

## ¿Tierra natural, radiales o contraantena?

por Luis del Molino EA3OG ([ea3og@ure.es](mailto:ea3og@ure.es) y <https://www.radioaficion.biz/>)

Me preguntaba un colega Cristian Vasquez, CE3RHA, cuáles son las principales diferencias entre cada uno de estos componentes de una antena, para escoger cuándo es más conveniente utilizar cada uno de ellos, teniendo en cuenta su influencia en el comportamiento del sistema radiante.

Esto me ha sugerido la idea de que tal vez valdría la pena dejar bien claras las diferencias entre estos tres elementos que forman parte de ciertas antenas verticales, puesto que las consecuencias de su utilización son muy diferentes y valdría la pena conocerlas más a fondo.

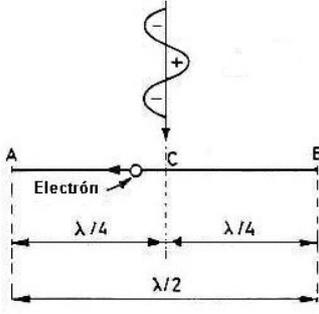
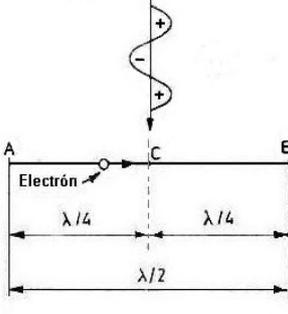
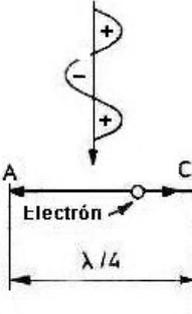
Seguro que no hace falta explicar qué es la Tierra natural a nadie y todos sabéis lo que son unos radiales de cuarto de onda, pero... ¿qué demonios es una contraantena? Así pues, intentemos definir mejor este concepto y su funcionalidad.

### ¿Qué es una contraantena?

Sabemos que la característica que optimiza el funcionamiento de una antena como captador de energía de una onda electromagnética es su longitud resonante en media longitud de onda (o sus múltiplos). Con esta longitud tan especial de un conductor, bajo la influencia del campo eléctrico de una onda electromagnética, sus electrones se desplazan sincrónicamente de punta a punta y se refuerza su movimiento (figura 1a y 1b), y este sincronismo da lugar el fenómeno que llamamos resonancia porque consigue una gran amplitud de corriente en el centro del conductor.

**Nota:** A estas alturas de la película, ya deberíais saber que ese movimiento de los electrones de punta a punta de la antena no es del todo real, sino algo ficticio, porque lo que se propaga de punta a punta del dipolo es la onda repulsiva (yo le llamo "la tacada del billar") que empuja a los trillones de electrones de una punta a otra y rebota en estas puntas para regresar en sincronismo con el cambio de polaridad de la señal en el centro de la antena.

Esta longitud característica lo convierte en el intercambiador óptimo de energía entre el conductor y el espacio circundante por el que circula la onda y, en consecuencia, captura la máxima energía de la onda electromagnética.

		
<p>Figura 1a: Campo eléctrico negativo: Todos hacia A</p>	<p>Figura 1b: Campo eléctrico positivo: Todos hacia B</p>	<p>Figura 2: ¿ Resonancia con la mitad de longitud <math>\lambda/4</math>?</p>

### ¿Longitudes más cortas?

Cuando el conductor no da la talla, necesitaremos un elemento que complemente esa antena demasiado corta y le proporcione la longitud física o electrónica que le falta para alcanzar también la resonancia, aunque no la tenga físicamente.

Así que podemos intentar acortar las antenas y mantener esa eficiencia óptima como interface onda/conductor si conseguimos alcanzar también la resonancia por otros medios, compensando su falta de longitud por medio de otro elemento que la compense, por ejemplo, mediante una inductancia que lo alargue eléctricamente. En el fondo una bobina no deja de ser un enrollamiento del cable de la antena que alarga eléctricamente su tamaño físico, de modo que no afecte a su longitud eléctrica y con ella se mantenga la resonancia en media onda.

### ¿Y un cuarto de onda como antena?

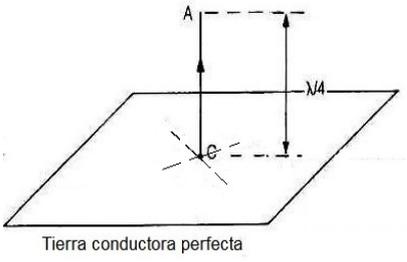
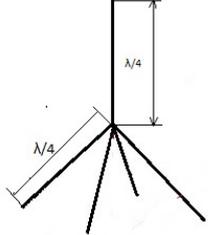
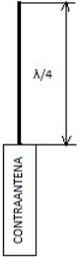
Sería muy interesante poder conseguir la resonancia con tan solo un cuarto de longitud de onda, porque reduciríamos a la mitad las dimensiones del dipolo de media onda resonante, pero al faltar la otra mitad y deberemos reemplazarla de algún modo (figura 3), pues siempre hace falta añadir algo más para que esto funcione y mantener la resonancia.

