

## **¿Basta con una pica clavada en tierra para una antena vertical de 1/4 de onda?**

En el **Test sobre conocimientos prácticos sobre la radioafición**, planteábamos qué había de cierto sobre un par de ideas muy difundidas entre nuestra afición y que volvemos a recordar: *Si no puedes colocar muchos radiales enterrados debajo de una vertical, una simple pica clavada en tierra es suficiente como contraantena para una vertical de 1/4 de onda. ¿Verdadero o falso?*

La respuesta correcta es que es mucho más falso que verdadero. Una antena vertical necesita una contraantena mucho mejor que una simple pica clavada en tierra, puesto que la conductividad de una sola pica como tierra es generalmente muy pobre y la eficiencia de la antena se arruina. Y todo eso sin tener en cuenta la pobre conductividad del suelo en general, salvo honrosas excepciones. Volveremos a comentarlo más adelante.

**La siguiente pregunta del Test era:** *Es mejor colocar tropecientos radiales enterrados, que unos pocos radiales elevados bajo una antena vertical de 1/4 de onda. ¿Verdadero o falso?*

Pues resulta también falso. Es algo más eficiente y puede resultar más sencilla la colocación de unos pocos radiales elevados resonantes de un cuarto de onda (4 por cada banda), aunque solamente sea a 30 cm sobre el suelo, que colocar una gran cantidad de radiales enterrados bajo la antena como contraantena. Más adelante explicamos de dónde salen estas afirmaciones.

## Vuelta a lo básico: La gran ventaja de las antenas verticales

Empecemos por puntualizar que la gran ventaja de las verticales estriba en que con ellas se consigue un bajo ángulo de radiación en emisión (y también en recepción, pero con “reservas”) en bandas bajas, aunque su ganancia queda muy lejos de la que se puede obtener con antenas horizontales directivas, si se colocan a suficiente altura.

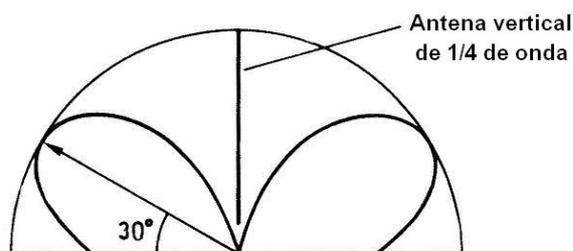


Fig. 1- Diagrama de radiación de una antena vertical de cuarto de onda

Aclaremos primero que las “reservas” sobre las ventajas del bajo ángulo del máximo del lóbulo de recepción se derivan de su omnidireccionalidad y, por tanto, de su captación de ruido procedente de todas direcciones, lo cual hace que sean sordas comparadas con dipolos horizontales, incluso los dipolos colocados a una altura muy inferior a la adecuada.

Puntualicemos que un ángulo suficientemente bajo de radiación de dipolos y antenas directivas horizontales adecuado para el DX solo se consigue instalándolos a suficiente altura, por lo menos a  $\frac{3}{4}$  de longitud de onda sobre el suelo, lo que normalmente sólo hace posible su instalación a una altura adecuada en bandas de frecuencias elevadas, a partir de los 14 MHz. Para corroborar esta afirmación, pensemos que una antena horizontal para la banda de 30 metros ya necesitaríamos colocarla a más de 22 metros de altura sobre el suelo, si

queremos que sea eficaz para el DX. Y no hablemos de los 30 metros de altura que serían necesarios para una antena horizontal para la banda de 40 metros.

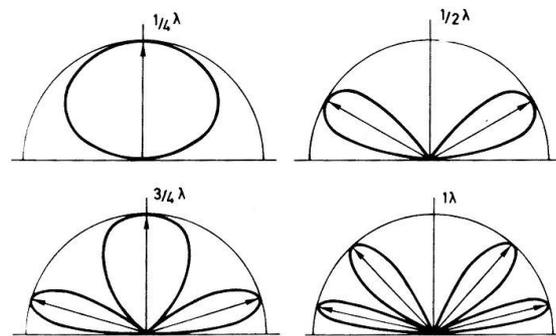


Fig. 2 - Ángulo de radiación de un dipolo según la altura

### Primera conclusión

Las verticales son buenas para el DX en bandas de frecuencias muy bajas, pues proporcionan buenos ángulos bajos de radiación para el DX en bandas de 160, 80 y 40 metros con instalaciones relativamente fáciles de realizar, mientras que la instalación de dipolos o directivas horizontales a una altura adecuada es muy problemática, por no decir casi imposible, excepto en instalaciones descomunales como la Torre 7 de Radio Arkala ([www.radioarcala.com](http://www.radioarcala.com)).

