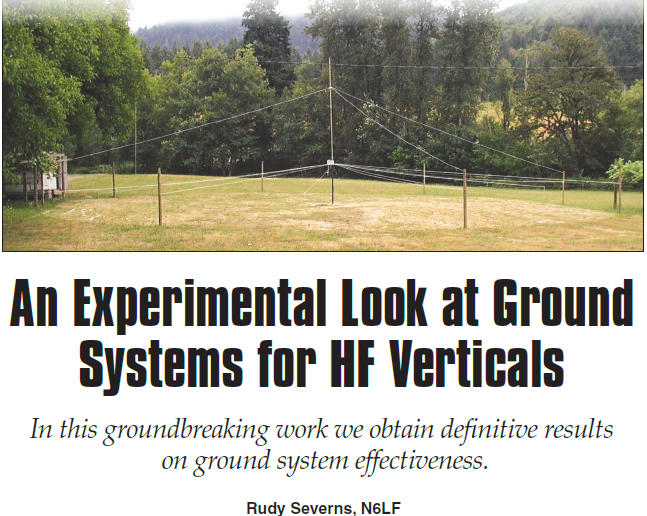
|  |  |
| --- | --- |
| An Experimental Look at Ground Systems for HF Verticals  *In this groundbreaking work we obtain definitive results on ground system effectiveness.*  **Rudy Severns, N6LF** | Una mirada experimental al suelo  Sistemas para verticales HF  *En este trabajo pionero obtenemos resultados definitivos sobre la eficacia del sistema terrestre.*  **Rudy Severns, N6LF** |

· Información de <https://rudys.typepad.com/files/qst-march-2010-ground-systems.pdf>



·

|  |  |
| --- | --- |
| t’s been over 100 years since Marconi used vertical antennas. With such a long history it would seem unlikely that anything new could be said about them. The way Amateur Radio operators use and imple­ment vertical antennas often differs from commercial or mili­tary practice leaving amateurs with unanswered questions.    These questions can be addressed analytically or through the use of modeling and simula­tion, but for most of us neither is quite convincing. Actual mea­surements on real antennas are a lot more satisfying, at least to verify the modeling.  Some years ago, Jerry Sevick, W2FMI, (SK) published exactly this kind of information in *QST.*1-5 Reading his articles inspired me to take another experimental look at HF ground systems. The result was an 18 month effort, partly replicating Jerry’s work, but also address­ing other questions such as the comparison between ground surface and elevated radial sys­tems.  These experiments have been covered in detail in a series of seven *QEX* articles. Since not everyone wants all the gory details, this article is a summary of the more interesting results.6  1Notes appear on page 33. | Han pasado más de 100 años desde que Marconi utilizó antenas verticales. Con una historia tan larga parece poco probable que se pueda decir algo nuevo sobre ellos. La forma en que los operadores de radioaficionados utilizan e implementan antenas verticales a menudo difiere de la práctica comercial o militar, dejando a los aficionados con preguntas sin respuesta.    Estas preguntas pueden abordarse analíticamente o mediante el uso de modelos y simulaciones, pero para la mayoría de nosotros ninguna de las dos resulta del todo convincente. Las mediciones reales en antenas reales son mucho más satisfactorias, al menos para verificar el modelado.  Hace algunos años, Jerry Sevick, W2FMI, (SK) publicó exactamente este tipo de información en QST.1-5 La lectura de sus artículos me inspiró a dar otra mirada experimental a los sistemas terrestres de HF.  El resultado fue un esfuerzo de 18 meses, que replicó en parte el trabajo de Jerry, *pero también abordó otras cuestiones como la comparación entre la superficie del suelo y los sistemas radiales elevados*.  Estos experimentos se han cubierto en detalle en una serie de siete artículos de QEX. Como no todo el mundo quiere conocer todos los detalles sangrientos, este artículo es un resumen de los resultados más interesantes.6  1Las notas aparecen en la página 33. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Near and Far**  It is important to keep in mind the role of the ground sys­tem associated with the radia­tion from a vertically polarized antenna.  The radiation pattern for a vertical is strongly influ­enced by the characteristics of the soil in the neighborhood of the antenna. This is particularly true at lower angles for which the pattern is determined by soil characteristics out to a great distance (many wavelengths), often referred to as the *far-field* region.7  As a practical matter we can’t usually do much about conditions beyond perhaps 1⁄2 wavelength from the base of the vertical, other than select our location — we simply have to accept what’s out there. We can, however, do a lot to reduce the losses in the immediate vicinity of the antenna (the *near-field* region), where the losses can be very high.8 The purpose of the ground system is to reduce these near-field losses, increasing efficiency and allowing us to radiate as much of the antenna input power as possible, which ultimately improves our signal. | **Cerca y lejos**  Es importante tener en cuenta el papel del sistema de tierra asociado con la radiación de una antena polarizada verticalmente.  El patrón de radiación para una antena vertical está fuertemente influenciado por las *características del suelo* en la vecindad de la antena. Esto es particularmente cierto en los *ángulos más bajos* para los cuales el patrón está determinado por las características del suelo a una gran medida equidistante (muchas longitudes de onda), a menudo  denominado como región del campo lejano.7  Como cuestión práctica normalmente no podemos hacer mucho al respecto condiciones más allá tal vez 1⁄2 longitud de onda desde la base de la vertical, aparte de seleccionar nuestra ubicación - simplemente tenemos que aceptar lo que está ahí fuera. *Sin embargo, podemos hacer mucho para reducir las pérdidas en las inmediaciones* de la antena (la región de campo cercano), donde las pérdidas pueden ser muy altas.8  El propósito del sistema de tierra es *reducir estas pérdidas de campo cercano,* aumentando la eficiencia y permitiéndonos irradiar tanto de la potencia de entrada de la antena como sea posible, lo que finalmente mejora nuestra señal. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Figure 2** — Effect on signal strength of shortening radial lengths. The 0 dB reference is four 33 foot radials.  Figure 2 - Efecto sobre la intensidad de la señal de acortar las longitudes radiales. La referencia de 0 dB es de cuatro radiales de 33 pies. | **Figure 3 — Measured current distribution on a radial.**  Figura 3 - Distribución de corriente medida en un radial. |

·

|  |
| --- |
| **Figure 1** — Typical improvement in signal as 1⁄4 wave radials are added to the basic ground system of a single ground stake.  Figura 1 - Mejora típica en la señal como radiales de onda 1⁄4 que se añaden al sistema de tierra básica de una sola estaca de tierra. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Overview of the Experiments**  This work started with a 160 meter vertical with which I varied the number of 1⁄4 wave radials and measured the change in signal strength for a fixed input power.  This was interesting and educational but I realized that repeatedly laying down and picking up some 8000 feet of #12 AWG wire was not practical for more extensive investigations. I thus changed the test fre­quency to 7.2 MHz initially, and later added experiments for multiband ground systems (40 through 10 meters). This initial experi­ment also stimulated me to use the much more accurate measurement procedure that is outlined in the sidebar on the QST In Depth Web site.9  I went through several rounds of experi­ments, each one answering some questions but, of course, always generating more. In the following three sections we’ll consider radials for vertical monopoles — on and above the ground and finally, radial systems for multiband verticals. | **Resumen de los experimentos**  Este trabajo comenzó con una vertical de 160 metros con la que variaba el número de radiales de 1⁄4 de onda y medía el cambio en la fuerza de la señal para una potencia de entrada fija.  Esto fue interesante y educativo, pero me di cuenta de que repetidamente acostado y recogiendo unos 8000 pies de alambre AWG #12 no era práctico para investigaciones más extensas. Por lo tanto, cambié la frecuencia de prueba a 7,2 MHz inicialmente, y más tarde agregué experimentos para sistemas terrestres multibanda (de 40 a 10 metros). Este experimento inicial también me estimuló a usar el procedimiento de medición mucho más preciso que se describe en la barra lateral en el sitio web de QST In Depth.9  Pasé por varias rondas de experiencias, cada una respondiendo algunas preguntas pero, por supuesto, siempre generando más. En las tres secciones siguientes consideraremos los radiales para los monopolos verticales - *sobre y sobre el suelo* y, finalmente, los sistemas radiales para los verticales de varias bandas. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Round One — Radials on the Ground**  This set of experiments used four differ­ent antennas: a 1⁄4 wave vertical, an 1⁄8 wave vertical with base loading, an 1⁄8 wave verti­cal with sufficient top loading to be resonant at 7.2 MHz and a 40 meter mobile whip. I started with a single 4 foot ground stake (zero radials) and then progressively added 1⁄4 wave radials, measuring the changes in sig­nal strength with each increase in radial num­ber. The results are shown in **Figure 1**. Note that the graph is in terms of the *improvement* in signal for a given input power for *each* antenna over the single ground stake with no radials. The graph does *not* compare the rela­tive merit of each antenna. Obviously a short, lossy mobile whip will yield less signal, typi­cally 10 dB less, than a full size 1⁄4 wave ver­tical. The signal improvement metric gives us a direct idea of how much is gained for a given improvement in the ground system. | **Primera ronda: radiales en el suelo**  Este conjunto de experimentos utilizó cuatro antenas diferentes: una vertical de 1⁄4 de onda, una vertical de 1⁄8 de onda con carga base, una vertical de 1⁄8 de onda con suficiente carga superior para ser resonante a 7,2 MHz y una antena de 40 metros. Látigo móvil. Comencé con una sola estaca de 4 pies (cero radiales) y luego agregué progresivamente radiales de 1⁄4 de onda, midiendo los cambios en la intensidad de la señal con cada aumento en el número de radiales. Los resultados se muestran en la **Figura 1**.  