### ¿Cómo podemos sustituir la otra mitad?

Aquí es donde aparece la posibilidad de usar por ejemplo la tierra natural, los radiales o cualquier otra cosa que sustituya esta mitad faltante (figura 3a, 3b, 3c); es decir, algo que sirva como contraantena y que reemplace la mitad que ahora nos falta

### La contraantena = una pierna artificial

La contraantena sería como la pierna artificial que sustituye a la pierna faltante de una antena; y le permite seguir caminando. Es decir, la definición de contraantena nos indica que es el elemento que sustituye a la otra mitad que le falta a nuestro cuarto de onda para seguir siendo resonante en media onda, a pesar de tener unas dimensiones que son la mitad de las de un dipolo resonante de media onda.

 <p>Tierra conductora perfecta</p>		
<p>Figura 3a: La Tierra sustituye a la otra mitad</p>	<p>Figura 3b: Los radiales sustituyen a la otra mitad</p>	<p>Figura 3c: La contraantena sustituye a la otra mitad</p>

Tanto la Tierra natural (figura 3a), como los radiales (figura 3b) son en el fondo contraantenas (figura 3c), porque permiten complementar la otra mitad de la antena de cuarto de onda que nos falta para alcanzar la resonancia punta a punta, fenómeno que no se conseguiría con tan solo un cuarto de longitud de onda.

### ¿La contraantena radia o no radia?

La cuestión clave es si la contraantena, sea del tipo que sea, contribuye o no a la radiación de la energía de radiofrecuencia suministrada a la antena; es decir, si además de permitir mantener la resonancia, actúa también o no de interface entre el conductor y el espacio y contribuye a la generación de la onda electromagnética, o simplemente le ayuda a alcanzar la resonancia, pero no radia.

La respuesta correcta a esta pregunta depende del elemento que utilicemos, y debemos analizar más a fondo esta cuestión, planteando todas las variantes que se me han ocurrido:

#### Variantes de contraantena:

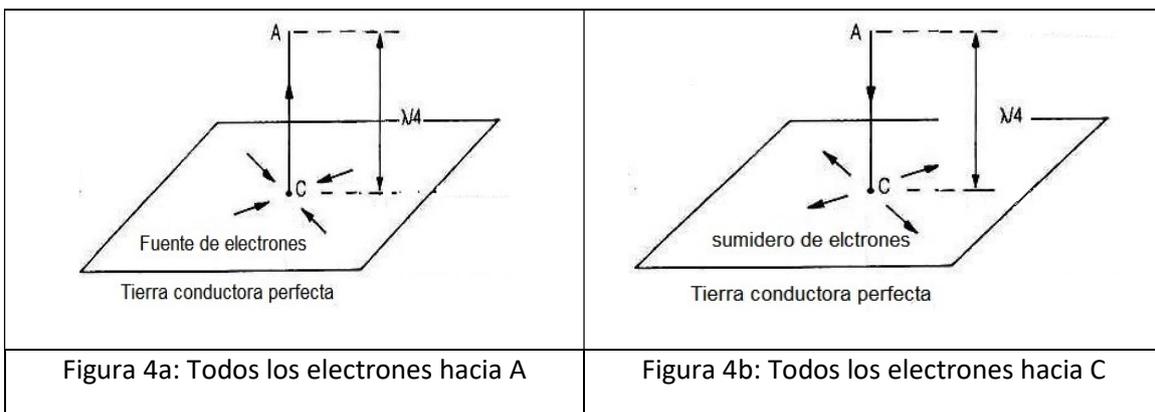
1. La Tierra natural actúa como contraantena, pero la tierra no radia nada.
2. Los radiales horizontales y opuestos aéreos solo actúan como contraantena y tampoco radian energía electromagnética.
3. Los radiales horizontales y opuestos enterrados actúan como contraantena y no radian energía electromagnética.
4. Los radiales inclinados aéreos iguales y opuestos de las verticales de cuarto de onda, no radian horizontalmente, pero si radian energía verticalmente, y, además, actúan como contraantena.
5. La contraantena de un solo radial horizontal (o cuando son varios y no son iguales y opuestos) actúan como contraantena, pero además desgraciadamente radian donde no deben.
6. Las tomas de tierra para eliminar la RF si funcionan bien y derivan la radiofrecuencia a tierra, actúan también como contraantena y lamentablemente radian donde no deben.
7. Las tomas de tierra de protección personal y contra descargas de rayos no deberían derivar la RF a tierra, es decir no deberían conducir RF ni ser radiantes.

