

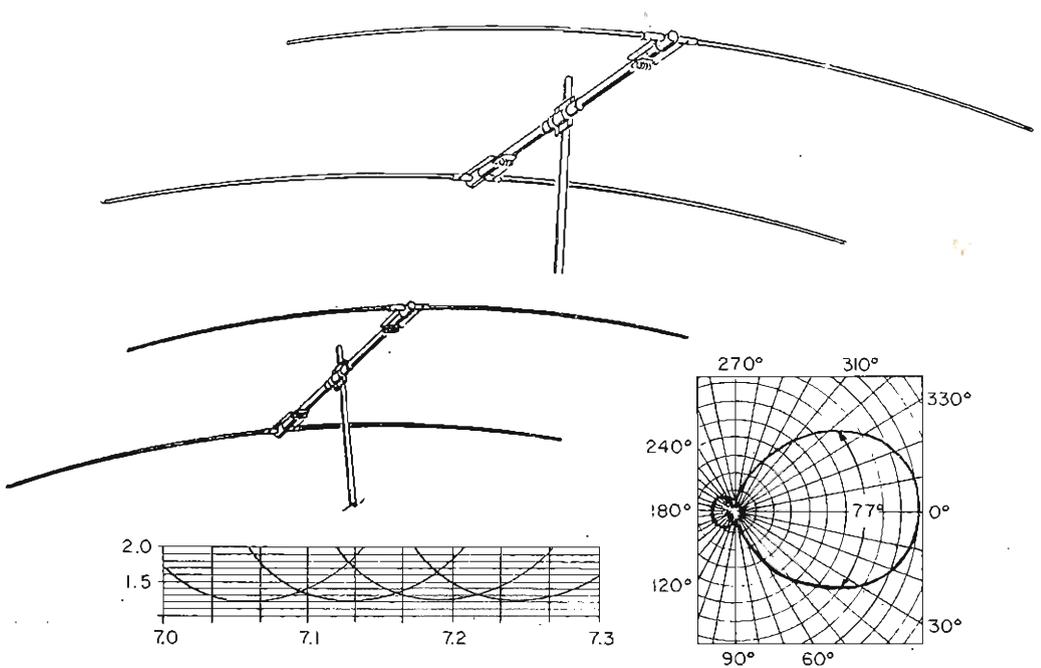
PORTAVEU

AGRUPACIÓ RADIOAFICIONATS CALELLA

ARC

BUTLLETÍ INFORMATIU

ANTENAS



Por D. Juan Aliaga Arqué - E A 3 - P I



**TODDO
PARA EL
RADIOAFICIONADO**

EMISION - RECEPCION
Y T.V. AMATEUR**

AMPLIFICADORES
LINEALES HF - VHF - UHF
GRAN SURTIDO DE
MARCAS Y POTENCIAS**

**EXTENSA GAMA DE:
ORDENADORES
HI-FI
PLACAS SOLARES
Y TURBINAS EOLICAS**



**ANTENAS DIRECTIVAS VERTICALES TODAS MARCAS
TODA LA GAMA EN CONVERTORES MICROAVE Y TRANSVERTERS**

INFORMACION TECNICA: EA3-BIN (Sr. Ventura)

- PEDIDOS POR TELEFONO-ENTREGAS EN TIENDA O A DOMICILIO
- ENVIOS A TODA ESPAÑA, SUMINISTRANDO CON LA MAYOR RAPIDEZ LOS ENCARGOS RECIBIDOS POR CARTA O TELEFONO.



Gran Vía de les Corts Catalanes, 581 - Tel. 254 47 08 *

BARCELONA - 11

ANTENAS - (1)

Por D. Juan Aliaga Arqué - EA3-PI

Edita: "PORTAVEU" – A.R.C.

D.L. B-11290/78

Impreso por: Multicopy - Arrabal, 42 - Calella (Barcelona)

I N D I C E

=====

INTRODUCCION

1.- CARACTERISTICAS FISICAS

- 1.1.- Emplazamiento de la antena
- 1.2.- El concepto de altura
- 1.3.- Suelo o tierra
 - 1.3.1.- Mejora de la conductividad del suelo
- 1.4.- Conductores de antena
- 1.5.- Vientos de antena
- 1.6.- Disposición física de la alimentación de antena
- 1.7.- Protección contra rayos y descargas
- 1.8.- Polarización de la antena
- 1.9.- El ruido del lugar

2.- CARACTERISTICAS FUNCIONALES BASICAS

- 2.1.- Resonancia de la antena
- 2.2.- Distribución de tensión y corriente en la antena
- 2.3.- Resonancia armónica
 - 2.3.1.- Punto de alimentación y corriente
- 2.4.- Antena vertical puesta a tierra
- 2.5.- Energía en el espacio (intensidad de campo o V/m)
- 2.6.- Resistencia de radiación e impedancia
- 2.7.- Rendimiento de la antena
- 2.8.- Variación de R_r y de Z_e
- 2.9.- La bobina de carga y sus efectos
- 2.10.- Ancho de banda de una antena

3.- DIRECTIVIDAD Y GANANCIA

- 3.1.- Propagación ionosférica - Angulo vertical
- 3.2.- Concepto de directividad y ganancia
 - 3.2.1.- Diagrama de directividad
- 3.3.- Directividad horizontal (dipolo 1/2 onda)
 - 3.3.1.- Antenas de resonancia armónica (largas)
 - 3.3.2.- Diagramas reales de antenas horizontales →

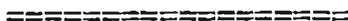
- 3.4.- Directividad (ángulo) vertical y efecto de tierra
 - 3.4.1.- Antena para comunicación vía satélite
 - 3.4.2.- Antenas verticales
- 3.5.- Diagrama de radiación vertical
 - 3.5.1.- Efecto de la conducción del suelo
 - 3.5.2.- La antena "V invertida"
- 3.6.- Antenas o sistemas de gran directividad y ganancia
 - 3.6.1.- Sistemas o antenas colineales
 - 3.6.2.- Variante de colineal sencilla (Levy ó $0,65\lambda$)
 - 3.6.3.- Dipolos verticales direccionales
 - 3.6.4.- Verticales $1/4$ de onda direccionales
 - 3.6.5.- Sistemas Yagi y Quad
- 3.7.- Antenas apiladas (stacked)
 - 3.7.1.- Apilamiento multibanda
 - 3.7.2.- Apilamiento de ganancia
- 3.8.- Antenas mayormente utilizadas
- 3.9.- Conclusiones prácticas

4.- DE CARA AL PRINCIPIANTE... ¿QUE ANTENA ELEGIR?

- 4.1.- Introducción
- 4.2.- Características básicas
- 4.3.- Sencillez y efectividad de la antena alámbrica
- 4.4.- Funcionamiento multibanda
- 4.5.- El alambre para antena
- 4.6.- Antena dipolo con trampas
- 4.7.- Dipolos con ganancia
 - 4.7.1.- Antena Levy (ó dos veces $0,65\lambda$)
 - 4.7.2.- Antena G5RV
- 4.8.- La antena Yagi
- 4.9.- La antena vertical
 - 4.9.1.- Antena "ground-plane" monobanda
 - 4.9.2.- "Ground-plane" tribanda
 - 4.9.3.- "Ground-plane" multibanda

* * * * *

A N T E N A S (I)



INTRODUCCION

Imitando a Arquímedes, todo radioaficionado podría decir: "dadme una buena antena y tendré el mundo a mi alcance"... Esto quiere decir que la antena constituye el elemento más importante de toda estación, sobre todo si su propósito principal son las comunicaciones a larga distancia. Desde que Marconi utilizó la primera antena en 1892 y hasta nuestros días, se ha venido investigando y probando antenas hasta el extremo de que los actuales radiadores poco se parecen a los que utilizó Marconi. Pero como bien dice un experto de la categoría de William Orr, W6SAI, si Marconi levantara la cabeza, enseguida comprendería el funcionamiento de las antenas actuales porque todas ellas, con todos sus perfeccionamientos, distintas formas e innumerables diseños, obedecen las mismas leyes básicas que él intuyó y descubrió. Son estas bases las que intentamos transferir al lector en este pequeño volumen, incapaz de contener ni tan siquiera una mínima parte de cuanto se ha llegado a escribir y publicar sobre el tema.

Más que una técnica complicada y depurada, nuestro principal propósito es encauzar el propio SENTIDO COMUN del lector para su aplicación directa en cada caso particular. Cuando se sabe el cómo y el por qué de las cosas, los "misterios" desaparecen y la actuación personal, que es la que aquí interesa, alcanza la máxima efectividad.

Pero hay algo más en el tema que tratamos: el apasionamiento técnico científico y de aventura que acompaña a toda instalación de una antena.... El resultado final que va a obtenerse con la instalación de una antena es el apartado más difícil de predecir de cuanto constituye el arsenal del radioaficionado, con todo y ser la "pieza" más importante del equipo... Depende de muchos factores que escapan a todo estudio previo a nivel normal y sólo los periodos de observación real pueden llegar a determinar la bondad y efectividad de una antena.

Nunca puede saberse con anticipación y certeza cuál va a ser el rendimiento real de una antena determinada; se conoce y se persigue la instalación correcta del sistema, la mayor perfección posible

del mismo, pero no sería la primera ni la última vez que una antena "incorrectamente instalada" da un rendimiento superior al de otra tenida por "correctísima"... ¡Basta que un determinado factor quedara olvidado o descuidado o muchas veces imprevisto por ser absolutamente determinante por la Naturaleza!... El rendimiento de una determinada antena en un determinado lugar es algo que sólo puede averiguarse con certeza a través de la experiencia, trabajando con ella y por algún tiempo... ¡He aquí un apasionante campo de experimentación para todo radioaficionado!

Llegados a este punto, volvemos a hacernos eco de un acertadísimo consejo del propio William Orr: Antes de proceder a montar y experimentar una antena, sea comercial o de construcción doméstica, la primera pieza que debe adquirirse es un BLOCK DE NOTAS y disponerlo para anotar en él las medidas iniciales, los resultados obtenidos tras cada modificación por sencilla que sea (como por ejemplo la curva de ROE en un día de sol y en un día de "lluvia, diferencias observadas con la altura o inclinación de la antena, cambios de orientación, etc.). A la larga, este block de notas será el libro más instructivo y el aparato de pruebas más eficaz y barato con que contará el radioaficionado.

* * * * *

Cuanto antecede fue escrito al iniciar la obra. A medida que hemos ido avanzando en su redacción, nos hemos dado cuenta de la imposibilidad de abarcar todo el tema en el espacio de un solo volumen. Hemos optado por dedicar el último capítulo a unas descripciones - prácticas que creemos han de resultar de suma utilidad especialmente para el principiante y dejar para un próximo volumen (ANTENAS II) cuanto queda por decir, principalmente el estudio básico del propio circuito de antena eléctricamente considerado, con sus acoplamientos y posibilidades de máxima eficacia, tema del mayor interés pero que no puede tratarse con propiedad sin el conocimiento previo de cuanto se trata en este volumen (ANTENAS I).

* * * * *

I - CARACTERISTICAS FISICAS

=====

Entendemos por características físicas las que inicialmente y por separado intervienen en el conjunto de circunstancias que afectan al rendimiento final de una antena, con independencia de su clase o de su funcionamiento estrictamente eléctrico.

1.1.- Emplazamiento de la antena

Una recomendación tan antigua como la propia radio dice que la antena "cuanto más larga y cuanto más alta, tanto mejor"... Si por alta entendemos "despejada", la recomendación es válida en nuestros días, cuando es posible disponer de amplios espacios abiertos para su instalación. Desgraciadamente, este no es el caso más común y casi siempre se impone ya de principio la limitación de espacio que en la práctica impide la realización del postulado anterior y que ha llevado a que con las antenas de radioaficionado se persiga obtener la mejor radiación con el menor espacio mediante la utilización de antenas de media o de un cuarto de longitud de onda.

En los comunicados en frecuencias elevadas (VHF y superiores) la altura de la antena sobre el nivel del mar y sobre el terreno circundante es primordial, tanto para los enlaces en onda directa (sobre el horizonte visual) como para los comunicados a gran distancia a través de canales esporádicos de propagación troposférica que suelen aparecer con mayor frecuencia en las alturas. El alcance de los repetidores de VHF con potencias relativamente bajas pero siempre instalados en puntos altos, confirma plenamente la importancia de la altura en la banda de VHF.

Pero cuando se trata de comunicaciones a larga distancia en bandas decamétricas (3 a 30 MHz) la altura, a partir de un determinado nivel crítico, pierde mucha importancia cediéndosela a la naturaleza o conductividad del suelo que se halla por debajo de la antena como elemento preponderante para el DX, junto con el ruido ambiental del lugar que puede impedir la recepción de las señales más débiles.

Los estudios estadísticos de los grandes "campeones" del DX han demostrado la gran importancia del lugar elegido para el emplazamiento de la antena y la supremacía de las mismas cuando se hallan montadas en lugares llanos, despejados, sin ruidos y especialmente con una

buena conductividad del suelo propia de zonas húmedas, como las costas marítimas arenosas o las esponjosas tierras de labranza a orillas de grandes lagos o rios.

Otro interesante elemento de juicio lo aportan las grandes compañías de radiocomunicaciones que con la máxima dotación técnica y sin problemas de tipo económico, estudian previamente los emplazamientos para sus campos de antenas de HF. Eligen siempre las costas de subsuelo húmedo, las tierras pantanosas o las de labranza húmeda y a ser posible con un subsuelo rico en sales o minerales capaces de disolverse y convertir el agua en un buen conductor (aislante en estado puro).

Extremadamente ilustrativo fue el experimento que llevó a cabo la Bell Telephone en 1932 para determinar el mejor lugar de emplazamiento para las antenas de una estación costera destinada a mantener la comunicación HF continua con los buques que navegaban en un radio de cinco mil kilómetros mar adentro, en las bandas marítimas de 66 y 33 metros por separado y tanto de día como de noche. Se registraron atenuaciones de señal de 8 a 12 dBs por el solo hecho de desplazar la antena unos dos kilómetros tierra adentro.

También es fácil comprobar que en las aperturas de propagación intercontinental en las bandas de HF, las estaciones situadas al borde del mar o de un gran lago y sobre todo las situadas en alguna pequeña isla, son las que primero se perciben y las que, por lo general, se conservan luego más fuertes que aquellas otras procedentes del interior y de lugares secos.

El emplazamiento idóneo para la antena de radioaficionado de HF sería sin duda alguna la amplia cubierta de un barco grande con casco de acero y que navegara por alta mar (tierra de agua salada altamente conductora). Con seguridad que una antena sobre una torre de prospección petrolífera haría furor en un día de concurso.... Bien que estas condiciones óptimas no sean elegibles por el radioaficionado medio, su conocimiento y evaluación debida permite que individualmente pueda procurarse la mayor aproximación posible en cada caso si las circunstancias lo permiten.

Otros aspectos desaconsejan también la elección de lugares muy altos para las antenas de HF. La frecuencia de las tormentas con sus vientos huracanados, la mayor y a veces enorme probabilidad de la caída del rayo, la frecuencia con que las líneas de alta tensión cruzan las cimas... ¡cuántas veces dejan de funcionar los repetidores por causas meteorológicas! ¡Cuántos repetidores han destrozado los rayos, allá arriba en las cimas!

Todo lo dicho hasta aquí permite enumerar las consideraciones más importantes que debe hacerse el radioaficionado ante la instalación

cuencia donde se producen las reflexiones de la señal o energía emitida no suele estar al mismo nivel del suelo físico sino a una profundidad que varía según la naturaleza del terreno.

En las lecturas y traducciones del inglés, suele producirse una confusión idiomática al designarse por "height" la longitud de la propia antena que solamente será "altura" si se halla montada directamente sobre el suelo, sin mástil.

Todos estos conceptos tienen importancia en la radiación y captación de las antenas en su aspecto direccional y de ángulo vertical de trabajo, de suma efectividad para el DX, como se verá más adelante, al tratar de estos temas.

En esta circunstancia de la altura, la estadística muestra que los grandes y más eficaces operadores de DX suelen tener sus antenas a una altura promedio de veinte metros sobre el suelo. Muchos de ellos se expresan en el sentido de que a partir de los 20 metros de altura, para bandas decamétricas, el coste de la sustentación aumenta considerablemente y no se ve nunca recompensado por la débil mejora que puede obtenerse.

La conclusión a que llega William Orr, tras cuarenta años de trabajar el DX en HF desde multitud de lugares distintos sobre la Tierra es que la altura mínima de DOCE METROS SOBRE EL SUELO para las antenas horizontales es el mejor punto de partida en cuanto a la relación coste/efectividad para trabajar bien las bandas de 10, 15 y 20 metros, siempre que a esta altura la antena quede completamente despejada de obstáculos. En general y cuando se trata de obtener directividad en especial, puede establecerse una norma para las antenas horizontales: ALTURA NUNCA INFERIOR A MEDIA LONGITUD DE ONDA CORRESPONDIENTE A LA FRECUENCIA MAS BAJA DE TRABAJO.

No debe perderse de vista que en todo lo dicho perseguimos la mayor aproximación posible al ideal y que por lo tanto el hecho de que no se cumpla exactamente alguna de las condiciones expuestas no significa, ni mucho menos, que no puedan obtenerse buenas comunicaciones. Hay que tener muy presente que *cualquier conductor en el espacio convertido en radiador permite efectuar buenos contactos si la propagación es propicia y, sobre todo, si es capaz de aceptar y radiar energía en el ángulo adecuado respecto al suelo, aunque no llegue a ganar ningún concurso.*

1.3.- Suelo o tierra

La naturaleza eléctrica del suelo o tierra que se halla debajo de una antena, y de manera espectacular si se trata de una vertical, tiene una importancia de primer orden, a veces superior a la propia altura de la antena, en cuanto a rendimiento. No es de extrañar que a veces una antena mediocre sobre un buen suelo consiga mejores contac

tos que una excelente antena sobre suelo malo. Se debe a la circulación de corrientes de radiofrecuencia por debajo de la antena o "de retorno", generadas por la propia radiación. Si estas corrientes hallan una resistencia elevada en su recorrido por debajo del suelo, pierden en disipación térmica buena parte de la energía que deberían reflejar y ser radiada con la emisión principal, reforzándola

La bondad del suelo a estos efectos se determina por la llamada "conductividad" G que es la inversa de la resistencia ($G = 1/R$) con valores que van desde cinco para el agua del mar (la mejor conductividad) hasta 0,001 en las áreas urbanas industrializadas.

Esta medida es tan importante para la radiación de las antenas que en los países avanzados como Estados Unidos existen mapas regionales de los valores de la conductividad del suelo. Aun cuando el valor de la conductividad del suelo está sujeto a la propia naturaleza del mismo, a la existencia de minerales en el subsuelo, de corrientes de agua, grado de humedad y una serie de factores de difícil determinación, como guía de valores medios se establece la Tabla que sigue a continuación:

CONDUCTIVIDAD DEL SUELO

NATURALEZA	Mhos/metro
Agua del mar	5,0
Agua dulce (no pura)	0,008
Suelo arenoso, seco	0,002
Suelo rico en minerales, seco	0,003
Suelo pantanoso	0,008
Suelo pantanoso y rico en minerales	0,5
Suelo rocoso, seco	0,00025
Suelo zonas residenciales (obra)	0,00015
Suelo zonas industriales (obra)	0,00010
=====	

La importancia de la naturaleza del suelo decrece para las antenas horizontales a medida que aumenta la altura de las mismas. Puede incluso ignorarse en cuanto dicha altura sobrepasa un cuarto de longitud de onda de la frecuencia de trabajo lo que, naturalmente, le hace especialmente importante para las bandas bajas (80, 40 metros) donde es difícil que una antena horizontal pueda alcanzar la altura de un cuarto de longitud de onda. Con todo, la calidad reflectante del suelo seguirá siendo primordial, en todas las bandas, para la comunicación DX.

A título de ejemplo, una antena dipolo sintonizada para la banda de los 80 metros y situada a una altura de 8 metros (0,1 de longitud de onda) presenta una resistencia de pérdidas de 21 ohmios si se halla situada sobre un suelo perfectamente conductor y de 46 ohmios si

con la misma altura se monta sobre un suelo de $G = 0,003$. La diferencia de 25 ohmios representará que más de la mitad de la energía entregada a la antena se disipará en el suelo en lugar de radiarse al eter.

Con las antenas verticales la pérdida de tierra es de importancia CAPITAL por el hecho de que las líneas de fuerza son perpendiculares al suelo (en las horizontales son paralelas al mismo). Además, la antena vertical de cuarto de onda utiliza precisamente el suelo como complemento reflector del otro cuarto de onda para la resonancia, cual si se tratara de un espejo (antena imagen) que resultará tanto más empañado y sucio cuanto peor sea la conductividad. De aquí parte el hecho de que una misma antena vertical haya procurado un rendimiento fabuloso para unos y haya representado un estrepitoso fracaso para otros... comentarios contradictorios que pueden oírse en las bandas casi a diario.

1.3.1.- Mejora de la conductividad del suelo

Aun cuando sólo excepcionalmente puede el radioaficionado elegir un suelo de conductividad elevada para su antena, sí está en su mano la posibilidad de mejora del mismo a un coste relativamente económico si obra con conocimiento de causa. Los métodos más prácticos y sencillos pueden resumirse en:

- a) Mantenimiento de la humedad del suelo por riego, con o sin mezcla de sales conductoras, cuando el suelo es tierra propiamente dicha.
- b) Instalación de contrantenas que procuren una buena reflexión de la energía radiada hacia abajo.
- c) Enterramiento a muy poca profundidad de redes metálicas o conductores radiales debajo de la antena y en una superficie relativamente reducida.
- d) Instalación de un sistema de radiales sintonizados y aislados, justo bajo la antena vertical (antena "ground-plane") aun cuando ésta se halle a muchos metros de altura.

a) Mantenimiento de la humedad

En ciertos campos de antenas de servicios oficiales de radiocomunicación, una persona determinada (conserje, guarda, jardinero) tiene encomendada la misión de regar abundantemente y todos los días el terreno por debajo de las antenas al objeto de mantener la humedad del suelo. Periódicamente se deposita sobre el mismo o se diluye en el agua de riego una substancia mineral (sal común, sal de magnesia, sulfato de cobre, etc) para que vaya penetrando en la tierra y aumentando su conductividad. El procedimiento puede ser imitado por cualquier

radioaficionado cuyo mástil de antena descansa sobre tierra propiamente dicha y disponga de terreno libre a su alrededor, aproximadamente en un radio de media a un cuarto de longitud de onda de la frecuencia más baja de trabajo de la antena (¡Además, causará la hilaridad de la familia "ignorante" cuando les diga que va "a regar la antena"....!).

b) Instalación de contrantena

Se han obtenido notables mejoras en el rendimiento de las antenas horizontales sobre suelo mal conductor mediante la instalación de un "reflector de tierra" consistente en un simple alambre paralelo y justo por debajo de la antena, con una longitud ligeramente superior a ella, tendido a una altura de 30 a 50 cm sobre el suelo y aislado por sus extremos. La "contrantena" actúa como reflector de la energía de radiofrecuencia impidiendo su disipación en la resistencia de la poca conductividad del suelo y reduciendo el campo electromagnético por debajo de la misma. En las bandas de 40 y 80 metros se han llegado a utilizar hasta cinco contrantenas o alambres paralelos separados entre sí metro y medio aproximadamente.

c) Redes y radiales enterrados o dispuestos en tejados y terrazas

Son más apropiados para las antenas verticales. Las emisoras de radiodifusión suelen enterrar a unos centímetros de profundidad hasta 120 alambres de cobre uniformemente espaciados y que se extienden radialmente hacia afuera desde la base de la antena vertical en una longitud mínima de un cuarto de onda, de manera que las corriente de radiofrecuencia circulen por ellos en lugar de hacerlo por la tierra.

Para el radioaficionado raramente es posible una instalación de esta categoría y debe ceñirse a la idea de que "mejor es una tierra mejorada que una tierra mala" esforzándose en todo lo posible por mejorar su instalación. Aunque el tema de la tierra de las antenas verticales es inacabable aun en nuestros días, ciertas reglas básicas pueden mejorar notablemente el rendimiento de toda antena vertical.

Si la longitud de la antena vertical es de un octavo de longitud de onda, aproximadamente, los radiales deben ser como mínimo de la misma longitud y esparcirse uniformemente desde la base del mástil. Idóneamente su número no debiera ser inferior a sesenta, sin que importe mucho la sección de cada conductor (se han venido utilizando conductores desde 5 a 0,8 mm de diámetro) preferentemente de cobre pero que pueden también ser de aluminio si no se trata de un suelo excesivamente ácido o excesivamente alcalino capaz de corroer el metal en pocos días. Los alambres pueden ser desnudos o aislados y pueden tenderse sobre el suelo o ligeramente enterrados en el mismo. Parece ser que los alambres aislados tienen una mayor duración por resistir mejor la corrosión y el ataque químico de los agentes activos del suelo.

Cuanto más larga es la antena vertical, menor el número y la longitud de los radiales. Por ejemplo, en las verticales de $1/4$ de onda serán suficientes 18 ó 20 radiales de igual longitud que la antena. Esto no quita, desde luego, para que cuantos más alambres se entierran o dispongan por debajo de la antena, tanto mejor, y si se utiliza una extensa red de tela metálica soldada a los radiales, todavía mejor.

Si el espacio disponible alrededor de la antena no permite la extensión radial de los alambres en todas las direcciones, deberán aprovecharse las direcciones posibles que permita dicho espacio. Siempre será mejor algunos que ninguno.

En repetidas ocasiones se nos ha preguntado si no es mejor o suficiente la existencia de una jabalina de cobre clavada en el suelo, o un grupo de ellas eléctricamente unidas, confundiendo lo que es una "tierra de seguridad" con lo que es "tierra de radiofrecuencia de antena". Piénsese que de lo que se trata es de la obtención de UN CIRCUITO DE RETORNO de la radiofrecuencia esparcida por la antena, que debe presentar la menor resistencia posible desde TODOS LOS PUNTOS SUPERFICIALMENTE INMEDIATOS DEL SUELO QUE LA RODEA. Evidentemente, cualquier colección de alambres superficialmente dispersos, aun de cualquier longitud, cumplirán mejor su cometido que la jabalina en profundidad.

No debe olvidarse que todos los radiales deben quedar unidos por un extremo al punto origen o base de la antena vertical (toma de tierra de la misma) y que la unión debe presentar la menor resistencia óhmica posible (soldadura).

d) Radiales sintonizados y aislados

Es el sistema que da lugar a la antena "ground-plane" o "de plano de tierra" y que consiste en la disposición, justo en la base de la antena aun cuando se halle instalada a cierta altura, de cuatro radiales rigurosamente aislados por su extremo más alejado y de longitud igual a un cuarto de onda, de forma que constituyan una pantalla o "paraguas" de tierra al quedar conectados a la malla de la línea coaxial de alimentación de la antena vertical. Equivale a que "la tierra o suelo buen conductor se llevara junto a la base de la antena vertical montada a la altura conveniente para evitar obstáculos, ruidos y obtener así una buena reflexión junto a un horizonte despejado". Por estas cualidades, por el asilamiento de radiofrecuencia que proporciona a lo que queda por debajo del "paraguas" (shack) es nuestra antena vertical preferida. Cuando se la usa en multibanda, suelen disponerse dos radiales sintonizados por banda. Naturalmente, la mejor conductividad del suelo se obtiene para la frecuencia a que se hallan sintonizados los radiales.

Por término medio, siempre sujeto al ajuste final de todo el conjunto a la frecuencia elegida como principal de trabajo, la longitud de estos radiales desde la base de la antena al extremo aislado suele ser de:

Banda de 80 m	=	18,9 metros
Banda de 40 m	=	10,5 metros
Banda de 20 m	=	5,03 metros
Banda de 15 m	=	3,35 metros
Banda de 10 m	=	2,51 metros.

1.4.- Conductores de antena

Cualquier conductor de cobre es bueno para ser utilizado como antena si su solidez mecánica es capaz de resistir el esfuerzo a que se verá sometido. Generalmente es mejor el cable que el conductor macizo prefiriéndose el cobre recocido por su mayor flexibilidad. NO ES PRECISO QUE EL CABLE DE ANTENA DEBA ESTAR DESNUDO; puede muy bien ir recubierto de aislante de plástico o similar con lo que se obtendrá cierta protección contra los humos corrosivos y contra la intemperie. También pueden emplearse el acero revestido de cobre, bronce, o de cualquier metal poco susceptible a la corrosión y de adecuada firmeza y consistencia.

Según sea la extensión o longitud de la antena, el calibre del cable debiera ser el siguiente:

- Hasta 10 m de longitud del tramo aéreo - 1,6 mm diámetro
- De 10 m a 45 m de tramo aéreo - 2 a 2,6 mm diámetro
- De más de 45 m de tramo aéreo - 2,6 a 3,3 mm diámetro.

Las antenas de cortas dimensiones (frecuencias más altas) suelen substituir el alambre de cobre por tubo de aluminio, más blando, ligero y maleable que el cobre. Como sea que a medida que aumenta la sección del conductor de antena aumenta también su capacidad por unidad de longitud y disminuye su inductancia también por unidad de longitud, el tubo disminuye el Q de la propia antena y su curva de resonancia es más roma, o lo que es lo mismo, aumenta el ancho de banda de la antena (más adelante se entenderá mejor este concepto).

1.5.- Vientos de antena

Los vientos que aseguran las estructuras de las antenas deben ser preferentemente de acero galvanizado (y mejor aun si son de acero inoxidable, si lo permite la economía) y de grosor conveniente para el tipo de estructura que deben sustentar. En ningún caso debieran ser de calibre inferior a 1,6 mm de diámetro.

Si se trata de mástiles sencillos de hasta unos 10 metros de longitud, pueden utilizarse vientos de nylon, preferentemente del utilizado por los alpinistas en sus escaladas (resistentes a la fuerza y a

la intemperie) que pueden adquirirse en las tiendas de deporte.

