

Antenas Verticales: Diseño, Construcción y Planos de Tierra

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Alimentación

Etiquetas: Sin etiquetas

Antenas Verticales: Diseño, Construcción y Planos de Tierra

Las antenas verticales son una de las opciones más populares entre radioaficionados por su patrón de radiación omnidireccional en el plano horizontal y su ángulo de radiación bajo, que favorece las comunicaciones a larga distancia (DX). A diferencia de los dipolos horizontales que requieren gran envergadura lateral, una vertical necesita solo un punto de apoyo central, lo que las hace ideales para parcelas pequeñas, azoteas y operación portátil. Sin embargo, su rendimiento depende críticamente del sistema de plano de tierra o contrapesos, un aspecto que muchos radioaficionados descuidan con resultados decepcionantes. Este artículo cubre los fundamentos de diseño, las fórmulas de cálculo, la construcción práctica y, especialmente, cómo implementar un sistema de tierra efectivo que determine el éxito o fracaso de la antena.

Fundamentos de la antena vertical: cuarto de onda y variantes

La antena vertical más básica es el monopolo de cuarto de onda ($\lambda/4$), que consiste en un elemento conductor vertical cuya longitud es un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de operación. Este elemento trabaja en combinación con un plano de tierra (real o artificial) que actúa como la imagen especular del elemento vertical, formando en conjunto el equivalente eléctrico de un dipolo de media onda.

Banda

Frecuencia central

Longitud $\lambda/4$ (metros)

Altura práctica

80 m

3.650 kHz

19,7

18-20 m (requiere mástil o torre)

40 m

7.100 kHz

10,1

10-11 m (viable con mástil telescópico)

20 m

14.175 kHz

5,1

5-6 m (fácil de construir)

15 m

21.225 kHz

3,4

3,5 m (muy compacta)

10 m

28.500 kHz

2,5

2,5-3 m (portátil)

La fórmula práctica para calcular la longitud del elemento vertical en metros es: $L = 71,5 / f(\text{MHz})$. Este factor de 71,5 (en lugar del teórico 75) tiene en cuenta el efecto de acortamiento por el diámetro finito del conductor y la capacidad distribuida del elemento. Para tubos de aluminio de 20-30 mm de diámetro, el factor puede reducirse a 70,5-71,0.

La impedancia de alimentación teórica de un monopolo $\lambda/4$ sobre un plano de tierra perfecto es de 36 ohmios (la mitad de los 73 ohmios de un dipolo). En la práctica, con un plano de tierra real e imperfecto, la impedancia varía entre 20 y 60 ohmios, generando una ROE (relación de ondas estacionarias) aceptable para la mayoría de transceptores sin necesidad de acoplador.

El plano de tierra: el componente más importante y más descuidado

El rendimiento de una antena vertical depende más de la calidad de su plano de tierra que de la perfección del elemento vertical. Un plano de tierra deficiente puede absorber el 50-80% de la potencia transmitida en forma de calor en la resistencia del suelo, reduciendo la potencia efectiva radiada a una fracción de la nominal.

Plano de tierra elevado con contrapesos: La solución más eficiente para instalaciones domésticas. Consiste en 4 o más radiales de alambre de cobre de longitud $\lambda/4$ conectados a la malla del coaxial en la base de la vertical, extendidos horizontalmente (o con una ligera caída de 30-45 grados) a la altura de la base de la antena. Con solo 4 radiales elevados a 2-3 metros, la eficiencia alcanza el 90-95%. La impedancia de alimentación con 4 radiales a 45 grados es de aproximadamente 50 ohmios, ideal para cable coaxial de 50 Ω .

Plano de tierra enterrado (radiales en el suelo): La solución clásica: radiales de cobre enterrados 5-10 cm o extendidos sobre la superficie del suelo, irradiando desde la base de la vertical. La eficiencia depende del número de radiales: con 4 radiales la eficiencia es del 50-60%, con 16 radiales del 75-80%, con 32 radiales del 85-90% y con 60 o más se acerca al 95%. Para una instalación permanente, un mínimo de 16-32 radiales de $\lambda/4$ es recomendable.

Sin plano de tierra (no recomendado): Una vertical sin contrapesos funciona, pero con eficiencia reducida (30-50%) y un patrón de radiación degradado con ángulos altos que no favorecen el DX. Además, la corriente de RF retorna por el exterior del coaxial, generando interferencias en la estación y problemas de

RF en el operador (quemaduras, interferencia con equipos). Nunca instale una vertical sin al menos 2-4 contrapesos.

Regla fundamental: La regla más importante para antenas verticales: es mejor invertir el presupuesto en más cable de contrapesos que en un elemento vertical más caro o sofisticado. 30 metros de cable de cobre para 8 contrapesos elevados (coste: 15-20 €) mejorarán más el rendimiento que cualquier otra inversión en la antena.

Construcción práctica: materiales y técnicas

Construir una antena vertical eficiente está al alcance de cualquier radioaficionado con herramientas básicas. Los materiales son económicos y disponibles en ferreterías y tiendas de bricolaje.

Elemento vertical: tubo de aluminio: Tubos de aluminio anodizado de 20-30 mm de diámetro, disponibles en longitudes de 3-6 metros en almacenes de metales. Se telescopian insertando tubos de diámetro decreciente (25 mm dentro de 30 mm, 20 mm dentro de 25 mm). Las uniones se aseguran con abrazaderas de acero inoxidable. El aluminio 6063-T5 es el ideal por su ligereza, resistencia a la corrosión y conductividad.

Elemento vertical: cable de cobre: Para antenas temporales o portátiles, un simple cable de cobre de 2,5 mm² tensado verticalmente con una cuerda de nylon es suficiente. Se puede izar con una pesa lanzada sobre la rama de un árbol o suspendido de un mástil de fibra de vidrio telescópico (como los de pesca de 10-12 metros).