#### 1. La Tierra natural

La tierra natural es una superficie más o menos conductora cuyo potencial eléctrico siempre se mantiene estable y nos sirve de referencia y de apoyo para enviar la tensión diferencial de RF que se propaga por el monopolo radiante, así como de fuente y sumidero de electrones que viajan desde la tierra hasta la punta del radiante y de vuelta a tierra (figura 4a y 4b), porque rebotan en el extremo del monopolo vertical de un cuarto de onda y cuyo recorrido es media longitud de onda ( $\lambda/4 + \lambda/4 = \lambda/2$ ) y, por tanto, da lugar también a la resonancia con tan solo la mitad de la longitud de un dipolo de media onda.

**Nota:** Recordemos de nuevo que esta afirmación de la movilidad de los electrones por todo el radiante no es del todo cierta, porque los electrones realmente se desplazan muy poco por un conductor, sino que lo que realmente se mueve a lo largo del monopolo es la onda repulsiva o atractiva que se propaga a casi la velocidad de la luz (aproximadamente al 95%) por el conductor, mientras que los electrones apenas se mueven unos milímetros en su interior, pero se empujan unos a otros transmitiendo la tacada repulsiva o atractiva a través de ellos a casi la velocidad de la luz.

La Tierra natural o cualquier superficie plana perfectamente conductora pueden proporcionar electrones al radiante  $\lambda/4$  que luego vuelven y se reparten por todas las direcciones de esa superficie, de modo que esas corrientes en la superficie terrestre son iguales y opuestas, por lo que generan campos eléctricos y magnéticos que se anulan entre sí en el espacio lejano y no generan ninguna onda electromagnética y toda la energía suministrada se desprende solo del monopolo vertical de un cuarto de onda, que es el único radiante, y no de la tierra, que solo actúa de contraantena.



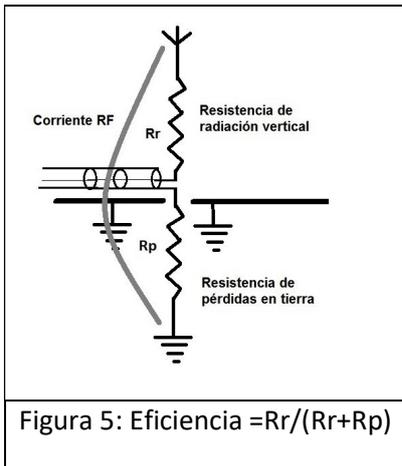
Pero esta tierra natural conductora perfecta sólo se da en la práctica cuando montamos monopolos encima de vehículos con carrocería metálica en frecuencias de VHF y UHF porque sus dimensiones mucho mayores que las del monopolo radiante la hacen semejante a la tierra conductora perfecta.

**Nota:** Otra cuestión importante es que la tierra situada debajo de la antena solo sirve como reflector para los ángulos de radiación NVIS (casi verticales), mientras que la tierra de zonas alejadas más de un cuarto y media longitud de onda es la que refleja las ondas con ángulos bajos de elevación, más apropiados para el DX.

Lo más normal es que la Tierra inmediata bajo la antena no sea conductora perfecta, y la conexión de nuestro coaxial con esa tierra tampoco sea perfecta, sino que tenga una resistencia apreciable  $R_p$ . Eso hace que parte de la energía suministrada a la antena por el coaxial se pierda en esa resistencia  $R_p$  de la conexión con tierra, lo que causa que la eficiencia de la antena disminuya muy apreciablemente, porque ahora disminuye en la proporción que le