Si se utilizan vientos metálicos, debe cortarse la continuidad eléctrica mediante la inserción de aisladores de forma que ningún tramo pueda resonar (media onda) a la frecuencia superior de trabajo de la antena (en HF cada 2,5 a 3 metros supuesto que la banda de 10 m es la más alta de trabajo).

Las inspecciones "de mantenimiento" son esenciales al menos un par de veces por año, sobre todo si la antena está dotada de vientos de sustentación que suelen ser los primeros en sufrir los efectos de la corrosión. Una lubricación periódica de aceite (tipo CRC 2.26 por ejemplo) siempre será agradecida por la instalación. El engrase de engranajes que pueda contener la instalación debiera seguir la misma pauta periódica.

Nunca conviene mostrarse tacaño en el número de vientos. Tres vientos con 120° de circunferencia de separación entre ellos es el mínimo económico; cuatro a 90° de separación por juego es mejor. Dos juegos (a media altura y casi en la cúspide) mejor que un solo juego.

En cualquier caso, todo dependerá de las condiciones meteorológicas anuales del lugar, lo que convendrá consultar a los servicios correspondientes, en especial para conocer cuál es la velocidad máxima anual de los vientos del lugar y obrar en consecuencia. Y, desde luego, debe evitarse el que los vientos crucen por encima o por debajo de líneas de conducción eléctrica o de otros servicios.

Quando se proyecta este tipo de instalaciones, siempre será bueno preguntarse: "¿Qué puede ocurrir si se cae la antena o se rompen los vientos?" La respuesta será la mejor guía de las previsiones y precauciones a tomar.

1.6.- Disposición física de la alimentación de la antena

La línea de alimentación de antena, cualquiera que sea su clase, debe separarse de la misma en un recorrido perpendicular al plano de la misma si es horizontal o del tipo dipolo (que puede quedar montada en vertical) hasta llegar al suelo si es posible, para tomar entonces la dirección que más convenga. Esto está motivado porque interesa guardar el equilibrio o simetría de la línea respecto a las dos ramas de las antenas horizontales o la perpendicularidad en el caso de ser alimentadas por un extremo.

Líneas coaxiales y cables de rotor (si existen)

Conviene que antes de la conexión a la antena, si no se utiliza un "balun", se realice una bobina o arrollamiento de seis a diez espiras de aproximadamente 15 a 20 cm de diámetro con el cable, bobina que deberá quedar bien sujeta al "boom" o travesaño o junto al conector de antena. Otro tanto se realizará a la llegada de la línea al

emisor o acoplador, justo antes de su conexión (en evitación de los efectos de las corrientes inducidas en la parte exterior de la malla del cable coaxial).

Toda conexión de antena se recubrirá de una generosa capa de vaselina pura (muy económica en farmacias) o de spray de silicona anti-humedad. Téngase presente que los conectores del cable coaxial NO SON ESTANCOS y la entrada de agua de lluvia puede dar al traste con la mejor instalación.

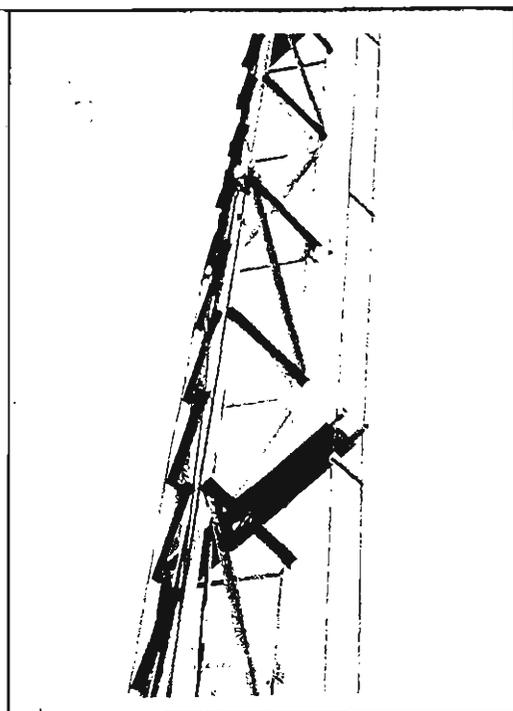
Si el mástil de sustentación es una torreta, la bajada de la línea coaxial y de los cables del rotor deberán realizarse por el interior de la misma sujetándola a una de sus aristas, hasta la llegada al suelo por la base del mástil y a partir de aquí, mejor canalizar la línea subterráneamente si es posible, y si no de la manera y dirección que más convenga. Si el mástil es de tubo metálico y su diámetro lo permite, será conveniente realizar un orificio en su parte más elevada para que el cable coaxial de bajada transcurra por su interior (quedando así totalmente blindado y protegido de la intemperie) transcurriendo hacia abajo hasta otro orificio de salida en la base del mástil, cuidando mucho de "estancar" estos orificios de entrada y salida del cable con silicona o vaselina. De no poder adoptar este sistema, el mejor contra las corrientes parásitas inducidas, la bajada transcurrirá pegada al mástil por el exterior del mismo.

Línea paralela

Cuando la línea de alimentación de la antena es paralela, con dieléctrico de aire o de plástico, su recorrido debe transcurrir convenientemente alejado de la estructura metálica. No necesita bobina en sus extremos de conexión.

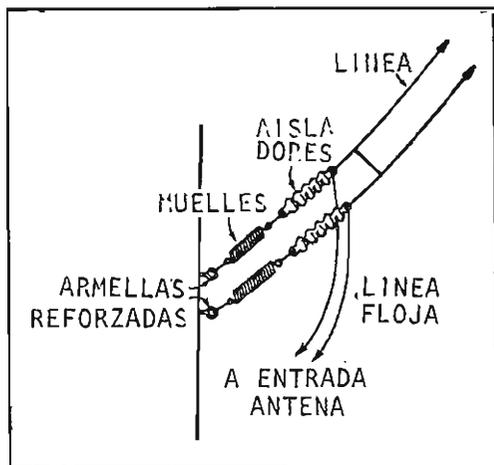
Si el mástil es de madera, no existe inconveniente alguno en que la bajada quede sujeta al mismo con grapas que sujeten los aisladores de la línea o el plástico de la misma, pero si el mástil es metálico, deben proveerse separadores de 40 o 50 cm de longitud.

Fig. 2.- Bajada de línea paralela convenientemente separada.



El primer separador se sitúa próximo al punto de conexión de la antena y a lo largo de la bajada se colocan los separadores necesarios para que simultáneamente mantengan la línea tensa. La Fig. 2 muestra un sistema adecuado de separador para torreta metálica constituido por una simple tabla de madera convenientemente tratada con un barniz contra la intemperie y con dos aisladores en su extremo.

La parte alta de la línea debe mantener la perpendicularidad que se procurará conservar en la mayor parte del recorrido de bajada. Si la estación no está justo debajo de la antena, suele llevarse la línea hacia la misma antes de su llegada a la base del mástil, para que no transcurra a poca distancia del suelo (fuera del alcance de niños y mayores).



La Fig. 3 nos muestra un excelente sistema de anclaje de la línea de transmisión paralela, justo antes de su entrada a la estación, a través de los adecuados aisladores pasamuros o de los orificios que por lo general se sitúan en el marco de una ventana.

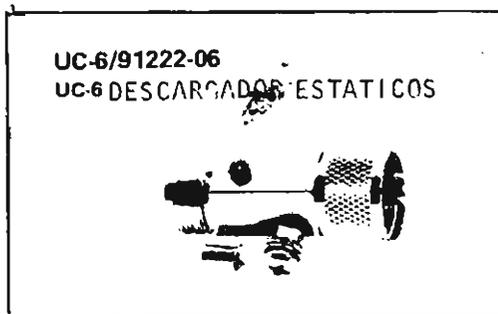
Fig. 3.- Amarre inferior de línea paralela.

NOTA - La línea de alimentación paralela fue abandonada a la aparición del cable coaxial en la Segunda Guerra Mundial, pero su gran facilidad para conseguir antenas multibanda, como se verá más adelante, vuelve a ponerla de actualidad ante la reciente concesión de las tres nuevas bandas para el servicio de radioaficionado tras la WARC-79, bandas que suponemos su inminente autorización de uso en España).

1.7.- Protección contra rayos y descargas

Excepto en las instalaciones emplazadas en la cima de una montaña o en zonas propensas a la descarga, la probabilidad de la caída de un rayo en la antena es la misma que para todos los objetos situados a

Fig. 4.- Descargador para cable coaxial.



la misma altura en la vecindad de la antena. Por otra parte, cualquier hilo aislado en el espacio es susceptible de verse inducido por fuertes cargas de electricidad estática atmosférica en los días de tormenta, cargas capaces incluso de hacerse visibles bajo forma de pequeñas chispas o arcos al conectar la bajada de antena a tierra y que, en determinados casos, pueden llegar a dañar seriamente la entrada de los receptores de estado sólido (transistores) si no se toman precauciones para evitarlo.

Naturalmente, la lista de precauciones podría hacerse infinita, pero en líneas generales y para una instalación normal, siempre será prudente observar los siguientes puntos:

a) Si el mástil es metálico, debe conectarse su base a una buena tierra eléctrica de seguridad (no confundir con la tierra de radiofrecuencia; aquí la jabalina de metro y medio a dos metros, la unión con la tierra de un pararrayos en buen estado o con la antena de seguridad de una antena colectiva o de la instalación eléctrica del edificio, siempre será aconsejable).

b) Si la línea de bajada es coaxial, o cada una de ellas de haber varias, debe protegerse con un "descargador de estática" apropiado para cable coaxial, como el mostrado en la Fig. 4, intercalado entre conector de antena y extremo de línea unido al mismo. En el terminal se oldará un grueso cable o malla cuyo otro extremo quedará - eléctricamente unido a la torreta o mástil si es metálico y están dotados de una buena toma de tierra de seguridad, o directamente a una toma de tierra eléctrica de seguridad si no es así. Si la longitud de la línea coaxial fuera considerable, convendría instalar un segundo descargador en el extremo inferior, antes de la entrada en el edificio, también con una buena conexión a tierra de seguridad.

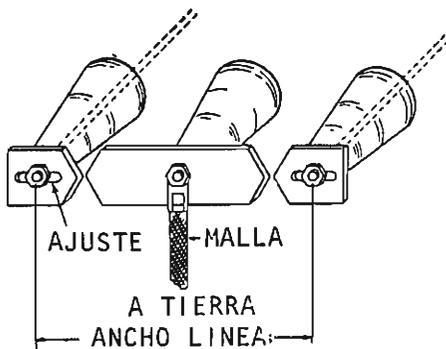


Fig. 5.- Descargador para línea paralela.

Si la línea de bajada es paralela, convendrá instalar un descargador que comprenda los dos conductores de la línea, más o menos como el mostrado en la Fig. 5, que se ubicará justo antes de la entrada de la línea al edificio. La separación entre las puntas metálicas enfrentadas será la mínima que no provoque chispas con la emisión a máxima potencia. El conductor de tierra será de malla de al menos 5 mm de diámetro.

Algunos radioaficionados han - utilizado acertadamente dos bujías

de coche montadas sobre soporte metálico derivado a tierra y con el respectivo borne aislado unido a un conductor de línea, idea excelente y eficaz una vez regulada convenientemente la separación de los contactos de la bujía.

d) Si el lugar del emplazamiento de la antena es propenso a la caída del rayo, será preferible utilizar un mástil telescópico de izado automático o manual (esto dependerá de la economía) que permita su retracción en los días de tormenta o, según el caso, su izado exclusivamente en los días o espacios operativos.

Cualquiera de estos dispositivos puede coexistir perfectamente con el interruptor general de "puesta a tierra" directa de las antenas o con la posición de que suelen ir dotados los modernos conmutadores coaxiales de antenas.

1.8.- Polarización de la antena

Eléctricamente, la polarización de una antena es la dirección de las líneas de fuerza del campo eléctrico radiado por la misma. Si estas líneas de fuerza son paralelas al suelo, la onda emitida y la antena en sí es de polarización horizontal, y sin perpendiculares al suelo, la onda emitida y la antena son de polarización vertical.

Las antenas cuya longitud es paralela al suelo emiten con polarización horizontal y las antenas cuyo sentido longitudinal es perpendicular al suelo (verticales) emiten con polarización vertical. La Fig. 6 es elocuente al respecto.

Las ondas largas suelen conservar la polarización con que han sido emitidas en todo su recorrido, pero las ondas más cortas (VHF-UHF) suelen cambiar de polarización varias veces y con rapidez a partir de su radiación. Parece ser que la igualdad de polarización de las antenas emisora y receptora facilita la comunicación, aunque esto no acaba de estar suficientemente probado.

La elección de una u otra polarización obedece en muchos casos a factores físicos y ambientales, excepto en casos concretos como las comunicaciones a través de los repetidores de VHF (polarización ver-

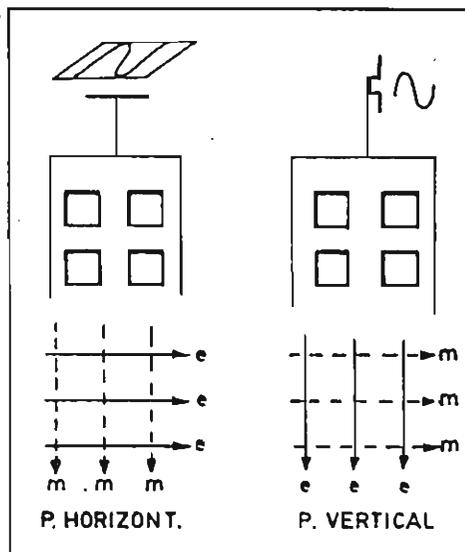


Fig. 6.- Polarización de la antena.

tical) o la necesidad de un bajo ángulo de radiación vertical para el DX en HF con limitación de espacio o posibilidades para instalar una antena directiva a la altura conveniente.

El ruido industrial en las bandas de HF se propaga con polarización vertical y en consecuencia las antenas horizontales son menos sensibles a la interferencia producida por el mismo.

1.9.- El ruido del lugar

El ruido ambiente, constituido por el ruido atmosférico al que vienen a sumarse los ruidos parásitos industriales (máquinas, motores, electrodomésticos, etc) y el ruido de la agitación térmica del propio componente de entrada de un receptor, suman el ruido total que afecta a la recepción y que puede enmascarar las señales débiles

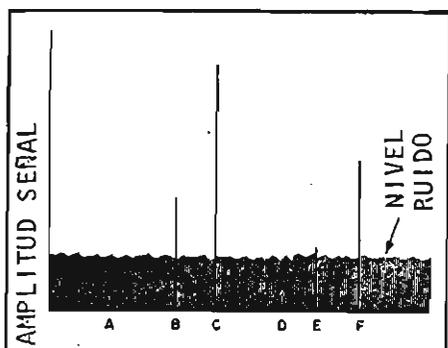


Fig. 7.- Niveles señal-ruido

La energía que capta una antena tiene un nivel ínfimo, sobre todo para las señales más lejanas que apenas inducen unas décimas de microvoltio en la antena-receptora. Si en estas circunstancias el nivel del ruido es más elevado que el de la señal, aquélla se pierde al quedar tapada por el ruido y ya nada puede hacer la amplificación puesto que aumentarán al unísono los niveles de señal y de ruido y la situación no variará. Esto es lo que refleja la Fig.7: en la sintonía del receptor, la señales A y D

no serán audibles aun siendo captadas por la antena, debido a su nivel inferior respecto al ruido: la señal E será de difícil audición mientras que las señales B-C-F se captarán sin dificultad.

Evidentemente no se puede comunicar con una estación a la que no se la oye y por ello el ruido local o ambiente tiene una consecuencia directa en el rendimiento de una antena en cuanto a recepción. Idóneamente el radioaficionado, al igual que las grandes compañías de radiocomunicaciones, debiera buscar un lugar de emplazamiento de la estación en que, además de un suelo muy buen conductor, tuviera el menor ruido posible en el ambiente. ¡Pensemos que también este ruido puede ser el responsable de que a uno le vaya muy bien una antena que a otro le parece sorda!

Una consideración importante: el ruido atmosférico raramente tiene un punto de origen definido. El parásito industrial sí lo tiene y puede ser anulado o considerablemente atenuado mediante la antena

directiva convenientemente orientada. Es una ventaja adicional nada despreciable de esta clase de antenas.

Puesto que los parásitos o ruidos industriales se propagan con polarización vertical, las antenas horizontales son mucho menos sensibles a las interferencias causadas por los mismos. Cuando la cosa es grave, la mejor solución está en cambiar de domicilio.....

Amplificador de antena

No queremos finalizar este apartado sin dedicar unas palabras al amplificador de antena para recepción cuyo uso parece que se está poniendo de moda en VHF. ¿Qué puede hacer el amplificador de antena con señales como la A y la D de la Fig. 7? Absolutamente nada, puesto que también será amplificado el ruido en la misma medida... Sin embargo son muchos los que ciertamente hallan una notable mejora en la recepción con el uso de estos amplificadores.

La misión específica del amplificador de antena es la de salvar las pérdidas que puede sufrir una señal limpia en su recorrido a lo largo de una línea de transmisión prolongada y consecuentemente de atenuación significativa. Cuando la inserción del amplificador de antena proporciona una notable mejora en la audición de señales débiles cuya pérdida no está justificada por la atenuación de una línea de transmisión muy larga, es síntoma o alarma indicadora de que el sistema de recepción es defectuoso... O no se hallan bien acopladas las impedancias, o la línea es mucho peor de lo que se supone y presenta pérdidas fuera de norma o el circuito de entrada del receptor es muy deficiente (excesivo ruido interno del primer componente activo). En resumen, algo falla en la instalación.

Téngase presente que el amplificador de antena no puede mejorar la relación señal-ruido captada por la antena (excepto en el caso de que el transistor de entrada del amplificador sea mucho menos ruidoso que el transistor de entrada del receptor, lo que evidentemente será un síntoma de la mala calidad de este último) ni puede "fabricar" las señales que no eran audibles antes de la inserción del amplificador.

Si las señales que ahora se oyen y antes no ya estaban ahí, en la antena, y no pueden perderse a lo largo de una buena línea relativamente corta, ¿qué ocurriría con ellas? Aplíquese el sentido común y procedase en consecuencia.

Evidentemente, si el efecto del amplificador de antena debe ser el de mejorar o salvar la dudosa calidad de un receptor, bien empleado está puesto que contribuirá al alcance de los fines prácticos de la estación.

* * *

2.- CARACTERISTICAS FUNCIONALES Y DE RADIACION

La función de la antena en cuanto a su rendimiento está estrechamente ligada a sus características eléctricas y de radiación. Aunque ambas tienen mucho en común, las primeras vienen principalmente determinadas por las dimensiones físicas, especialmente la longitud que fija la *frecuencia de resonancia*, y el valor de la *impedancia de entrada*, Z_e , que depende de la disposición del conductor que forma la antena y por lo tanto de su tipo o clase y de la situación del punto considerado a lo largo de su longitud por el que debe alimentarse la antena (centro, extremo, etc.). Esta impedancia es luego determinante de la óptima transferencia de energía a y de la línea.

Las características de radiación vienen principalmente determinadas por la altura a la que se instale la antena respecto a tierra, la polarización de la emisión y la directividad o ganancia con que radía. No menos importante, en determinadas antenas, es la naturaleza del suelo, como ya es conocido.

Como punto de partida más importante, debe tenerse siempre presente que una antena en el espacio, cualquiera que sea su tipo genérico,

SE COMPORTA ELECTRICAMENTE IGUAL QUE UN CIRCUITO RESONANTE SERIE CON INDUCTANCIA, CAPACIDAD Y RESISTENCIA (L, C y R),

y como tal debe ser considerada para facilitar la técnica de su instalación y ajuste.

2.1.- Resonancia de la antena

La mínima longitud de alambre capaz de resonar a una determinada frecuencia es la que permite que un electrón o carga eléctrica pueda desplazarse de un extremo a otro del conductor y regresar al extremo origen del movimiento en el tiempo en que transcurre un solo ciclo de la corriente alterna de radiofrecuencia que lo alimenta y que le llega bien por la línea (transmisión) o bien por inducción al verse cortado por las líneas electromagnéticas que se propagan por el espacio (recepción). Siendo la velocidad a la que se desplaza la carga eléctrica igual a la velocidad de la luz, o sea a 300.000.000 metros por segundo, la distancia recorrida durante un ciclo será evidentemente

igual a la velocidad dividida por la frecuencia:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{F(\text{Hz})} = \frac{300}{f(\text{MHz})} = \text{metros de longitud de onda}$$

Puesto que la carga tiene un recorrido de ida y vuelta al punto de origen, la mínima longitud de alambre que permitirá un recorrido igual a λ por cada ciclo será de $\lambda/2$ o de MEDIA LONGITUD DE ONDA.

La razón por la cual la longitud resonante mínima es igual a MEDIA LONGITUD DE ONDA es fácil de comprender. Basta imaginar una pelota de ping-pong introducida en una determinada longitud de tubo cuyos extremos estén tapados con una membrana elástica. Un impulso inicial - despierta la pelota desde un extremo del tubo haciendo que se desplace a lo largo de toda su longitud hasta dar con la membrana elástica del extremo más alejado. Allí rebota y regresa al extremo origen, donde nuevamente rebota y así sucesivamente continuará el movimiento de vai vén hasta que se haya consumido toda la energía inicial comunicada a la pelota. Pero si cada vez que la pelota llega de regreso a la membrana del extremo origen ésta le proporciona un nuevo impulso de energía por haberse estirado y soltado en el instante preciso, el mo vim iento se mantendrá continuamente y a una velocidad constante a lo largo del tubo.

Evidentemente los impulsos deberán coincidir con la llegada de la pelota al extremo origen; en otras palabras, los impulsos deberán estar temporizados, observar una determinada FRECUENCIA ajustada a la longitud del tubo para que coincidan con el regreso de la pelota. O lo que será lo mismo, si la frecuencia de los impulsos es fija y la velocidad de desplazamiento de la pelota es constante, deberá ajustarse LA LONGITUD del tubo para obtener la coincidencia.

En radio y concretamente en el caso de la antena, la velocidad es constante. Se puede ajustar la frecuencia a una determinada longitud del alambre que hace de antena, o ajustar esta longitud a la frecuencia de los impulsos para obtener la coincidencia o resonancia. Esto último resulta obligado puesto que se imponen las frecuencias autorizadas para uso de los radioaficionados.

Si la longitud mínima resonante de una antena es $\lambda/2$, esta longitud en metros será igual a:

$$L_m = \frac{150}{F(\text{MHz})}$$

Puede demostrarse eléctricamente cuanto se acaba de decir. Basta conectar un medidor de corriente de radiofrecuencia en el centro de un alambre de longitud L que se halle en el espacio y en el que se

induce una señal de frecuencia variable. Se observa que la intensidad de corriente que circula por el centro del conductor sigue exactamente la misma curva de campana propia de la corriente circulante en un circuito serie resonante y el medidor señala la máxima corriente cuando precisamente la longitud L equivale a media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de excitación f , como está mostrado en la Fig. 8-A.

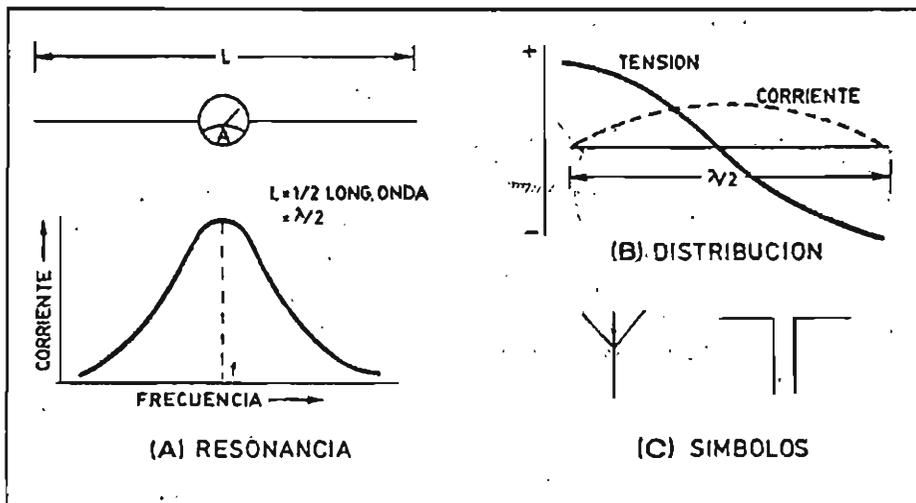


Fig. 8.- Antena resonante, distribución de corriente y tensión y símbolos de la antena.

Consecuentemente, LA FRECUENCIA DE RESONANCIA DE UNA ANTENA HORIZONTAL ES IGUAL A LA CORRESPONDIENTE A UNA LONGITUD DE ONDA DOBLE DE SU PROPIA LONGITUD FISICA.

Aun cuando teóricamente la longitud de la antena resonante de media onda es igual a $150/F(\text{MHz})$, existe un efecto capacitivo de las puntas y un efecto inductivo relacionado con la sección del conductor que obligan a cierta corrección de la fórmula que a efectos prácticos, para antenas de hilo conductor, se transforma en:

$$L(\text{metros}) = \frac{143}{F(\text{MHz})}$$

2.2.- Distribución de tensión y corriente en la antena resonante

El modo de vibración de una antena resonante es muy parecido al que se produce en una cuerda amarrada por un extremo y al que se le da un movimiento de vaivén, arriba y abajo. Con un movimiento lento

respecto a la longitud de la propia cuerda, puede observarse el desplazamiento de una onda a lo largo de la misma que llega al extremo sujeto, es reflejada y regresa al punto de origen con menor amplitud. Si aumentamos la frecuencia del movimiento de vaivén arriba y abajo del extremo libre (excitado) llega un momento (resonancia) en el que la onda que antes veíamos desplazarse a lo largo de la cuerda, aparece inmóvil y sucesivamente presente en toda la longitud de ésta; la cuerda se ha llenado de ondas inmóviles, ESTACIONARIAS. Unos puntos de la cuerda quedan permanentemente más altos y otros puntos permanentemente más bajos que el nivel medio de la cuerda tirante.

Análogamente, si se desliza el medidor de corriente a lo largo de la antena de media onda, las sucesivas lecturas de intensidad de corriente responden a lo indicado por la línea de trazo interrumpido en (B) de la misma Fig. 8, indicando la existencia de una intensidad de corriente máxima (o vientre de corriente) en el centro y una intensidad de corriente mínima (nodo de corriente) en los extremos del conductor. Si se substituye el amperímetro por un voltímetro de radio frecuencia, se hallan lecturas máximas iguales y de polaridad opuesta en los extremos y una tensión nula en el centro, como muestra la línea continua de la misma Fig. 8-B. En ambos casos se trata de medio ciclo de corriente alterna de radiofrecuencia, con un desfase de 90° entre sí.

En el centro de la antena de media onda hay un máximo de corriente y un mínimo de tensión, de lo que resulta un punto idóneo de baja impedancia ($Z = V/I$) para la unión de la línea de transmisión, dando lugar al tipo genérico de antena conocido como DIPOLO DE MEDIA ONDA ALIMENTADO EN EL CENTRO (simbolizado a la derecha de C en la Fig. 8).

2.3.- Resonancia armónica

El alambre cuya longitud es igual a media onda es EL MAS CORTO CAPAZ DE RESONAR COMO ANTENA A UNA FRECUENCIA DETERMINADA, PERO NO EL UNICO. Si al mismo se añaden longitudes iguales a media onda, para cada suplemento se presenta una nueva resonancia, un nuevo máximo de corriente no tan pronunciado como el primero sino con una cresta o amplitud decreciente de valor a medida que se añaden medias ondas. Se trata entonces de antenas de RESONANCIA ARMONICA, cuya distribución de corriente y tensión a lo largo de las mismas está mostrada en la Fig. 9, de acuerdo con la longitud en medias ondas que tenga el alambre. Conviene observar que

LA CORRIENTE SIEMPRE ES NULA EN LOS EXTREMOS DEL CONDUCTOR QUE CONSTITUYE LA ANTENA Y LA TENSION ES MAXIMA EN ESTOS MISMOS EXTREMOS Y MINIMA EN EL CENTRO DE LA MEDIA ONDA DE CORRIENTE.

Teniendo esto último en cuenta, sabiendo las frecuencias de las bandas de radioaficionado y que media longitud de onda equivale a una longitud física $L = 143/F$, se puede averiguar con facilidad la distribución de la intensidad o de la tensión (desfasada en 90° respecto a la primera) en cualquier longitud de conductor o en cualquier parte de la misma. Esto es lo que indica la Fig. 10 de la página siguiente. para longitudes de alambre de antena de hasta 40 metros. (la doble línea de trazo discontinuo co

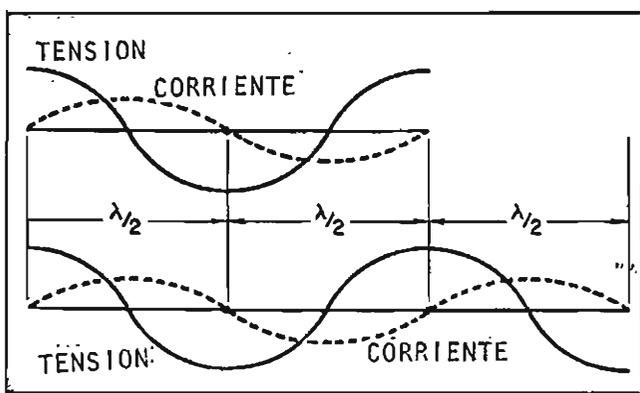


Fig. 9.- Resonancia armónica.

rrresponde a las frecuencias extremas de cada banda)

Puede observarse, por ejemplo, que en un alambre de 20 m de longitud "cabe" un cuarto de onda con un vientre de intensidad en el extremo final en la banda de 80 m; media onda en 40 m con un nodo de intensidad en el extremo final, toda una longitud de onda en la banda de 20 m con vientres de intensi-

dad en los 5 y 15 metros de longitud; longitud de onda y media en la banda de 15 metros y dos longitudes de onda enteras en la banda de los 10 metros.