Tenga en cuenta que el gráfico está en términos de la mejora en la señal para una potencia de entrada determinada para cada antena sobre una estaca de tierra única sin radiales. El gráfico no compara el mérito relativo de cada antena. Obviamente, un látigo móvil corto y con pérdidas producirá menos señal, normalmente 10 dB menos, que un tamaño completo de 1⁄4 de onda vertical. La métrica de mejora de la señal nos da una idea directa de cuánto se gana con una mejora determinada en el sistema terrestre. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| ***How Many Radials?***  This graph shows several things. First it makes clear just how important a radial system is. It can make a difference of many dB in our signal strength. Keep in mind that the soil over which the experiments were done would be classified as good to very good. Over average or poor soils the signal improvements could be many dB greater than shown here. The second thing the graph shows is the point of diminish­ing returns. Laying down a system with at least **16 radials** will give you most of the obtainable improvement. As we go to 32 and then 64 radials the improvement gets progressively smaller. It’s arguable that the improvement from going from 32 to 64 radials is worth the cost and clearly the stan­dard 120 radial BC ground system would be overkill.  A final point the graph makes is that *the shorter and more heavily loaded your vertical, the more you have to gain from improving the ground system*. The shorter the vertical, the higher will be the field intensity (for a given input power) in the near field of the antenna and the lower will be the radiation resistance. This leads to much higher ground losses, which trans-lates to more improvement when you reduce these losses by improving the ground system. | **¿Cuántos radiales?**  Este gráfico muestra varias cosas. En primer lugar, queda claro *lo importante que es un sistema radial*. Puede marcar una diferencia de muchos dB en la intensidad de nuestra señal. Tenga en cuenta que el suelo sobre el que se realizaron los experimentos se clasificaría de bueno a muy bueno. En suelos promedio o pobres, las mejoras de la señal podrían ser muchos dB mayores que las que se muestran aquí. Lo segundo que muestra el gráfico es el punto de rendimientos decrecientes. Establecer un sistema con al menos **16 radiales** le brindará la mayor mejora posible. A medida que pasamos a 32 y luego a 64 radiales, la mejora se hace progresivamente menor. Es discutible que la mejora de pasar de 32 a 64 radiales valga la pena y claramente el sistema terrestre BC radial estándar de 120 sería excesivo.  *Un último punto que señala el gráfico es que cuanto más corta y más cargada sea su vertical, más tendrá que ganar mejorando el sistema de suelo*. Cuanto más corta sea la vertical, mayor será la intensidad del campo (para una potencia de entrada determinada) en el campo cercano de la antena y menor será la resistencia a la radiación. Esto conduce a pérdidas de terreno mucho mayores, que se traducen  mas tarde para lograr más mejoras cuando se reducen estas pérdidas mejorando el sistema terrestre. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| ***How Long Should They Be?***  Radials 1⁄4 wave in length are known to be effective in ground systems, but I won­dered what the penalty would be from using shorter radials. I was expecting to see a fairly uniform decrease in signal strength (due to an increase in ground loss) as the radials were shortened. That is *not* what I found. **Figure 2** shows the results of an experiment in which I measured the signal strength while progressively shortening the radials in four and eight radial systems.  Surprisingly, shortening the radial lengths *increased* the signal strength — not by just a little bit, but by more than 3 dB. This is certainly counterintuitive, but I was seeing clues that helped explain what was happening. I noticed that with only the ground stake the resonant frequency of the vertical was much lower than expected and, as I added more radials, the resonant fre­quency increased slowly. Most of the change occurred between 4 and 16 radials and had pretty much leveled out by the time I had 64 radials. This suggested to me that the radials might be self-resonant below 7.2 MHz. To check this out I measured the current distri­bution on a radial and found it to be sinusoi­dal. The results are shown in Figure 3.  The maximum current point has been moved from the base of the antenna out onto the radials and this substantially increases the ground loss. The radials are resonant below the band and this affects the antenna. A wire, close to ground, can be heavily loaded by the ground, decreasing its reso­nant frequency. The extent of the loading will depend on the characteristics of the soil. Figure 3 shows that the maximum current point is 10 to 11 feet away from the base. Looking at Figure 2 we see that the maxi­mum signal occurs when we have shortened the radial by this amount.  