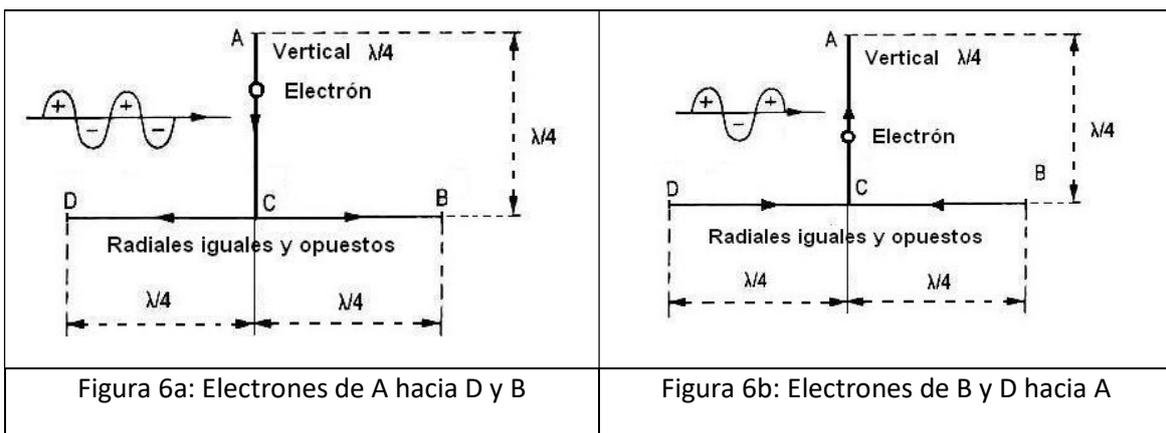
corresponde respecto a la resistencia de radiación  $R_r$  (la mitad de un dipolo). Puesto que  $R_r$  vale  $72/2 = 36 \Omega$ , la de pérdidas vale  $R_p$  y el rendimiento es  $r = 36/(36+R_p)$  (figura 5).

No es un buen negocio usar la tierra como contraantena debido a esta notable disminución de la eficiencia. Nos ahorramos unos cuantos radiales, pero lo pagamos con una eficiencia mucho menor, si no conseguimos una  $R_p$  muy bajita y menor de  $10 \Omega$ , lo cual no es nada fácil. Por poner un ejemplo, si  $R_p$  vale también  $36 \Omega$ , pues  $r = 36/72 = 0,5$  o sea un 50% y solo se radia la mitad de la potencia. Y ya hemos perdido 3 dB aquí.



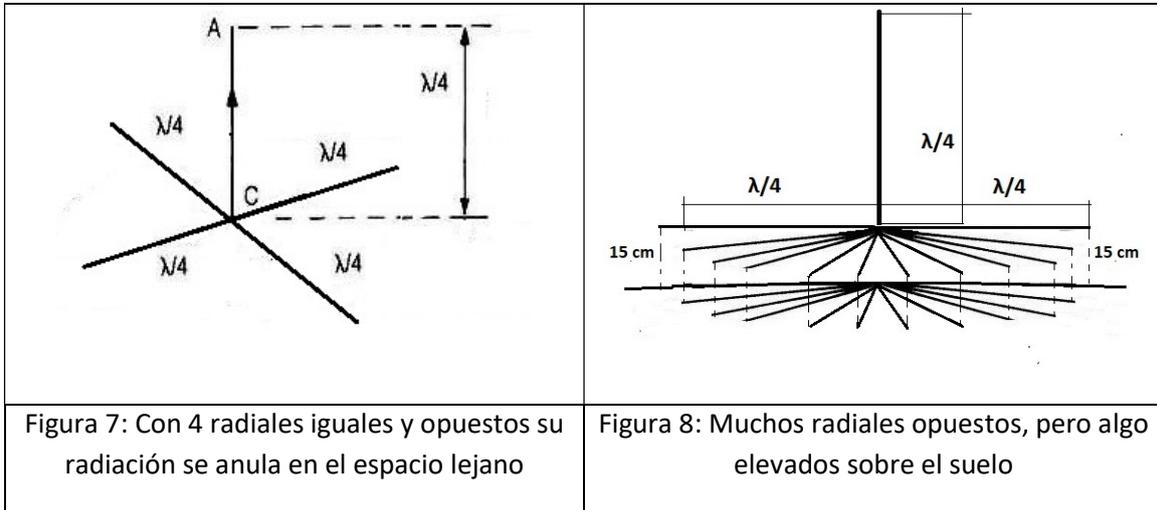
## 2a. Los radiales horizontales y opuestos

También podemos mantener la resonancia complementando el monopolo con 2 radiales horizontales y opuestos con una longitud de  $\lambda/4$ , de forma que la corriente oscilante de la base a la punta del monopolo se distribuya en dos mitades que circularán en sentido opuesto por los dos radiales horizontales (figura 6a y 6b) para rebotar en sus puntas D y B y regresar al centro C en sincronismo.



Estas dos corrientes en dirección opuesta cancelan sus respectivos campos eléctricos en el plano perpendicular al de la antena, pero no acaban de cancelarlos bien en la dirección hacia las puntas de los radiales (D  $\leftarrow$  C  $\rightarrow$  B), justo en el mismo plano vertical que los contiene, aunque su radiación queda reducida a un mínimo en esa dirección específica.