Como consecuencia de lo dicho debe quedar claro que

siempre que se tenga un conductor de longitud conocida que deba utilizarse como antena y se sepa la banda (frecuencia o longitud de onda) a la que debe trabajar, se podrán averiguar los puntos de máxima corriente (o mínima tensión) y los puntos de mínima corriente (o máxima tensión) a lo largo del mismo, partiendo como referencia de que en el extremo origen existirá siempre un cero de corriente y por lo tanto una cresta de tensión.

2.3.1.- Punto de alimentación y distribución de corriente

Quando la antena trabaja en una frecuencia armónica (múltiplo exacto de la frecuencia inferior de resonancia) presenta propiedades distintas que las del dipolo de media onda.

El funcionamiento armónico de una antena implica que a lo largo de la misma LA CIRCULACION DE CORRIENTE SE INVIERTE DE SENTIDO EN CADA MEDIA LONGITUD DE ONDA, como está mostrado en las Figs. 9 y 11-A. La curva de la corriente en ambas figuras indica una polaridad positiva y por lo tanto un sentido de circulación cuando se halla por encima de la horizontal y una polaridad negativa cuando se halla por debajo

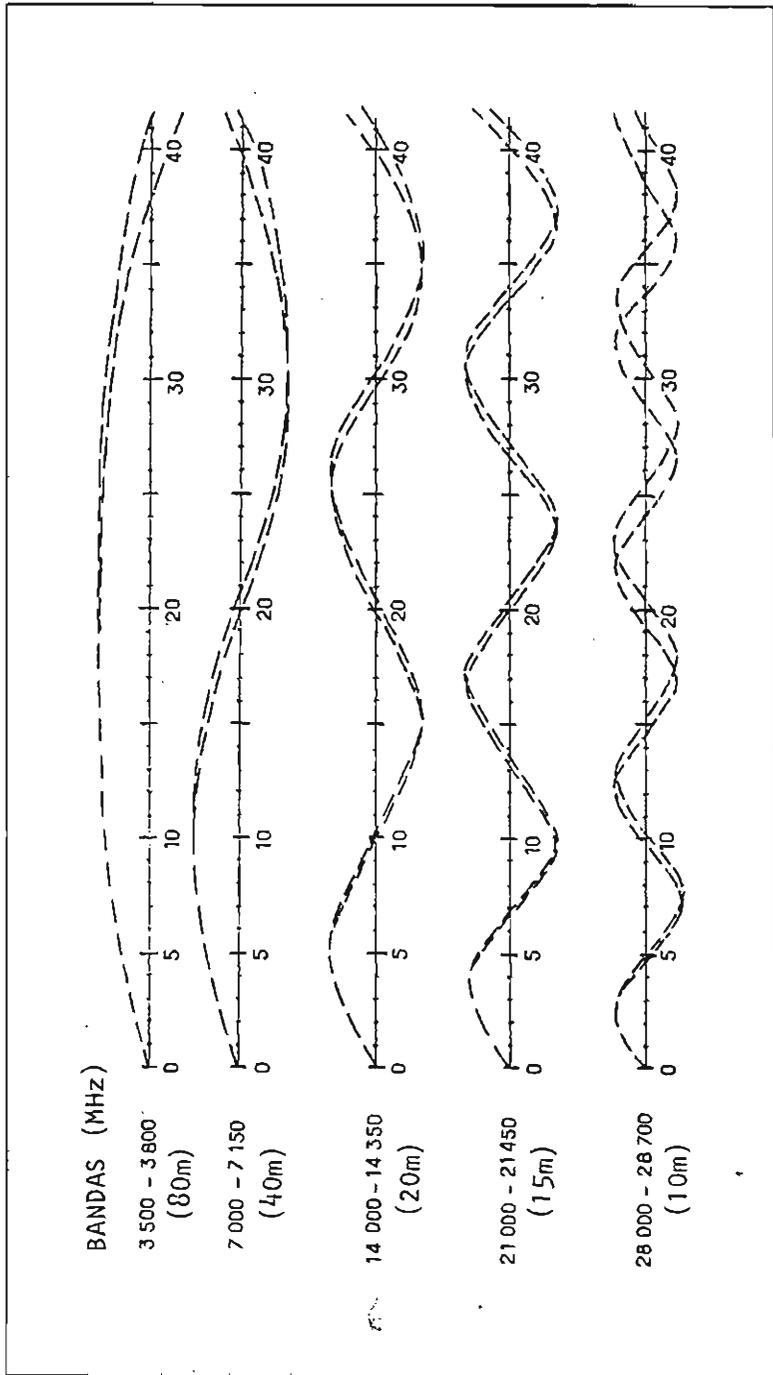


Fig. 10.- Distribución de la corriente en una antena de hilo largo según las bandas de radioaficionado.

de la horizontal con la consiguiente inversión de sentido de circulación.

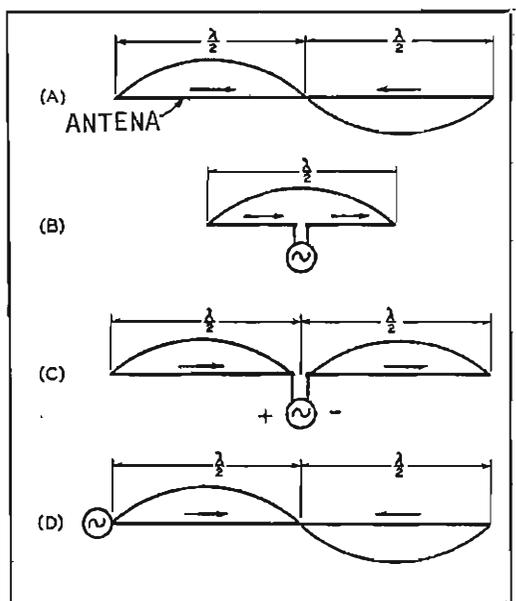


Fig. 11.- Importancia del punto de alimentación.

Evidentemente, el sentido de la corriente se invierte en cada media onda adyacente en A que se trataría de la representación de una antena de una longitud de onda trabajando en su segundo armónico.

Obsérvese ahora la Fig. 11-B cuya longitud de antena es de media onda. Si se abre por el centro para intercalar un generador de señal y puesto que un terminal del generador es positivo cuando el otro es negativo, los electrones de la corriente se dirigirán al borne positivo y saldrán despedidos del borne negativo; en consecuencia el sentido de la corriente será igual en las dos mitades de la antena. Es el caso de la antena dipolo de media onda alimentada en el centro.

Si se aumenta ahora la longitud de la antena hasta media longitud de onda por cada lado, se obtendrá la situación mostrada en (C). En el instante mostrado, la corriente circula hacia el borne del generador en la media onda de la izquierda y sale del otro borne del generador circulando hacia el extremo de la media onda de la derecha, de manera que la corriente tiene el mismo sentido de circulación como en el dipolo de media onda (B). Las antenas (A) y (C) tienen igual longitud, pero la distribución de la corriente no es igual; lo sería si, como está mostrado en (D), la antena se alimentara por un extremo en vez de por el centro. Las antenas (A) y (D) trabajan "en armónicos" mientras que la antena (C) lo hace "con dos medias ondas en fase" lo cual representa en la práctica una ganancia adicional por mayor concentración del haz emitido en el caso (C), dando origen a las ventajas de la antena Levy o dipolo de dos medias ondas en fase o alimentada por línea paralela.

En la práctica, cuanto se ha dicho se traduce en lo siguiente:

- Si la antena dipolo larga se alimenta por línea paralela simétrica, las ondas de corriente y por tanto la radiación, están en fase en cada rama y la ganancia direccional de la antena puede alcanzar de 1,8 a 3 dBs, esto último equivalente a doblar la potencia de emisión.

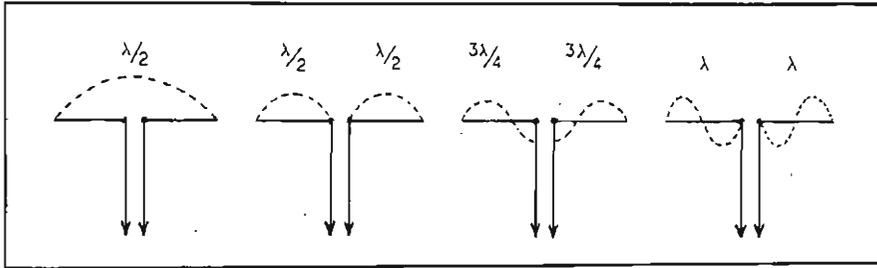


Fig. 12.- La antena dipolo alimentada por línea paralela (radiación en fase).

- Si la antena dipolo se alimenta con cable coaxial y sin balun simetrizador y se multiplica la frecuencia de trabajo, las ondas de corriente y la radiación de cada rama están en contrafase.
- Cuando la antena se alimenta por línea paralela, a efectos de la resonancia la propia línea puede formar parte de la sintonía de la antena (línea sintonizada) pero sin que radie y sin que sean significativas las pérdidas por la existencia de ondas estacionarias facilitando en gran manera la posibilidad de que la antena pueda trabajar en todas las bandas con el debido acoplamiento.

Este último caso es el de las antenas Levy, G5RV, "double Zep", etc. cuya distribución de corriente, al ir doblando la frecuencia, es la mostrada en la Fig. 12 y de las que se volverá a hablar más adelante. Cuando la dipolo, por su longitud o por aumentar la frecuencia de trabajo radia en dos medias ondas en fase, se convierte en una ANTE-NA COLINEAL básica significando más extensión o longitud que la de media onda para la misma frecuencia y una mayor ganancia de radiación (campo más intenso).

El hecho de que la antena dipolo trabaje con sus dos ramas en fase o en contrafase cuando sobrepasa la media onda según sea la clase de su línea de alimentación se comprende bien a la vista de la Fig.13 con los dos distintos acoplamientos entre emisor y línea de transmisión. En (A) los dos conductores de la línea son SIMÉTRICOS, llevan iguales valores cuantitativos de tensión de radiofrecuencia, en uno positiva y en el otro negativa respecto al cero. Consecuentemente cada rama de la antena recibe igual tensión y de signo contrario como en la Fig. 11-C.

En (B) la salida por línea coaxial tiene la malla permanentemente a la tensión cero y lo mismo ocurre con la rama de la antena unida a la misma (de no existir un balun simetrizador entre antena y línea). Es únicamente el conductor central de la línea coaxial el que pasa por variaciones positivas y negativas de la tensión de radiofrecuencia

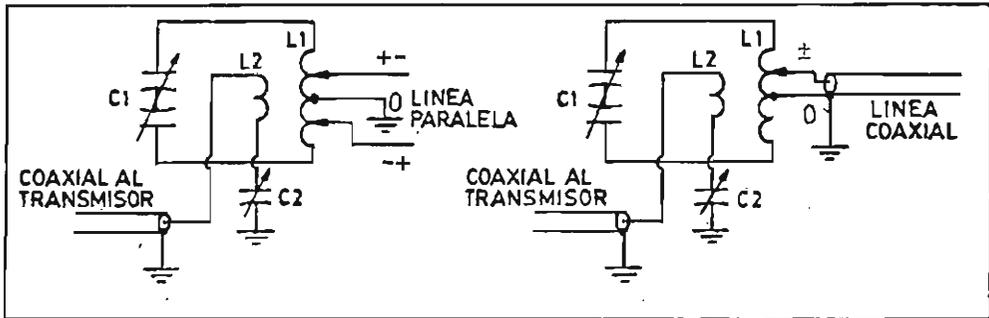


Fig. 13.- Alimentación simétrica (A) y asimétrica (B) de la antena dipolo.

y en consecuencia una rama del dipolo está siempre a potencial cero y la otra tiene tensiones alternadamente positivas y negativas, por encima y por debajo de cero. En (A) la alimentación es "simétrica", "equilibrada" o "balanceada" mientras que en (B) es "asimétrica" o "desequilibrada".

2.4.- Caso particular de la antena vertical 1/4 de onda puesta a tierra.

Si se corta la antena dipolo por la mitad y se une el extremo de una sola rama a tierra intercalando el generador entre este extremo y la tierra, dispuesto el alambre verticalmente, la base tendrá siempre un potencial nulo puesto que no es posible elevar el potencial de la Tierra a la que se halla unido. Pero sí es posible, en cambio, hacer circular una corriente a través de tierra y el efecto práctico de la modificación será la UTILIZACION DE LA TIERRA COMO LA OTRA MITAD DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA VERTICALMENTE DISPUESTA, CON LO QUE EL ALAMBRE RADIADOR RESONANTE TENDRA UNA LONGITUD VERTICAL DE TAN SOLO 1/4 DE LONGITUD DE ONDA, QUEDANDO BAJO TIERRA Y COMO LA IMAGEN DEL MISMO REFLEJADA EN UN ESPEJO, EL SUELO, EL OTRO CUARTO DE ONDA. La distribución de tensión y corriente será entonces la mostrada en la Fig. 14-A, evidentemente igual a la de UNA SOLA DE LAS RAMAS DEL DIPOLO y en situación vertical. La corriente tiene un valor máximo junto al suelo y mínimo en el extremo libre siempre que la longitud L sea igual a un cuarto de onda (mínima longitud vertical de resonancia de la antena puesta a tierra).

La Fig. 14-B muestra el funcionamiento dinámico de esta antena. Dada la capacidad existente entre conductor y tierra, se inducen cargas eléctricas en el espacio de suelo que rodea a la antena originando una corriente que, precisamente a través de tierra, se dirige o re

torna al generador (no se olvide que la antena trabaja con corrientes de radiofrecuencia que pasan fácilmente a través de una capacidad). La penetración en tierra de esta corriente depende de la frecuencia y de la conductividad del suelo alrededor de la antena.

El efecto práctico resultante es la inclusión en el circuito serie representativo de la antena de una pérdida resistiva, R_t de figura 14-C, por la que circula la corriente y cuyo valor depende de la conductividad del suelo alrededor de la antena y especialmente bajo la base de la misma, donde la densidad de corriente es mayor (Fig. 14-B). El rendimiento de la antena será:

$$\text{Rend} = \frac{\text{Pot. radiada}}{\text{Pot. suministr.}} = \frac{R_{\text{rad.}}}{R_{\text{oh}} + R_{\text{tierra}} + R_{\text{rad.}}}$$

De nuevo se evidencia la importancia de la conductividad del suelo debajo de una antena vertical para que su rendimiento sea eficaz, como ya anteriormente se vio en 1.3.

¿Debe deducirse que la antena horizontal ha de tener siempre - media longitud de onda y la vertical un cuarto de longitud de onda? No precisamente. Lo que sí es cierto es que LA LONGITUD MINIMA RESONANTE deberá tener estas dimensiones o cuando menos la inductancia y capacidad lineal de estas dimensiones lo que equivale a decir que se trata del mejor compromiso entre ESPACIO y RENDIMIENTO. (Las antenas con bobina de carga reducen el espacio pero con un gran sacrificio del rendimiento).

2.5.- Medida de la energía en el espacio (Intensidad de campo V/metro)

La propagación de una señal radioeléctrica emitida por una antena

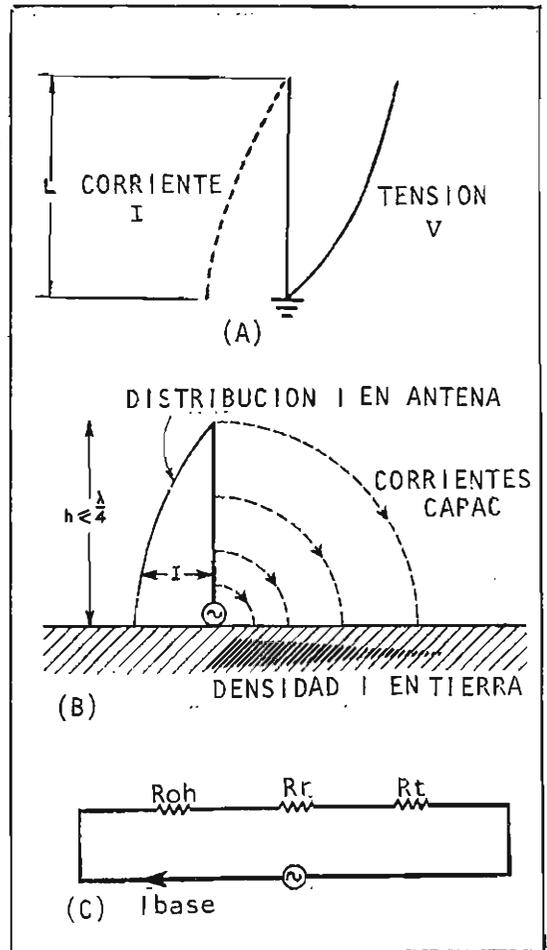


Fig. 14.- Antena vertical 1/4 de onda con extremo a tierra.

puede describirse como una sucesión de esferas de radio creciente. La superficie exterior de estas esferas constituye el "frente de onda" que se va convirtiendo en un plano a medida que aumenta la distancia recorrida por la onda en expansión. Cada frente se compone del campo eléctrico y del campo electromagnético, desplazándose ambos entrelazados perpendicularmente, con un desfase de 90° entre sí. El campo eléctrico está formado por las variaciones de tensión y el campo magnético por las variaciones de corriente de la señal.

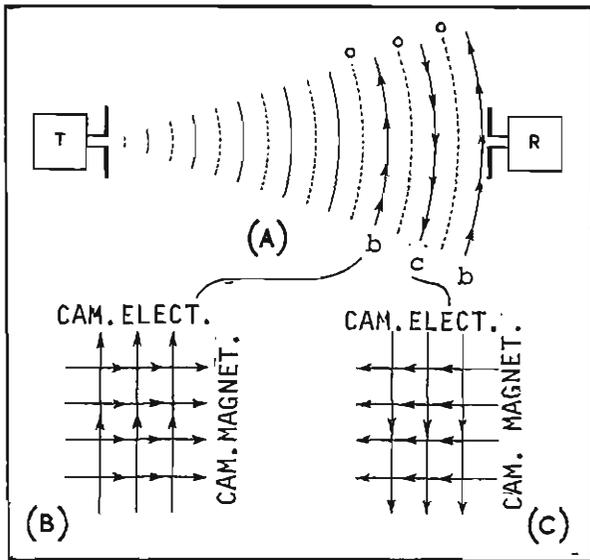


Fig. 15.- Propagación de la onda.

La situación de conjunto es la que muestra la Fig. 15-A. Las ondas o frentes de línea continua representan crestas de señal y las líneas discontinuas nulos o ceros. Como en toda sinusoide (corriente alterna) la polaridad se invierte en cada cresta consecutiva (b y c) como indican las flechas (si b es cresta positiva, c será cresta negativa). Si la antena emisora es horizontal, las líneas del campo eléctrico serán paralelas al suelo y si la antena emisora es vertical, las líneas del campo eléctrico serán perpendiculares a tierra en cualquiera de las dos direcciones que marca su polaridad

instantánea.

A medida que la onda se expande y se aleja de la antena emisora, su energía se va amortiguando y es menor la que puede inducir en una antena receptora. La energía de la onda en cualquier lugar de su recorrido puede expresarse por la fuerza de su campo eléctrico en dirección perpendicular a la de propagación y mediante la diferencia de tensión inducida entre dos puntos que distan un metro de distancia, expresando esta magnitud en VOLTIO/METRO en las proximidades de la antena emisora o en MICROVOLTIOS/METRO o incluso milésimas de microvoltio por metro en la lejanía.

Consecuentemente es posible medir el campo existente en un determinado lugar en el que deba recibirse una determinada señal y prever si será suficiente para su recepción, si bastará o no la dipolo de media onda o será preciso utilizar una antena con ganancia y cuánta, puesto que la señal enviada por la antena al receptor deberá ser de amplitud suficiente para activar la primera amplificación del mismo,

será una corriente provocada por la tensión en milivoltios o microvoltios recogidos por la antena y que dependerá obviamente de:

- a) la fuerza del campo existente en el lugar ($\mu\text{V/m}$)
- b) la longitud de la antena (cuanto más larga, mayor V inducida)
- c) la facilidad con que el circuito de antena sea capaz de transferir la energía captada hacia el receptor (antena resonante para máxima corriente, acoplamiento óptimo a línea y de línea a entrada receptor, poco amortiguamiento de la línea, etc).

Aunque no es posible extenderse aquí en el tema, si queremos añadir con destino a los entendidos en electricidad que el funcionamiento de la comunicación por radio mostrado en la Fig. 15 puede considerarse muy análoga a la de un transformador en el que el primario es la antena emisora, el núcleo es el espacio recorrido por la onda, el secundario es la antena receptora y la carga es el circuito de entrada del receptor. Las espiras de primario y secundario son equivalentes a la longitud de antena que pueden, además, ser resonantes a la frecuencia de trabajo, presentando su correspondiente resistencia o impedancia. Si se domina el tema de los transformadores, la analogía viene a simplificar notablemente la comprensión de las funciones y requisitos de los elementos que intervienen en la radiocomunicación.

2.6.- Resistencia de radiación e impedancia de antena

Puesto que la energía radiada por una antena "desaparece", se consume sin irradiar calor, es posible imaginar que podría hacerlo en igual cuantía en una resistencia de determinado valor óhmico que se viera atravesada por la misma corriente máxima que circula por la antena. A esta resistencia imaginaria se le denomina RESISTENCIA DE RADIACION. Si una corriente I circula por una resistencia de radiación ofrecida por la antena, R_r , la energía radiada (y útil, no perdida en calor) podrá expresarse como $W_r = I^2 \cdot R_r = \text{vatios}$. Como I, se considera siempre el valor máximo de corriente en la antena o viente de corriente, de forma que R_r es igual a la resistencia de radiación en el viente de corriente.

Al igual que en el circuito serie de corriente alterna, la impedancia Z de la antena es igual a la tensión dividida por la corriente ($Z = V/I$) y cuando el circuito es resonante, se cancelan entre sí sus reactancias inductiva y capacitiva y solo resta su resistencia. SOLO EN LA RESONANCIA, SE IGUALAN LOS VALORES DE RESISTENCIA E IMPEDANCIA Y EL VALOR RESISTIVO PUEDE CONSIDERARSE COMO DE RESISTENCIA DE RADIACION. SOLO EN LA RESONANCIA.

Si en la antena dipolo de media onda se intercala un generador en su punto medio de forma que la tensión del mismo produzca una corriente I, el valor de esta última es igual en puntos equidistantes de ca-

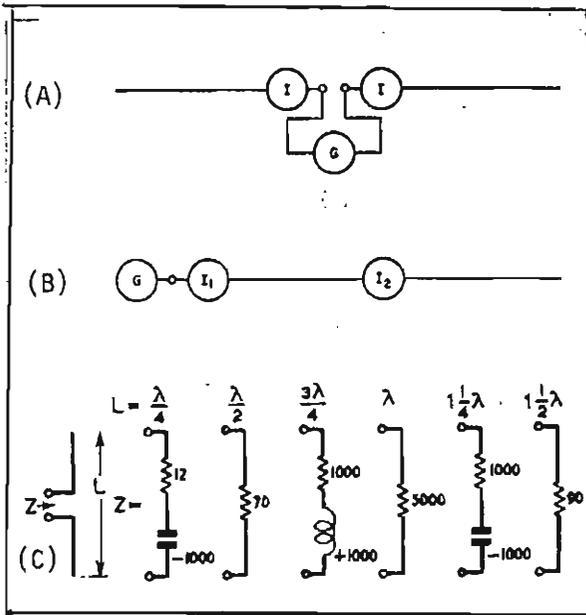


Fig. 16.- Impedancia de antena.

representados por I_1 e I_2 , al variar la frecuencia se observa que la corriente I_2 alcanza un máximo también en la resonancia, cuando la longitud de la antena representa media longitud de onda de la frecuencia de trabajo, pero la corriente I_1 es mínima en estas circunstancias y a los efectos del generador. LA ANTENA ALIMENTADA POR UN EXTREMO SE COMPORTA COMO UN CIRCUITO RESONANTE PARALELO COMPUESTO POR L , C , R , CON UNA IMPEDANCIA PURAMENTE RESISTIVA PERO QUE ALCANZA UN VALOR MUY ELEVADO Y MAXIMO QUE PUEDE SER DE VARIOS MILES DE OHMIOS.

En el primer caso la antena resonante está ALIMENTADA EN CORRIENTE o en su centro o punto de mínima impedancia y máxima corriente en consecuencia; en el segundo caso la antena está ALIMENTADA EN TENSION o punto de máxima impedancia y monsecuentemente mínima corriente.

REPRESE EN QUE EL VALOR DE LA IMPEDANCIA DE LA ANTENA DEPENDE DEL PUNTO DE ALIMENTACION ELEGIDO Y ES VARIABLE A LO LARGO DE SU LONGITUD POR SERLO TAMBIEN LA TENSION Y LA CORRIENTE. EL VALOR DE LA RESISTENCIA DE RADIACION DE UNA DETERMINADA ANTENA ES FIJO POR CUANTO CUALQUIERA QUE SEA EL SISTEMA DE ALIMENTACION, SIEMPRE SE LA CONSIDERA EN EL PUNTO DE LA ANTENA DE MAXIMA CORRIENTE.

En cualquiera de los dos casos anteriores la energía transferida del generador a la antena será la misma SIEMPRE QUE EL ACOPLAMIENTO ENTRE AMBOS SEA CORRECTO. Para ello y en el caso de la Fig. 16, la impedancia de salida del generador en (A) deberá ser baja (70 ohmios)

da rama y máxima en el centro de la antena (Fig. 16-A). La impedancia $Z = V/I$ será igual a la tensión proporcionada por el generador dividida por la corriente máxima de la antena, lo que para el dipolo de media onda alimentado en el centro SIEMPRE DA UN VALOR PROXIMO A LOS 70 OHMIOS. En cuanto se altera la frecuencia de trabajo o la longitud de la antena, ésta deja de ser resonante y el valor de la impedancia se altera; aparece reactancia y la impedancia pasa a ser un valor complejo.

Si se traslada el generador a un extremo de la antena (Fig. 16-B) intercalando a la vez un amperímetro en este extremo y otro en el centro de la antena,

y muy elevada en (B) para que la antena reciba igual energía en ambos casos. Si el generador está en el centro, entregará mucha corriente a poca tensión y si está en un extremo, entregará muy poca corriente a tensión muy elevada y el producto de ambas magnitudes, la energía, será igual en uno y otro caso.

La medida de la impedancia del dipolo de media onda es aproximadamente IGUAL A 70 OHMIOS EN TODAS LAS ANTENAS DE LA MISMA CLASE SITUADAS A CIERTA ALTURA SOBRE EL SUELO.

Si la antena es de material buen conductor (cobre o aluminio) y de sección apropiada, la resistencia de pérdidas por calor suele ser insignificante, apenas de un ohmio, y con la alimentación en el centro de los dipolos de media onda, EL VALOR DE IMPEDANCIA (70 OHMIOS) PUEDE CONSIDERARSE EL MISMO QUE EL DE LA RESISTENCIA DE RADIACION, o sea que TODA LA IMPEDANCIA ES PRACTICAMENTE RESISTENCIA DE RADIACION; TODA LA ENERGIA ENTREGADA A LA ANTENA SE RADIA.

Cuando se altera la resonancia por variación de la longitud de la antena o de la frecuencia de trabajo, la antena se comporta como un circuito serie en el que aparece una reactancia inductiva (antena demasiado larga para la resonancia) o una reactancia capacitiva (antena demasiado corta para la resonancia). Evidentemente, en cualquiera de estos casos los valores de impedancia y de resistencia de radiación ya no son iguales.

La Fig. 16-C viene a indicarnos los circuitos serie equivalentes a una antena dipolo según sea la longitud física de la misma expresada en longitudes de onda de la frecuencia de trabajo. Puede observarse que las variaciones de valor son muy pronunciadas y que el valor de la resistencia en las resonancias armónicas es muy distinto, excepto para las longitudes de $\lambda/2$ y $3\lambda/2$. También interesa notar que la reactancia cambia de signo cada múltiplo impar de $\lambda/4$.

Importa saber distinguir que la impedancia de entrada de una antena es un valor en ohmios que se refiere concretamente a los terminales de conexión de la misma, mientras que la resistencia de radiación es un valor en ohmios que se refiere siempre a un vientre o máximo de corriente en la antena.

Así resulta posible alimentar una determinada antena en cualquier punto de su longitud que podrá tener cualquier valor de impedancia de entrada mientras que el valor de la resistencia de radiación de dicha antena será siempre el mismo, poco o muy diferenciado y aun cuando ambos sean valores resistivos en ohmios. Únicamente cuando el punto de alimentación coincida con un vientre de corriente, los dos valores serán prácticamente iguales, como ocurre con el dipolo de media onda alimentado en el centro. Esto es lo que viene a mostrar la Fig. 17.

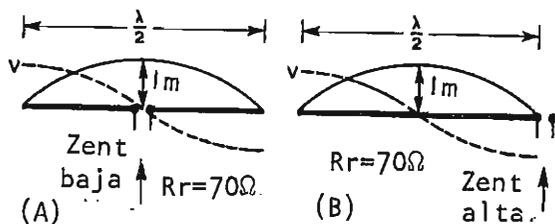


Fig. 17.- Variación de la Zent pero no de la Rr.

La resistencia de radiación, es de unos 35 ohmios, supuesta una tierra ideal, de máxima conductividad, sin pérdidas, La imperfecta conductividad del suelo añade un valor resistivo convirtiendo la impedancia hacia unos 50 ohmios. Los 15 ohmios añadidos representan una energía que se disipa y pierde en calor por el suelo.

Obviamente el campo radiado por una antena vertical de 1/4 de onda, por su menor longitud y por sus mayores pérdidas, es inferior al radiado por un dipolo horizontal de 1/2 longitud de onda, supuestas ambas antenas resonantes.

Pero la antena vertical tiene unas características de radiación (ángulo vertical, del que se hablará más adelante) que la hacen más efectiva para la comunicación a larga distancia, a lo que se une la ventaja física de no ocupar espacio en horizontal.