Para bandas de frecuencias superiores a partir de los 20 m, siempre será mejor colocar antenas directiva a una buena altura adecuada, porque, además del ángulo bajo, podremos conseguir directividad, la cual no solo nos proporcionará ganancia en transmisión y recepción, sino que, además, muchísimas veces reducirá el ruido captado gracias a su directividad. No hay comparación posible en recepción con la omnidireccionalidad de una vertical.

La excepción sería la instalación de un array o una matriz

de verticales enfasadas para obtener directividad con ellas. Pero, atención a que esto no sería fácil de realizar con verticales multibanda, por la complicación que representaría montar sistemas de enfasamiento multibanda. Un tinglado así solo nos saldría a cuenta montarlo como mucho sólo para un par de bandas, a escoger entre las más bajas de 160, 80 y 40 metros.

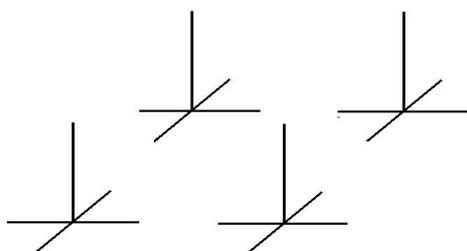


Fig. 3 - Cuatro verticales enfasadas

## Un par de malas razones para instalar verticales

-En primer lugar y principal es que aparecen muchos anuncios de antenas verticales en las revistas de radioafición y parece que sean muy fáciles de montar e instalar. Nos olvidamos de que el mercado de la radioafición es un mercado principalmente americano, en un continente en el que la mayoría de población vive en fincas y viviendas con grandes extensiones de terreno a su alrededor y con terrenos poco rocosos, sino más bien sedimentarios, en los que es muy fácil instalar radiales bajo una antena vertical.

Pero este no es el caso de Europa, donde la mayor parte de la población radioaficionada no vive en viviendas aisladas, sino que vive en apartamentos o en casa adosadas donde no es posible la colocación de tomas de tierra adecuada para RF, por lo que la mayoría de estas antenas verticales que vemos en todos esos anuncios no son instalables por el

radioaficionado medio europeo.

– Aparte de tantos anuncios, en segundo lugar viene la falta de espacio que nos hace soñar con la posibilidad de colocar una antena vertical en un espacio reducido, como por ejemplo un patio o una terraza. Pero nos olvidamos de que la mayoría de verticales comerciales no llevan incorporada la otra mitad de la antena, la contraantena, y que no pueden funcionar sin algún tipo de contraantena, normalmente unos radiales.

Hay muy pocas verticales sin radiales ni contraantena, pues las pocas disponibles son dipolos verticales multibanda como las antenas GAP Titán (<http://www.gapantenna.com/titan.html>) y la MFJ-1798 (<http://www.mfjenterprises.com/Product.php?productid=MFJ-1798>), o bien se trata de antenas de tipo end-fed, o sea verticales alimentadas en alta impedancia por su extremo inferior, pero estas no acostumbran a ser multibandas. Todas las restantes verticales que vemos en los anuncios de antena presentan un grave problema de instalación y funcionamiento, pues solo nos venden la mitad de la antena.

Así que mucho cuidado con lo que compramos, pues podéis encontrarnos con que solo habéis comprado la mitad de la antena y falta la otra mitad. Generalmente no tendréis ni la más mínima posibilidad de conseguir una contrantena adecuada en el terrado de una vivienda o en la terraza de un apartamento, aunque haya ciertas excepciones. Por ejemplo, algunos edificios totalmente de estructura metálica podrían permitir la instalación de una vertical, si proporcionan también una buena superficie metálica conductora inmediatamente debajo de la antena, pero esos casos son más bien raros. En las edificaciones normales actuales con estructura de hormigón y techos de bovedilla,

no hay habitualmente una superficie conductora adecuada.