Figure 3 also illustrates a difference | **¿Cuánta longitud deberían tener?**  Se sabe que los radiales de 1⁄4 de onda de longitud son efectivos en sistemas terrestres, pero me preguntaba cuál sería el inconveniente al usar radiales más cortos. Esperaba ver una disminución bastante uniforme en la intensidad de la señal (debido a un aumento en la pérdida de tierra) a medida que se acortaban los radiales. Eso no es lo que encontré. La **Figura 2** muestra los resultados de un experimento en el que medí la intensidad de la señal mientras acortaba progresivamente los radiales en sistemas de cuatro y ocho radiales.  Sorprendentemente, acortar las longitudes radiales aumentó la intensidad de la señal, no sólo un poquito, sino más de 3 dB. Esto es ciertamente contrario a la intuición, pero estaba viendo pistas que ayudaban a explicar lo que estaba sucediendo. Noté que con solo la estaca de tierra la frecuencia de resonancia de la vertical era mucho menor de lo esperado y, a medida que agregaba más radiales, la frecuencia de resonancia aumentaba lentamente. La mayor parte del cambio se produjo entre **4 y 16 radiales** y prácticamente se había nivelado cuando tuve 64 radiales. Esto me sugirió que los radiales podrían tener resonancia propia por debajo de 7,2 MHz. Para comprobar esto, medí la distribución de corriente en un radial y descubrí que era sinusoidal. Los resultados se muestran en la **Figura 3.**  El punto de máxima corriente se ha movido desde la base de la antena hacia los radiales y esto aumenta sustancialmente la pérdida de tierra. Los radiales resuenan por debajo de la banda y esto afecta a la antena. Un cable, cerca de tierra, puede verse fuertemente cargado por la tierra, disminuyendo su frecuencia de resonancia*. La magnitud de la carga dependerá de las características del suelo.* La Figura 3 muestra que el punto de máxima corriente está a **10 a 11 pies** de distancia de la base. Mirando la **Figura 2** vemos que la señal máxima se produce cuando hemos acortado el radial en esta cantidad.  La figura 3 también ilustra una diferencia. |

·

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Tabla 1** - Intensidades de señal relativas para radiales 4, 8, 16 y 32, comparando longitudes de 33' y 21'  Number Radials - Números radiales  Normalized to Four 33' Radials (dB) 33' Radials  Normalizado a cuatro radiales de 33 '(dB) radiales de 33  Gain Change (dB) Cambio de ganancia (dB) |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Figure 4 — Signal improvement as a function of radial number. All radials lying on the ground surface, F = 7.2 MHz.**  Figura 4 - Mejora de la señal en función del número de radiales. Todos los radiales situados en la *superficie del suelo,* F = 7,2 MHz. | **Figure 5 — Signal improvement with four radials and the antenna base at different heights. F = 7.2 MHz.**  Figura 5 - Mejora de la señal con *cuatro radiales* y la base de la antena a diferentes alturas. F = 7,2 MHz. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| between buried bare wire radials and radials lying on or very near the surface of the soil. The current distribution on a buried bare radial will usually decrease exponentially from the base regardless of its length.10 You will not see the standing wave shown in Figure 3 except in very poor soils. The insulated radial lying on the ground surface behaves much more like a radial in an ele­vated radial system in that it has a sine wave-like current distribution. A buried insulated wire will be somewhere in between these two cases depending on the burial depth and soil characteristics.  You can also see in Figure 2 that the sig­nal increases as the radial numbers increase. To check this out I extended the experiment to 32 radials, comparing 33 to 21 foot radi­als. The results are given in Table 1.  The results in Table 1 indicate that the excess loss due to radial resonance has pretty much disappeared by the time you reach 16 radials. This leads to some advice — rather than trying to determine the optimum radial length, which will vary with every installa­tion due to soil differences, just use at least 16 radials. If you are limited by the total amount of wire available, you’re better off to use a larger number of shorter radials rather than a few long ones.  