



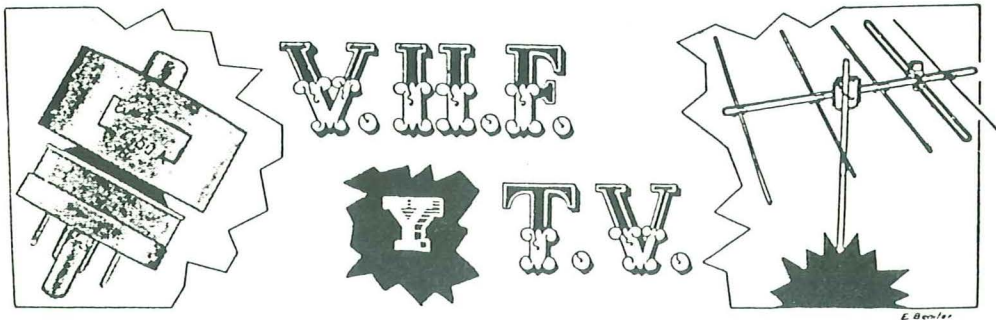
SELECCION TEMATICA DE TODO LO
PUBLICADO EN LA REVISTA URE.

2ª PARTE

7

ANTENAS DE VHF Y UHF

Madrid, 1984

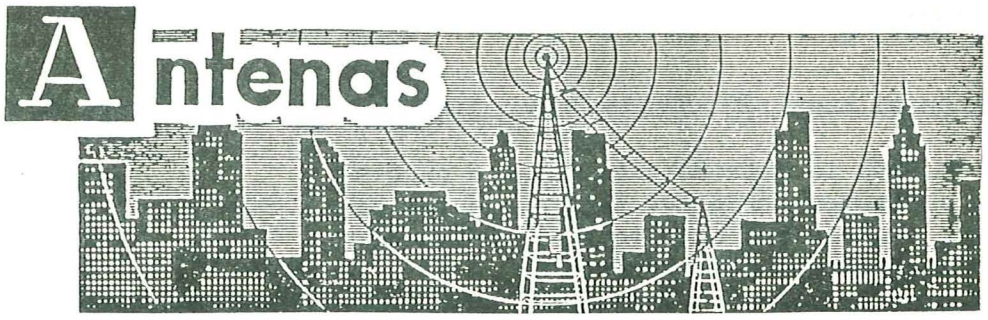


FRECUENCIAS
ULTRA **E**LEVADAS

 The text 'FRECUENCIAS ULTRA ELEVADAS' is presented in large, bold, block letters. The 'F' and 'E' are particularly large and prominent. To the left of the text is a small illustration of a parabolic antenna on a tower. To the right is another illustration of a similar antenna structure.

A N T E N A S

7



Antenas



UNION DE
RADIOAFICIONADOS
ESPAÑOLES

Maiquez, 48 1º
Madrid - 9

Depósito Legal: M- 5442-1984, Impreso en Novaprint, S.A.

Prohibida la reproducción total o parcial
en cualquier forma que sea, sin autoriza-
ción expresa por escrito de la Unión de -
Radioaficionados Españoles.

INDICE GENERAL

Pag.	3	INDICE.
	7	UNA ANTENA "QUAD" PORTATIL PARA LA BANDA DE 2 M.
	7	- Construcción.
	10	- Ajuste.
	11	- Resultados prácticos.
	13	POLARIZACION CONMUTADA DE UNA ANTENA CUBICA CUADRATICA.
	15	UNA ANTENA CUBICA PARA TELEVISION.
	19	ANTENA MUY EFICIENTE PARA 144 MHZ.
	22	EL HAZ DE LAZO-DELTA PARA 144 MHZ.
	22	- Antenas de haz.
	24	- El haz de Lazo-Delta de tres elementos.
	24	- Datos sobre la construcción.
	26	- Secciones de acoplamiento.
	26	- Información sobre el acoplamiento.
	27	- Instalación.

Pag.	28	LAS ANTENAS PARA VHF. ALGUNOS CONSEJOS PRACTICOS.
	28	- Antenas Yagi.
	28	- Antenas cúbicas ("QUAD").
	30	- Complejo directivo de antenas cúbicas.
	30	- Empleo de reflectores.
	30	- Antenas helicoidales.
	30	- Antenas en "HALO" y "MOLINETE".
	36	ANTENAS - FORMACIONES.
	43	FORMACIONES DE ANTENAS DE VHF PARA CONSEGUIR UN GRAN RENDIMIENTO.
	44	- Diseño de colineal, aumentada y expandida.
	45	- Rendimiento.
	45	- Construcción.
	48	- Igualización y sintonización.
	49	- Otras configuraciones.
	49	- Rendimiento.
	50	- Resumen.
	51	ANTENAS DE BANDA ANCHA.
	55	ANTENA "CORNER".
	57	LA ANTENA CON REFLECTOR ANGULAR PARA 50 144 y 432 MC/s.
	57	- Generalidades.
	57	- Dimensiones.
	60	- Valores de ganancia delantera e impedancia.
	63	- Elemento radiante.
	65	- Dimensiones del reflector angular.
	66	ANTENAS PARA MICROONDAS.
	67	- Antenas directivas.
	70	- Reflectores.
	76	- Fabricación de antenas.
	77	- Transmisión entre puntos fijos.
	78	- Antenas "PERISCOPICAS".
	83	- Repetidores pasivos.
	88	- El futuro de los reflectores.

