la aguja de medidor baila ante nuestros ojos. El problema reside en una conexión defectuosa del cable con la antena o una soldadura deficiente en algún "latiguillo" de la instalación. Esta avería transforma el cable coaxial en una antena de hilo largo cuya impedancia varía según la longitud y el entorno. Si usted lleva bigote y usa un micrófono con rejilla metálica, es posible que se chamusque el mostacho. Un día caluroso

de verano, sudando y con los pies desnudos sobre el suelo, cuando toque el chasis metálico del equipo, notará una sacudida de advertencia. No se le ocurra intentar ajustar la ROE cortando pedacitos de cable coaxial. Esta no es, ni mucho menos, la solución y, aunque acierte por casualidad y consiga que su medidor marque una buena lectura de ROE, el cable seguirá radiando y produciendo interferencias por donde pase. La única influencia que tiene la longitud del coaxial en su estación, es la cantidad de pérdidas de señal, que se determinan en razón a su calidad. Existe una tabla de características de cables coaxiales donde se indica cuantos decibelios pierde cada 100 metros de longitud. Esto es muy fácil de entender. Algo parecido ocurre con una manguera de agua. Cuanto más larga sea la manguera de su jardín, menos presión obtendrá en la boca de salida. Ello es debido al roce del agua en las paredes del tubo. Los electrones de radiofrecuencia que circulan por el cable coaxial también rozan con los electrones del metal. Este rozamiento transforma la energía de *RF* en calor, que se disipa por el camino sin llegar a la antena. De todo esto, podemos enunciar el **Quinto Principio Fundamental** del antenista: ***La ROE se ajusta regulando la longitud de la antena. Jamás cortando pedacitos de cable coaxial.***

MEJOR IMPOSIBLE

Se llama **clímax** a la gradación ascendente de la tensión dramática en una representación artística, cuando empieza a plantearse soluciones a la trama de la obra. El radioaficionados alcanza su **clímax** particular cuando, después de diseñar, instalar, ajustar y probar una antena, observa satisfecho que la aguja del instrumento del medidor de ROE permanece quieta al principio de la escala de valores. En este momento de exaltación suprema algunos llegan a exclamar que han conseguido poner la antena a **Cero de ROE**. Nada más lejos de la realidad. Una de las maneras que tenemos para saber que ROE tendrá una antena, conocida su impedancia, es realizando una sencilla división aritmética. Por ejemplo. Una antena dipolo tiene, por definición 73 ohmios de impedancia. Si el equipo al cual queremos conectarla tiene una toma de 50 ohmios, podemos calcular la ROE resultante de esta manera:

$$73 / 50 = 1,46 \text{ ROE}$$

Inversamente, podemos saber la impedancia de una antena conocida al del cable y la lectura de ROE. Por ejemplo, si medimos 1,7 de ROE y el cable es de 50 ohmios, la antena tendrá:

$$1,7 \text{ ROE} \times 50 \text{ cable} = 85 \text{ cable antena}$$

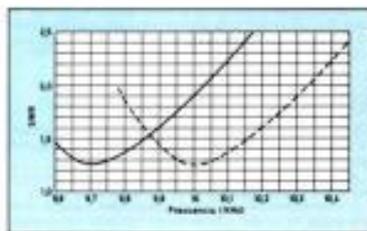
Pero, ¿y si tenemos una antena cuya impedancia sea, precisamente, 50 ohmios, igual a la del equipo? ¿Cuál será entonces la Relación de Ondas Estacionarias? Veamos:

$$50 / 50 = 1 \text{ ROE}$$

Pues sí, señor. **El valor mínimo de ROE presente en una línea coaxial es 1.** Sólo podría ser 0 si el equipo o la antena tuvieran también impedancia 0 y esto

es imposible. Luego, quien diga que su antena tiene *cero de roe* está equivocado y usted, que ahora sabe la razón, puede hacérselo ver de esta manera.

LA ROE QUE NOS CORROE (segunda parte)



Ejemplo de gráfico de ROE

He conocido radioaficionados que se han pasado semanas subiendo y bajando de su torreta para ajustar milimétricamente la antena hasta conseguir una ROE bajísima. También tengo noticias de alguno que, desgraciadamente, lo único que ha conseguido bajar a sido su propio cuerpo de manera involuntaria y con graves secuelas físicas, cuando no mortales. Por esta razón me apresuro a enunciar el **Sexto Principio Fundamental** del radioaficionado antenista:

Una buena Relación de Ondas Estacionarias no vale la vida del radioaficionado.