2.7.- Concepto de rendimiento de la antena

La energía entregada a una antena se radia en parte y se pierde en calor la parte restante. La energía útil únicamente es la radiada. Se verifica pues que:

$$W_{total} (I^2 \cdot R_t) = W_{radiada} (I^2 \cdot R_r) + W_{pérdidas} (I^2 \cdot R_p)$$

Como I^2 es factor común, la igualdad anterior puede transformarse en:

$$R_{total} = R_{radiada} + R_{pérdidas}$$

y como el rendimiento es la relación entre potencia radiada y potencia total (o bien R_r/R_r+R_p), el rendimiento de cualquier antena será tanto mejor cuanto mayor pueda ser R_r en comparación con R_p . No es el valor absoluto o matemático de R_r y R_p lo que da idea de la bondad de una antena, sino la mayor diferencia posible entre ambas magnitudes.

Sea mucha o sea poca la potencia que el transmisor suministre a la antena, la relación entre energía útil o radiada y energía consumida o perdida en calor seguirá siendo la misma. Sólo es posible mejorar

En la antena vertical puesta a tierra la impedancia se mide en la base de la antena puesto que es donde existe el máximo de corriente (lo que significa que en la resonancia $Z_e=R_r$) La antena vertical actúa igualmente como un circuito resonante serie y como su longitud resonante es la mitad, o sea $1/4$ de onda, el valor de la impedancia en resonancia, igual a

el rendimiento de la antena disminuyendo el valor de R_p (eligiendo un material conductor de naturaleza y calibre tal que la resistencia a la radiofrecuencia sea casi nula, procurando una tierra por debajo de la antena de la mayor conductividad posible, montando la antena alejada de objetos absorbentes, etc.).

2.8.- Variaciones de R_r y Z_e

En una antena dipolo absolutamente despejada y a una altura mínima de $1/4$ de onda sobre el suelo (véase Fig. 28) y resonante a media longitud de onda, la R_r tiene un valor próximo a los 70 ohmios. En cuanto la antena deja de ser resonante por acortarse su longitud o disminuirse su frecuencia de trabajo, el valor de R_r disminuye drásticamente en la forma mostrada en la Fig. 18-A, a 12-14 ohmios si la longitud se reduce a un cuarto de onda y a 3 ó 4 ohmios si la longitud se reduce a $1/8$ de longitud de onda, con independencia de lo que pueda ocurrirle a la impedancia.

La curva de la Fig. 18-B se refiere a la reducción de R_r en una antena vertical con base en tierra y según sea su longitud expresada en grados de circunferencia ($\lambda=360^\circ$, $\lambda/4$ igual a 90° etc.) y supuesta una tierra de conductividad perfecta.

Salta a la vista la disminución en el rendimiento de una antena "acortada".

Impedancia Z_e

La impedancia de entrada de la dipolo media onda alimentada en el centro es aproximada-

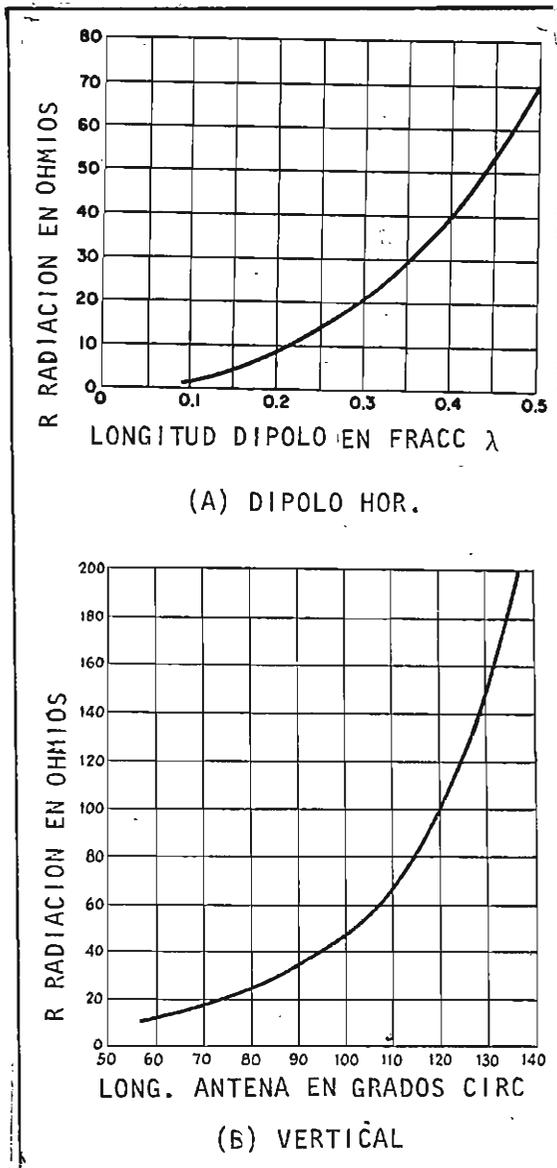
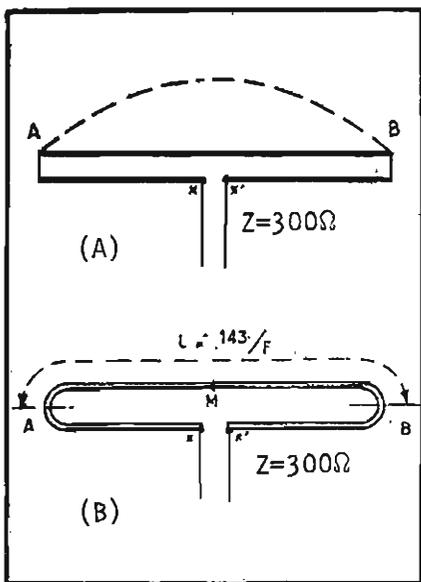


Fig. 18.- Variación de R_r con la longitud de la antena.

mente igual a 73 ohmios, con alguna variación según la altura sobre el suelo. La impedancia de entrada del dipolo de media onda alimentada en tensión (por un extremo) es muy elevada y su valor concreto depende mucho más del tamaño físico de los conductores que la forman.

En determinados casos, aun cuando se trate de una antena dipolo de media onda alimentada en su centro, la impedancia de entrada Z_e puede tener un valor muy alterado respecto a los 73 ohmios, especialmente si existen conductores paralelos próximos y sobre todo si se producen resonancias en los mismos. Si el dipolo "se pliega" lo que equivale a situar un conductor de igual longitud muy próximo y unido por los extremos de la antena (dipolo plegado de la Fig. 19, de hilo en (A) y de tubo en (B)) la impedancia de entrada aumenta a



un valor aproximado a los 300 ohmios, aun cuando la R_r siga siendo la misma. Si el dipolo constituye el elemento excitado de una antena Yagi de varios elementos, la impedancia de entrada se ve igualmente modificada (generalmente reducida) por causa de la presencia de los demás elementos.

Una longitud de cable conductor de cobre de 10 metros con alimentación en el centro resonará en 14 MHz (banda de 20 m), representará una resonancia armónica en 21 MHz ($3\lambda/4$) y en 29 MHz (λ). En 14 MHz su impedancia de entrada estará por los 70 ohmios y no habrá dificultad en suministrarle energía procedente de la línea de 75 ohmios o de la salida en pi de un transformador, pero en 28 MHz, con una $Z_e = 5.000$ ohmios, no quedará más remedio que utilizar algún sistema transformador de impedancias para que la antena pueda recibir energía.

Fig. 19.- Dipolo plegado.

En 21 MHz. con una impedancia compleja, también será necesario algún sistema especial. ESTE ES EL PRINCIPAL PROBLEMA QUE IMPIDE QUE LAS ANTENAS DIPOLO ALIMENTADAS EN EL CENTRO PUEDAN SER MULTIBANDAS DE NO PROCURARLES DISPOSITIVOS DE ACOPLAMIENTO ESPECIALES QUE, NATURALMENTE, SIEMPRE VAN EN DETRIMENTO DE SU RENDIMIENTO. El estudio de los problemas de acoplamiento y del circuito de antena propiamente dicho serán tratados en extensión en un volumen de la próxima serie (ANTENAS II).

2.9.- La bobina de carga y sus efectos perjudiciales

Cuando no se dispone de espacio suficiente para montar una antena dipolo de media onda en las bandas bajas (40 y 80 m) suele aprovecharse la longitud disponible y buscar la resonancia de la antena por medio de una bobina intercalada en serie con la antena para que aporte la inductancia que falta para la resonancia (Fig. 20).

Una antena de 10 metros de longitud que deba trabajar en la banda de 7 MHz tendrá una resistencia de radiación de tan sólo 12 ohmios puesto que su longitud será equivalente a $1/4$ de onda y presentará una elevada reactancia capacitiva en serie (Fig. 16-C). Para anular esta reactancia y alcanzar la resonancia en los 7 MHz, será preciso intercalar en serie una bobina de unos $23 \mu\text{H}$ (1.000 ohmios de reactancia). Esta bobina, llamada "de carga", por muy bien hecha que esté, presentará una resistencia de pérdidas de aproximadamente 6 ohmios, de manera que sólo dos tercios de la potencia entregada a la antena será radiada y constituirá la potencia útil; el resto se perderá en calor disipado en la bobina y el rendimiento de la antena será de un 67%. En la banda de 80 m la misma antena presentará una resistencia de tan sólo 3 ohmios y una reactancia de 2.000 ohmios; la pérdida en la bobina será equivalente a 12 ohmios y el rendimiento bajará a sólo un 20% (80% de la energía perdida) puesto que la R_r será inferior a los 3 ohmios (Fig. 18-A para $0,12\lambda$).

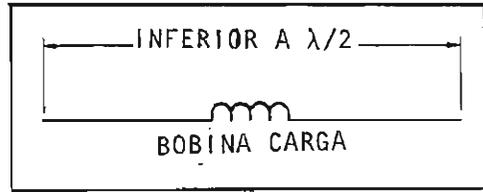


Fig. 20.- Bobina de carga.

A igualdad de espacio se puede obtener un rendimiento muy superior mediante la utilización de una línea o parte de línea de alimentación paralela en funciones de "prolongación no radiante de la longitud de la antena" en lugar de una bobina de carga. Para la banda de 7 MHz la longitud de línea paralela vendría a ser de algo más de cinco metros ($\lambda/8$) y la resistencia de pérdidas añadida no alcanza así ni tan siquiera el valor de un ohmio... Aun cuando por efecto de la línea el valor de la resistencia de radiación pueda verse reducido a 6 ohmios, el rendimiento será ahora de un 85%. Y otro tanto ocurriría con la sintonía de la banda de 80 m.

De nuevo aparecen las grandes ventajas de la utilización de línea paralela en la alimentación de una antena, naturalmente con el sacrificio en comodidad que proporciona la instalación con línea de cable coaxial. Estas ventajas de la línea paralela que posibilitan el trabajo multibanda de una sola antena con rendimientos muy aceptables, es lo que ha dado lugar al desarrollo de la antena G5RV y otras. De ello se trata más adelante en el intento de aunar las ventajas eléc-

tricas y prácticas.

Las antenas con bobinas intercaladas siempre representan una disminución del rendimiento con respecto a las antenas de longitud adecuada para la resonancia a la frecuencia o banda de trabajo. DE AQUI QUE UNA ANTENA MULTIBANDA CON TRAMPAS O BOBINAS NUNCA PUEDA IGUALAR LA EFECTIVIDAD DE LAS MONOBANDAS SIN BOBINAS DE CARGA.

Menos en el aspecto económico y de espacio, naturalmente, siempre es mucho más efectivo trabajar las bandas de 10, 15 y 20 metros con Yagis monobanda para cada una de estas bandas, aunque sea "apiladas" en un mismo mástil con separación adecuada (ver 3.7) que hacerlo con Yagis tribanda. Sólo la antena dipolo alimentada en el centro con línea paralela y sus derivados, como la G5RV, pueden competir con ventajas respecto a las monobandas como más adelante se verá.

2.10.- Ancho de banda de una antena

Recibe el nombre de "ancho de banda" de una antena el margen de frecuencia alrededor de la de resonancia, arriba y abajo, con que puede trabajar la antena sin que se produzca una notable variación de su impedancia de entrada hasta el extremo de que impida la carga correcta del transmisor ocasionando una señalada pérdida de energía superior al 11% (ROE=1/2) ó al 25% (ROE=1/3) según la norma utilizada.

Una pequeña variación de la frecuencia de resonancia o de la longitud de la antena no llega a producir efectos prácticamente significativos puesto que tanto la resistencia de radiación como el valor de la impedancia de entrada varía relativamente poco alrededor del punto crítico de resonancia. Pero a partir de cierto alejamiento de la frecuencia de resonancia, las variaciones de R_r y Z_e son rápidamente muy notables, tanto como para significar un serio deterioro.

Como en la práctica del circuito eléctrico de la antena los desplazamientos de impedancia se miden por las indicaciones del medidor de R.O.E., la anchura de banda de una antena se expresa por el margen de frecuencias que producen, por ejemplo, una ROE igual a 2/1 o a 3/1 (11% y 25% de pérdida de efectividad por inadaptación de impedancias)

Cuanto más baja es la banda de trabajo a la que pertenece la frecuencia de resonancia de la antena, menor es su ancho de banda (no existe la antena capaz de cubrir toda la banda de 80 m). La presencia de bobinaa de carga reduce notablemente el ancho de banda de la antena que puede incluso llegar a no sobrepasar los 15 kHz en las bandas bajas (ver la Fig. 48, más adelante). Para aumentar el ancho de banda se recurre a las antenas de hilos paralelos (jaula) de las que el dipolo plegado es la primera aproximación en este sentido.

* * *

3.- DIRECTIVIDAD Y GANANCIA

3.1.- Idea de la propagación ionosférica - Angulo vertical

Las comunicaciones a larga distancia empleando frecuencias inferiores a los 30 MHz (ondas decamétricas) son posibles gracias a la reflexión de las ondas en la ionosfera, región de la atmósfera que se halla entre los 100 y 400 km de altitud y que se caracteriza por la abundancia de electrones e iones capaces de alterar la dirección de las ondas de radio. Sin la ionosfera no sería posible el DX como hoy lo conocemos.

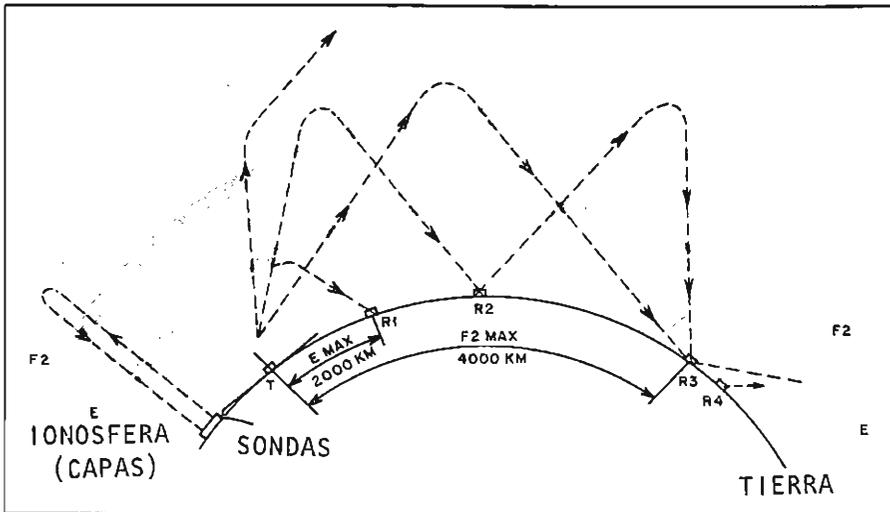


Fig. 21.- Propagación ionosférica que muestra la importancia del ángulo vertical de radiación.

Esta ionización de la alta atmósfera se debe a la radiación solar, principalmente la ultravioleta, y se presenta en varias capas de distinta densidad y altura. Las capas más importantes para la radiocomunicación son las denominadas E y F2, mostradas en la Fig. 21 que comprende a la vez una antena transmisora T y cuatro antenas receptoras (R1 a R4) situadas a distinta distancia de T sobre la superficie terrestre.

La energía radiada hacia arriba (izquierda de la figura) incide perpendicularmente en las capas y no tiene ninguna utilidad para la comunicación a distancia puesto que se ve reflejada sobre el mismo lugar de la emisión. Sin embargo, se la puede utilizar muy bien como SONDA para el conocimiento y estudio del estado ionosférico, de la altura y densidad periódica de las capas y para las predicción de la propagación.

La radiación que abandona la antena T formando un amplio ángulo vertical con la superficie terrestre llega a la ionosfera y sólo se ve afectada por una ligera desviación (refracción) de su trayectoria perdiéndose en el espacio exterior. Tampoco es útil para la comunicación entre puntos distantes de la Tierra.

La radiación que abandona la antena con ángulos verticales medios se refleja en la capa E y regresa a la Tierra permitiendo el enlace entre puntos situados a distancias medias, hasta 2.000 km como R1. Si las condiciones temporales de las capas y la frecuencia utilizada permiten que esta energía atraviese la capa E y se refleje en la capa F2 la onda reflejada regresa a la Tierra viniendo a caer sobre lugares más distantes, a unos 4.000 km, como R2. Si la reflexión de la capa F2 absorbe poca energía (siempre hay una pérdida por absorción) y devuelve la mayor parte de ella sobre R2, la propia superficie terrestre en que incide la onda hace las veces de espejo y vuelve a reflejar las ondas con igual ángulo que el de incidencia. Tiene lugar entonces un doble salto capaz de alcanzar doble distancia (R3-R4). En condiciones favorables los "saltos" pueden repetirse hasta la pérdida total de la energía, pero antes de desaparecer por completo la onda puede haber dado la vuelta a la Tierra en saltos sucesivos y llegar al punto de partida por la espalda permitiendo así el alcance y la comunicación con cualquier punto de la Tierra, incluidos los antípodas.

Si la energía radiada por T se emite con un ángulo de radiación vertical todavía inferior, casi a ras del suelo, la distancia R3-R4 puede alcanzarse con un solo salto en lugar de los dos anteriores, lo que significará que la señal llegará a R3-R4 con más fuerza ya que durante su trayecto sólo habrá sufrido la pérdida de una sola absorción en la capa F2.

El propósito principal de todo lo dicho es evidenciar

LA GRAN IMPORTANCIA QUE TIENE EL ANGULO DE RADIACION VERTICAL DE UNA ANTENA PARA EL DX EN LAS BANDAS DE HF.

3.2.- Concepto de directividad y ganancia

La energía radiada por una antena no tiene la misma fuerza en todas las direcciones. El hecho de que la radiación sea más intensa en unas

direcciones que en otras se debe a que ninguna antena puede estar constituida por un solo punto radiante; forzosamente debe tener cierta longitud nada despreciable en comparación con la longitud de onda de la emisión y en estas condiciones el campo electromagnético radiado por un extremo de la antena no puede llegar a un determinado punto distante al mismo tiempo, con la misma fase, que lo hará la energía radiada por el otro extremo de la misma antena.

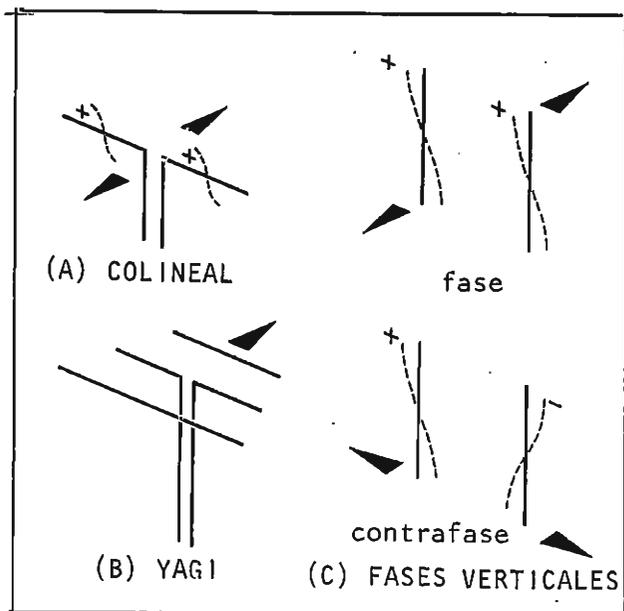


Fig. 22.- Sistemas de aumentar la directividad.

Cuando los campos electro magnéticos creados por distintos tramos de la antena emisora alcanzan el punto lejano, pueden presentarse con igual amplitud y polaridad opuesta, anulándose mutuamente y haciendo que no exista señal en aquél punto ni en esa dirección. Por el contrario, los campos pueden llegar a otro punto en otra dirección con igual amplitud y fase, sumar su energía y significar el campo doble o más fuerte que la antena emisora es capaz de producir en dicho punto. En todas las demás direcciones estos campos podrán sumarse o restarse con amplitudes iguales o distintas y la señal resul-

tante podrá tener cualquier valor intermedio.

Por medios técnicos es posible reforzar y aun llevar a la máxima expresión la propiedad directiva de la antena convirtiéndola en una especie de "faro electromagnético" que concentre toda la energía en una sola dirección y aun en un solo sentido, al igual que hacen los faros marítimos con la luz. Los sistemas mayormente empleados, así como la dirección de la máxima concentración de energía resultante aparecen en la Fig. 22. En todos los casos el secreto está en conjugar convenientemente las fases de la radiación.

Los métodos mayormente empleados son: (A) sistema colineal o radiación de medias ondas en fase; (B) la popular antena Yagi que pone en fase o en contrafase, según el sentido, los efectos reflectantes de dos conductores situados a distancia conveniente delante y detrás de un dipolo de media onda, y (C) mediante el cambio de fase en la

alimentación de dos antenas verticales fijas situadas a una determinada distancia entre sí. En la Fig. 22 las flechas negras indican las direcciones o el sentido de la máxima radiación respecto a la propia antena de que se trate. Estas características direccionales se refieren al plano horizontal (sobre el horizonte) y nada tienen que ver respecto al ángulo de radiación vertical.

La antena no crea ni dispone de más energía que la suministrada por el transmisor a través de la línea por lo que su directividad se debe exclusivamente a la concentración de la energía en una o unas determinadas direcciones sobre el horizonte en detrimento de la energía radiada en otras direcciones. El efecto es análogo al de presionar el extremo de un globo de aire para que se hinche y aumente de volumen el otro extremo, donde existirá mayor presión, aun cuando la cantidad de aire contenida en el globo sea la misma.

Si una antena es capaz de radiar más energía en una dirección que en otra, es indudable que presentará cierta GANANCIA en favor de la primera dirección. Esta ganancia puede medirse por comparación con la energía radiada por una antena imaginaria constituida por un punto en el espacio, denominada ANTENA ISOTROPICA o bien con la energía radiada por un dipolo simple de un cuarto de onda en la dirección de máxima radiación. Cuando una antena concentra toda la energía en un solo sentido, surge el concepto de GANANCIA DELANTE-DETRAS de la propia antena. Estas ganancias suelen expresarse siempre en decibelios.

3.2.1.- Diagrama de directividad

El diagrama de directividad es el gráfico que permite determinar, estudiar y comparar las cualidades directivas de la antena, al mostrar a escala la energía que es capaz de radiar en cada dirección. Evidentemente el diagrama debiera ser tridimensional al igual que es la radiación real y por ello no es posible representarla sobre el papel en toda su magnitud. La figura representativa de la radiación de una antena isotrópica sería sin duda una esfera en cuyo centro se hallara el punto radiante.

Para representar gráficamente o sobre el papel el diagrama de directividad se procede a cortar el sólido de radiación por el plano adecuado a la directividad que se desea representar (corte seccional horizontal o vertical).

3.3.- Directividad horizontal (dipolo $1/2$ onda)

El sólido a que daría lugar la radiación de la antena dipolo de

media onda tendría la forma de un "donut" con orificio central diminuto, como se intenta mostrar en la Fig. 23.

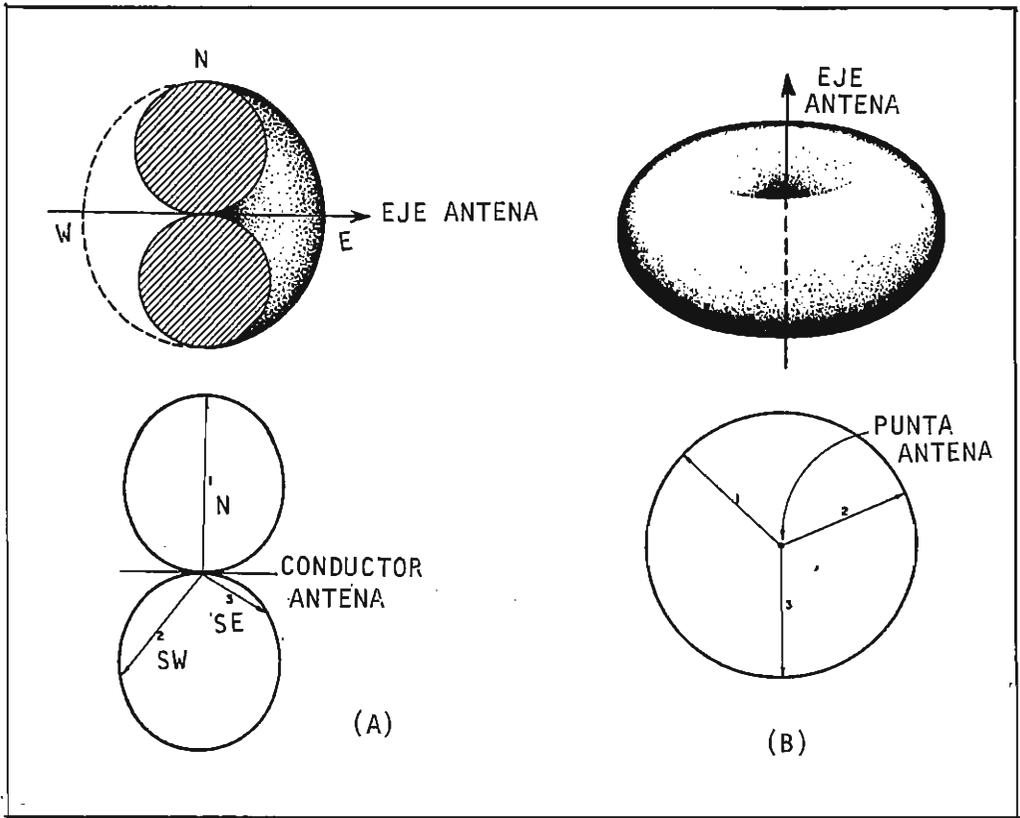


Fig. 23.- Diagramas de radiación de la antena dipolo horizontal (A) y del dipolo vertical (B).

El diagrama gráfico de la radiación horizontal se obtiene cortando el "donut" como para repartirlo entre dos, quedando en la superficie del corte la figura de un "ocho" que podría ser visto por un observador situado boca abajo encima de la antena, figura mostrada en (A) de la Fig. 23. De aquí que pueda decirse también que el sólido de radiación de la antena dipolo horizontal sea la figura generada por las revoluciones de un ocho que girase sobre su propio eje horizontal.

Si el dipolo es vertical, el diagrama de radiación horizontal se obtiene cortando el "donut" como para poderlo untar con mantequilla, o sea transversalmente, y el mismo observador anterior vería la figura de un círculo con un diminuto punto en el centro (el extremo del conductor de antena) como muestra (B) de la misma Fig. 23. Evidentemente la radiación horizontal de una antena dipolo en posición vertical es omnidireccional puesto que radía igual energía en todas las di-

recciones del horizonte.

Los vectores 1, 2 y 3 sobre los gráficos muestran con su longitud y dirección, la fuerza relativa de la radiación sobre los distintos puntos del horizonte. Si la antena dipolo de (A) está dispuesta en dirección Oeste-Este (W-E) como en la figura, la radiación de máxima energía tendrá lugar hacia el Norte y hacia el Sur por un igual; se verá reducida hacia el SW y NW (vector 2) tanto más cuanto más se aproxime a la línea E-W (vector 3) en la que la radiación será nula. En la dipolo vertical todos los vectores tendrán igual longitud o fuerza en todas las direcciones.

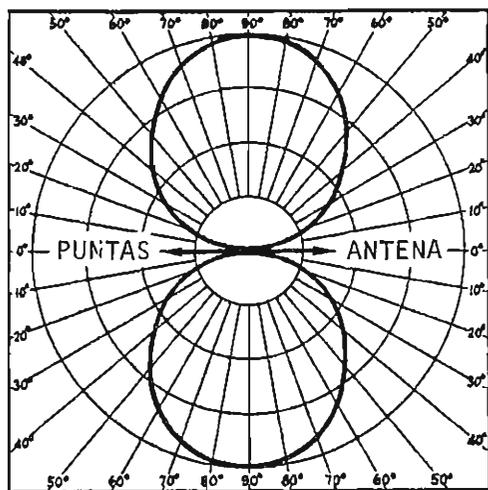


Fig. 24.- Diagrama sobre papel pautado.

Las a escalas como líneas o vectores, como radios del círculo descrito que serían evidentemente de longitud distinta. Uniendo los extremos exteriores de estos radiales, obtendríamos el diagrama de radiación horizontal de la antena en cuestión. Si se tratara de un dipolo vertical, todas las lecturas en el medidor de campo serían iguales en el recorrido del círculo. También sería posible hacer girar la antena sobre su eje vertical, manteniendo el medidor de campo en un punto fijo a distancia para ir anotando la lectura de cada cinco o diez grados de giro de la antena.

Si el diagrama se traslada a un papel transparente y éste se coloca sobre un mapamundi de PROYECCION AZIMUTAL (suelen tenerlos disponibles en las Asociaciones Nacionales) con centro en el lugar de emplazamiento de la antena, superponiendo los centros de mapa y dia-

En la Fig. 24 puede verse el diagrama de radiación horizontal de la antena dipolo de media onda dibujado sobre una pauta adecuada en la que la antena ocupa el centro de una serie de círculos concéntricos del que parte un radio por cada 10° de circunferencia, contados por cuadrante. Cada círculo concéntrico significa una determinada atenuación de señal (generalmente -3 dBs).