Si queremos que se cancele bien esa radiación horizontal en todas las direcciones del espacio, necesitaremos colocar 3 o 4 radiales horizontales simétricos y opuestos con simetría radial (figura 7), con lo que aseguraremos que se cancele perfectamente el campo eléctrico radiado por los radiales en todas las direcciones del espacio de modo que esta contraantena formada por 3 o 4 radiales no radie en ninguna dirección y la radiación solo se produce desde el monopolo de  $\lambda/4$ .

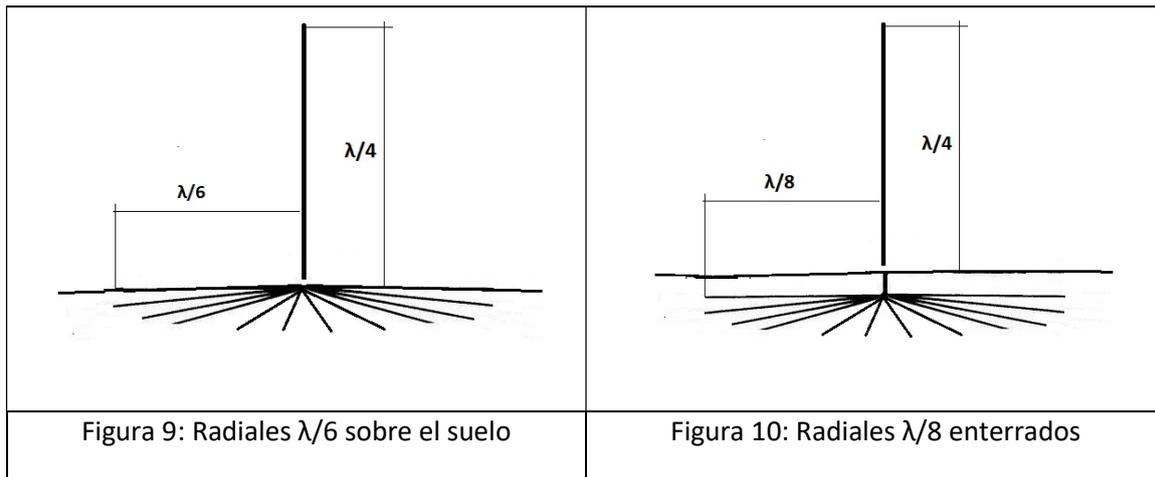


## 2b. Radiales iguales y opuestos muy cerca del suelo pero sin tocarlo

Si queremos obtener la máxima corriente en la antena, los radiales deben ser resonantes en cuarto de onda también, pero debemos tener muy en cuenta que, si están separados del suelo por lo menos 15 cm (figura 8), su longitud resonante se mantendrá muy cerca del cuarto de onda, aunque deberán ser ligeramente más cortos, porque por su mayor proximidad con el suelo hará que disminuya algo la velocidad de propagación de la onda eléctrica por el radial, es decir, que disminuya lo que llamamos su factor de velocidad.

## 2c. Radiales iguales y opuestos depositados directamente sobre el suelo

Rudy Severns, N6LF, demostró y expuso en su artículo *"An experimental Look at Ground Syetems for HF verticals"*, publicado en la revista QST de Mayo de 2010 ps.31-35 y cuya traducción aparece en la revista URE de Julio de 2017 (si queréis leerlo no tenéis más que pedírmelo), que la longitud de los radiales depositados sobre el suelo directamente se debe reducir a  $1/6$  ( $0,16 \lambda$ ) de longitud de onda en lugar de  $1/4$  ( $0,25 \lambda$ ), porque su mayor capacidad con el suelo disminuye su velocidad de propagación y eso hace que se consiga la máxima corriente en la base del monopolo radiante y en el punto de conexión de los radiales cuando su longitud es de  $0,1666 \lambda$  ( $\lambda/6$ ) y, por tanto, también se consigue la máxima eficiencia en la radiación del monopolo.



### 2d. Los radiales horizontales y opuestos enterrados

Realmente, los radiales enterrados sólo actúan como contraantena y no radian energía electromagnética. En este caso, como demostró Rudy Severns, N6LF, la longitud ideal para radiales enterrados sería la de  $1/8$  de longitud de onda ( $0,125\lambda$ ), debido al aumento de su capacidad con el suelo, puesto con esta longitud se consigue la máxima corriente de resonancia en la base de la antena (figura 10).

La conclusión a la que llegó Rudy es que no sirve para nada colocar radiales enterrados de una mayor longitud ni tampoco en mayor número. Esa idea de que, para mejorar la radiación, contra más longitud de radiales y contra más radiales mejor, N6FL insiste en que el comprobó que era totalmente falsa. Y concluyó que era mejor que estos radiales estuvieran bien aislados y recubiertos, para no permitir que circularan corrientes por la tierra a su alrededor, pues eso hacía circular parte de la corriente de RF por zonas donde había mayor resistencia, lo que no hacía sino aumentar las pérdidas.