## **El sueño de una pica en Flandes**

Una buena variante del sueño de colocar una vertical sin radiales de ningún tipo en un espacio reducido es la posibilidad de conseguir una buena toma de tierra con tan solo clavar una pica en el suelo. Es decir, utilizar la tierra como contrantena conectando con ella por medio de una pica clavada en el suelo.

Pero, aquí, la primera condición que debe cumplir el suelo es que sea buen conductor y eso no es tan frecuente en España, aunque en otros países pueda ser algo más fácil de encontrar. En EEUU, donde se venden tantas verticales, en sus estados centrales, donde acostumbra a residir la mayor parte de la población radioaficionada, suele haber extensas llanuras con un terreno sedimentario, normalmente no demasiado húmedo, pero por lo menos el suelo cumple la condición de que se le pueda clavar fácilmente picas de 2,5 metros.

En España, el problema es que, de entrada, los terrenos acostumbran a ser en su mayor parte rocosos y no vamos a poder clavar probablemente cualquier pica más de 50 cm. Para postes, con una sola pica clavada, ya hemos comentado en muchos artículos anteriores que, en un suelo medianamente conductor, obtenemos una resistencia de tierra entre 20 y 40 ohmios. Si tomamos como referencia una media de 30 ohmios por pica, esta resistencia sería totalmente de pérdidas y se encontraría en serie (sumada) con la resistencia de radiación de la antena vertical de  $\frac{1}{4}$  de onda (37,5 ohmios). Por tanto absorbería casi la mitad de la potencia. Eso es ya una ganancia negativa de -3 dB para empezar, aparte de la poca ganancia teórica propia de

una vertical que ya se coloca 1 o 2 dB por debajo de un dipolo.

Si queremos reducir esta resistencia de tierra a un valor razonable, deberíamos clavar por lo menos 4 picas para poder dividir la resistencia por 4. Eso nos daría una resistencia de pérdidas media de 7,5 ohmios, lo que nos ayudará a mejorar la adaptación al coaxial de 50 ohmios, pues obtendríamos una antena que tendría más o menos  $37,5 + 7,5 = 45$  ohmios de impedancia en su punto de alimentación, mientras que las pérdidas en la resistencia de tierra serían menores de 1 dB, concretamente de 0,8 dB.

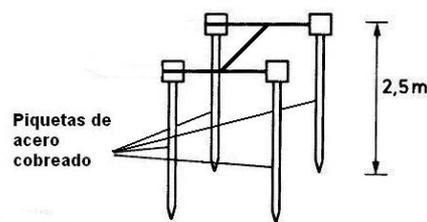


Fig. 4 - Colocación efectiva de piquetas de tierra

Ya veis que todo depende de que tengamos el terreno adecuado. ¿En unas marismas? Perfecto. ¿A la orilla del mar con una buena capa freática y a casi el mismo nivel del mar? Excelente. ¿En un barco con todo el mar como superficie conductora? Fantástico.

¿En una montaña? Fatal. Te recuerdo que todas las montañas son rocosas y que el resultado, incluso en el caso de que consiguieras clavar las picas, será muy decepcionante por su falta de conductividad. Mejor piensa en otra antena, así como en todos los demás casos.

## **Si tenemos buenas razones, vertical con radiales**

Vamos a suponer que disponemos de suficiente terreno no rocoso y relativamente buen conductor, porque hay una buena capa freática y queremos aprovechar el bajo ángulo de radiación de una vertical, porque queremos disponer de una buena instalación para operar en concursos en bandas bajas (160, 80, 40 m) concursos. Nos quedan muchos interrogantes todavía.

Los principales interrogantes con los que nos encontramos y a los que intentaremos dar respuesta en este artículo se resumen en estas preguntas: ¿Radiales desnudos o recubiertos? ¿Basta con unos pocos o hay que colocar muchos radiales? ¿Radiales resonantes en  $\frac{1}{4}$  de onda o no resonantes? ¿Cortos o largos? ¿Radiales enterrados o elevados? ¿Profundamente enterrados o lo menos posible?