Obsesionarse con las lecturas de su medidor de ROE no sirve de mucho. No existen antenas perfectas. Si intenta conseguir un aumento de ganancia en una antena directiva, esta será a costa de modificar la impedancia de entrada u obtener un lóbulo de radiación tan estrecho que será difícilísimo enfocarlo hacia su objetivo. Una buena antena es la que guarda el mejor equilibrio entre todas sus variables.

Los equipos modernos de radioaficionado están preparados para resistir sin inconvenientes ROE de hasta 1:2. Puede darse por satisfecho si su antena consigue valores próximos a 1:1,5. Además, en determinadas bandas, un valor óptimo de 1:1 sólo se obtiene en un estrechísimo margen de frecuencias en HF y algo mayor en VHF - UHF

¿QUÉ ES LA ROE?

Buena pregunta, sí señor. Como respuesta podría soltarle un montón de palabrería técnica que lo dejaría casi igual que antes pero, para esto ya están los libros técnicos, llenos de fórmulas y diagramas. Así, entre usted y yo, vamos a buscar una respuesta más casera.

El pasado verano, estaba de vacaciones en casa de mi suegra y, una de las tareas que me encomendó era la de regar diariamente el pequeño jardín que estaba en la parte trasera de la casa. Para ello, la buena mujer había preparado una larga manguera con un caño en la punta en forma de pistolón de plástico que podía regular la salida del líquido desde finas gotitas de lluvia hasta un tremendo chorro que alcanzaba varios metros de distancia. Siguiendo las instrucciones de mi *mamá política*, conecté la manguera al grifo, le di vueltas a la llave de paso y tomando el otro extremo de la manguera me dispuse a realizar mis labores de regante. Todo parecía ir bien, así que me

tomé un descansito para refrescarme de los ardores del sol. Como el reposo del guerrero sería breve, no cerré la llave de paso pues la lanzadera se ponía en marcha apretando un gatillo que paraba el chorro al soltarlo. Cuando volví observé que la conexión de la manguera al pistolón se había hinchado de una manera preocupante. Seguí regando y, de vez en cuando, tanteaba con la otra mano la hinchazón. Aparentemente todo funcionaba bien hasta que en el interior de la casa la lavadora acabó su ciclo de lavado y se paró. Esta nimiedad hizo que aumentará la presión del agua en la instalación y coincidió, precisamente cuando me disponía a buscar otra sombra para otro receso. Cuando solté el gatillo del pistolón, que hasta aquel momento había tenido apretado, la presión del agua sobrepasó el límite de esfuerzo de la conexión y el pitorro salió despedido hacia delante mientras un surtidor de agua me dejaba empapado en pocos segundos. Del sobresalto quedé sentado en el suelo, como ido, agarrado a la manguera que continuaba lanzando agua hacia lo alto cayendo después encima de mí como lluvia de primavera.

En ese estado me encontró mi esposa que, corriendo fue a cerrar el grifo. Cuando volví me preguntó porqué me había quedado así, sin hacer nada y mojándome. Poco a poco volví a la realidad. Me sentía como Arquímedes saliendo empapado de la bañera. Había dado con una explicación sencilla de la **ROE**.

Como usted ya habrá comprendido, el remojón se produjo como consecuencia de una desadaptación entre el caudal de agua, el diámetro de la manguera y el orificio de salida del pistolón. Una parte del líquido salía al exterior pero otra era devuelta hacia la fuente suministradora y se encontraba con la nueva remesa de agua que llegaba. El encuentro de ambos flujos, el ascendente y el rechazado producía una situación de líquido **estacionario** que terminó en avería