La misma Fig. 24 nos da idea de como podríamos obtener el diagrama en la práctica. Bastaría describir un círculo alrededor del centro de la antena, a cierta distancia, y con un medidor de campo ir tomando lecturas del mismo para trasladar-

grama observando la misma dirección de la antena respecto a los puntos cardinales, podrá "verse" a que países y continentes alcanzará la máxima radiación o con qué facilidad podrán recibirse las señales de tal o cual punto geográfico; cuál será la atenuación de señal para otros determinados países y, en el caso inverso,

CUAL SERA LA MEJOR DIRECCION QUE SE PODRA DAR A UNA ANTENA PARA CONSEGUIR LAS COMUNICACIONES QUE MAYORMENTE INTERESEN.

En una palabra, cómo se podrá "apuntar" la antena, aun siendo fija, para intentar obtener los mejores éxitos a los propósito de su dueño.

3.3.1.- Antenas de resonancia armónica (largas)

Ya se dijo que la antena de resonancia armónica es aquella que está constituida por un conductor largo que contiene dos o más medias ondas con la característica de que las corrientes de dos medias ondas consecutivas circulan en sentido contrario. Esta forma de circulación de corriente hace que el diagrama direccional se diferencie respecto al del dipolo de media onda por la aparición de lóbulos de radiación secundaria, como pueden verse en la Fig. 25.

Las antenas armónicas se rigen por los siguientes puntos, respecto a la directividad:

- 1) Si el número de medias ondas es par, siempre hay un nudo de radiación en la dirección perpendicular al conductor.
- 2) Si el número de medias ondas es impar, siempre existe un lóbulo menor en la dirección perpendicular al alambre.
- 3) Cuanto mayor es el número de medias ondas contenidas en la longitud de la antena, mayor es el número de lóbulos presentes en su diagrama de directividad que se asemejan a los pétalos de una margarita con la particularidad de que los lóbulos de radiación más intensa son los cuatro que forman el ángulo menor con el conductor (ángulo α en el último

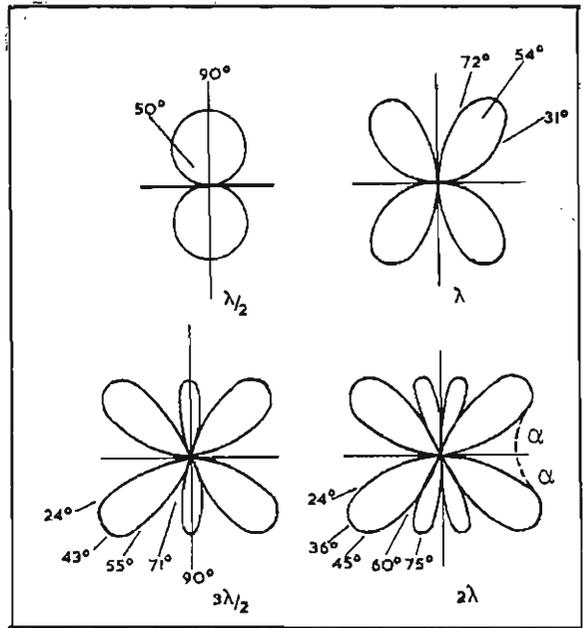


Fig. 25.- Radiación horizontal de antenas armónicas.

diagrama de la Fig. 25). Este ángulo es tanto más pequeño cuanto mayor es el número de medias longitudes de onda que comprende la longitud de la antena.

La repetida Fig. 25 muestra, además del cumplimiento de las reglas anteriores, los ángulos en los que el amortiguamiento de la señal equivale a -3 dBs (mitad de energía) respecto a la máxima radiación del lóbulo principal.

Permitásenos ahora un comentario ilustrativo a la vista de la figura 25. Imaginemos dos colegas que utilizan dos antenas de hilo largo rigurosamente iguales y que trabajan en una frecuencia para la cual dicha longitud significa tres medias ondas ($3\lambda/2$). Ambos desean comunicar con la ciudad de Buenos Aires y ocurre que el primero consigue el QSO todos los días en que la propagación se muestra benigna y como consecuencia nos habla maravillas de su antena. El segundo no logra un solo QSO ni pasándose las noches en vela y viene a decirnos que su antena es una birria que no sirve para nada.... La calidad de las dos antenas es la misma, la única diferencia estará seguramente en que la orientación de la primera antena hace que Buenos Aires quede precisamente sobre los 43° , mientras que la orientación de la antena del segundo queda a 71° ... ¡sólo una diferencia de 28° en la orientación hace que "de oídas", una antena sea muy buena o muy mala!

3.3.2.- Diagramas reales de las antenas horizontales

Los diagramas direccionales del dipolo de media onda y de las antenas armónicas que se han visto hasta ahora corresponden a antenas que se hallen AISLADAS EN EL ESPACIO y PARA EL PLANO HORIZONTAL A NIVEL DE LAS MISMAS. En la práctica la antena está próxima a la tierra y radia en todos los planos por encima y por debajo del suyo, con la correspondiente reflexión de la energía enviada hacia abajo, por lo que el diagrama horizontal puede variar algo según sea la altura o el plano considerado.

El efecto de estas variantes es el de unir los lóbulos mayores y dotar a la antena de cierta radiación secundaria "por las puntas" (de aquí la sorpresa de quienes realizan QSOs en esas direcciones). La realidad responde a unos diagramas direccionales "deformados" aunque siempre tendentes a la forma del espacio libre. Promediando las variantes más comunes de altura sobre el suelo, conductividad del mismo y distintas alturas de planos de radiación, los diagramas directivos para las distintas clases de antena vienen a ser como los mostrados en la Fig. 26 de la página siguiente.

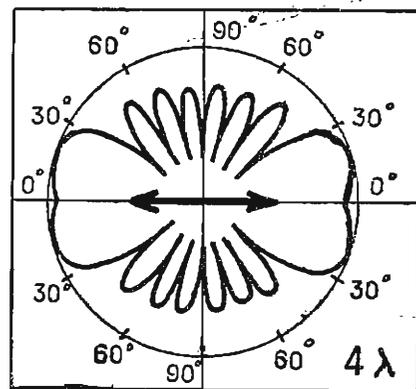
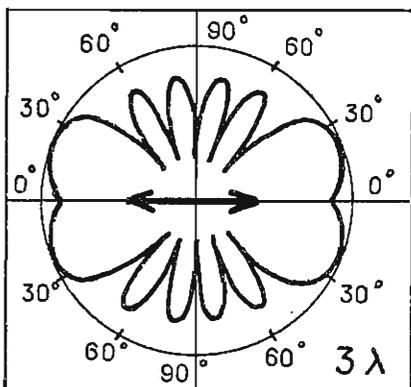
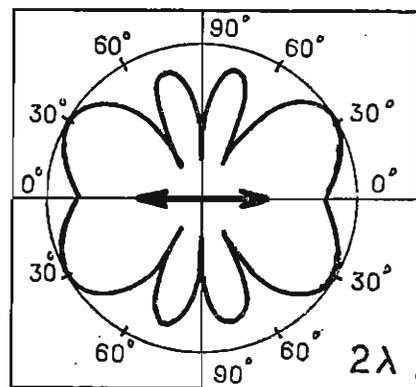
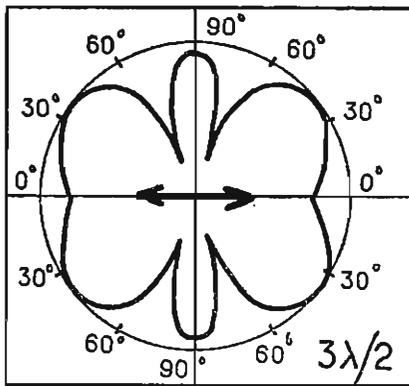
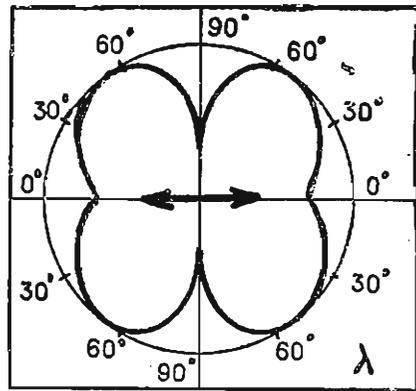
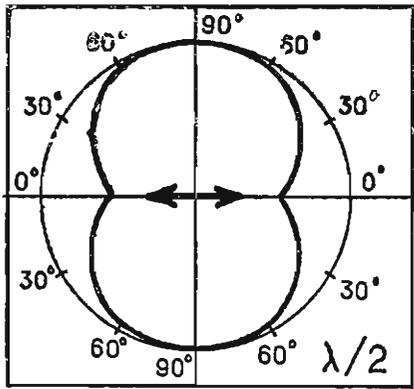


Fig. 26.- Diagramas de directividad real de las antenas horizontales (corregido efecto tierra y altura).

3.4.- Directividad (ángulo) vertical y efecto de tierra

Puesto que la antena en sí radia verticalmente en todas las direcciones, una parte de la energía se dirigirá hacia abajo, hacia el suelo. La tierra absorbe algo de esta energía, tanto menos cuanto mejor es la conductividad, y refleja hacia arriba el resto, cual si se tratara de un espejo. Esta energía reflejada se combina con la directamente radiada por la antena, a veces en fase y a veces en contrafase. El resultado son las características de radiación vertical de cada antena que el "diagrama de radiación vertical" refleja dotando a la radiación vertical de la antena de un ángulo más o menos agudo.

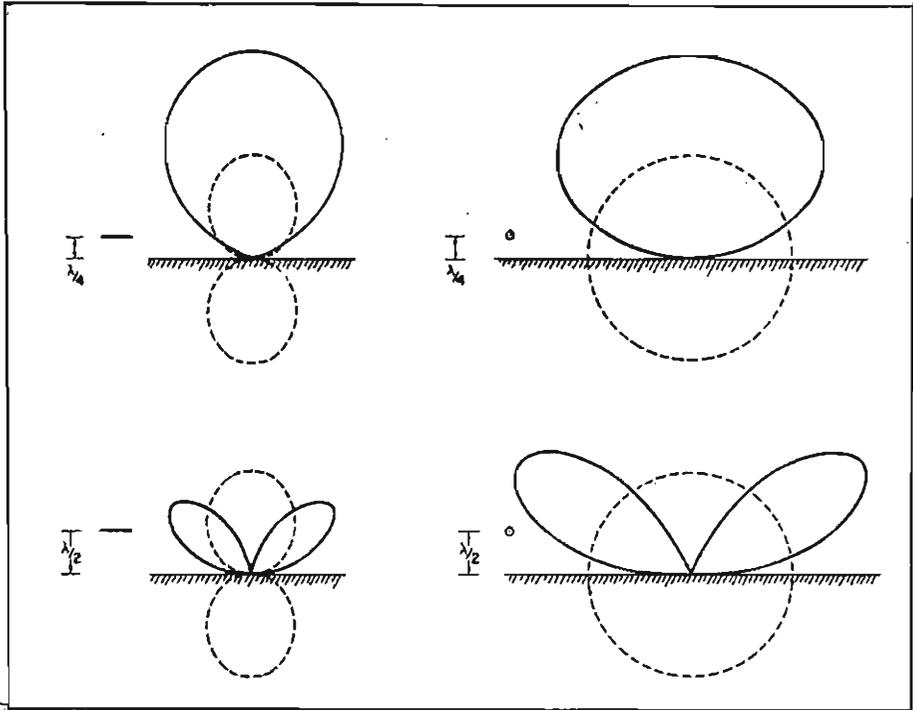


Fig. 27.- Efecto del suelo bajo la antena dipolo media onda, según su altura.

El efecto de la reflexión de energía en el suelo depende de:

- 1) LA ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO, puesto que fijará la fase entre las energías de radiación directa y la reflejada al determinar la distancia a recorrer por la onda reflejada en el suelo.
- 2) LA CONDUCTIVIDAD DEL SUELO DEBAJO DE LA ANTENA, puesto que de ella dependerá la mayor o menor cantidad de energía reflejada

3) EL QUE LA ANTENA SEA HORIZONTAL O VERTICAL puesto que la forma de radiación (polarización) será distinta.

La Fig. 27 muestra dos casos típicos del dipolo de media onda horizontal. A la izquierda se hallan los diagramas de radiación vertical tal como se verían mirando la antena de frente: a la derecha cómo se verían mirando la antenas de puntas, situada la antena en ambos casos a una altura igual a un cuarto de longitud de onda y a media longitud de onda respectivamente. La línea discontinua indica cuál sería el diagrama de radiación si no existiera la reflexión en el suelo.

Recuérdese la Fig. 21 y póngase atención en la gran diferencia para la comunicación DX entre que el dipolo horizontal se halle a la altura de $1/4$ de onda o a $1/2$ onda sobre el suelo. Conclusión que salta a la vista:

NINGUNA ANTENA HORIZONTAL, SEA DE HILO, TUBO, YAGI, MONOBANDA O TRIBANDA, PUEDE CONSIDERARSE BUENA PARA EL DX SI NO SE INSTALA A UNA ALTURA IGUAL O SUPERIOR A MEDIA LONGITUD DE ONDA DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO MAS BAJA.

Si la altura de la antena horizontal es de $1/4$ de longitud de onda, la mayor parte de la energía se radiará hacia arriba, perdiéndose lastimosamente en el espacio. A partir de la media onda de altura se anula la radiación inútil hacia arriba y los lóbulos que se forman tienen una radiación vertical máxima mucho más próxima al suelo.

Por otra parte hay que tener en cuenta que el valor de la resistencia de radiación varía con la altura y que cuando está la antena sobre un suelo de conductividad perfecta lo hace con arreglo a la curva mostrada en la Fig. 28. Puede observarse que tiene un aumento espectacular hasta que la altura alcanza $1/4$ de longitud de onda o poco más, pero entonces y de acuerdo con la Fig. 27, toda la energía radiada va prácticamente hacia el cielo y se pierde para la comunicación. Obviamente, la mejor solución es una altura mínima de media longitud de onda que facilitará además los 75 ohmios de Z_e para la conexión de la línea.

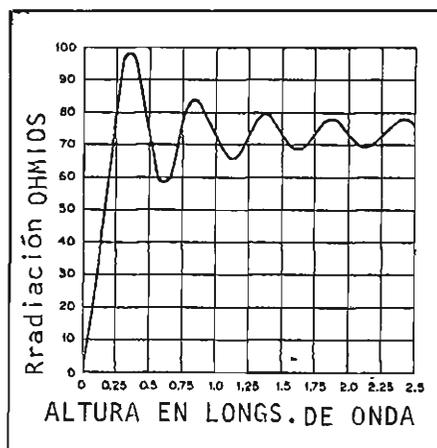


Fig. 28.- Variación de R_r con la altura.

3.4.1.- Antena para comunicaciones vía satélite como ejemplo.

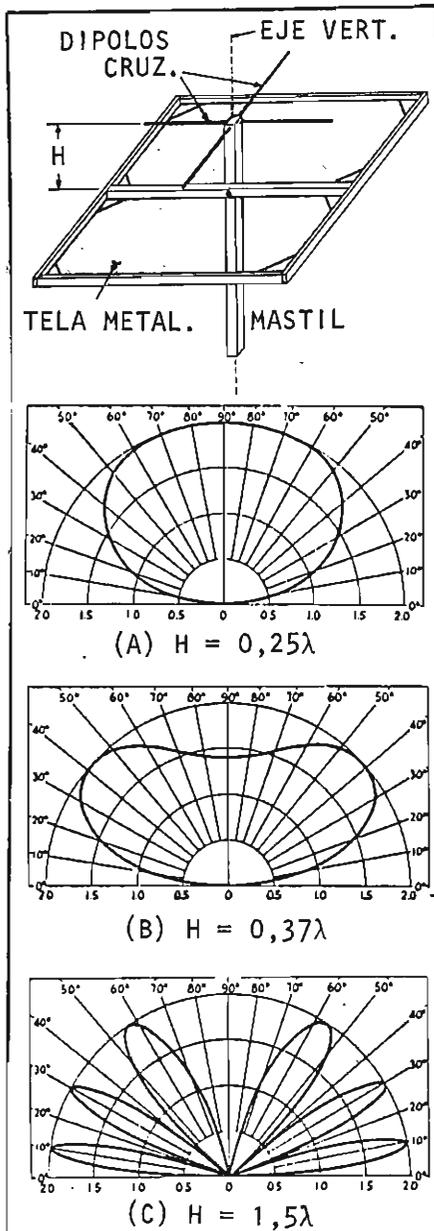


Fig. 29.- Antena para satélites.

Uno de los ejemplos más claros y sencillos de la importancia de la altura sobre el suelo de la antena horizontal respecto al ángulo de radiación vertical lo proporciona la antena más popular para la comunicación vía satélite artificial que muestra la Fig. 29 (banda de 146 MHz). Consiste en la disposición en cruz de dos dipolos horizontales de media onda para obtener un diagrama de radiación horizontal circular, emplazados en el extremo de un mástil de madera de 5 x 5 cm de sección y 2,5 metros de longitud. Los dipolos son de alambre de 2 mm de diámetro o bien de varilla o tubo de aluminio. Al objeto de dotar a la antena de un suelo o tierra de máxima conductividad, se sitúa una pantalla de fina tela metálica por debajo de los dipolos que va claveteada en un marco de madera (listón) de 1,5 m de lado. El marco se sujeta perpendicularmente al mástil por medio de un travesaño y un tornillo con tuerca. En el mástil se realizan orificios a distintas alturas al objeto de que la pantalla pueda deslizarse y fijarse a diferentes distancias de la antena, pudiendo así elegir el diagrama de radiación vertical que más convenga.

En A, B y C de la misma figura 29 se muestran los diagramas de radiación vertical de esta antena según sea la separación que se elija entre antena y pantalla o suelo de conductividad prácticamente perfecta. No pueden ser más elocuentes respecto a la importancia y efecto de la altura en el ángulo de radiación vertical de las antenas.

Para quienes deseen adentrarse en el campo de la experimentación de las comunicaciones espaciales, la Fig. 30 indica la forma de alimentar correctamente

esta antena de dipolos cruzados. La línea de enfasamiento debe tener una longitud de 338 mm y ser de coaxial de 75 ohmios (RG59-U). La sección -acopladora utiliza la misma longitud de cable coaxial de 52 ohmios y el resto de la línea de bajada es coaxial de 75 ohmios (RG59-U). La bajada debe transcurrir sujeta al mástil por medio de grapas y la rejilla metálica de plano de tierra tendrá el correspondiente orificio central de paso para mástil y línea de bajada.

3.4.2.- Antenas verticales

El diagrama de la radiación vertical de una antena dipolo de media onda perpendicular al suelo está -mostrado en la Fig. 31-A con trazo continuo junto a la silueta del mismo diagrama si no existiera reflexión en el suelo (línea de trazo interrumpido). Cuando la antena es una vertical de cuarto de onda con extremo unido a tierra, el diagrama tiene igual forma aunque con dimensiones menores, puesto que la energía del campo radiado es inferior aunque se considere que esta última antena obra como un dipolo de

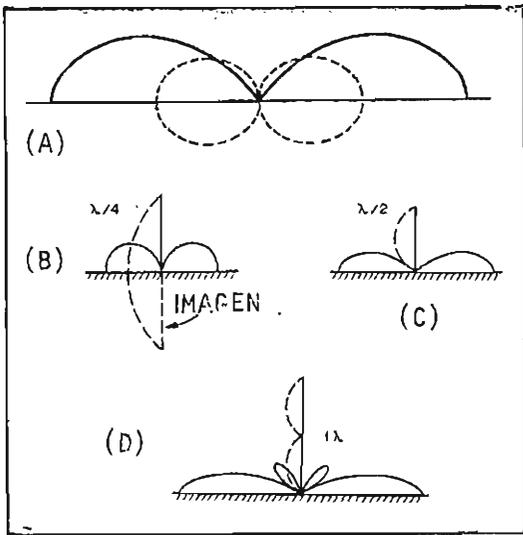


Fig. 31.- Radiación vertical de antenas verticales.

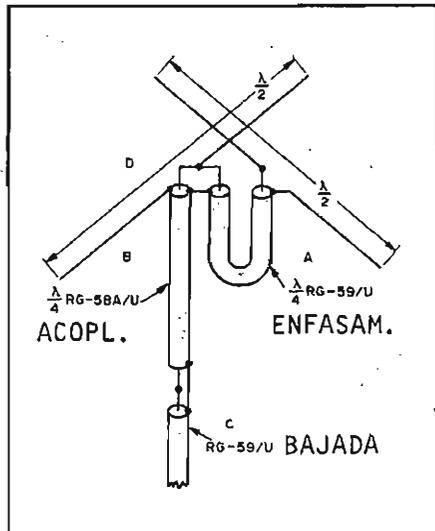


Fig. 30.- Sistema de alimentación de la antena anterior.

media onda cuya otra mitad se refleja en el suelo, bajo tierra, como está mostrado en (B) (antena imagen). Si la longitud de la antena vertical puesta a tierra por un extremo es de $\lambda/2$ como en (C) la energía aumenta notablemente en los ángulos de radiación inferiores mejorando la calidad de la señal para el DX. Si la longitud de la antena es igual a λ como en (D), la radiación aumenta notablemente de intensidad en los ángulos inferiores pero aparecen dos pequeños lóbulos de menor tamaño en ángulos elevados de poco interés para el DX. En cada uno de estos casos variará, naturalmente la impedancia Z_e de la antena.

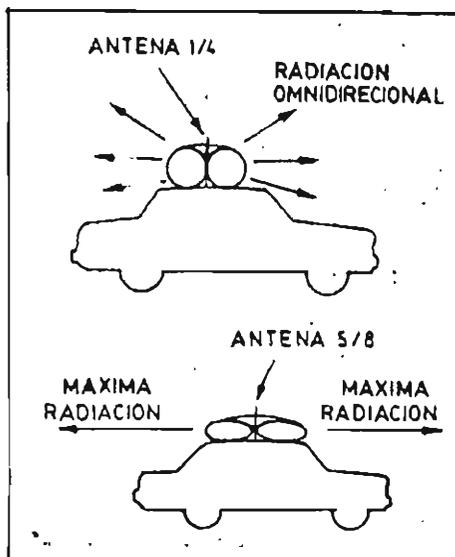


Fig. 32.- Ganancia de la vertical de $5/8 \lambda$.

Las sus ventajas pueden desaparecer como por encanto. Téngase en cuenta a la hora de una instalación de este tipo.

3.5.- Diagramas de radiación vertical

La Figs. 33 y 34 de las páginas que siguen muestran los diagramas de radiación vertical de las antenas dipolo horizontal (Fig. 33) y vertical de media onda alimentada en su centro (Fig. 34) para diversas alturas sobre el suelo indicadas en longitud de onda en el ángulo superior derecho de cada diagrama.

El estudio comparativo de los diagramas de ambas figuras proporciona unos conocimientos muy valiosos para el montaje práctico de una antena de la que se espera el mayor rendimiento posible. Por ejemplo, la observación comparativa de la Fig. 33 indica claramente que montar un dipolo o una Yagi a una altura sobre el suelo de $0,25 \lambda$ significa perder el tiempo puesto que la mayor parte de energía radiada se perderá en el cielo, de acuerdo con la Fig. 21. Nunca será conveniente montar la antena horizontal a una altura que represente $0,87 \lambda$ a poco que pueda evitarse, será incomparablemente mejor hacerlo un poco más alta, a una altura equivalente a λ que hará desaparecer el lóbulo de radiación hacia arriba concentrando su energía en los lóbulos más bajos. Si el propósito es el máximo rendimiento para el DX, deberán elegirse alturas de $1,5$ o de 2 longitudes de onda pero nunca alturas de $1,25$ o de $1,75$ longitudes de onda si no se quiere enviar una buena parte de la energía al cielo.

La solución de compromiso entre (C) y (D) que permite alcanzar la mayor intensidad de campo radiado en los ángulos verticales inferiores y a la vez la desaparición de los lóbulos secundarios es, en la práctica, la tan popularizada antena vertical de $5/8$ de longitud de onda. La Figura 32 evidencia claramente por qué la antena de $5/8$ es capaz de proporcionar una ganancia de 3 dBs (equivalente a doblar la potencia) con respecto a una antena de $1/4$ de onda en iguales circunstancias. El enfasamiento de la señal directa y reflejada es aquí óptimo para concentrar la energía al ras del suelo y suprimir la energía inútil radiada hacia arriba.

¡Este es el secreto de la $5/8$! Si el suelo no es buen conductor (montaje en parachoques, guardabarros, etc) to

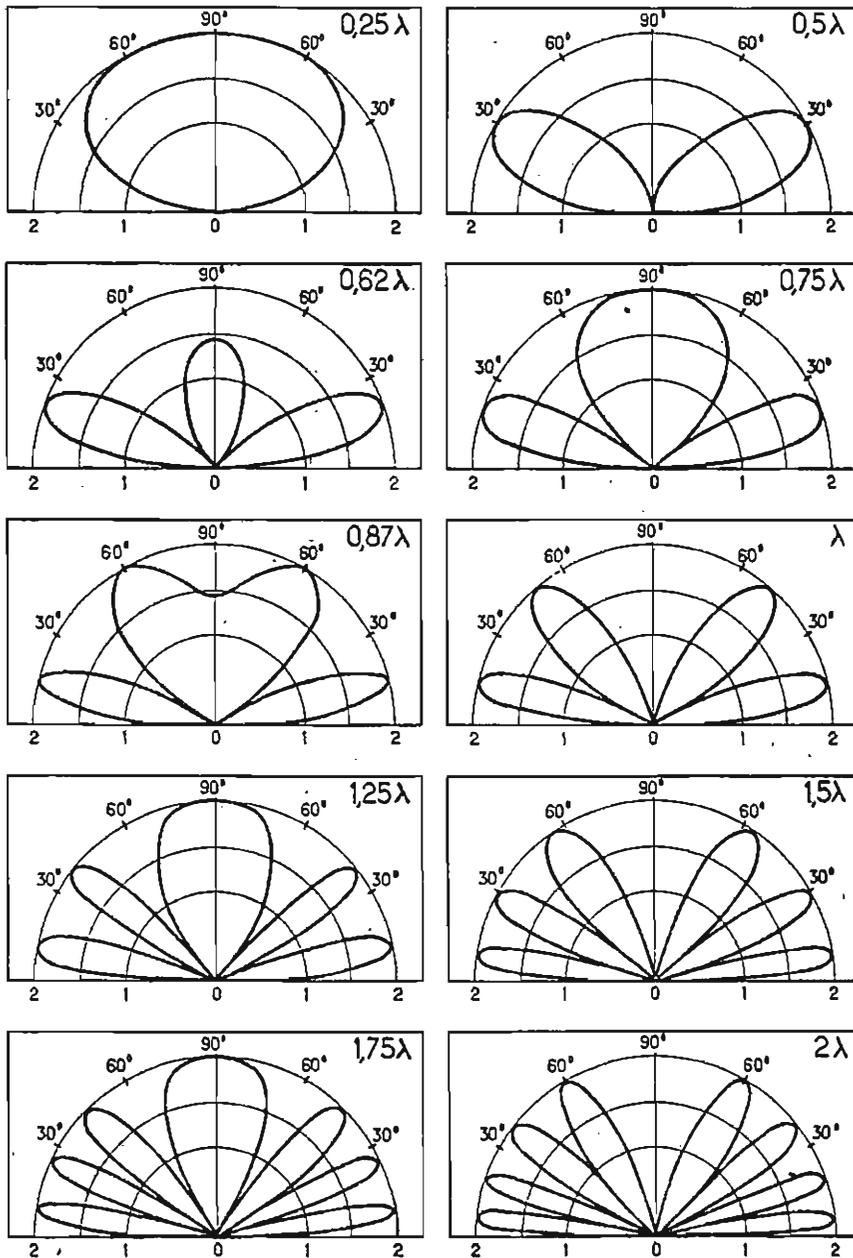


Fig. 33.- Diagramas de radiación vertical de las antenas horizontales según su altura y sobre un suelo perfectamente conductor.

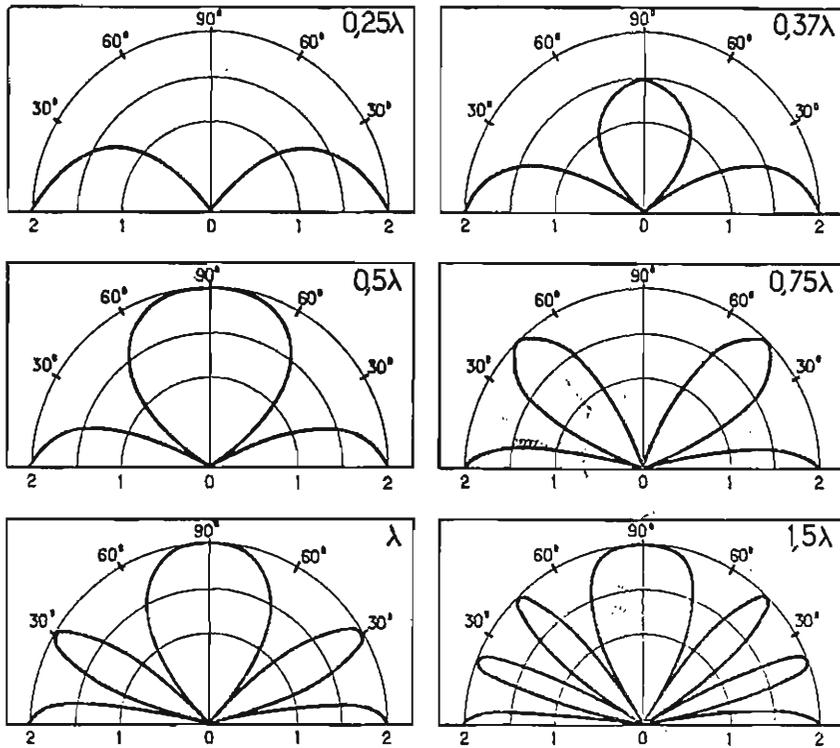


Fig. 34.- Diagramas de radiación vertical de las antenas dipolo de media onda verticales según su altura sobre suelo perfectamente conductor.