Vayamos por partes: De entrada, vamos a dar por supuesto que hablamos de radiales enterrados.

### **¿Desnudos o recubiertos?**

Los cables de cobre desnudos mejorarán el contacto con tierra y disminuirán la resistencia. Por supuesto que puede utilizarse un solo hilo de cobre, pero es mejor que el cable esté formado por múltiples hilos porque, para un mismo diámetro de cable y coste, el contacto de numerosos hilillos que lo forman proporcionará una mayor superficie de contacto y una menor resistencia de contacto con la tierra conductora y, por tanto, menos pérdidas.

Pero tenemos el problema de que, con el tiempo, los ácidos del suelo corroerán poco a poco el cobre y, unos pocos

años después, descubriremos que se ha oxidado todo y que no queda ni cable. Algunos autores recomiendan intercalar radiales recubiertos de aislante que se acoplarán capacitivamente al suelo, sin que en cambio se deterioren con el tiempo y ese pequeño detalle garantizará la duración a largo plazo de nuestra instalación. ¿Ponerlos todos aislados? Entonces nos quedamos sin conductividad con tierra, lo cual es malo para rayos, para estática y muchas cosas más. Así que la mejor solución puede ser una intermedia. Unos aislados y otros descubiertos, pero que sean del máximo diámetro posible que permita nuestro presupuesto.

Por propia experiencia con mis antenas (ya tengo muchos años), os puedo corroborar que los años pasan muy rápidamente y que el esfuerzo de haber realizado una instalación de cualquier tipo hace que confiemos en que vaya a durar toda la vida y, por consiguiente, descuidemos totalmente su mantenimiento y la renovación de los materiales empleados. La duración de una antena es directamente proporcional al precio y la calidad de los materiales empleados. No escatimemos gastos en esta etapa. Contra mayor sección del hilo de cobre empleado, más años nos durará la instalación.

¿Acero inoxidable? Vale la pena pagar el precio del cable inoxidable para riostras y amarres para sujetar la torreta de una directiva, aunque desgraciadamente la conductividad del acero inoxidable es muy mala y no puede ni debe emplearse en conductores para antena, ni tampoco para radiales. Por poner un ejemplo, tuve montado un dipolo en V invertida para 28 MHz realizado con dos ramas de acero inoxidable que daba una respuesta plana entre 26 y 32 MHz. La ROE era fantásticamente plana, pero todo se perdía en la resistencia del cable, pues por supuesto, los controles que recibía eran muy decepcionantes.

## **¿Pocos o muchos radiales?**

Este es un tema que ha sido muy debatido y parece como si hubiera quedado como paradigma de un sistema de radiales en el que deban colocarse tantos como se puedan y, si puedes pagarlos, mejor colocar hasta 120 radiales. Eso sería un radial cada 3 grados de la rosa de los vientos. Yo daba por supuesto que esto era lo más aconsejable, hasta que leí el artículo "*An experimental Look at Ground Systems for HF Verticales*" (Un vistazo experimental a los sistemas de tierras para Verticales de HF) de Rudy Severns, N6FL, publicado en el QST de Marzo de 2010 en la página 30.

La primera comprobación que Rudy Severns realizó fue la de aumentar el número de radiales enterrados desde 4 hasta 8, luego hasta 16 y 32, y finalmente hasta colocar 64 radiales. No, no llegó a colocar los 128 radiales porque los resultados anteriores ya le habían indicado que no salía a cuenta, que no valía la pena.

La diferencia de señales radiadas que encontró, tanto con antenas verticales de  $\frac{1}{4}$  de onda, de  $\frac{1}{8}$  de onda y incluso más cortas, fue apreciable (mayor que algún decibelio) hasta alcanzar el número de 16 radiales enterrados. A partir de esa cifra, al duplicar los radiales, las señales ya sólo aumentaban en décimas de decibelio.

Al pasar de 16 a 32 radiales enterrados, la mejora que obtuvo se encontraba entre 0,2 y 0,3 dB y, al pasar de 32 a 64 radiales, obtuvo también mejoras de solamente 0,2 dB con todo tipo de verticales, con lo que la mejora total al pasar de 16 a 64 radiales oscilaba entre 0,4-0,6 dB. Extrapolando sus gráficas, se deducía claramente que el paso de 64 a 128 hubiera producido en todos los casos una mejora inferior a 0,1 dB. Una ganancia nada rentable para

tanto esfuerzo.