ONDAS ESTACIONARIAS

ROE significa Relación de Ondas Estacionarias. En inglés lo verá usted escrito **SWR**. Las ondas estacionarias son las que aparentan estar quietas en el interior de una línea de transmisión. Cuando un emisor envía energía electromagnética hacia una antena a través de un cable coaxial, espera que el elemento radiante sea capaz de convertir toda la RF en ondas de radio y las expanda por el espacio exterior. Esto ocurre cuando el emisor, la línea y la antena tienen exactamente la misma impedancia. Toda la energía enviada es transformada íntegramente en ondas de radio. Sin embargo, como ya vimos anteriormente (La ROE que nos Corroe – Parte 1), algunas antenas no tienen suficiente anchura de banda y, con una pequeña variación de frecuencia se produce un importante desajuste de medidas físicas. Cuando sucede esto, la antena no es capaz de absorber toda la potencia que le suministra el emisor y empieza a devolverla hacia abajo. Esto produce dos fenómenos que hemos de imaginar. Por un lado, la energía devuelta se encuentra con la energía que sigue enviando el emisor. Como esta energía se propaga en forma de impulsos u ondas, la que baja choca con la que sube y una parte se anula entre sí debido a que están en oposición de fase.

Si el emisor envía hacia arriba una onda de 100 vatios y la antena solo absorbe 80, devolverá veinte que se anularán con la parte correspondiente de la nueva onda que suministra el emisor. Los veinte vatios que bajan se atascan con los veinte vatios que suben (del paquete de 100 w) y, aparentemente, se quedan **estacionados** en la línea. Es como un tapón. Vaya, como en la autopista, cuando las taquillas de peaje (casi escribo *pillaje*) no absorben con suficiente fluidez el tráfico y se originan largas colas. Este suceso produce otro fenómeno. El emisor, que sigue enviando ondas hacia la antena, encuentra un obstáculo que le obliga a trabajar más (**augmenta su temperatura**) y, al mismo tiempo, la energía devuelta aún lo calienta más. El resultado es la aparición de la fatiga y la consiguiente disminución del rendimiento. Los detectores del paso final del emisor notan el incremento de temperatura y toman dos decisiones. Por un lado intentan refrigerar el emisor poniendo en marcha los ventiladores y por otro lado, disminuyen el aporte de energía. Si el problema persiste, apagan la caldera de las ondas y esperan que la temperatura vuelva a la situación normal.

Si no existieran estas protecciones, a su emisor le ocurriría como a la manguera de mi suegra. Llegaría un momento en que la presión del grifo emisor sería tan elevada y el pistolón, incapaz de dar salida a toda el agua, propiciaría que el conjunto se rompiera por la parte más débil. En el caso de un transmisor, los sensibles (y caros) transistores de potencia del paso final sucumbirían al exceso de temperatura. Esto lo digo suponiendo que el emisor no cuente con un circuito de adaptación de impedancias. Si lo tiene, el sintonizador se encarga de volver a reenviar la energía hacia arriba. Finalmente, toda la potencia del emisor es radiada al espacio, pero, esto es otro interesante tema para debatir algún día.

PÉRDIDAS EN LÍNEA

¿Recuerda que al principio decía que no vale la pena arriesgar la vida por obtener una ROE baja? Es cierto pero, tampoco es cuestión que la desidia le impida optimizar razonablemente su instalación. Pero, para saber si es necesario intervenir en el sistema radiante ha de conocer el *porcentaje de pérdidas en la línea*. Si lo sabe, sabrá a su vez el tanto por ciento de rendimiento de su antena. Para descubrirlo ha de realizar unas pequeñas operaciones aritméticas.

En primer lugar se calcula el coeficiente K:

$$K = (ROE-1) / (ROE+1)$$

El tanto por ciento de pérdida será:

$$\text{Pérdidas en \%} = 100K^2$$

Y el porcentaje de rendimiento la diferencia que existen entre este último resultado hasta llegar a 100, es decir:

$$\text{Rendimiento en \%} = 100 - \text{Pérdidas en \%}$$

Existe una tabla preparada con los cálculos del % de Pérdidas y Ganancias, según la ROE de su instalación

R.O.E.	% PÉRDIDAS	% RENDIMIENTO
1.00	0.00	100.00
1.5	4.00	96.00
2.0	11.11	88.89
2.5	18.37	81.63
3.0	25.00	75.00
3.5	30.86	69.14
5.0	44.44	55.56
10.00	66.94	33.06
50.00	92.31	7.69

Como puede observar, la relación óptima de ondas estacionarias en una antena es 1:1. Recuerde que no existe *cero de estacionarias*. Pero, también le decía que es totalmente admisible una relación 1:1,5. Algunos radioaficionados se ponen nerviosos cuando ven la aguja del medidor de ROE marcando 1,5. La verdad es que existe muy poca diferencia, realmente apreciable, entre una señal de 100 vatios y otra de 96 vatios. Nadie es capaz de diferenciarlas. Estos pequeños desajustes ocurren en todos los sistemas radiantes. Además, suponiendo que la aguja del medidor se quede quieta al principio de la escala, esto no significa que su antena funcione bien. Le voy a contar un caso demostrativo.