Aislador de base: El punto de alimentación debe estar aislado del suelo o del soporte. Un bloque de PVC, polietileno o teflón de 5-10 cm es suficiente. Los conectores SO-239 para panel, atornillados a una placa de aluminio con el aislador, proporcionan un punto de alimentación limpio y reconectable.

Contrapesos: Cable de cobre aislado de 1-2,5 mm² (cable eléctrico doméstico) cortado a la longitud $\lambda/4$ de la banda de operación. Se sueldan o atornillan a la malla del coaxial en la base y se extienden radialmente. Para instalaciones permanentes, las piquetas de jardín mantienen los radiales en su posición.

Protección contra rayos: Toda antena vertical es un pararrayos potencial. Conecte la base de la antena a tierra mediante un descargador de gas (spark gap) y un conductor de cobre de al menos 16 mm² hasta una pica de tierra dedicada. Cuando no esté en uso, desconecte el coaxial del equipo y conecte la antena directamente a tierra.

El coste total de una vertical monoband para 20 metros con 4 contrapesos elevados puede ser inferior a 50 €: 20 € en tubo de aluminio, 10 € en cable de cobre, 10 € en conector y aislador, y 10 € en abrazaderas y tornillería. Una antena comercial equivalente cuesta entre 200 y 500 €.

Verticales multibanda: trampas, cargas y alimentación

Operar en múltiples bandas con una sola vertical es posible mediante varias técnicas, cada una con sus ventajas y compromisos.

Vertical con trampas: Las trampas son circuitos LC (bobina + condensador) resonantes que se insertan en el elemento vertical a la altura correspondiente a cada banda. A la frecuencia de resonancia de la trampa, esta presenta alta impedancia, acortando eléctricamente el elemento. Una vertical con 3 trampas puede cubrir 10, 15, 20 y 40 metros con un solo elemento de 7-8 metros. Las trampas comerciales de Hy-Gain, Cushcraft o Diamond son fiables y resistentes a la intemperie.

Vertical con alimentación desplazada (Butternut): El diseño Butternut utiliza un punto de alimentación desplazado y secciones de capacidad e inductancia distribuida para resonar en múltiples bandas sin trampas convencionales. El modelo HF-9V cubre de 80 a 6 metros en un único elemento de 8 metros. Requiere sintonización cuidadosa de cada banda mediante ajuste de los contrapesos y elementos capacitivos.

Vertical con acoplador automático: Un acoplador automático de antena externo (como el CG-3000 de Icom o el SGC-235) instalado en la base de un tubo vertical de longitud arbitraria adapta la impedancia automáticamente en cualquier frecuencia de HF. Esta solución es la más versátil pero requiere alimentación eléctrica para el acoplador y el rendimiento depende de la relación entre la longitud del elemento y la longitud de onda.

Contrapesos multibanda: Cuando la vertical opera en múltiples bandas, los contrapesos deben resonar en todas ellas. La solución más sencilla es instalar un juego de contrapesos de $\lambda/4$ por cada banda. Para 20 y 40 metros, esto significa 4 contrapesos de 5 metros y 4 de 10 metros, todos desde el mismo punto de conexión en la base.

Compromiso multibanda: Toda antena multibanda implica un compromiso respecto a una monoband optimizada. Una vertical de trampas pierde 1-3 dB respecto a una monoband en cada banda, y su ancho de banda es más estrecho. Para operación de emergencia donde se necesita versatilidad, el compromiso es aceptable. Para estaciones base fijas, considere antenas monoband separadas si el espacio lo permite.

Instalación, ajuste y medición

Una vez construida la antena, la instalación correcta y el ajuste fino determinan su rendimiento real. Un analizador de antena es la herramienta clave para este proceso.

Ubicación: La vertical debe instalarse lo más alejada posible de estructuras metálicas (vallas, canalones, tendedores), cables eléctricos y edificios. Una separación mínima de 5-10 metros de cualquier estructura es deseable. En azoteas, colóquela en el centro o en la esquina más alejada de las bajantes metálicas.

Medición de ROE: Con un analizador de antena (como el NanoVNA, RigExpert o MFJ-259) conectado a la base, barra la frecuencia de la banda de operación y verifique que la ROE mínima coincide con la frecuencia deseada. Una ROE de 1,5:1 o menor es excelente; hasta 2:1 es aceptable sin acoplador.

Ajuste de longitud: Si la frecuencia de resonancia es demasiado baja, el elemento es largo: corte o telescopee 1-2 cm y mida de nuevo. Si es demasiado alta, el elemento es corto: añada un trozo de cable conectado al extremo superior. Los contrapesos también afectan: alargar los contrapesos baja la frecuencia

de resonancia 10-30 kHz por centímetro.

Verificación del patrón de radiación: El ángulo de radiación bajo se verifica en la práctica intentando contactos DX. Si recibe estaciones europeas cercanas con buena señal pero no escucha DX lejano, el ángulo de radiación es demasiado alto, generalmente por un plano de tierra deficiente. Añadir más contrapesos y mejorar la tierra de RF bajará el ángulo.

Protección ante la intemperie: Selle todas las conexiones con cinta autovulcanizante y cinta aislante sobre ella. Los conectores PL-259/SO-239 expuestos a la lluvia se corroen rápidamente, degradando la ROE. Aplique grasa dieléctrica en las uniones de aluminio para prevenir corrosión galvánica. Revise las conexiones al menos dos veces al año.

Un error frecuente es ajustar la antena en el suelo y luego montarla en su posición definitiva. El entorno (proximidad al suelo, estructuras cercanas, altura de los contrapesos) altera significativamente la resonancia. Ajuste siempre con la antena en su posición final de instalación.

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.