Otra cuestión es que estos radiales sin aislante se utilicen para mejorar el contacto con una tierra mal conductora para intentar utilizar la tierra como contraantena. Es decir, intentamos disminuir la resistencia de la toma de tierra con radiales no aislados de una longitud inferior a un  $1/8$  de onda, pero bien enterrados profundamente para conseguir una menor resistencia en la conexión con esta tierra.

Siento tener que decirlo, pero la excavación en profundidad siempre es mucho más costosa que la excavación en superficie, y encima no se demostró que eso representara ninguna mejora ni tuviera ninguna utilidad práctica.

### 3. Los radiales inclinados iguales y opuestos

Si los radiales tienen simetría radial, o sea, son tres, cuatro, ocho o más y están inclinados y opuestos, conseguiremos una mejor adaptación a un coaxial de 50 ohmios, porque si los radiales son horizontales, como la resistencia de radiación de un monopolo vertical es la mitad de la de un dipolo ( $72\Omega/2=36\Omega$ , tal como corresponde al tener el radiante la mitad de la longitud), la ROE mínima para monopolos con radiales horizontales es de 1,5:1 ( $50/36$ ).

Al inclinar los radiales desde la horizontal hacia abajo, se aumenta esa resistencia de radiación desde 36 hacia un valor alrededor de los 50  $\Omega$ , porque con ellos se incrementa virtualmente la longitud vertical del radiante del monopolo, que queda prolongada por la suma de los componentes verticales del campo eléctrico radiado por los radiales inclinados, de modo que su campo eléctrico se suma en fase con el de la radiación del monopolo vertical (figura 11). Es decir, la componente vertical de todos los radiales inclinados se suma y representa que produce una radiación vertical adicional, en fase con la radiada por el monopolo y con una longitud virtual equivalente a  $\Delta L = \lambda/4 \times \cos \alpha$ .

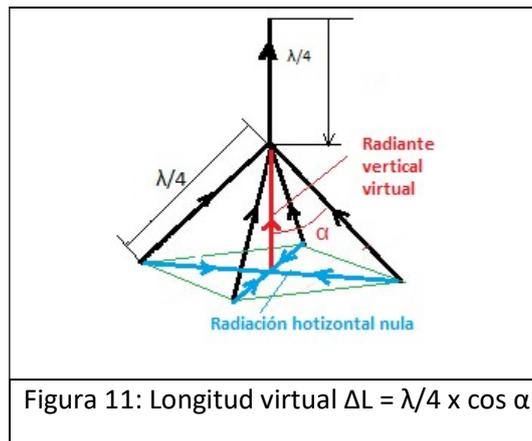


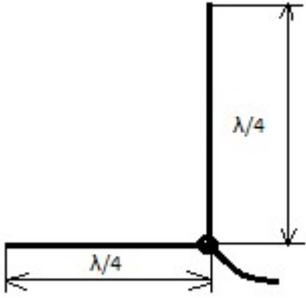
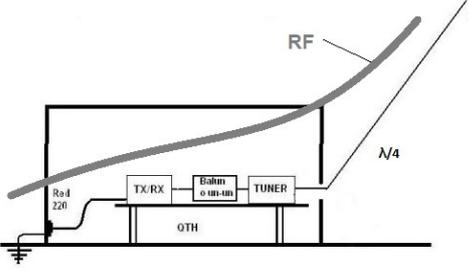
Figura 11: Longitud virtual  $\Delta L = \lambda/4 \times \cos \alpha$

Por otra parte, la componente horizontal del campo eléctrico de los 4 radiales iguales y opuestos se cancela perfectamente en el espacio lejano si los radiales son más de dos y son simétricos y opuestos, por lo que se anula muy bien la componente horizontal de la radiación.

#### 4ª. La contraantena de un solo radial horizontal

Aquí tenemos un caso muy particular con el que pretendemos compensar la longitud de un radiante demasiado corto, añadiendo una longitud de cable horizontal que actúa como contraantena para completar la media longitud de onda. Pero el hecho real es que añadimos una contraantena única de un cuarto de onda horizontal y por tanto que también radia desde un lugar que no está a una buena altura ni bien colocado como el conductor vertical de la antena, sino que incluso a veces está tirado por el suelo de cualquier forma (figura 12).