UN CASO REAL

En cierta ocasión, hablando por radio con otros compañeros sobre los problemas de las ondas estacionarias, intervino un radioaficionado que nos explicó su problema. Últimamente, decía, había notado que las señales le llegaban con poca intensidad y lo mismo ocurría con la suya propia. Donde antes llegaba con holgura, ahora le costaba mucho más. En principio lo atribuyó a la falta de propagación. Luego, al escuchar menos estaciones que antes, pensó que había bajado la actividad en la banda, pero sus compañeros habituales le decían que ellos no notaban estos fenómenos y que el problema podía estar en su transceptor o antena. El equipo estaba bien, tal como habían comprobado en un taller de reparación y la antena, continuaba, no tenía ni el menor rastro de ROE. Esta última observación me llamó la atención. Le pedí que comprobara una vez más la ROE en toda la banda, especialmente en los extremos, fuera de la anchura oficial. Mi intención era dibujar un gráfico con la curva de ROE proporcionada con sus lecturas. Su respuesta fue que, de un extremo a otro de la banda, la ROE era 1:1. La esperada curva se había convertido en una línea recta y plana. La siguiente pregunta que le hice fue para interesarme por el tiempo que llevaba instalado su cable coaxial. ¡Más de diez años! Y éste colgaba por el patio de luces soportando su propio peso, sin la ayuda de ningún soporte que aliviara la tensión por estiramiento. Evidentemente, la solución pasaba por cambiar urgentemente el cable coaxial y colocarlo de la manera correcta, es decir, sujeto a un cable de acero que se

encargaría de aguantarlo. Al cabo de unos días, el radioaficionado apareció de nuevo con una señal atronadora y muy contento. Efectivamente, al sustituir el cable coaxial por un nuevo de mejor calidad el problema había desaparecido. Hasta ahí lo entendía, dijo, pero lo que no veía claro es porqué el medidor de ROE no le había avisado.

E aquí la explicación. Cuando un cable coaxial envejece, su cubierta se deteriora y aparecen fisuras que permiten el paso de la humedad, la cual corroe la malla. Recordemos lo que decía en el capítulo anterior.. *La energía de radiofrecuencia sólo penetra unas micras en el cable conductor.* Y lo hace, precisamente, donde el cobre se ha transformado en sulfato de cobre, que presenta una mayor resistencia al paso de la corriente. Si el cable sigue deteriorándose, el dieléctrico termina por resquebrajarse y pasa por el mismo proceso destructivo que la malla. Entonces, la resistencia que ofrece al paso de la energía electromagnética aumenta considerablemente y se transforma en calor que se disipa antes de llegar a la antena. En otras palabras, el % de pérdidas se acerca cada vez más al 100%, mientras que el rendimiento disminuye hasta valores próximos a la unidad. Las ondas, que deberían volver al emisor como consecuencia de esta resistencia anómala, se transforman en calor y el resultado es que el medidor de ROE no detecta ninguna señal de energía reflejada y, por lo tanto, no puede comparar la diferencia entre la potencia de subida y su reflejada. El resultado es que la aguja marca 1:1 o, en el peor de los casos, se queda inerte más abajo del 1.

EL CABLE COAXIAL

El estado y modelo de cable coaxial está muy relacionado con los índices de pérdidas y rendimiento de la estación de aficionado. ¿Se acuerda lo que decía el ***Tercer enunciado de los Principios Fundamentales del radioaficionado?***

El cable será de la mejor calidad que se pueda conseguir en cada momento.