Así que ya tenemos una conclusión. Por lo menos vale la pena colocar 16 radiales, pero difícilmente obtiene recompensa el esfuerzo de colocar 128 radiales. La mejora no llegaría ni a 1 dB. Esta conclusión es muy importante si, además, pretendemos realizar un sistema directivo de 4 verticales enfasadas, de modo que el sistema sea direccionable por medio de la combinación de fases. Si necesitamos colocar 4 planos de tierra, uno para cada una, vale la pena saber hasta dónde sale a cuenta llegar en la instalación de radiales.

### **¿Profundamente enterrados o lo menos posible?**

Para contestar a esta pregunta me remito a un artículo titulado *The Ground-Image Vertical Antenna* escrito por Jerry Sevick, W2FMI, y publicado en el QST de Julio de 1971.

Sus conclusiones experimentales fueron que contra más cerca de la superficie se encuentren los radiales, mejor que mejor. Contra más los enterraba, menos efectivos resultaban. Así que está claro que no sale a cuenta enterrarlos mucho, sino sólo lo suficiente para que se pueda circular por encima sin mayores problemas y sin peligro de cualquier posible contacto y, sobre todo, fuera del alcance de los paseantes.

### **¿Radiales enterrados o elevados?**

Bien, esta es una buena pregunta. A mí siempre me había sorprendido el excelente resultado que proporcionaban las antenas Grond Plane con plano de tierra artificial, formado por tres o cuatro cortos radiales resonantes de 1/4 de onda,

o mucho más cortos alargados eléctricamente con bobinas.

Las conclusiones de N6FL fueron que, colocando 4 radiales resonantes para cada banda y por lo menos a 30 cm del suelo, se conseguían resultados consistentemente 1 dB por encima de los obtenidos con radiales enterrados. ¿Con cuántos radiales? Pues las pruebas las realizó empezando con 4 radiales por banda y obtuvo el mismo éxito que con más radiales. Siempre he sostenido que bastaría con 2 radiales opuestos por banda, pero desgraciadamente me he quedado con las ganas de saber si dos son suficientes, pues el autor comenzó ya con cuatro.

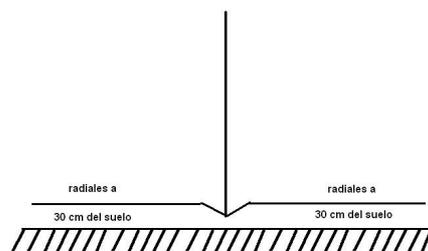
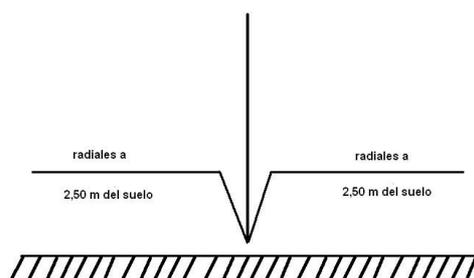


Fig. 5-Radiales a 30 cm del suelo

Insistamos en que las experiencias de Rudy Severns, N6LF, demuestran que cuatro radiales elevados a 30 centímetros sobre el suelo resultaron ser tan efectivos como 120 radiales enterrados.

Claro que eso tiene el inconveniente de que los radiales queden al alcance de transeúntes y presenten radiofrecuencia de gran tensión en las puntas, con lo que resultaría extraordinariamente peligroso cualquier contacto accidental durante la transmisión, incluso con equipos QRP

de potencias de 5 W. En las puntas de radiales resonantes de  $\frac{1}{4}$  de onda aparecen siempre tensiones de RF muy elevadas que pueden quemar la mano del que toca esa punta. Por tanto, si hablamos de radiales elevados en una parcela, a menos que esté vallada de forma que se impida la circulación por los alrededores de la antena, debemos colocarlos por lo menos a 2,5 metros de altura para que no se puedan alcanzar con la mano.