I didn’t have time to run an extensive set of experiments comparing different radial length and radial number combinations (each with the same total length of wire), but I did model that situation with *EZNEC*.11 The modeling predicted, particularly with short verticals, that it was often advanta­geous to reduce the length of the radials and increase their number. The modeling showed that there is a correlation between vertical height and optimum radial lengths. More details can be found in the modeling report and in the work of others.12-15 | entre radiales de alambre desnudo enterrados y radiales que se encuentran sobre o muy cerca de la superficie del suelo.  La distribución de corriente en un radial desnudo enterrado generalmente disminuirá exponencialmente desde la base independientemente de su longitud.10 No verá la onda estacionaria que se muestra en la **Figura 3** excepto en suelos muy pobres. El radial aislado que se encuentra en la superficie del suelo se comporta mucho más como un radial en un sistema radial elevado en el *sentido de que tiene una distribución de corriente similar a una onda sinusoidal.* Un cable aislado enterrado estará en algún punto intermedio entre estos dos casos dependiendo de la profundidad del entierro y las características del suelo.  También puede ver en la **Figura 2** que la señal aumenta a medida que aumentan los números radiales. Para comprobar esto, amplié el experimento a 32 radiales, comparando radiales de 33 con 21 pies. *Los resultados se dan en la Tabla 1*.  Los resultados de la Tabla 1 indican que el exceso de pérdida debido a la resonancia radial prácticamente ha desaparecido cuando se alcanzan los **16 radiales**. Esto lleva a algunos consejos: en lugar de tratar de determinar la longitud radial óptima, que variará con cada instalación debido a las diferencias de suelo, simplemente use al menos 16 radiales. Si está limitado por la cantidad total de cables disponibles, *es mejor utilizar una mayor cantidad de radiales más cortos en lugar de unos pocos largos*.  No tuve tiempo de realizar una serie extensa de experimentos comparando diferentes combinaciones de longitud radial y número radial (cada una con la misma longitud total de alambre), pero modelé esa situación con EZNEC.11 El modelado predijo, particularmente con verticales cortas. , que a menudo era *ventajoso reducir la longitud de los radiales y aumentar su número.* El modelado mostró que existe una correlación entre la altura vertical y las longitudes radiales óptimas. Se pueden encontrar más detalles en el informe de modelado y en el trabajo de otros.12-15 |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Round Two — Elevated Radials**  Over the past few years there has been a lot of discussion about the relative merits of ground systems using a large number of surface or buried radials versus only a few elevated radials. This stems from *NEC* mod­eling that indicated that four radials elevated 8 feet or so above ground could be just as effective as 120 buried radials. Many of us, including me, simply could not believe that.  I decided the best way to address this question would be to directly compare two antennas, one with a large number of ground radials and the other with only a few elevated radials. The same antenna was used in both cases, a simple 1⁄4 wave vertical. For the surface tests I used 1⁄4 wave radials and varied the number from 4 to 64. For the elevated tests I used four 1⁄4 wave radials. The elevated radials were placed at 0, 6, 12 and 48 inches above ground. The results are shown in Figures 4 and 5. The 0 dB point in the graphs is normalized to the signal strength for the case of four 1⁄4 wave radi­als lying on the surface (0 dB). What you see in the graphs is the improvement as you either add more surface radials or elevate the antenna and the four radials above ground.  The most striking thing shown by the graphs is that four elevated radials at a height of 48 inches are within 0.2 dB of 64 radials lying on the ground. This would seem to support the predictions from *NEC* modeling. A detailed view of the results with different elevated configurations is provided on the QST In Depth Web site. | **Segunda ronda: radiales elevados**  En los últimos años se ha debatido mucho sobre las ventajas relativas de los sistemas terrestres que utilizan una *gran cantidad de radiales de superficie o enterrados* *frente a sólo unos pocos radiales elevados*. Esto se debe a un modelo de NEC que indicó que cuatro radiales elevados aproximadamente 8 pies (2,44 Metros) sobre el suelo podrían ser tan efectivos como 120 radiales enterrados. Muchos de nosotros, incluyéndome a mí, simplemente no podíamos creerlo.  