Comparando las dos figuras entre sí, puede sacarse la conclusión de que la mejor opción para el DX largo es la dipolo vertical a un cuarto de onda de altura sobre el suelo. Si esta altura no permitiese una situación despejada, habría que optar por una altura de $0,75 \lambda$ y no por alturas de $0,37 \lambda$ y $0,5 \lambda$ si se quiere aprovechar toda la radiación para el DX.

Naturalmente, esto son ejemplos generalizados pero extremadamente ilustrativos. Podrá optarse por cualquier opción de interés siempre que se proceda a la instalación con conocimiento de causa, que es lo que aquí pretendemos.

3.5.1.- Efecto de la conductividad del suelo

En la práctica y excepto en el caso de las antenas "ground-plane" los suelos no son de conductividad perfecta. El suelo mal conductor tiene dos efectos negativos en la radiación vertical: disminuye la

energía reflejada al ser mayores las pérdidas y al producirse la reflexión a mayor profundidad (capas mejor conductoras en el subsuelo) altera la fase y se eleva el ángulo o lóbulo de radiación vertical (lóbulo de trazo discontinuo en la Fig. 35).

Nuevamente aparece la gran importancia que tiene el disponer de un suelo natural o artificial que se aproxime lo más posible a la conductividad perfecta.

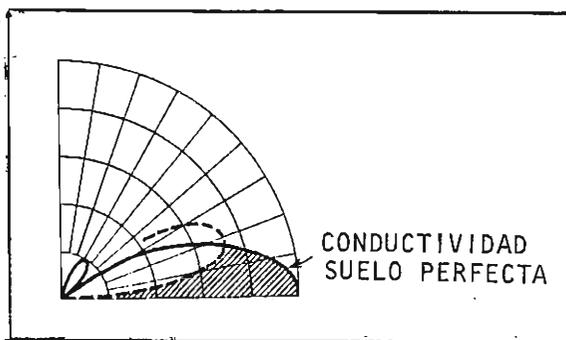


Fig. 35.- Efecto de la conductividad del suelo en la radiación vertical.

3.5.2.- La antena en "V invertida"

Goza de la predilección de los principiantes por su facilidad de montaje (un solo mástil), por su radiación más o menos omnidireccional a las alturas normales en la práctica y porque puede ser utilizada como monobanda (alimentación coaxial) o como multibanda (alimentación línea paralela). Es un dipolo "intermedia" entre la horizontal y la vertical. Por su parte de dipolo horizontal, cuanto mayor es la altura de su vértice de alimentación, menor es su ángulo de radiación vertical y mayor la probabilidad de alcanzar largas distancias.

Los mejores resultados se obtienen cuando el ángulo de la V invertida se halla entre 90 y 120 grados. Con ángulos menores de 90° la contrafase cancela buena parte de la energía de radiación (se aproxima a convertirse en una línea paralela de alimentación); con ángulos superiores a 120° la antena tiende a funcionar como dipolo horizontal con su directividad característica sobre el horizonte.

Como en todas las demás antenas, la conductividad del suelo bajo ella es de primordial importancia para su buen rendimiento en DX.

3.6.- Antenas o sistemas de gran directividad y ganancia

La base de obtener radiaciones de elevada concentración de energía (ganancia) en un estrecho haz de radiación (directividad) está en la asociación o actuación conjunta de elementos simples dispuestos de manera que la interacción de sus fases sea la adecuada para el propósito que se persigue. La anterior Fig. 22 es elocuente al respecto. Los sistemas mayormente empleados son el colineal, las verticales en fase y los sistemas o disposiciones Yagi/Quad, los tres de distinta configuración física pero con una raíz común: el gobierno de la fase.

3.6.1.- Sistemas o antenas colineales

Son sistemas de radiación bidireccional de energía concentrada. La

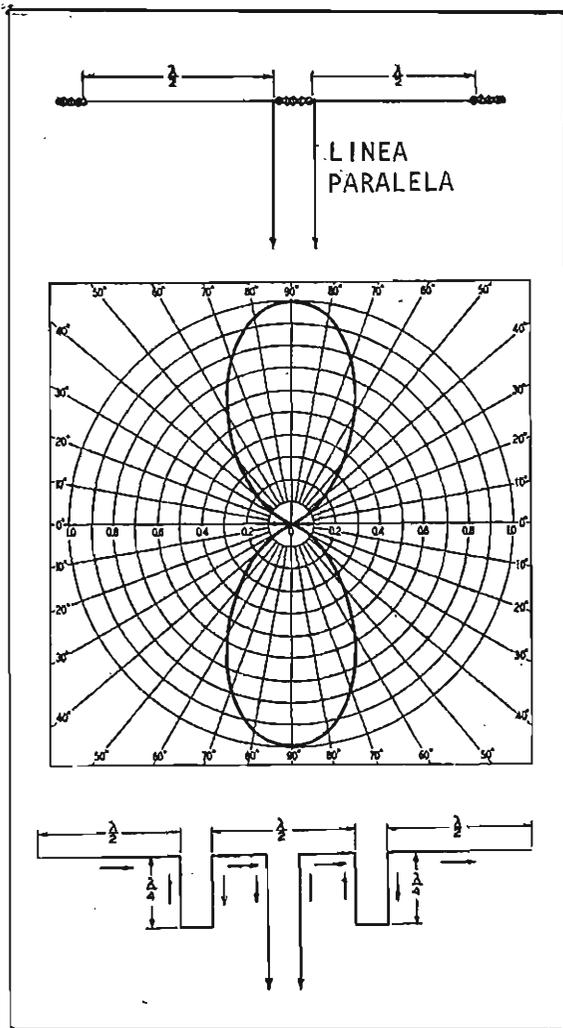


Fig. 36.- Sistemas colineales.

versión más sencilla es la mostrada en la parte superior de la Fig. 36 a la que también se le llama sistema "de dos medias ondas en fase". Para obtener la radiación en fase debe alimentarse la antena con línea paralela (alimentación simétrica) o en todo caso a través de un balun simetrizador tras una longitud de $1/4$ de onda de bajada de línea paralela, puesto que las dos medias ondas quedan alimentadas en tensión (alta impedancia que puede alcanzar valores desde 1.000 a 4.000 ohmios).

El diagrama de directividad horizontal mostrado corresponde al espacio libre (antena muy alta) y en un plano a poca distancia por encima de la antena.

Puede obtenerse una mayor concentración de energía en un haz más estrecho mediante la adición de medias ondas por uno y otro lado, como muestra la parte inferior de la figura, debiendo proceder entonces a la inserción de longitudes de línea no radiante equivalentes a $1/4$ de onda y cortocircuitadas por un extremo, al objeto de obtener la fase correcta en los radiadores (corrientes de igual sentido en todos los tramos de media onda, hecho que ya es sabido distingue a la antena colineal de la de radiación armónica).

3.6.2.- Variante de colineal sencilla (Levy, "double Zepp" o $0,65 \lambda$)

Es una modificación de la colineal sencilla para obtener la nada despreciable ganancia que procura la mayor separación entre los dos tramos de media onda, lo que se consigue dando a los mismos una longitud de $0,65 \lambda$ en lugar de la media onda, como indica la Fig. 37.

En el centro de la antena aparece un pequeño tramo de corriente opuesta en cada una de las ramas (ver las flechas de la figura) pero si la longitud excesiva por encima de la media onda es reducida, su intensidad es mínima y la radiación en contrafase despreciable. No se puede alargar más la antena porque el sistema tendería entonces a convertirse en una antena armónica.

El diagrama de directividad horizontal está mostrado en la misma figura. No es nada despreciable la ganancia de 3 dBs que equivale a doblar la potencia en la dirección de máxima radiación con respecto al dipolo de media onda.

En todas las colineales la radiación vertical es circular (lo mismo que el diagrama horizontal si se las monta verticalmente, con una sección encima de la otra). El efecto de la altura sobre el suelo, en cuanto a la radiación vertical, es igual que para los dipolos.

Los cuatro pequeños lóbulos centrales que aparecen en el diagrama se deben a la presencia de las pequeñas corrientes en contrafase y pueden, incluso, resultar útiles en determinados momentos. Para la fase de las dos medias ondas es imprescindible alimentar la antena con línea simétrica, si bien la impedancia de entrada no es tan elevada dado el exceso de longitud por rama respecto a la media onda.

La popular antena G5RV es una derivación de esta semi-colineal que permite la cómoda bajada con cable coaxial a partir de cierto punto de su trayecto y un funcionamiento multibanda dando a las dos ramas y al tramo de línea paralela una longitud predeterminada, como habrá ocasión de ver más adelante.

3.6.3.- Dipolos verticales direccionales

Además de la excelente característica del dipolo vertical para el DX por su tan remarcable bajo ángulo de radiación vertical, puede obtenerse una ganancia o directividad horizontal con el empleo de dos

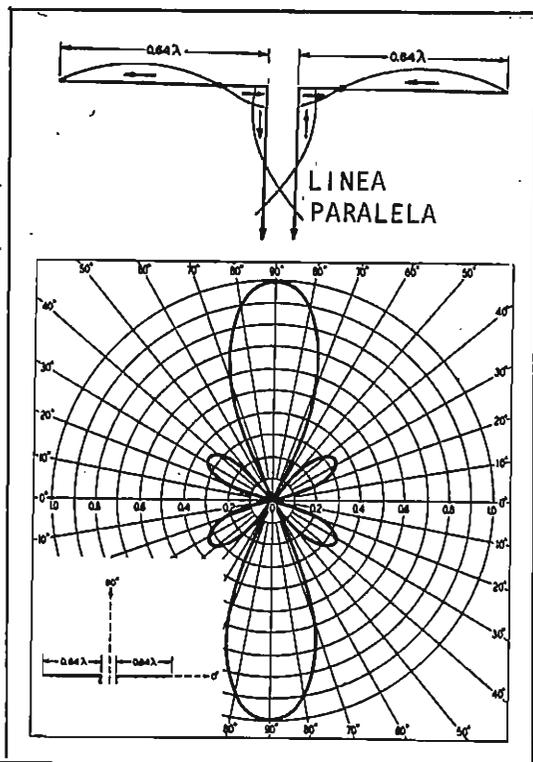


Fig. 37.- Antena Levy o $0,65 \lambda$

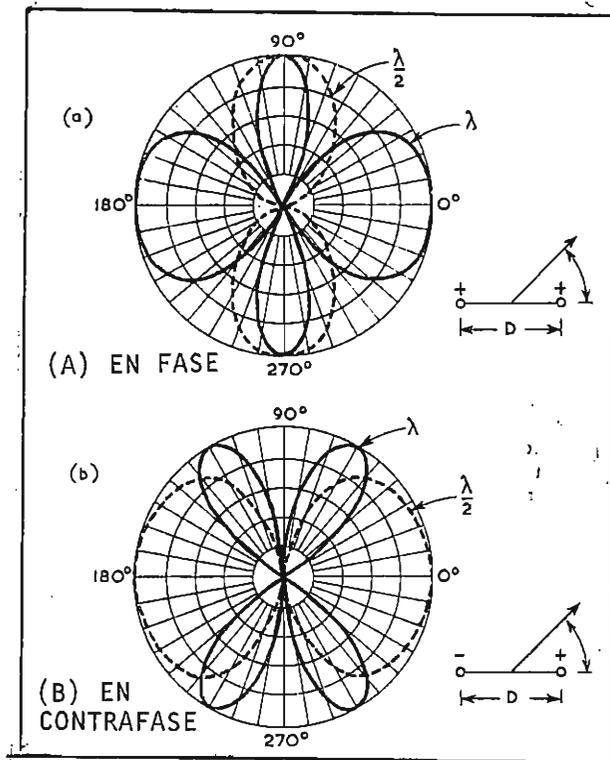


Fig. 38.- Directividad horizontal de dos dipolos verticales separadas en media y una longitud de onda.

lizar dos líneas de alimentación de igual longitud, una para cada antena, la directividad puede cambiarse de (A) a (B) simplemente invirtiendo la polaridad de una de las líneas.

3.6.4.- Verticales 1/4 de onda direccionales

La misma combinación anterior puede llevarse a cabo con antenas verticales puestas a tierra o de 1/4 de onda. La energía radiada será menor, pero la altura y con ella la complejidad del montaje será menor también.

La Fig. 39 muestra esta disposición para dos antenas verticales de un cuarto de onda separadas entre sí por media longitud de onda y alimentadas en fase (A) o en contrafase (B) por medio de línea coaxial. Bajo cada sistema figura una indicación del sentido de la directividad obtenida y que puede ser transversal (A) o longitudinal (B).

dipolos verticales separadas por una distancia igual a media o a una longitud de onda y cuidando debidamente la fase de su alimentación común. La Fig. 38 muestra los diagramas de directividad horizontal que pueden obtenerse con separaciones de una longitud de onda (línea continua) y de media longitud de onda (línea discontinua) de separación entre las dos antenas. El diagrama superior (A) corresponde a una alimentación EN FASE y el inferior (B) a una alimentación EN CONTRAFASE de una antena respecto a la otra.

Las dos antenas quedan alimentadas en fase si ambas tienen la misma longitud de línea de alimentación y quedan alimentadas en contrafase si una de ellas tiene una línea de alimentación con media longitud de onda más que la otra. (La Fig. 39 resultará ilustrativa al respecto). Si se uti-

A través de un conector en "T" se hace rigurosamente igual la longitud de línea coaxial que alimenta a cada antena en (A). Esta misma clase de conector procura en (B) que la longitud suplementaria de línea coaxial que alimenta a la segunda de las verticales sea igual a UN MULTIPLO IMPAR DE MEDIA ONDA.

En esta clase de instalaciones alimentadas con línea coaxial debe

tenerse muy presente el factor de velocidad que suele ser de 0,66 en la mayoría de los cables coaxiales. Esto significa que la media onda de línea coaxial en (B) tendrá una longitud física inferior a la distancia entre las dos antenas. Como la contrafase se da para cada longitud eléctrica igual a media onda o a UN MULTIPLO IMPAR DE MEDIA ONDA,

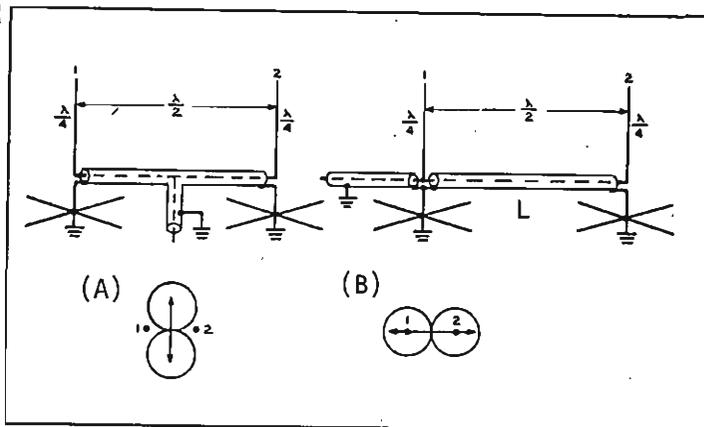


Fig 39.- Directividad con dos antenas verticales de 1/4 de onda.

la longitud física L de coaxial en (B) deberá ser de $3\lambda/2 \times 0,66$. Si no se pone atención a este extremo, el sistema no podrá funcionar correctamente.

3.6.5.- Sistemas YAGI y QUAD

En los sistemas YAGI y QUAD se logra concentrar toda la energía disponible en un solo sentido, obteniéndose la directividad y ganancia

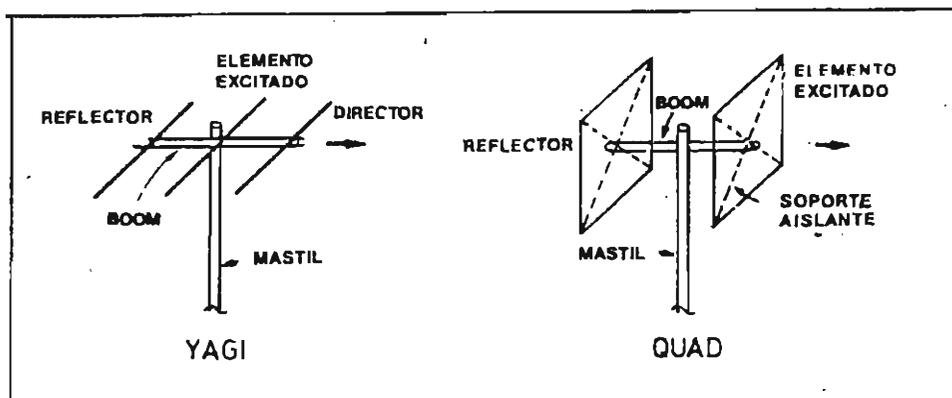


Fig. 40.- Antenas directivas de un solo sentido de radiación.

máximas. Esto se logra mediante la adición de elementos pasivos de longitud resonante a distancias calculadas para que la radiación resulte en fase en un sentido y en contrafase en el sentido opuesto. Son las "antenas faro" por excelencia.

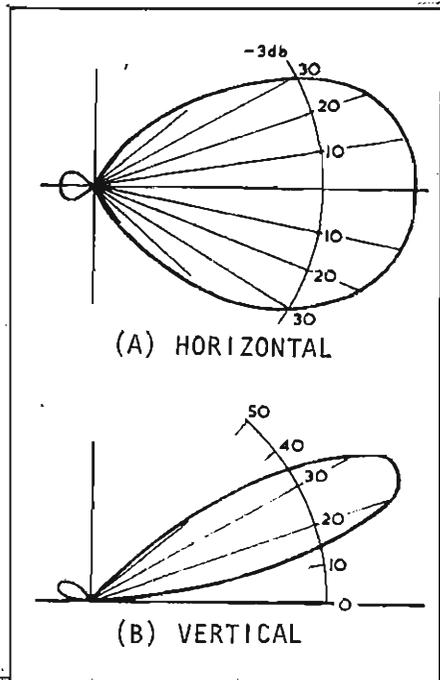


Fig. 41.- Diagramas de radiación de la YAGI.

su longitud es más crítica que la distancia o separación respecto al elemento excitado.

Aunque la Yagi puede construirse perfectamente con alambres, se suele utilizar el tubo de aluminio (incluso en la banda de 40 m) cuya rigidez admite el montaje de la antena en el extremo superior de un mástil dotado de un motor o "rotor" que permita girar la antena y enfocar el intenso haz de radiación sobre cualquier punto del horizonte. El ángulo de radiación vertical de la Yagi está sujeto a las mismas consideraciones que la antena dipolo de media onda (Es una aberración montar una Yagi a una altura inferior a $1/2$ longitud de onda si se pretende aprovechar sus cualidades para el DX).

En la Fig. 41 pueden verse los diagramas de radiación horizontal (A) y vertical (B) de la Yagi de tres elementos montada a una altura sobre el suelo de media longitud de onda. Toda la radiación horizontal se concentra en un ángulo de 60° (a una altura de 20° de ángulo).

La antena Yagi (Fig. 40) está constituida por un dipolo de media onda alimentada por el transmisor y, generalmente, dos elementos parásitos que interceptan la señal emitida por el dipolo excitado y como no están unidos a línea alguna que pueda absorber la energía captada, la rerradían con una fase proporcionada por la distancia que les separa del elemento excitado.

Los elementos parásitos situados en la dirección de la máxima radiación reciben el nombre de DIRECTORES siendo un 5% más cortos que el elemento excitado. El elemento parásito REFLECTOR se halla por el otro lado, por la parte posterior del dipolo y es un 5% más largo que este último. Nunca se utiliza más de un elemento reflector pero puede variar el número de elementos directores. La distancia entre elemento activo y reflector suele ser de $0,15$ a $0,23 \lambda$. Los elementos directores suelen estar más espaciados y, en cualquier caso,

La antena Quad tiene el mismo fundamento, pero en lugar de estar constituida por dipolos de media longitud de onda, sus elementos son cuadrados de hilo conductor cuya longitud total es de una longitud de onda con lo que el campo radiado es más intenso. Pero también la envergadura de la antena es mayor y raramente se utilizan más de dos elementos o tres (excitado, reflector y ocasionalmente director). La ganancia de la Quad es equivalente a la de la antena Yagi de un elemento más, aproximadamente.

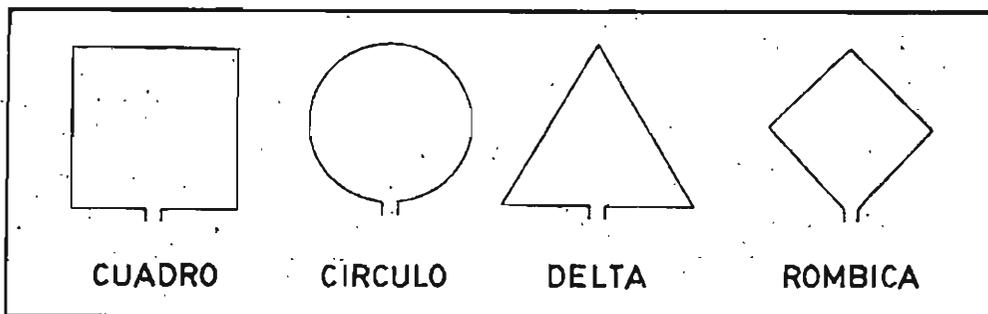


Fig. 42.- Formas de los elementos de la antena direcciva QUAD

La polarización de la radiación de la antena Quad es horizontal si el punto de alimentación de la antena se halla en el lado inferior paralelo al suelo, y es vertical si dicho punto de alimentación se halla en uno de los lados verticales o perpendiculares al suelo. La máxima radiación tiene lugar por la dirección perpendicular al plano que forma la figura dada a la antena que no es obliqado que sea precisamente cuadrada, sino que puede adoptar las formas indicadas en la Fig. 42. Tal como están mostradas estas formas en la figura, todas las antenas radiarían con polarización horizontal, dada la situación del punto de alimentación. En cualquier caso, la longitud apropiada o de partida del elemento excitado viene dado por la fórmula:
 $L = 306/F(\text{MHz}) = \text{metros.}$

3.7.- Antenas apiladas (stacked)

Existen dos sistemas de apilamiento de antenas: el multibanda y el de ganancia.

El primero es el mejor sistema conocido hasta hoy (y también el más caro) para poder operar en multibanda con el mayor rendimiento posible, sobre todo cuando el espacio de que se dispone es reducido. Consiste en "apilar" o montar antenas monobanda (Yagis) una encima de otra en un mástil único dotado de rotor. El procedimiento se adopta principalmente para las bandas de 10, 15 y 20 m.

La otra variante permite obtener la mayor ganancia posible con el mínimo radio o espacio necesario para el giro de rotación de la antena. Los dos procedimientos quedan ilustrados en la Fig. 43.

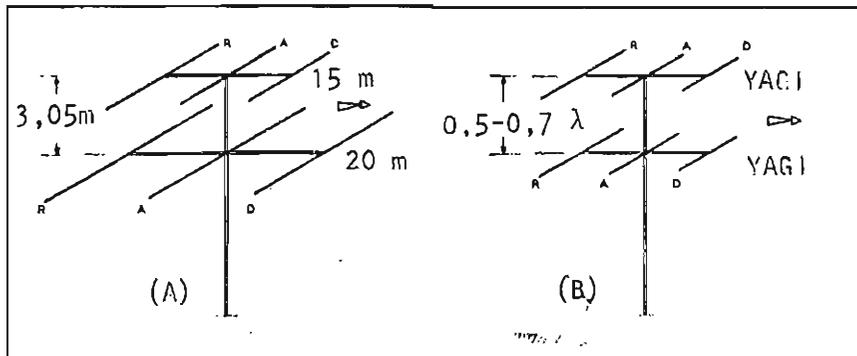


Fig. 43.- Antenas apiladas o "stacked" tipo Yagi.

3.7.1.- Apilamiento multibanda

La antena de menores dimensiones se instala en la parte superior y la de mayores dimensiones y más peso en la parte inferior, pudiendo apilarse dos o tres antenas (10, 15 y 20 metros por ejemplo). Cada antena se alimenta a través de su línea de transmisión independiente por lo que existen tantas bajadas como antenas apiladas. La mayor dificultad es la interacción entre una y otra antena en cuanto a sintonía y alteración del valor de la impedancia de entrada. La experiencia ha demostrado que si la separación entre antenas de 20, 15 y 10 metros sobrepasa ligeramente los tres metros (3,05 m) la influencia mutua no es significativa. Si se utiliza una separación menor suele ser necesaria la resintonía de cada antena en una operación bastante complicada por la continua influencia mutua.

3.7.2.- Apilamiento de ganancia

Se le utiliza exclusivamente en VHF-UHF. El apilamiento de dos Yagis para la misma frecuencia de trabajo y alimentadas en fase, aporta una ganancia de 3 a 4,7 dBs respecto a la radiación de una sola Yagi en las mismas circunstancias. La distancia de separación óptima entre las Yagis se sitúa entre 0,7 y 0,8 longitudes de onda (aproximadamente 1,5 metros en la banda de VHF).

Aquí sólo existe una línea de alimentación coaxial para todas las antenas apiladas que deben trabajar en fase, lo cual crea problemas de acoplamiento puesto que las respectivas impedancias, fase aparte, deben quedar unidas en paralelo a una línea común. Es necesario que

la longitud de línea de unión entre cada antena y línea principal pueda actuar como enfasador y transformador de impedancias al mismo tiempo. Una de las disposiciones más comunes en el apilamiento de dos Yagis en VHF es la mostrada en la Fig. 44 cuyo secreto está en que el tramo de línea desde la unión a cada una de las antenas tiene una longitud eléctrica igual a un múltiplo impar de cuarto de onda y los dos sean rigurosamente de la misma longitud para conservar la fase (recordemos el factor de velocidad del cable coaxial, generalmente igual a 0,66). Esto hace que el tramo actúe como transformador de impedancias y que la impedancia presentada por cada una de las dos antenas en paralelo en el punto de unión a la línea común sea de unos 100 ohmios con una resultante de 50 ohmios apta para el cable coaxial de bajada de 50 ohmios.

3.8.- Antenas mayormente utilizadas

No queremos finalizar este capítulo sin mostrar, aunque sea abreviada y escuetamente, las antenas y sus características más importantes que vienen siendo utilizadas con mayor frecuencia por la radioafición mundial y que quedan mostradas en la tabla que ocupa la página siguiente.

3.9.- Conclusiones prácticas

En repetidas ocasiones se ha hablado del efecto de la conductividad del suelo en el rendimiento de una antena. Las impredecibles diferencias que impone la práctica puede dar lugar a que los valores de la resistencia de radiación relacionados con la altura difieran un tanto de los valores teóricos. En cualquier caso y aunque puedan hallarse diferencias de un 10 o de un 20 por ciento, no serán significativas y el valor teórico debiera servir siempre como guía. Los ajustes o modificaciones finales podrán muy bien aunar los resultados prácticos con los teóricos.

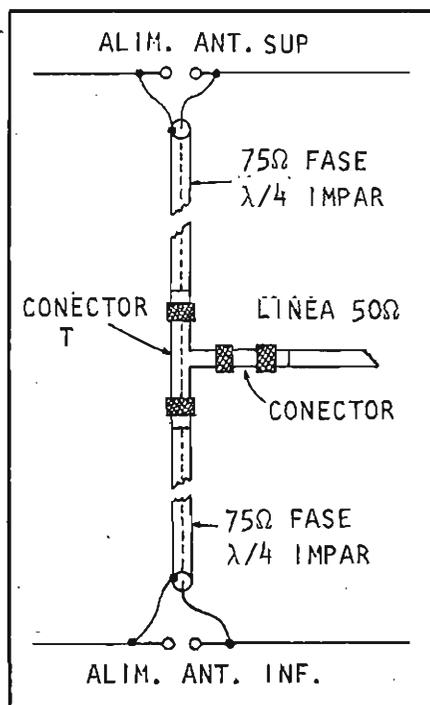
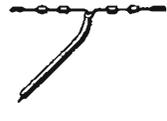
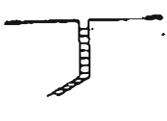
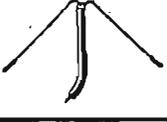
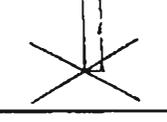
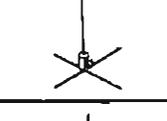


Fig. 44.- Método de acoplamiento.

A N T E N A S

ANTENA	TIPO	ONDAS	DIREC- TIVIDAD	GAMAN- CIA dB	BANDAS	Zo ohmios
	Hilo largo	Medias	Poca	Variable	Multi	?
	Dipolo aliment. coaxial	Medias Cortas	Media	0 (patrón)	Mono	75
	Dipolo con trampas	Todas	Media	0	Multi	75/50
	Dipolo aliment. línea p.	Todas	Media	0	Multi	?
	V invert.	Medias Cortas	Poca	0	Mono	50
	Yagi 3 elemen.	Cortas Muy cortas	Mucha	+ 8	Mono	75/50
	Quad 2 elemen.	Cortas Muy cortas	Mucha	+ 7	Mono	75/50
	Vertical 1/4 onda	Cortas	Ninguna	- 1,8	Mono	30/50
	Vertical 5/8 onda	Cortas Muy cortas	Ninguna	+ 1,2	Mono	50 (acop)
	Vertical con trampas	Medias Cortas	Ninguna	- 1,8	Multi	30/50

En lo que se refiere a la directividad, el efecto de un suelo mal conductor podrá disminuir la amplitud de la energía reflejada y a la vez introducir algún desfasamiento indeseable que siempre será menor en las antenas horizontales. El resultado práctico de ambos defectos combinados será la obtención de una ganancia direccional inferior a lo esperado y tal vez impedir la cancelación absoluta de la radiación en los nulos del diagrama teórico. Puede haber también un ligero desplazamiento de los ángulos de máxima y mínima radiación sobre el horizonte por causa de un deslizamiento de fase.