Sí, efectivamente, también conseguimos así de nuevo la resonancia punta a punta y que se comporte el radiante como si fuera un dipolo de media onda, pero desgraciadamente, esta contraantena ahora radia y, lo que es mucho peor, radia donde no debe, junto al suelo. Podríamos decir que radia el 50% de la energía suministrada (-3 dB) sin beneficio para nadie y prácticamente esta energía la tiramos a la basura, porque o bien lo que hace es más bien calentar el suelo o bien radia en direcciones hacia el cenit que normalmente no nos interesan.

	
<p>Figura 12: Contraantena horizontal por el suelo</p>	<p>Figura 13: Radiante <math>\lambda/4</math> con el equipo y la red de contraantena</p>

Tenemos que ser conscientes de que es cierto que nos sirve muy bien como solución de emergencia para poder transmitir sin ROE, pero hemos de tener en cuenta que, si tiene la misma longitud del cuarto de onda como el radiante elevado, la mitad de la energía de nuestro transmisor se radiará desde el suelo y se dirigirá al cenit o a calentar las profundidades de la tierra y se despilfarrará inútilmente. Claro que eso representa tan solo una pérdida de -3 dB, un triste consuelo si eso nos permite transmitir donde no hubiéramos podido hacerlo de otra forma.

#### 4b. Una contraantena sin ningún radial horizontal

Una variante de la anterior contraantena es la conexión de un hilo corto que se pretende que se comporte como un hilo largo sin añadir ninguna contraantena adicional (figura 13), con lo que realmente conseguimos que todo el equipo la fuente de alimentación y la red eléctrica sean realmente la contraantena por la que circula también toda la radiofrecuencia y seguro que no será resonante, aunque es posible que consigamos sintonizar este conjunto con un buen acoplador y hacerlo resonante para transmitir con este aborto.

El resultado es que toda la RF se genera y radia por el hilo largo demasiado corto, también por el equipo y por la conexión de red, produciendo toda clase de efectos indeseados e impredecibles en los otros dispositivos de la estación y en el propio transceptor. Pero si funciona...

#### 5. Las tomas de tierra para eliminar RF

Cuando se monta un dipolo sin utilizar en la conexión ningún balun que simetrice las corrientes en el cable coaxial es típico que aparezcan efectos indeseados porque la malla exterior del coaxial, conectada directamente a un brazo de la antena dipolo, se comporta también como antena con una resonancia propia que, al combinarse con la longitud de la rama, resuena en alguna banda o frecuencia.

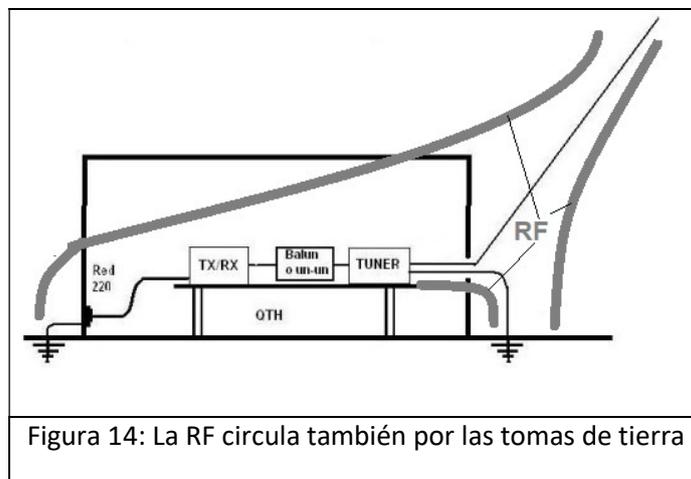
Cuando se transmite en esa banda, el coaxial y nuestro equipo se convierten en parte de la antena y se ponen a radiar por su cuenta, produciendo toda clase de efectos indeseados, como la presencia de RF en el cable de micro, que produce una distorsión rasposa muy peculiar en la

voz, el manipulador de Morse te quema al tocarlo y la conexión USB con un PC para modalidades digitales se cuelga constantemente en todas o solo en alguna banda.

**Nota:** Esta radiofrecuencia, desde los tiempos de las líneas paralelas, ha recibido el nombre corrientes en modo común derivado del inglés “Common mode currents”, nombre que se sigue usando para el cable coaxial por analogía, aunque en el cable coaxial no existen corrientes comunes iguales circulando en el mismo sentido en el conductor central y la malla, porque esta corriente no afecta al cable central del coaxial y sí tan solo a la malla, lo que hace que llamarlas “en modo común” sea algo totalmente equívoco y erróneo, y modernamente se prefiera llamarlas “corrientes independientes por el exterior del cable coaxial”.