Decidí que la mejor manera de abordar esta pregunta sería comparar directamente dos antenas, una con una gran cantidad de radiales terrestres y la otra con solo unos pocos radiales elevados. En ambos casos se utilizó la misma antena, una simple vertical de 1⁄4 de onda. Para las pruebas de superficie utilicé radiales de 1⁄4 de onda y varié el número de 4 a 64. Para las pruebas elevadas utilicé cuatro radiales de 1⁄4 de onda. Los radiales elevados se colocaron a 0, 6, 12 y 48 pulgadas (0, 16, 31, 122 centímetros), sobre el suelo. Los resultados se muestran en las Figuras 4 y 5. El punto de 0 dB en los gráficos está normalizado a la intensidad de la señal para el caso de cuatro radiales de 1⁄4 de onda que se encuentran en la superficie (0 dB). *Lo que ve en los gráficos es la mejora a medida que agrega más radiales de superficie o eleva la antena y los cuatro radiales sobre el suelo.*  *Lo más llamativo que muestran los gráficos es que cuatro radiales elevados a una altura de 48 pulgadas (122 centímetros) están a 0,2 dB de 64 radiales que se encuentran en el suelo. Esto parecería respaldar las predicciones del modelo NEC. En el sitio web QST In Depth se proporciona una vista detallada de los resultados con diferentes configuraciones elevadas.* |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Round Three — Multiband Ground Systems**  While single band verticals are fre­quently used, multiband verticals are even more popular but I’d not seen any experi­mental work related to multiband ground systems. So I did some. The experiments were performed in two phases. The first was for radials lying on the ground and the sec­ond was for elevated radials. These represent two typical scenarios for amateurs, helping to answer a related question: “Do I put the antenna in the backyard or up on the roof?” For this series of tests I used a SteppIR III vertical.16 The motor driven SteppIR can be adjusted to be resonant anywhere between 40 and 6 meters.  For these experiments I made up four sets of thirty-two 1⁄4 wave radials, one set for each band (40, 20, 15 and 10 meters). I then tried several different configurations starting with sets of 32 single band radials, *one set at a time*. In this way I had a 1⁄4 wave vertical over a ground system of thirty-two 1⁄4 wave radials on each band. | **Tercera ronda: sistemas terrestres multibanda**  Si bien las verticales de banda única se utilizan con frecuencia, los verticales multibanda son aún más populares, pero no he visto ningún trabajo experimental relacionado con sistemas terrestres multibanda. Entonces hice algunos. Los experimentos se realizaron en dos fases. El primero era *para radiales tumbados en el suelo* y el segundo para radiales elevados. Estos representan dos escenarios típicos para los aficionados y ayudan a responder una pregunta relacionada: "¿Pongo la antena en el patio trasero o en el techo?" Para esta serie de pruebas utilicé un SteppIR III vertical.16 El SteppIR motorizado se puede ajustar para que resuene entre 40 y 6 metros.  Para estos experimentos preparé cuatro conjuntos de treinta y dos radiales de 1⁄4 de onda, un conjunto para cada banda (40, 20, 15 y 10 metros). Luego probé varias configuraciones diferentes, comenzando con conjuntos de 32 radiales de banda única, un conjunto a la vez. De esta manera tenía una vertical de 1⁄4 de onda sobre un sistema terrestre de treinta y dos radiales de 1⁄4 de onda en cada banda. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| These antennas were then measured individually on each band. I then tried groups of four and eight (32 total) 1⁄4 radials for each band, connected all at the same time. Next I tried 32 radials each 32 feet long, followed by 16, 8 and 4 at 32 feet each.  Obviously with a multiband antenna you would not run out to the antenna and change the radials whenever you changed bands! But this data can give us a feeling for any compromises resulting from the shift from monoband to multiband ground systems.  Four radials per band (16 radials in a four band system) probably represents the most common multiband ground system in general use both for elevated and ground surface radial systems, and we will use this as one measurement standard. I could have chosen many other possible combinations but those I did choose are at least reasonable. In particular I wanted to show that a few long radials don’t work very well whether on the ground or elevated. | Luego, estas antenas se midieron individualmente en cada banda. Luego probé grupos de cuatro y ocho (32 en total) radiales de 1⁄4 para cada banda, conectados todos al mismo tiempo. Luego probé 32 radiales cada uno de 32 pies de largo, seguidos por 16, 8 y 4 de 32 pies cada uno.  ¡Obviamente con una antena multibanda no saldrías corriendo hacia la antena y cambiarías los radiales cada vez que cambiaras de banda! Pero estos datos pueden darnos una idea de los compromisos resultantes del cambio de sistemas terrestres monobanda a multibanda.  