Por último, no puede desdeñarse el efecto de los conductores de radiofrecuencia y de los distintos dieléctricos que rodean a la antena real. Las líneas eléctricas y telefónicas, instalaciones domésticas, canalizaciones metálicas de agua, aire, etc. que transcurran por la proximidad de la antena pueden causar deformaciones del diagrama. Los dieléctricos deficientes como pueden ser las hojas de árboles y matorrales próximos a la antena pueden ser la causa de notables pérdidas de radiación y llegar incluso a señalar una marcada diferencia en el comportamiento de una misma antena en invierno y verano.

Un ejemplo gráfico del efecto práctico del conjunto de todas estas variantes, muchas veces imprevisibles y otras inevitables, queda mostrado en la Fig. 45 en la que (A) es el diagrama de directividad horizontal de una antena Yagi obtenido de la realidad (compárese con la figura 41-A) y (B) es el diagrama real de una antena vertical que teóricamente debiera ser un círculo. Es evidente que alguna "sombra" tenía la Yagi que ocasionaba los lóbulos posteriores y que deformaba el lóbulo principal por los 35 y 25 grados. Algo ocurría también con la

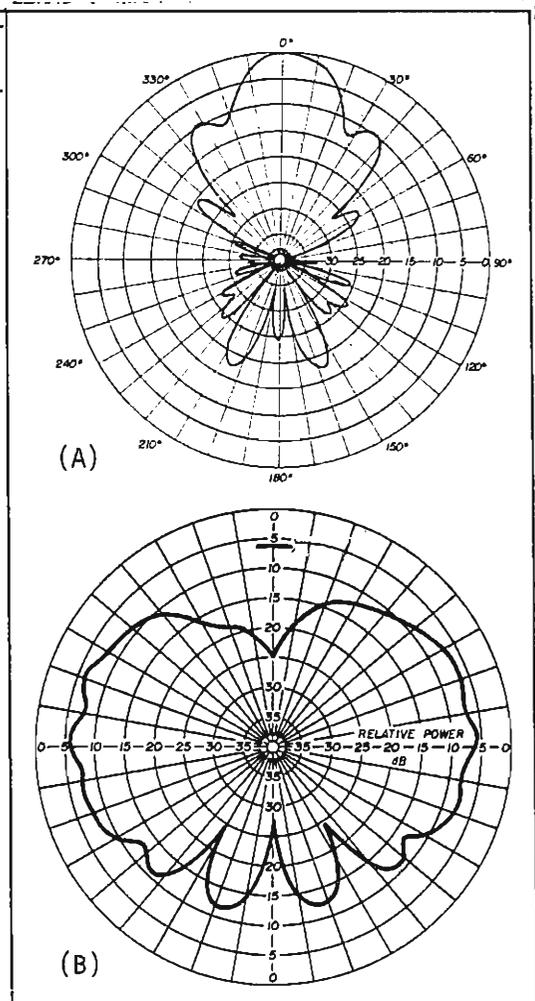


Fig. 45.- Diagramas de directividad reales.

vertical en la dirección 0-180°, probablemente algún obstáculo oculto que rerradiaba con fase opuesta a la radiación directa...

Los efectos direccionales de las antenas reales se ajustarán más a los teóricos cuanto más despejada se halle la zona que rodee a la antena, al menos en media longitud de onda a su alrededor. La influencia de cualquier rerradiación próxima disminuirá en razón del cuadrado de la distancia que separe la antena del elemento reemisor.

En cualquier caso:

1) Intentar conseguir el máximo provecho de la poca o mucha energía de que se disponga mediante el mejor sistema de antena posible (un lineal con mala antena es económica y funcionalmente mucho menos rentable que la mejora de antena que pueda aportar igual ganancia, aparte de que la recepción se verá igualmente beneficiada).

2) Procurar siempre dotar a la antena de la altura y orientación (de no ser rotativa) que mejor favorezcan los fines propuestos (!no montar una dipolo de media onda a tres metros del suelo y de puntas a Suramérica para comunicar con dicho continente!).

3) Hacer todo lo humanamente posible para dotar a la antena, cualquiera que sea su clase, del mejor suelo, de la mejor conductividad del suelo, natural o artificial, que pueda alcanzarse.

4) Elegir el tipo de antena más adecuado y conveniente a los fines y posibilidades económicas, de espacio, etc. montándola siguiendo las pautas teóricas para obtener el mayor rendimiento práctico posible de la misma.

* * * * *

4.- DE CARA AL PRINCIPIANTE... ¿QUE ANTENA ELEGIR?

=====

4.1.- Introducción

"¿Cuál es la mejor antena que puedo montar para mi estación?" es la pregunta que con mayor frecuencia se hacen los recién llegados a la radioafición. Quienes hayan seguido atentamente la lectura de este volumen hasta aquí, saben de sobra QUE NO EXISTE LA MEJOR ANTENA y que nadie puede vaticinar con seguridad absoluta qué antena trabajará mejor desde el QTH particular de cada uno. No puede existir una respuesta concreta debido a los muchos factores que entran en juego en cada lugar. Sí puede elegirse la antena que bien instalada podrá garantizar la adecuación a los fines propuestos... pero a la hora de la verdad ¡siempre puede haber sorpresas!.

4.2.- Características básicas

Cualquiera que sea la clase de antena, cuanto se lleve en altura nunca le hará daño... ¡cuanto menos hasta alcanzar la equivalente a media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de trabajo! Prácticamente esto significa que la antena para la banda de 40 metros debiera subirse hasta los 20 metros sobre el suelo que ya es una altura considerable para una primera antena. Mejor será dedicarse de principio a la banda de 20 metros cuya altura óptima de la antena alcanza sólo los 10 metros. Si se trata de un dipolo para esta última banda que sólo llega a seis o siete metros de altura, funcionará y aún podrá dar muchas satisfacciones, pero evidentemente su rendimiento no será el óptimo para el DX.

La altura no suele representar un problema para el acoplamiento antena-línea en las bandas decamétricas a menos que la longitud de la línea fuera muy considerable en todo su recorrido (más de treinta metros). El cable coaxial experimenta muchas más pérdidas que la línea paralela y son tanto mayores cuanto más elevada es la frecuencia de trabajo y cuanto peor es su calidad. Aunque cueste más dinero, siempre será aconsejable la utilización de cable coaxial del tipo RGS-U para la bajada de antena, tanto para evitar pérdidas como para tener una mayor fortaleza física del sistema (no se olvide que la línea transcurre por la intemperie).

Debe evitarse en todo lo posible la adquisición de cable coaxial

de su antena, siendo la inicial y más importante la clase de actividad preferente que persigue:

- Si piensa limitarse a las comunicaciones en VHF, la altura será primordial y dado el pequeño tamaño de las antenas para esta banda, cada metro que pueda ganar en altura será siempre una inversión rentable contando en todo momento con las debidas precauciones de seguridad física.

- Si pretende óptimas comunicaciones DX-HF, debe dar la preferencia al suelo, natural o artificial, por debajo de la antena, al menos a partir de un cierto nivel de altura situado en una media longitud de onda de la frecuencia de trabajo más baja. Una elevación superior nunca es rentable excepto en los casos en que pueda ser necesaria para tener la antena totalmente despejada.

- En cualquier caso, es esencial y debe procurarse que la antena quede lo más despejada posible.

Para el habitante de la ciudad, este último punto comprende:

a) Alejamiento de líneas eléctricas (sobre todo de alta tensión), de tendidos telefónicos o de cualquier otra clase de conducción metálica. Es muy recomendable que ya al proyectar la instalación se piense en que puede llegar un día en que la antena se caiga; considerar lo que puede ocurrir con la caída y tomar todas las precauciones para impedir que pueda hacerlo sobre una línea de canalización eléctrica o de otros servicios.

b) No disponer la antena de manera que sus conductores, aunque alejados físicamente, transcurran paralelos a otras líneas en evitación de interacciones interferentes.

c) Montar la antena siempre "por detrás" de la antena colectiva de TV o por detrás de todas las antenas de TV individuales que puedan compartir el tejado y, naturalmente, lo más alejada de ellas que permitan las circunstancias. Evitar tajantemente la presencia de la antena emisora entre las de recepción de TV y el punto de procedencia de esta señal de TV.

d) Evitar que las líneas de transmisión o de alimentación de la antena transcurran paralelas a otras líneas de bajada de antenas TV o de cualquier clase (FM, teléfono, etc). Emplear cable coaxial o línea paralela siempre que exista vivienda comunitaria o posibilidad de interferencia a otros servicios (nunca la bajada de un solo conductor).

En determinados lugares el radioaficionado suele preguntarse cuál podrá ser el efecto de montañas que rodean o limitan el horizonte a cierta distancia. Puede decirse que las colinas próximas no parecen afectar mucho a las señales de HF. En cualquier caso, su efecto obstaculizador de la propagación se dejará notar más en la banda de 10 m

de procedencia dudosa por cuanto su envejecimiento ocasiona la contaminación de su dieléctrico y las pérdidas aumentan considerablemente. Siempre es aconsejable utilizar cable de marca acreditada, de fabricación reciente y renovarlo cada cinco años, si es que la intemperie no lo ha maltratado antes.

4.3.- Sencillez y efectividad de la antena alámbrica

Con antenas sencillas de simple alambre bien calculadas, dispuestas y correctamente instaladas pueden obtenerse magníficos resultados. Cantidad de comunicaciones DX y de codiciados y difíciles diplo mas se consiguen a diario con estas antenas.

Una longitud cualquiera de hilo conductor puede servir para explorar las bandas, aun cuando represente siempre la antena de menor efectividad a no ser que tenga una altura considerable y que su longitud sobrepase el cuarto de onda de la frecuencia inferior de trabajo (de acuerdo con la fórmula $\lambda/4 = 72,5/F(\text{MHz})$).

La "antena con hilo de cualquier longitud" es la que parte de un punto de amarre próximo a la estación y se prolonga hasta una estructura o soporte adecuado a distancia conveniente. Siempre presenta una gran variación del valor de la impedancia del punto de alimentación. Si su longitud total se aproxima al cuarto de onda eléctrico (o a un múltiplo impar del mismo) la impedancia de entrada tiene un valor reducido, probablemente entre 15 y 100 ohmios, pero en otras frecuencias su longitud puede ser equivalente a media longitud de onda y entonces la impedancia del extremo de alimentación tendrá un valor que sobrepasará los 1.000 ohmios.

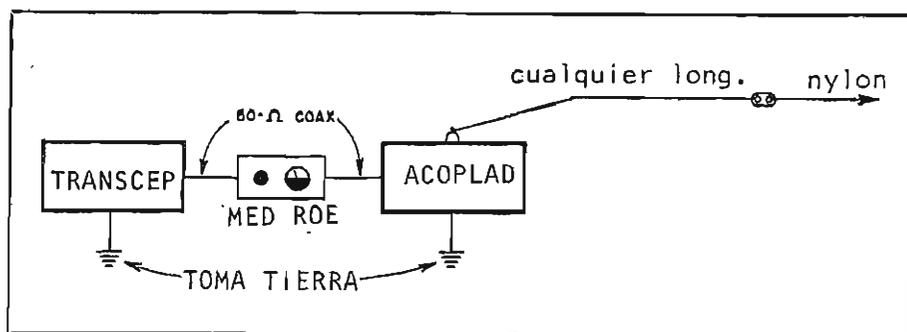


Fig. 46.- Hilo de cualquier longitud para operación multi-banda. Acoplador obligatorio.

La variabilidad de impedancia obliga al uso de un acoplador adecuado con una disposición como la mostrada en la Fig. 46 que permita

cambiar de banda y mantener una óptima transferencia de energía entre emisor o transceptor y antena, circunstancia que siempre vendrá indicada por una ROE = 1/1 en cuanto el acoplador quede correctamente ajustado.

El principal inconveniente de este tipo de antena es que la energía de radiofrecuencia puede aparecer muy fácilmente en todo el equipo de la estación y, lo que es peor, en casa del vecino impidiéndole ver la televisión. Es fácil que el micrófono, el manipulador o el propio panel del transceptor "piquen" o "den calambre" o que incluso se produzca en el emisor todo un desbarajuste de frecuencias y oscilaciones parásitas.

Si se puede obtener una buena toma de tierra próxima, inmediata a la estación, a través de una longitud de malla gruesa o incluso cable coaxial viejo, podrán evitarse los efectos antes citados. Pero si la ubicación de la estación no está precisamente en una casa de campo, sino en un piso segundo o de altura superior de un inmueble urbano, será mejor olvidarse del "hilo largo" como antena y optar por otro tipo de radiador con alimentación a baja impedancia, como el dipolo de media onda.

Antena dipolo

La antena más generalizada en el inicio de la radioafición es la DIPOLO DE MEDIA ONDA que se alimenta en su centro por medio de una línea de baja impedancia, sea de cable coaxial, de anfenol (bajada de televisión) o de línea paralela con dieléctrico de aire. La antena dipolo puede disponerse horizontalmente, inclinada ("sloping" como dicen los sajones) o como "V invertida". La Fig. 47 muestra estas tres configuraciones.

La longitud de la antena dipolo de media onda se determina por la fórmula $L_m = 143/f(\text{MHz})$, o sea que un dipolo para 3,7 MHz tendría 38,6 metros de longitud inicial, de extremo a extremo, lo que parece excesivo. Sin embargo para 14,1 MHz la longitud sería de 10,14 metros, y para 7,05 MHz la longitud sería de 20,28 metros, largos evidentemente mucho más alcanzables en un tejado. Siempre es necesario un pequeño ajuste final de estas longitudes para la obtención de una ROE lo más próxima posible a 1/1. Suele insertarse el correspondiente medidor de ROE entre emisor y línea y se recortan o alargan ligeramente los extremos de la antena, en igual longitud por cada extremo, hasta obtener la mínima lectura de ROE que en un dipolo alimentado con línea coaxial deberá ser siempre inferior a 2/1.

Toda antena tiene una banda de paso o "ancho de banda operacional" y naturalmente el dipolo no es una excepción. Cuanto más baja es la frecuencia de trabajo para la que se ha cortado la antena, menor es

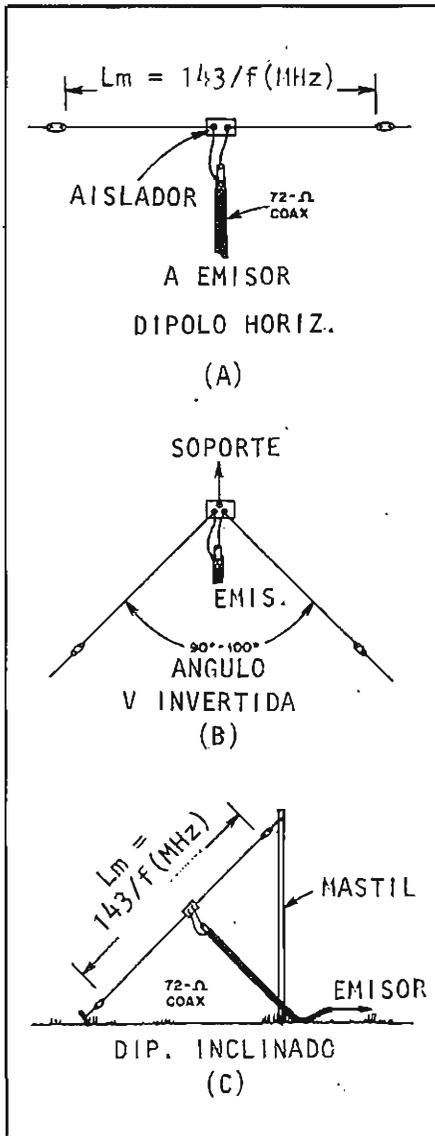


Fig. 47.- Antenas dipolo sencillas y eficaces.

la banda de paso de la misma impuesta por los márgenes de un determinado valor de la ROE y de aquí que la antena deba ajustarse inicialmente para la frecuencia central del segmento de banda mayormente utilizado (banda lateral o Morse, por ejemplo).

En las bandas de 80 y 40 metros, la banda de paso resulta siempre muy reducida; en la figura 48 puede verse como para una ROE = 2/1 la banda de paso no va más allá de 100 kHz en un dipolo de 80 metros. A veces incluso es inferior a los 100 kHz. No llega a cubrir toda la banda autorizada.

El uso de un "acoplador de antena" o "transmatch" para corregir el valor de la impedancia en el extremo de la línea coaxial unida al transmisor permite ampliar el ancho de banda y proteger, al mismo tiempo, la integridad del paso final del transmisor, si se le maneja y ajusta con cuidado. El acoplador situado en la estación no puede en ningún caso corregir la diferencia de impedancias que pueda existir entre el otro extremo de la línea y el punto de unión a la antena; sólo corrige el acoplamiento entre salida de emisor y entrada de línea. Sin embargo, si procura las mejores condiciones de trabajo para el paso final del emisor a lo largo de toda la banda en uso, absorbiendo del mismo su potencia máxima lo que no deja de ser una compensación gananciosa respecto a la pérdida que pueda haber en el otro extremo de la línea por inadaptación de impedancias.

4.4.- Funcionamiento multibanda

En la Fig. 49 puede verse una antena multibanda en V invertida. Podría tratarse igualmente de un dipolo horizontal si el propietario

o montador del sistema lo hubiera preferido así. La característica principal del sistema es la utilización de línea paralela, con dieléctrico de aire o de plástico (anfenol de bajada de antena de TV). La línea paralela ofrece muchas menos pérdidas que el cable coaxial y si lleva dieléctrico de aire es mucho menos sensible a las variaciones provocadas por la meteorología (humedad, lluvia y demás).

→ La longitud total del dipolo se obtiene inicialmente a partir de la fórmula $L_m = 143/F(\text{MHz})$ para la frecuencia media de la banda inferior a que deba trabajar la antena proyectada. Si las dimensiones son apropiadas para la banda de 80 metros, será posible trabajar todas las bandas desde 80 a 10 metros con la utilización de un buen "balun" (transformador simétrico-asimétrico) de relación 4/1 seguido de un acoplador o "transmatch" en la disposición mostrada en la Fig. 49. El balun mostrado en (A) puede eliminarse si se utiliza un acoplador con salida simétrica como el mostrado en (B); salida que se distingue por llevar dos bornes en lugar de un conector coaxial.

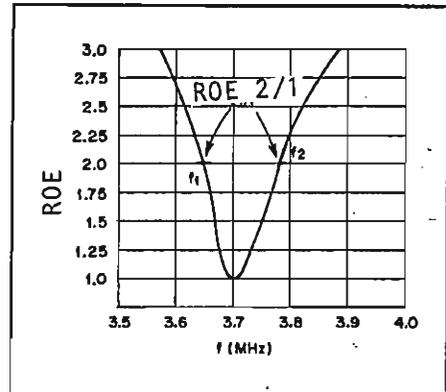


Fig. 48.- Banda de paso de una antena para 80 m.

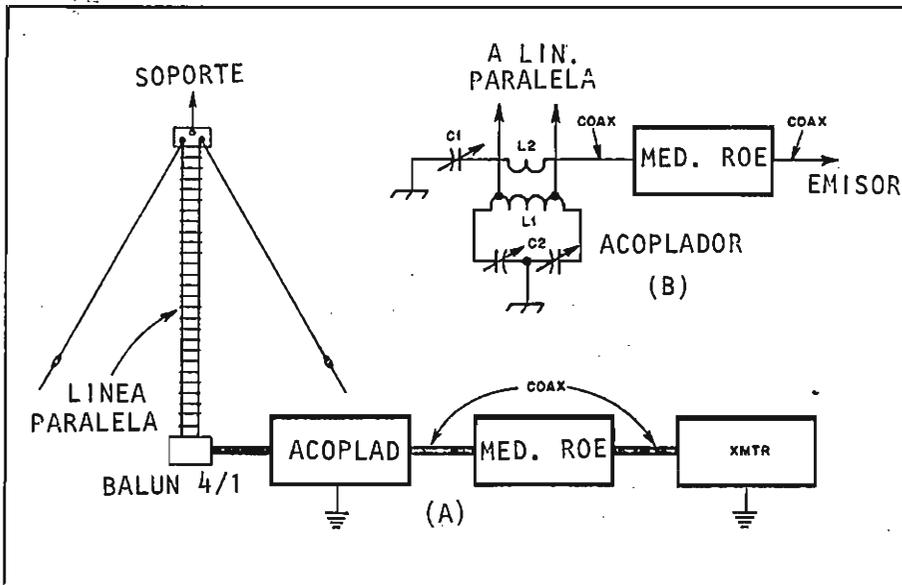


Fig. 49.- Antena multibanda en V invertida y sistema.

Cuando esta antena se utiliza en montaje dipolo, la figura en ocho de su diagrama direccional se convierte en una margarita de pétalos que aumentan en número a medida que se trabaja en las bandas superiores y que presentan ganancias en determinadas direcciones y nulos en otras pudiendo darse el caso de zonas con las que se comunica normalmente en 40 metros y que resultan imposibles de alcanzar en 20, 15 o 10 metros. Esto ha hecho que entre los principiantes sea mucho más popular la V invertida multibanda que la dipolo horizontal multibanda, ya que la primera no presenta los problemas direccionales de la segunda. Una vez cortada e izada, la antena multibanda no precisa de ajuste final puesto que el "transmatch" compensa cualquier valor de ROE que pudiera ver la salida del transmisor como anormal.

→ 4.5.- El alambre para antena

Parece ser que la incógnita de si se puede utilizar alambre aislado como antena es una de las que más preocupa al recién llegado. Tanto el alambre de cobre aislado como el desnudo trabajan igualmente bien como antena de HF. La cubiera aislante no perjudica en nada la radiación de la antena; más bien significa una protección deseable contra las oxidaciones debidas a la contaminación y a las inclemencias del tiempo.

El alambre de cobre estirado en frío (Copperweld) es el más robusto e indeformable con el tiempo, a igualdad de diámetros. Los conductores de 1,5 a 2 mm de diámetro de simple instalación eléctrica doméstica, cubierto de plástico aislante, dan excelentes resultados como antena. El cablecillo de cobre trabaja igual que el conductor macizo del mismo material como antena. La fortaleza física que asegura que la antena se mantendrá en el aire sin romperse una vez que haya sido izada suele merecer mayor atención que la cuestión puramente eléctrica del cable.

La línea de bajada paralela puede construirse fácilmente puesto que el espaciado entre los dos cables paralelo y su propio calibre (impedancia característica) no tienen aquí, en las multibandas, importancia alguna. A modo de compromiso puede utilizarse alambre de 1,3 mm de diámetro (desnudo o aislado) para los conductores paralelos, con un espaciado de 5 a 10 cm. Los separadores pueden realizarse con mitades de pinzas de plástico de las usadas comúnmente para tender la ropa, rulos de plástico del peinado femenino y también con madera dura de unos 6 mm de diámetro una vez que se haya hervido en un baño de parafina con el fin de impermeabilizarla. Actualmente en los departamentos de "bricolage" de los grandes almacenes se encuentra fácilmente varilla estriada de madera dura para espigas, y aun espigas ya cortadas y acabadas, que bastará perforar transversalmente

con broca fina de diámetro adecuado al alambre y pasar por la impregnación de parafina hirviente.

4.6.- Antenas dipolo con trampas

¿No se pueden utilizar dipolos con trampas? ¡A buen seguro que sí si no importa gastarse algún dinero en la compra de un producto comercial! El diseño casero de una antena dipolo con trampas es difícil y complicada su sintonía; siendo un principiante es harto difícil, por lo que es mejor considerar la adquisición de una antena comercial de esta clase, que tampoco tienen un precio capaz de arruinar a nadie.

El dipolo con trampas permite trabajar en multibanda sin necesidad del acoplador o "transmatch", es más corta para cada banda y se alimenta por cable coaxial que puede conectarse directamente al transceptor o transmisor. Incluso puede disponerse en cualquiera de las configuraciones mostradas en la anterior Fig. 47. Evidentemente estas comodidades se pagan con cierta pérdida de rendimiento y con una banda de paso más estrecha que con una antena sin trampas. ¡Pero también es cierto que en los comunicados comunes resultaría difícil distinguir entre el uso de una dipolo con trampas o sin ellas!

4.7.- Dipolos con ganancia

Si existe espacio suficiente, la prolongación de las ramas (longitud) de la antena dipolo puede proporcionar una ganancia direccional considerable, de hasta 3 dBs equivalente a DOBLAR la potencia del transmisor con una dipolo de media onda sencilla.

4.7.1.- Antena Levy (o dos veces $0,65 \lambda$)

Es una antena dipolo que se aproxima a la característica de las antenas colineales. Si se alarga cada rama de la dipolo alimentada con línea paralela de forma que su longitud (A-B y C-D de la Fig.51) sea equivalente a media longitud de onda, la radiación se produce por medio de dos medias ondas en fase de lo que resulta una ganancia de 1,8 dBs equivalente a un aumento del 50% de la potencia de salida del emisor. Esto sólo ocurre si la alimentación tiene lugar por línea paralela puesto que si se utiliza línea coaxial, las dos medias ondas aparecen "en contrafase" y disminuye la ganancia.

Si se aumenta la separación E entre las ramas del dipolo de dos medias ondas en fase, la ganancia se ve afectada en la forma que viene a mostrar la curva de la Fig. 50 debida al ilustre colega F3LG. Puede observarse que con una separación $E = 0,3 \lambda$ se alcanza una ganancia de 3 dBs equivalente a DOBLAR LA POTENCIA DEL EMISOR. Teniendo en cuenta las correcciones habituales por el efecto de las puntas de la antena, puede calcularse una longitud de antena en cada rama de $0,64 \lambda$ o una longitud total de 1,28 longitudes de onda más el an-

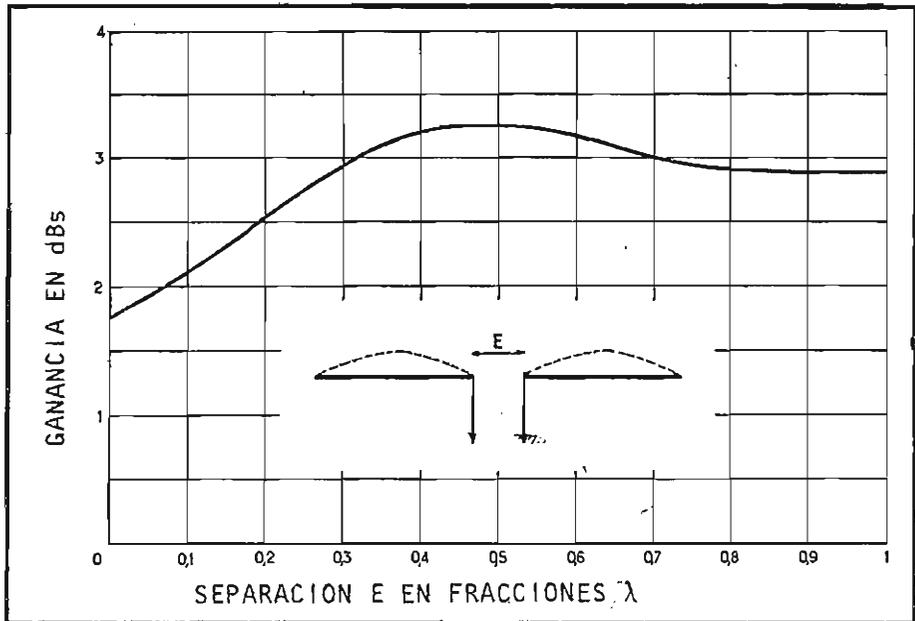


Fig. 50.- Curva de Gilbert (F3LG) relacionando ganancia y separación E de dos medias ondas en fase.

cho de la línea paralela de alimentación).

La Fig. 51 muestra la antena Levy real. Una vez efectuado el cálculo de la parte radiante para una determinada banda, esta antena conserva todas las propiedades del dipolo multibanda. En las bandas más

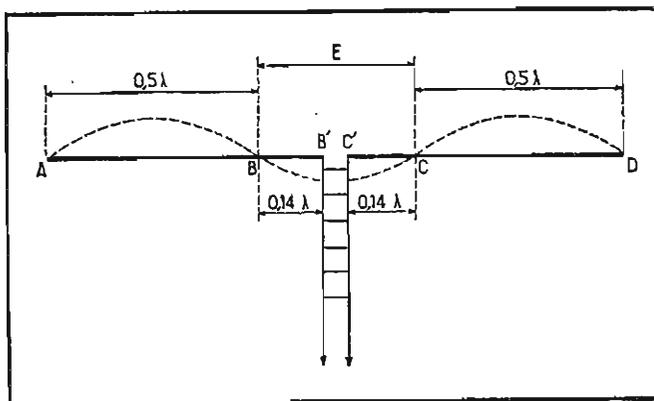


Fig. 51.- Antena Levy con ganancia.

altas se obtiene a menudo la ganancia de 3 dBs aun sin proponérselo debido a una separación E superior a $0,3 \lambda$ entre las dos medias ondas en fase.

Sólo el espacio disponible podrá determinar la posibilidad de elegir una Levy con su correspondiente ganancia de 3 dBs o un dipolo normal de media onda con el sacrificio de esta ganancia extra. No existe inconveniente en montar

la Levy como V invertida siempre que se mantenga un ángulo mínimo de 90° entre las dos ramas y, eso sí, la bajada sea lo más perpendicular al suelo que permitan las circunstancias.

→ 4.7.2.- Antena G5RV

La antena G5RV es una dipolo multibanda derivada de la Levy que mediante las longitudes apropiadas de antena radiante y de línea paralela de alimentación, se consigue en el extremo de esta última unos valores medios de impedancia en todas las bandas aptos para la unión directa a un cable coaxial de 50 o 75 ohmios con una ROE tolerable. Su configuración es la mostrada en la Fig. 52-A.