Ampliaré un poco más esta afirmación. Sabemos que el cable coaxial está formado por dos conductores concéntricos, el *vivo* y la *malla*, que actúa también como pantalla. Ambos tiene un eje común y están separados entre sí por un dieléctrico que puede ser, es decir, un aislante eléctrico que puede ser de diversos materiales como el polietileno, sólido, celular o, mucho mejor, el aire. Aprendimos en la primera parte de este “parte 1”, que la relación entre el diámetro del conductor central y el de la malla, determina la impedancia característica del cable. En realidad, la fórmula para calcular la impedancia de un cable coaxial es:

$$Z = (138 / K) \log (D/d)$$

Donde *K* es la constante dieléctrica del aislante (La del aire es 1), *D* el diámetro interior de la malla, y *d* el diámetro del vivo, todo expresado en milímetros. Los cables coaxiales se fabrican con impedancias entre 50 y 150 ohmios, aunque los más habituales son los de 50 ohmios para antenas de emisión, y de 75

ohmios para antenas receptoras de televisión. El paso de una corriente eléctrica por un cable coaxial sufre una atenuación que viene determinada, entre otras causas, por el diámetro de los ambos conductores. En esta atenuación influye, además, el factor de velocidad, la impedancia, la frecuencia y la longitud de la línea. En radioafición, los cables coaxiales más habituales son los modelos RG-58, RG-8 y RG-213. Vea la tabla comparativa y observe cual le conviene más, según las características de su instalación.

TIPO DE CABLE	DIÁMETRO	IMPEDANCIA	FACTOR VELOCIDAD	ATENUACIÓN EN dB POR CADA 100 METROS				
				10 MHZ	50 MHZ	100 MHZ	200 MHZ	400 MHZ
RG- 8	10.3	52	0.66	1.80	4.27	6.23	8.86	13.5
RG-58	5.0	50	0.66	4.59	10.80	16.10	24.30	39.40
RG-59	6.2	75	0.66	3,61	7,87	11,2	16,2	23
RG-213(*)	10,3	50	0,66	1,80	4,27	6,23	8,86	13,5

Fíjese que, comparando el modelo RG-58 y el RG-59, el que mejor se adapta a un transceptor es el RG-58 porque su impedancia es la más próxima a los 50 ohmios de la toma de antena del TRX, aunque la atenuación del RG-59 es menor. Si prefiere el tipo RG-59, la ROE que marcará su medidor nunca será inferior a 1:1,5 por aquello de $75 / 50 = 1,5(*)$ En algunos manuales, el modelo RG-213 figura con 60 ohmios. El uso del RG-58 es aceptable en bandas decamétricas y CB-27, donde la atenuación pierde importancia debido al elevado ruido eléctrico, de origen natural y artificial, presente en la banda. También es habitual en las instalaciones en automóviles, debido a los pocos metros entre la antena y el emisor. El tipo RG-59 es muy empleado en instalaciones de TV. En V-U-SHF, las pérdidas son mucho más importantes y el mínimo recomendable para longitudes relativamente cortas es el modelo RG-8U o, si es viable económicamente, mejor uno con el dieléctrico de aire.

CONECTORES

Los conectores son otra fuente de problemas. Los de baja calidad, con el dieléctrico de plástico inducen grandes pérdidas, sobre todo en V-UHF y superiores. Los nuevos equipos V-UHF llevan de origen el conector M, más caro pero de mejor calidad. El sistema de conexión del PL-259, muy habitual en las instalaciones de aficionado, está muy relacionado con la calidad de la señal. Siempre es mejor una soldadura que el simple contacto por presión. La suciedad de los conectores, donde se acumula restos de polución atmosférica, debilita la señal y pueden llegar a producir efectos como la anécdota que le he relatado un poco más arriba. Los conectores de codo, en ángulo recto no son muy adecuados en emisión. Siempre que pueda prefiera una curva de cable antes que un conector de codo.

CONCLUSIONES

Tal como habrá ido comprobando, la ROE ofrece un interesantísimo campo de estudio y experimentación. No piense que el cable coaxial es el único tipo de

línea que puede emplear en su instalación. El cable bifilar, o cinta plana de 300 , fue muy usado hasta hace relativamente pocos años. La línea de escalerilla de 450 tiene unas pérdidas realmente irrisorias, y la puede construir usted mismo a un precio módico. Si trabaja las bandas de ondas métricas y centimétricas, y precisa de longitudes de cable elevadas, antes de gastar dinero en un delicadísimo amplificador de recepción, estudie la posibilidad de instalar una línea paralela de escalerilla. La R.O.E y sus derivaciones dan para mucho más. No en vano es uno de los temas favoritos de los radioaficionados. Lea, compre libros y, poco a poco, se convertirá en un experto sobre este apasionante tema. Este es uno de los motivos centrales de la radioafición, el estudio y la investigación radioeléctrica.