Cuatro radiales por banda (16 radiales en un sistema de cuatro bandas) probablemente representan el sistema terrestre multibanda más común en uso general tanto para sistemas radiales elevados como de superficie terrestre, y lo usaremos como un estándar de medición. Podría haber elegido muchas otras combinaciones posibles, pero las que elegí son al menos razonables. En particular, quería mostrar que algunos radiales largos no funcionan muy bien ya sea en el suelo o elevados. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| ***Radials Lying on the Ground***  A comparison of the relative signal strength of each configuration with radials lying on the ground was made in comparison to the four radials per band case. The detailed results of this and following cases are shown on the QST In Depth Web page. In sum­mary, however, there was little to choose among the cases (1 dB or less) until we came to the four 33 foot case that was down 2 to 4 dB from the standard four radials per band. The best performer is found with the 32 radi­als of 33 feet each, which is 0.4 to 1 dB bet­ter than our standard depending on the band. This case does require almost four times as much wire, however.  In the final analysis it appears that the standard ground system works just fine, but you can add more wire and get some improvement. | **Radiales tirados en el suelo**  Se hizo una comparación de la intensidad relativa de la señal de cada configuración con los radiales que se encuentran en el suelo en comparación con los cuatro radiales por caja de banda. Los resultados detallados de este y los siguientes casos se muestran en la página web QST In Depth. En resumen, sin embargo, había poco para elegir entre los casos (1 dB o menos) hasta que llegamos a los cuatro casos de 33 pies (10 metros) que estaban entre 2 y 4 dB por debajo de los cuatro radiales estándar por banda. El mejor desempeño lo encontramos con los 32 radiales de 33 pies cada uno, que es de 0,4 a 1 dB mejor que nuestro estándar dependiendo de la banda. Sin embargo, este caso requiere casi cuatro veces más cable.  **En el análisis final, parece que el sistema de tierra estándar funciona bien,** pero puedes agregar más cables y obtener algunas mejoras. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| ***Vertical and Radials Elevated 48 inches***  Once again the standard multiband radial system of four elevated radials appears to work well, nearly as well as the 32 radials of 33 feet each, although it has an edge of about 1.1 dB on 10 meters. As we move to fewer long radials, however, we found a problem on 20 meters in which the gain starts to fall quickly. This is related to the fact that the 33 foot, 1⁄4 wave, radials on 40 meters are close to 1⁄2 wave radials on 20 meters, presenting a high impedance. At eight 33 foot radials the 20 meter response is down 4 dB, and at four 33 foot radials the performance was so poor I wouldn’t consider it a multiband ground system. The four long radials didn’t even work well on 15 meters, on which they were close to 3⁄4 wave long. | **Verticales y radiales elevados 48 pulgadas** (*122 centímetros)*  Una vez más, el sistema radial multibanda estándar de cuatro radiales elevados parece funcionar bien, casi tan bien como los 32 radiales de 33 pies cada uno, aunque tiene una ventaja de aproximadamente 1,1 dB en 10 metros. Sin embargo, a medida que avanzamos hacia menos radiales largos, encontramos un problema en los 20 metros en los que la ganancia comienza a caer rápidamente. Esto está relacionado con el hecho de que los radiales de 33 pies y 1⁄4 de onda en 40 metros están cerca de los radiales de 1⁄2 onda en 20 metros, *presentando una alta impedancia*. En ocho radiales de 33 pies, la respuesta de 20 metros se redujo en 4 dB, y en cuatro radiales de 33 pies el rendimiento fue tan pobre que no lo consideraría un sistema terrestre multibanda. Los cuatro radiales largos ni siquiera funcionaron bien en 15 metros, en los que tenían cerca de ¾ de longitud de onda. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| ***Elevated Versus Ground Surface Radials***  How do elevated multiband and ground surface radial systems compare to each other and to a large number of radials on the ground on each band? While the details are tabulated in the In Depth Web page, some conclusions can be summarized.  The differences between a 32 radial mono-band system on the ground and a four radial elevated monoband system on each band are small, as we would expect from our earlier results.  