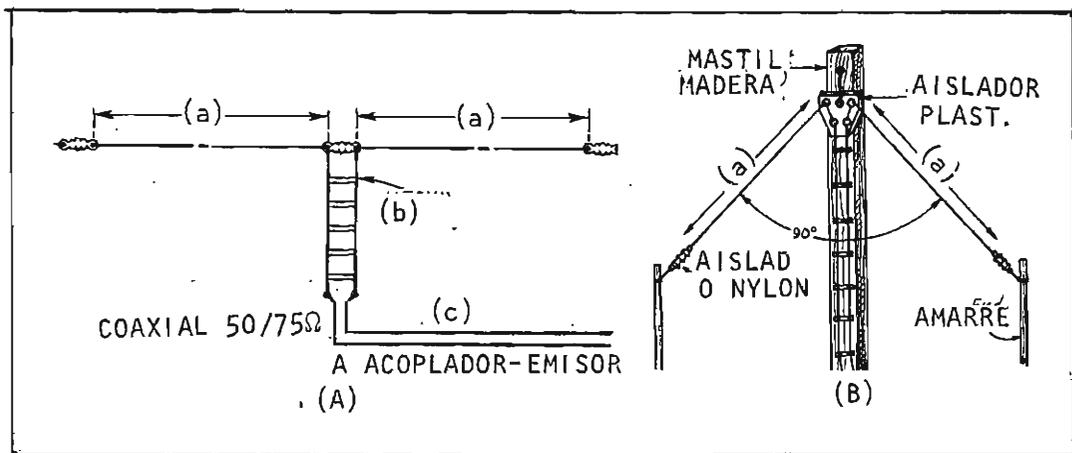


Fig. 52.- Antena G5RV (A) y versión de la misma en V invertida.

Existen dos versiones de la G5RV conocidas como "larga" y "corta" según que el espacio disponible permita adecuarla para la banda de 80 metros o sólo para la banda de 40 metros y todas las superiores en ambos casos. La versión corta puede trabajar también los 80 metros con el auxilio de un buen acoplador, pero siempre con un rendimiento muy disminuído en comparación con la versión larga.

Las respectivas dimensiones iniciales deben ser:

	(a)	(b) línea aire	(b) línea anfenol
VERSION LARGA	15,54 m	11 m iniciales	9,5 m iniciales
VERSION CORTA	7,77 m	5,5 m iniciales	4,75 m iniciales

El secreto del buen funcionamiento de la G5RV está en el delicado y engorroso ajuste de la longitud del tramo de línea de alimentación paralela. Sin acoplador pero con el medidor de estacionarias intercalado a la salida del emisor, debe partirse de la longitud inicial de (b) para mediante los oportunos recortes de línea paralela, obtener la

mínima lectura de ROE en cada una de las frecuencias centrales de todas las bandas de trabajo (80/40, 20, 15 y 10 m). El ajuste perfecto de esta antena debe proporcionar una ROE inferior a 2/1 en todas las bandas y ésto sólo es posible si la longitud de línea paralela es la rigurosamente precisa en las condiciones locales de cada lugar. En este caso la antena podrá trabajar sin necesidad de acoplador junto al emisor, si bien éste será siempre aconsejable para las antenas multibanda y para contribuir a vencer cualquier dificultad de ajuste.

→ Afortunadamente el ajuste crítico de la línea de conductores paralelos se efectúa en la parte inferior del mástil y en último caso, el ajuste de la longitud del coaxial unido a emisor podrá contribuir a una buena transferencia de energía, no siendo necesario este último ajuste en el caso de utilizar el acoplador.

→ Como todos los dipolos, la G5RV puede montarse en versión V invertida, como está mostrado en la Fig. 52-B siendo recomendable que el mástil sea de madera con el fin de no producir desequilibrios en el tramo de línea paralela, sin que ello quiera significar prohibición de utilizar un mástil metálico con separadores de la bajada de línea abierta si así conviene físicamente.

4.8.- La antena Yagi

La antena orientable, con ganancia y directividad, siempre es superior en comportamiento a la antena fija aunque sólo sea por la posibilidad de rechazar las interferencias procedentes de los lados y de la parte posterior de la propia antena.

La antena más popular que reúne estas condiciones es sin duda la Yagi, llada así en honor de su inventor japonés. Su configuración más sencilla se compone de un elemento excitado (radiador) con una longitud de media onda y un elemento suplementario llamado reflector, algo más largo, o director, algo más corto).

Una de las versiones más sencillas es la mostrada en la Fig. 53. Es muy fácil de construir y trabaja bien el DX en las bandas de 20, 15 y 10 metros, según las dimensiones para la banda que haya sido diseñada, siempre que se halle montada en situación despejada y a una altura de al menos media longitud de onda sobre el suelo. La ganancia teórica con el espaciado "S" entre elementos que se indica en la propia Fig. 53 es de aproximadamente 5,4 dBs, equivalente al aumento de potencia del transmisor de 100 W a 350 W o de 10 W a 35 W en la dirección del frente o de mayor radiación de la antena.

Las distintas características indicadas marginalmente en la Fig. 53 son dependientes de los elementos que constituyen la antena, de la separación S entre ellos y de la altura de la propia antena sobre el sue

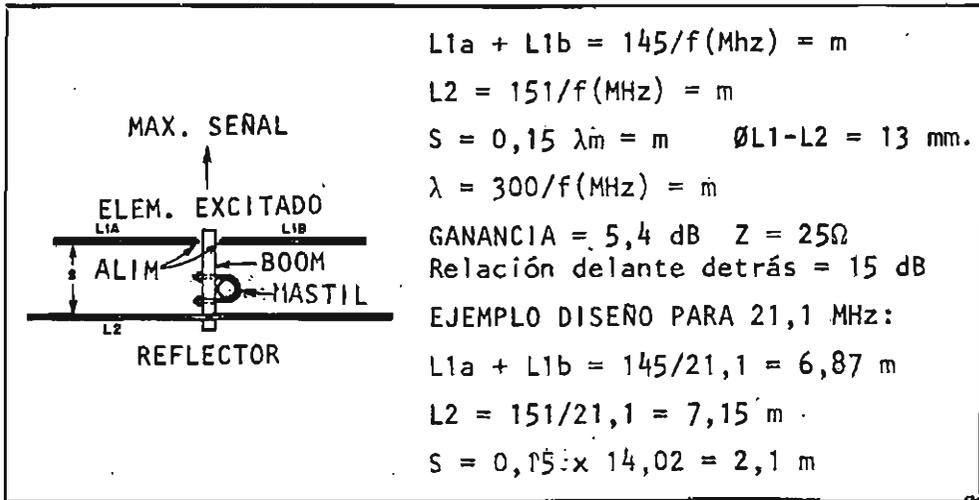


Fig. 53.- Diseño básico para una Yagi de dos elementos.

lo. Como características medias se parte del supuesto de que los diámetros de los elementos excitado y reflector (tubo de aluminio) se hallan entre 13 y 19 mm. Sin embargo puede utilizarse simple alambre si se le soporta adecuadamente alargando los listones de madera a toda su extensión. Cuanto mayor sea el diámetro de los conductores, más amplia será la banda de paso de la antena.

Con las dimensiones especificadas en la Fig. 53 la impedancia del punto de alimentación alcanza un valor de aproximadamente 25 ohmios. Para el acoplamiento a la línea coaxial de 75 ohmios se precisa una transformación de relación 1/3 que se puede obtener fácilmente insertando una longitud igual a un cuarto de onda eléctrico de la frecuencia de trabajo de cable coaxial de 50 ohmios (no olvidar el factor de velocidad) entre el punto de alimentación de la antena y la línea de bajada con coaxial de 75 ohmios. Esto es lo que está indicado en la Fig. 54.

Tal vez la versión mostrada en la Fig. 55 sea la de mayor facilidad constructiva. Los listones de madera no precisan tener la misma longitud que los elementos de tubo de aluminio; basta con que tengan una lon-

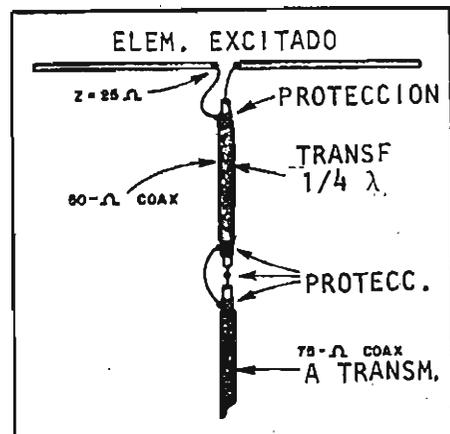


Fig. 54.- Acoplamiento por línea cuarto de onda.

que en la de 15 metros y más en ésta que en la de 20 metros. Su efecto será prácticamente nulo en 40 y 80 metros. Sin embargo puede producirse un bloqueo total para la señal de VHF y de frecuencias superiores o significar un "refuerzo" en determinadas direcciones y en detrimento de otras (según la fase que pueda procurar una reflexión que dependerá a su vez de la naturaleza del obstáculo, la frecuencia de trabajo y la distancia antena-obstáculo). Los riscos escarpados, las rocas y los macizos suelen ser excelentes reflectantes de las frecuencias superiores, mientras que los bosques, tierras húmedas y esponjosas de labranza y terrenos de labranza son absorbentes)

1.2.- El concepto de altura

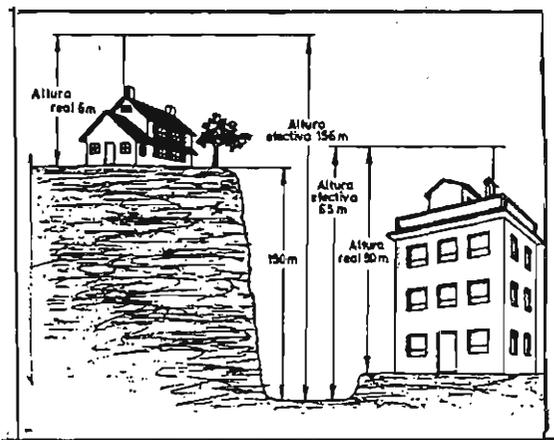


Fig. 1.- Concepto de altura.

El concepto de altura de una antena tiene dificultades en su interpretación. Inicialmente y de acuerdo con la Fig. 1, deben distinguirse dos clases de altura: la real o distancia de la antena al suelo que la rodea y la efectiva o altura de la misma sobre el nivel del mar. La primera forma parte de la segunda, pero una altura real de 20 metros en un valle significará menos altura efectiva que una altura real de 5 metros en la cima de una montaña o de una colina o meseta de mucha altitud, en las bandas de frecuencia más alta.

Pero todavía surgen otros problemas. El edificio de pisos de la derecha de la Fig. 1 puede sustentarse sobre un armazón de vigas de hierro o de cemento armado con conducción y extensión suficientes para obrar como tierra reflectante, con lo que la altura real de la antena sobre el suelo reflectante será exclusivamente la de su mástil, a partir del terrado. Puede que las vigas del armazón del edificio sean de madera o aún siendo de hierro, no presenten buena conducción de radiofrecuencia obrando entonces el edificio como un mástil suplementario y la altura real de la antena comprenderá toda la altura del edificio más la de su mástil.

Resulta difícil en muchas ocasiones el poder averiguar cuál es la altura real de la antena si no está montada directamente sobre el suelo-tierra o si no se dispone de una "tierra artificial" (radiales) justo debajo de su mástil de sustentación.

Todavía existe una variante que viene a complicar más las cosas cuando no existe tierra artificial. Y es que el "suelo" de radiofre-

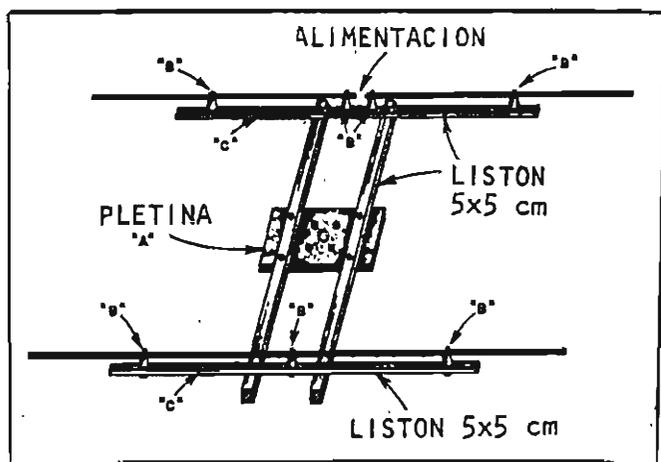


Fig. 55.- Croquis para la construcción de la antena Yagi.

siempre que se prolonguen los listones de madera "C" hasta alcanzar la misma longitud que los conductores. El peso de la antena aumentará entonces y puede resultar excesivo para las bandas de 20 y 15 m pero en 10 m resultará una técnica aceptable.

gitud igual a un tercio de la de los elementos - conductores y se traten con un barniz protector de la intemperie. Como "B" están mostrados aisladores cerámicos cónicos pero que muy bien puede ser pequeños prismas o cubos de metracrilato, poliestireno, etc. La pletina debe permitir la sujeción del conjunto al mástil sujestamente de tubo de 25 mm de diámetro.

Pueden utilizarse alambres conductores, aislados o no, como elementos

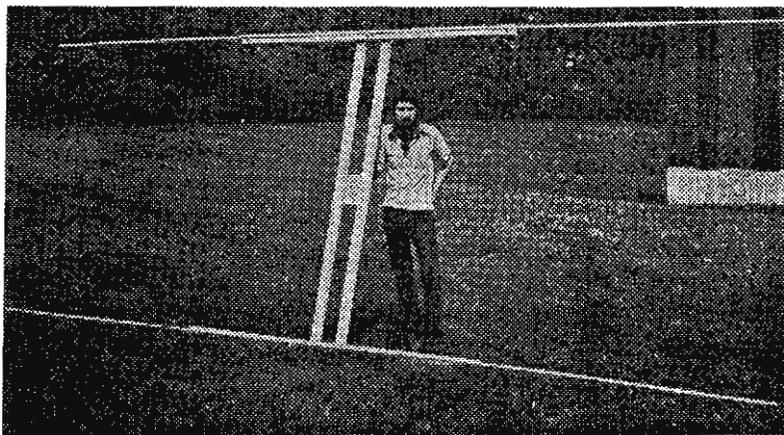


Fig. 56.- Realización práctica para 15 metros.

Finalmente, el contenido de la Fig. 56 no precisa de comentario alguno y cierra convenientemente esta descripción.

Nota - Si se requiere información con mayor detalle de esta última antena, consúltese "PORTAVEU" nr. 43 de Noviembre de 1981, pag. 51.

4.9.- La antena vertical 1/4 de onda

La antena vertical de 1/4 de onda es físicamente idónea cuando no se dispone de espacio y no obstante se pretenden los comunicados DX. Recuérdese que sus características intrínsecas son una emisión y recepción omnidireccional, un ángulo de radiación muy bajo y una impedancia que ronda el valor de 30 ohmios sobre un suelo buen conductor. Su principal inconveniente es la gran susceptibilidad a los ruidos industriales interferentes.

La facilidad de un lugar despejado por completo raramente está al alcance del radioaficionado, lo mismo que la disposición de un lugar que no se halle contaminado por la radiofrecuencia procedente de motores, ascensores, máquinas, luces neón, etc. No queda más remedio, si no se quiere que las señales de transmisión queden ahogadas por los obstáculos y las de recepción inaudibles por los ruidos, que elevar la antena lo más posible.

Para que la propia antena vertical trabaje en las mejores condiciones y con su característico ángulo de radiación vertical, se procura "subir" el plano de tierra para que quede justo debajo de ella por alto que sea su emplazamiento. La situación óptima fuera poderla montar sobre un techo o una azotea que fuera metálica y unida a tierra o, en su defecto, sobre el mayor número de conductores y precisamente en el centro de una estrella formada por el cruce de los diámetros de los mismos, de forma que quedara asentada sobre un suelo metálico artificial bien unido eléctricamente a tierra.

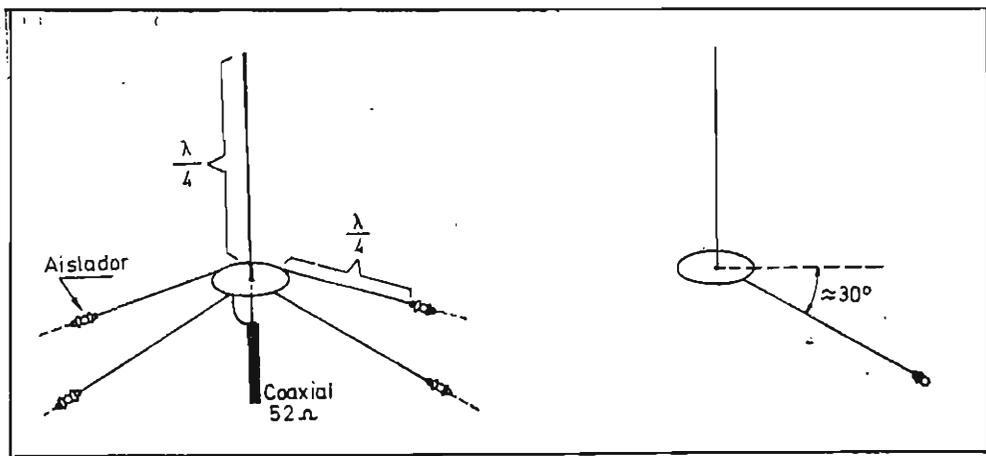


Fig. 57.- Antena "ground-plane" típica.

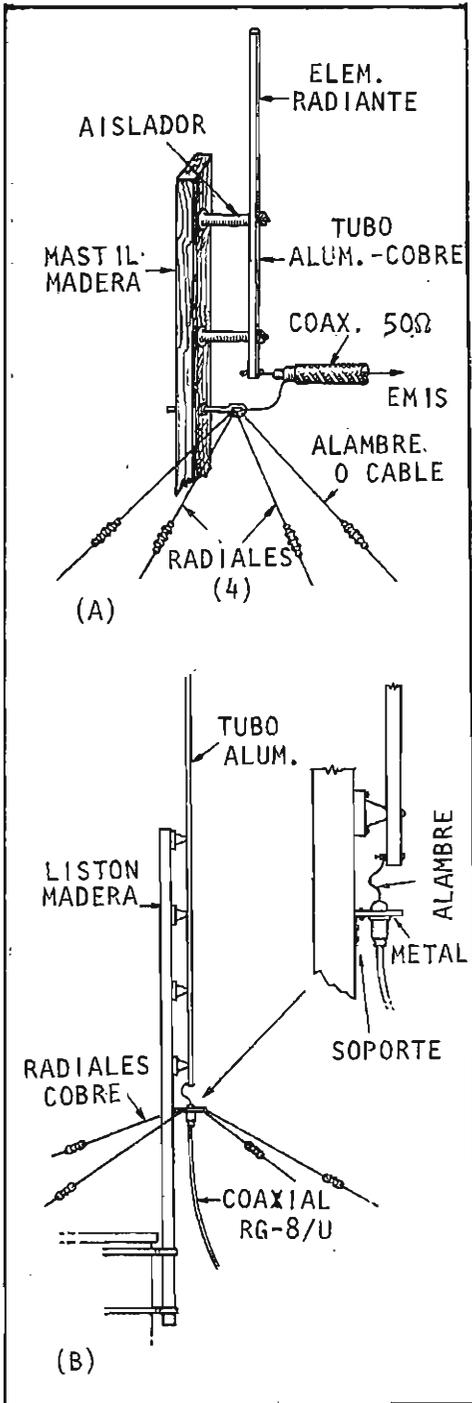


Fig. 58.- Realizaciones prácticas.

Cuando no se tienen facilidades para asegurar una buena tierra, siempre es mejor recurrir a la instalación "ground-plane" en la que se suple la tierra por un sistema artificial consistente en dos, tres o cuatro radiales resonantes haciendo de tierra, es decir, de longitud igual a un cuarto de onda de la frecuencia central de trabajo.

Estos radiales deben quedar rigurosamente aislados por un extremo y unidos por el otro a la malla del cable coaxial de la línea de alimentación, como está mostrado en la Fig. 57. La inclinación hacia abajo que se da a los radiales facilita la obtención de una impedancia correcta para la unión del coaxial de 52 ohmios, valor que por lo general se obtiene con una inclinación de 30° y que en más o en menos depende del lugar de la instalación.

La modificación de la inclinación de los radiales hace variar la capacidad de los mismos y puede alterar ligeramente la resonancia del sistema debiendo acortarse o alargarse en no más de unos centímetros para volver a la resonancia, en una especie de tira y afloja con el propósito de aunar resonancia e impedancia (en la práctica se cortan los radiales con longitud excesiva, replegando sus extremos sobre sí mismos al objeto de poder alargarlos fácilmente en el momento del ajuste final).

4.9.1.- Antena "ground-plane" monobanda.

La Fig. 58 muestra los montajes más usuales. El elemento radiador suele ser un tubo de aluminio aunque igualmente podría tratarse de un hilo

conductor sujeto con grapas a un listón de madera. Para la banda de veinte metros, excelente para el DX y la más confiable en cuanto a propagación, el elemento radiante suele tener una longitud de cinco metros. El extremo inferior de este tubo radiante queda físicamente unido y eléctricamente aislado al y del extremo del mástil de sustentación que puede ser de madera o bien de hierro siempre que se intercalen separadores que proporcionen suficiente aislamiento entre mástil y radiante. El extremo inferior del tubo radiante queda unido al conductor central de la línea coaxial de 50 ohmios, procurando la existencia de un amarre fijo (tornillo, escuadra, etc.) del que parten los cuatro radiales a 90° entre sí y cuya longitud es ligeramente superior a la del tubo radiante.

Estos radiales, en número de cuatro como condición óptima, suelen servir a veces como vientos de sujeción del mástil si su calibre es suficiente; en otras ocasiones quedan unidos longitudinalmente a cuerdas de nylon que son los verdaderos vientos.

El ajuste de la resonancia se realiza recortando antena y radiales y el de la impedancia del punto de conexión dando mayor o menor inclinación a los cuatro radiales.

4.9.2.- "Ground-plane" tribanda

La antena "ground-plane" mostrada en la Fig. 59 permite obtener excelentes resultados en las bandas de 20, 15 y 10 m con un coste adicional mínimo. Utiliza tres elementos radiantes separados, cada uno resonante a una banda y que quedan eléctricamente unidos por la base, de manera que según es la frecuencia de trabajo, sólo uno de ellos es resonante y presenta 52 ohmios de impedancia en el punto de unión común con la línea al tiempo que los otros dos presentan una impedancia mucho más elevada que impide el que la corriente circule por ellos.

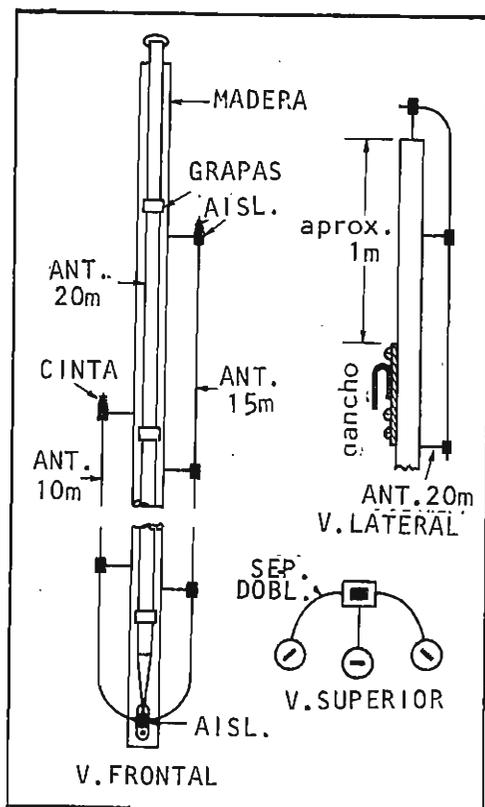


Fig. 59.- Ground-plane tribanda

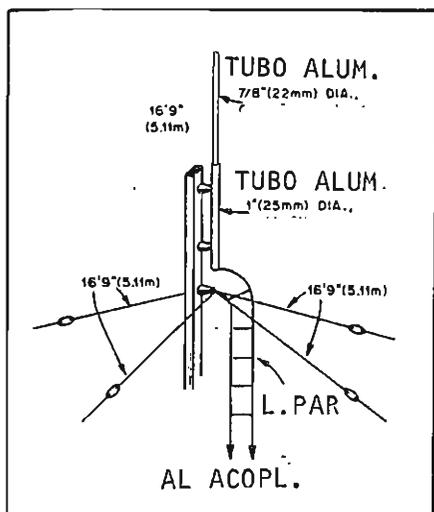
En el ejemplo mostrado se utilizaron longitudes de anfenol con los extremos unidos como elementos radiantes, si bien puede utilizarse un solo conductor mas bien grueso. Los conductores radiantes se sujetan al mástil mediante aisladores separadores (de bajada de línea de TV). Otra modalidad puede consistir en utilizar un tubo de aluminio autosoportado como radiante de 20 m y cable de cobre para los otros dos radiantes, convenientemente separados y aislados por esos mismos aisladores de bajada de televisión.

Si se emplea mástil de madera, se procura que sea algo más corto que el radiante de 20 metros al objeto de soportar a este último de la forma indicada en la vista lateral de la propia Fig. 59.

Los cuatro radiales suelen hacerse con un cable de tres conductores aislados entre sí, cortando un conductor por cada banda a la longitud del cuarto de onda. Todos ellos y la malla se unen por debajo de la antena mientras que los extremos de los cables quedan aislados.

En la vista lateral de la Fig. 59 puede apreciarse la presencia de un gancho unido al mástil. Tiene la misión de facilitar el que la antena pueda colgarse de una rama de árbol.

4.9.3.- Antena "ground-plane" multibanda



El sistema de alimentación por línea paralela y acoplador con objeto de obtener un funcionamiento aceptable en todas las bandas, incluidas las de 40 y 80 m aunque con rendimiento reducido, puede aplicarse también a la antena "ground-plane", procedimiento que ilustra la Fig.60. Aquí interesa que el alambre radiante vertical sea lo más largo posible, pero como esto tiene sus limitaciones en la mayoría de los casos, lo más generalizado suele ser sintonizar este elemento (tubo de aluminio) para la banda de 20 m (con lo que tendrá unos cinco metros de altura). Los radiales deben tener una longitud aproximadamente igual a la del elemento radiante.

Fig. 60.- "Ground-plane" multibanda.

En el caso de que alguna de las bandas se mostrara difícil de acoplar puede recurrirse a alargar la parte de línea paralela, cuya terminación será ineludiblemente el acoplador en

una disposición típica como la mostrada en la Fig. 61.

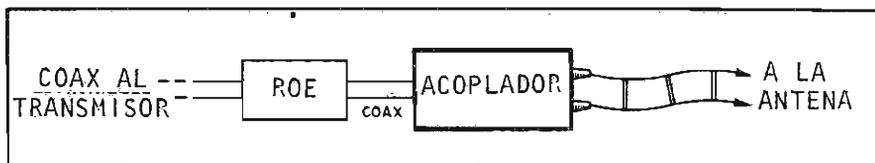


Fig. 61.- Acoplamiento de la línea paralela al emisor

S. Gillespies, K4TP, a quien se debe este diseño, reportó haber obtenido excelentes resultados con esta antena, dentro de lo que cabe esperar de ella, por un coste que en USA fue inferior a los cinco dólares y con un montaje que se llevó muy poco tiempo. Resalta el hecho de que las pérdidas de la línea abierta de esta antena, con una ROE igual o superior a 25/1 en la banda de 10 metros, son inferiores a si se emplea cable coaxial RG-58U con una ROE = 1/1... ¡Las ventajas de la línea paralela de alimentación con dieléctrico de aire!.

F I N

EXPOCOM, S.A.

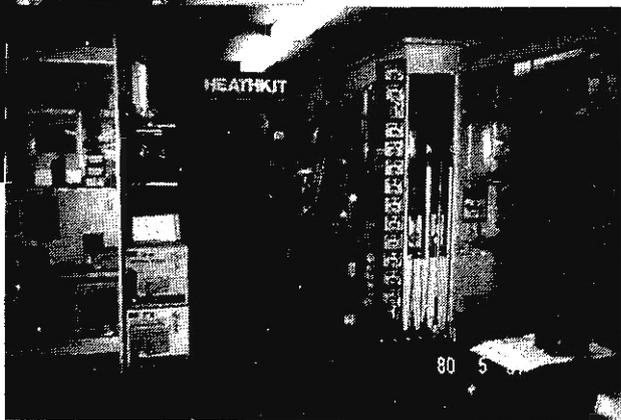
LE OFRECE :

LA MAS AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS PARA EL
RADIOAFICIONADO.



ANTENAS
HF - VHF - UHF.
TRANSCPTORES
HF - VHF - UHF
EMISORES TVA

COMUNICACIONES
COMERCIALES.
REPETIDORES
VHF - UHF.
ORDENADORES



*A SU SERVICIO
EL CENTRO DE ORDENADORES PARA RADIOAFICIONADO
Y GESTION DE EMPRESA*

LA CASA QUE TRABAJA EN EQUIPO
CON EL RADIOAFICIONADO

EXPOCOM, S.A.

VILLARROEL, 68, TIENDA - TELEFONO 254 88 13 - BARCELONA-11
TOLEDO, 83, TIENDA - TELEFONO 265 40 69 - MADRID - 5

DSE S.A.

DISTRIBUIDORA DE SISTEMAS ELECTRONICOS, S. A.

Urge!, 118
BARCELONA - 11

COMERCIALIZA EN ESPAÑA A TRAVES DE DISTRIBUIDORES
ESPECIALIZADOS, LA MAS AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS EN
COMUNICACIONES Y ORDENADORES

COMUNICACIONES

TONO

FDK

PRESIDENT

KDK

HOXIN
FINEST ANTENNA
FOR BEST COMMUNICATION

ROBOT

CDE

LUNAR
electronics

SOMMERKAMP

TX RX
SYSTEMS
INC.

HUSTLER

INTEK

HAM-KEY

Dentron
Radio Co. Inc

INLINE

Cushcraft
CORPORATION

AOR

RADITEL

ORDENADORES

INTERTEC: EL ORDENADOR DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EM-
PRESA, (SUPERBRAIN, COMPUSTAR Y DISCOS).

NEC : EL ORDENADOR JAPONES PARA TODO USO QUE ES-
PERABA EL MERCADO.

TONO : IMPRESORAS.

VENTA SOLO A DISTRIBUIDORES Y DEMAS