05-Radiales a 2,50 cm del suelo.bmp

### **¿Resonantes en $\frac{1}{4}$ de onda o no resonantes? ¿Cortos o largos?**

Por supuesto que los radiales elevados deben ser de  $\frac{1}{4}$  de onda de longitud por banda y resonantes, opuestos por lo menos dos a dos para cancelar su radiación en el espacio. De eso no hay ninguna duda.

En cambio, los radiales enterrados inmediatamente debajo dejan de ser resonantes y la cuestión que nos planteamos es qué longitud mínima deben de tener. Según los experimentos de N6LF, sorprendentemente conseguía mejores señales cuando los radiales enterrados eran algo más cortos que  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda, concretamente alrededor de un 70% de esa longitud. Eso quiere decir que,

para una antena vertical para 40 metros, la longitud óptima la encontraba sobre los 6-7 metros para cada radial enterrado, cuando  $\frac{1}{4}$  de onda serían 10 metros.

La explicación que encontré es que, al enterrar los radiales bajaba mucho su frecuencia de resonancia y eso desplazaba la corriente máxima en la antena hacia los radiales y, al acortarlos, se mejoraba la eficiencia de la antena y se devolvía la corriente máxima a la base. Además, este efecto de la mejora con el acortamiento de los radiales era mucho más marcado cuando se utilizaban solamente 4 radiales enterrados y era mucho menos acusado cuando se utilizaban 16 o 32 radiales enterrados por banda.

Por otra parte, los radiales enterrados recubiertos de aislante se afectaban mucho menos por el enterramiento y se optimizaban con una longitud muy ligeramente inferior a la de  $\frac{1}{4}$  de onda.

Como conclusión principal, el autor en su artículo del QST expone que, si utilizaba 16 radiales, el efecto de acortar su longitud desaparecía rápidamente. Por tanto recomendaba que, si para la instalación de radiales se dispone de un presupuesto limitado, o sea de una cantidad de cobre determinada, es decir, si sólo disponemos de unos metros de cobre concretos, es mucho mejor distribuir esos metros de cobre de forma que se coloquen muchos más radiales cortos que no unos pocos largos. Y eso era especialmente mucho más cierto contra más corta fuera físicamente la vertical en relación a la longitud de onda; es decir, contra más acortada por medio de sombreros capacitivos o bobinas de carga que aumentaran su longitud eléctrica

para llevarla a resonancia.

## **Resumen de las conclusiones sobre las verticales**

¿Tenemos un extenso terreno con buena conductividad y capa freática cerca de la superficie? Pensemos en colocar una vertical con por lo menos 16 radiales enterrados de mucho menos de  $\frac{1}{4}$  de onda de longitud que nos darán un gran rendimiento y dispondremos de un ángulo bajo de radiación. La conductividad del terreno nos garantiza ese bajo ángulo de radiación. Poner muchos más radiales no sale demasiado rentable ( $< +1$  dB).

¿Tenemos un extenso terreno pero muy seco y con poca conductividad? ¿Tendremos un bajo ángulo de radiación también? Eso ya es más dudoso y más vale que pensemos en colocar radiales resonantes de  $\frac{1}{4}$  de onda elevados, por lo menos 4 por cada banda.

No tenemos un terreno suficientemente grande pues es más bien pequeño, pero nos consta una buena conductividad, pues en el subsuelo hay una capa freática muy próxima y es muy húmedo. Pensemos en colocar varias picas al pie de la vertical para conseguir una baja resistencia de tierra en serie con la antena y nos proporcionará también con un buen ángulo bajo de radiación.

Tenemos un terrenito muy pequeño y con un subsuelo más bien rocoso y no podemos colocar antenas horizontales por falta de espacio. Olvidémonos de las verticales sin

contraantena y empecemos a pensar en verticales de media onda acortadas con bobinas y otros artilugios, como las que mencionábamos al principio del artículo, la GAP Titán y la MFJ-1798.

Claro está que todo esto es sólo será válido para las tres bandas bajas de HF, pues para las bandas altas, debemos siempre pensar en instalar dipolos o antenas directivas sobre torreta o mástil, ya sean Yagi o cúbicas, pues ante cualquier antena horizontal colocada a suficiente altura, las antenas verticales pocas ventajas nos ofrecen.

73 Luis A. del Molino Ea3OG