If we compare a 16 radial multiband sys­tem on the ground with the same configura­tion elevated, the elevated system has about a 1 dB advantage on all bands. Doubling the number of radials on the ground will reduce the differences by 0.2 to 0.3 dB. The standard multiband system works just fine if elevated, but when the radials are lying on the ground it’s not quite as good. If a radial system lies on the ground, the rule is you should use more radials to achieve compa­rable performance. | **Radiales elevados, Frente a los radiales de superficiales**  ¿Cómo se comparan los sistemas radiales elevados multibanda y de superficie terrestre entre sí y con una gran cantidad de radiales en el suelo en cada banda? Si bien los detalles están tabulados en la página web In Depth, se pueden resumir algunas conclusiones.  Las diferencias entre un sistema monobanda de 32 radial en el suelo y un sistema monobanda elevado de cuatro radiales en cada banda son pequeñas, como esperaríamos de nuestros resultados anteriores.  Si comparamos un sistema multibanda de 16 radiales en tierra con la misma configuración elevada*, el sistema elevado tiene aproximadamente una ventaja de 1 dB en todas las bandas*. Duplicar el número de radiales en tierra reducirá las diferencias entre 0,2 y 0,3 dB. El sistema multibanda estándar funciona bien si está elevado, pero cuando los radiales están en el suelo no es tan bueno. Si un sistema radial se encuentra en el suelo, la regla es que se deben usar más radiales para lograr un rendimiento comparable. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Acknowledgments**  I want to acknowledge the helping hands that Mark Perrin, N7MQ, and Paul Thompson, W8EIB, provided in the field during these experiments. My thanks also to Mike Mertel, K7IR, for the loan of a SteppIR vertical for these experiments.  In addition to creating the design for the VNA used in these experiments, Paul Kiciak, N2PK, originally suggested to me the use of a VNA for these experiments when I was moaning and groaning about more conventional techniques. Paul also provide important criticism at several points to keep me on the straight and narrow | Expresiones de gratitud  Quiero agradecer la ayuda que Mark Perrin, N7MQ y Paul Thompson, W8EIB, brindaron en el campo durante estos experimentos. Mi agradecimiento también a Mike Mertel, K7IR, por el préstamo de un vertical SteppIR para estos experimentos.  Además de crear el diseño del VNA utilizado en estos experimentos, Paul Kiciak, N2PK, originalmente me sugirió el uso de un VNA para estos experimentos cuando yo estaba quejándome y quejándome de técnicas más convencionales. Paul también ofrece críticas importantes en varios puntos para mantenerme en el buen camino. |

·

|  |  |
| --- | --- |
| **Notes**  1J. Sevick, W2FMI, “The Ground-Image Vertical Antenna,” *QST*, Jul 1971, pp 16-19.  2J. Sevick, “The W2FMI 20 Meter Vertical Beam,” *QST*, Jun 1972, pp 14-18.  3J. Sevick, “The W2FMI Ground-Mounted Short Vertical,” *QST*, Mar 1973, pp 13-19.  4J. Sevick, “A High Performance 20, 40 and 80 Meter Vertical System,” *QST*, Dec 1973, pp 30-33.  5J. Sevick, *The Short Vertical Antenna and Ground Radial*, CQ Communications Inc, 2003, ISBN 0-943016-22-3. This is a com­pendium of Sevick’s earlier work.  6R. Severns, N6LF, “Experimental Determination of Ground System Performance — *Part 1,*” *QEX*, Jan/Feb 2009, pp 21-25; Part 2, Jan/Feb 2009, pp 48-52; Part 3, Mar/Apr 2009, pp 29-32; Part 4, May/June 2009, pp 38-42; Part 5, Jul/Aug 2009, pp 15-17; Part 6, Nov/Dec 2009, pp 19-24, and Part 7, Jan/Feb 2010, pp 18-19.  7R. D. Straw, Editor, *The ARRL Antenna Book,* 21st Edition, pp 3-11 to 3-32. Available from your ARRL dealer or the ARRL Bookstore, ARRL order no. 9876. Telephone 860-594-0355, or toll-free in the US 888-277-5289; **www.arrl.org/shop**; **pubsales@arrl.org**. | 8R. Severns, N6LF, “Verticals, Ground Systems and Some History,” *QST*, Jul 2000, pp 38-44.  9**www.arrl.org/qst/qstindepth**.  10A. Doty, K8CFU, “Improving Vertical Antenna Efficiency,” *CQ*, Apr 1984, pp 24-31.  11Several versions of *EZNEC* antenna model­ing software are available from developer Roy Lewallen, W7EL, at **www.eznec.com**.  12Rudy Severns, N6LF, “Vertical Height Versus Radial Length,” 2008. Available at **www.antennasbyn6lf.com**.  13J. Stanley, K4ERO, “Optimum Ground Systems for Vertical Antennas,” *QST*, Dec 1976, pp 13-15.  14R. Sommer, N4UU, “Optimum Radial Ground Systems,” *QST*, Aug 2003, pp 39-43.  15A. Christman, K3LC, “Maximum Gain Radial Ground Systems for Vertical Antennas,” *NCJ*, Mar/Apr 2004, pp 5-10.  16**www.steppir.com**.  *Rudy Severns, N6LF, was first licensed as WN7WAG in 1954 and has held an Amateur Extra class license since 1959. He is a consul­tant in the design of power electronics, mag­netic components and power conversion equipment. Rudy holds a BSE degree from the University of California at Los Angeles. He is the author of three books, over 90 technical papers and a former editor of* QEX*. Rudy is an ARRL Life Member and an IEEE Fellow. You can reach Rudy at PO Box 589, Cottage Grove, OR 97424 or at* **n6lf@arrl.net***.* |

· 