### Es la peor solución

La solución clásica recomendada por todos los fabricantes de equipos para solucionar los problemas de RF en los equipos y en las conexiones con los PCs es la puesta a tierra común de todos los equipos. Y es posible que esto solucione tu problema, pero es una solución equivocada y dañina, porque esta toma ocasiona que circule RF por ella y ahora parte de tu transmisión se radia no solo por la antena, sino también por todos los cables de las tomas de tierra por donde circula esa RF (figura 14) y también por el exterior del cable coaxial y una buena parte de esa RF se radia en el interior de tu estación, en lugar de ser radiada por la antena.



Al mismo tiempo, como esa toma de tierra común ahora forma parte de tu antena, también en recepción se producen efectos indeseados, como la recepción y captación de todo el ruido eléctrico generado por los elementos eléctricos que te rodean y que se añade el ruido eléctrico generado por toda la red eléctrica de tu casa.

Así que mejor no coloques tomas de tierra común si no es absolutamente indispensable y siempre coloca balunes de corriente (choques) en el punto de alimentación de tu antena (horizontal o vertical), y también haz enrollamientos del cable coaxial en tus antenas y antes de entrar en el interior de tu estación, para que funcionen como choques y eviten la circulación de esas corrientes de RF que intenten circular por el exterior del cable coaxial.

Y si tienes una toma de tierra común, debes asegurarte de que no circulen corrientes de RF por ella, colocando ferritas y núcleos toroidales que la bloqueen y no la dejen circular.

## 6. Las tomas de tierra de protección personal

Las tomas de tierra de protección personal son obligatorias y afortunadamente todas las instalaciones modernas de red eléctrica ya llevan incorporado un tercer hilo verde/amarillo que debe estar conectada a una toma de tierra general del edificio con una resistencia a tierra inferior a 10 ohmios. Eso nos protegerá de cualquier descarga que nos pueda ocasionar cualquier fuga de tensión por falla del aislamiento en el interior de los dispositivos eléctricos de una casa.

### ¿Y si no existe el tercer hilo?

El problema se presenta en toda su magnitud cuando la instalación de la red eléctrica de que disponemos es muy primitiva y no tiene ese tercer hilo verde/amarillo que ya pone a tierra todos los dispositivos y fuentes de alimentación de nuestra estación.

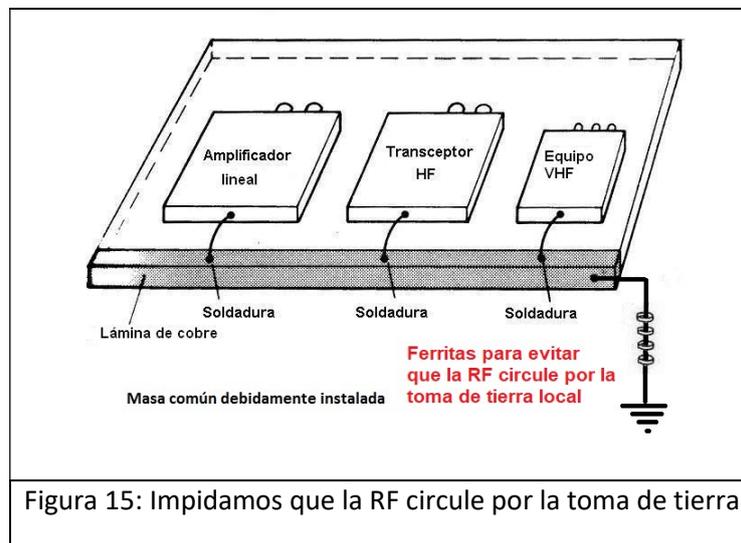


Figura 15: Impidamos que la RF circule por la toma de tierra

En ese caso, es recomendable e incluso indispensable que instalemos nuestra propia toma de tierra de protección que conecte todos los dispositivos eléctricos a una toma de tierra común.

Pero cuidado con esa toma y recuerda que debemos procurar que la RF no circule por ella (figura 15) mediante la colocación de ferritas que bloqueen cualquier intento de circulación de la RF por esta toma de tierra de protección personal.

### ¿Y si sigue saltando la conexión USB?

Si a pesar de colocar un balun de corriente (choque) en la alimentación de tu antena, ya sea horizontal o vertical, y varios arrollamientos del coaxial como choques en la entrada a tu estación y haber puesto ferritas en el cable USB que conecta el equipo con tu ordenador, si a pesar de todo te sigue fallando la conexión USB al transmitir en alguna banda, entonces es muy posible que ese ordenador tenga un problema con la masa en los conectores USB.

La única solución sería instalar en un slot libre una placa interna PCIE auxiliar con salidas USB adicionales, si se trata de una torre o, si se fuera un portátil, mejor cambiarlo por otro que no tenga un problema en estos conectores. Lo siento mucho, pero los hay con una sensibilidad a la RF que amarga a cualquiera.

73 Luis EA3OG