Una antena «Quad» portátil para la banda de 2 m

Por G. ZOBEL, DJ 4 DN

Traducido de «DL-QTC», enero de 1968,

por E. HEIMANN, EA 3 GH

Por su alta eficacia en DX las antenas «cubical Quad» de uno o varios elementos han sido siempre populares. El autor ha estado ensayando durante tres años una antena de este tipo para la banda de 2 m. Ello le permite afirmar que su uso como antena portátil en 2 m está plenamente justificada por las siguientes cualidades:

1. Excelente comportamiento eléctrico.
2. Facilidad de ajuste.
3. Construcción ligera.
4. Como consecuencia de ello, basta un mástil ligero.

Respecto al primer punto, referimos al lector a los numerosos artículos aparecidos hasta ahora, debiendo citar en especial el de DL3LL en *DL-QTC* 11/65, que contiene todo lo esencial acerca de su comportamiento. Sobre el punto segundo, conviene tener presente que la antena constituye un cuadro cerrado de onda completa, por lo que puede ser bajada hasta muy baja altura para su ajuste, sin que los objetos circundantes ejerzan apenas influencia. Concre-

tamente, es posible acercarse por detrás, por encima y por debajo hasta $1/10$, por los lados hasta $1/4$, pero hacia delante es preciso dejar toda la zona libre, ya que a 2λ todavía se nota la influencia de objetos cercanos. En consecuencia, es posible realizar los ajustes desde un balcón y, en caso necesario, hasta desde una ventana. Al ser colocada la antena en su emplazamiento definitivo no se habrán alterado prácticamente su resonancia ni su relación de ondas estacionarias, lo cual jamás pudo conseguir el autor con una antena Yagi.

Con respecto a los puntos tercero y cuarto, se puede decir que utilizando tubo de latón de 4 mm, el peso total, incluyendo el boom y la caja de adaptación, no pasa de 500 gr. Este pequeño peso permite adoptar un mástil de pared delgada de aluminio, de 12 ó 15 mm de diámetro, y, por consiguiente, extremadamente ligero.

CONSTRUCCION.

Para el diseño de esta antena se tuvo presente que, además de tener que ser

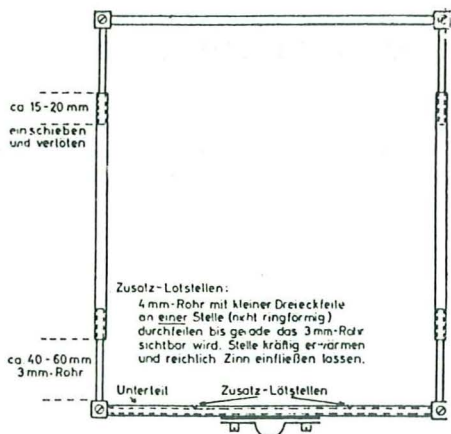


FIG. 1.—Montaje de la antena.

Legenda:

Ca 15-20 mm einschieben und verlöten: enchufar de 15-20 mm y soldar.—Unterteil: durchgehend 3 mm Rotr einschieben, etcéte ra: parte inferior: enchufar totalmente el tubo de 33 mm en el de 4 mm y soldar las dos puntas, así como otros dos puntos intermedios.—Tresatz-Lötstellen 4 mm Rtr, etcétera: Estos puntos se obtienen limando con una lima triangular hasta que justamente aparezca el tubo de 3 mm. Calientese bien y dejar penetrar abundante soldadura.—Ca. 40-60 mm: aprox. 40-60 mm.—3 mm Rotr: tubo de 3 mm.—Unterteil: lado inferior.—Tusatz-Los- telle: puntos intermedios de soldadura.

ligera y desmontable, había de conservar sus propiedades eléctricas iniciales aun después de muchas montajes y desmontajes. Por su condición de portátil, no requiere que sea a prueba de huracán. En lugar de tubo de latón de pared delgada, de 3 y 4 mm de diámetro (Fig. 1), podría haberse utilizado tubo análogo de aluminio, con lo que el peso total habría quedado reducido a unos 500 gr., pero tal antena tendríamos que tratarla con demasiada delicadeza.

En la figura 2 se muestran los codos de unión para los lados de los elementos, cuya construcción podría tal vez ser algo más sencilla, aunque a costa de una menor duración.

En la siguiente tabla se indican las medidas de dicha antena:

- Reflector: ancho, 58 cm; altura, 59 cm.
- Director: ancho, 52 cm; altura, 57 cm.
- Separación entre elementos: 36 cm.
- Longitud del boom: 38 cm.
- Distancia entre el boom y el punto de alimentación del adaptador en el elemento radiante: 11,5 cm.
- Separación de la varilla adaptadora del elemento radiante (no es crítica): 4 cm).

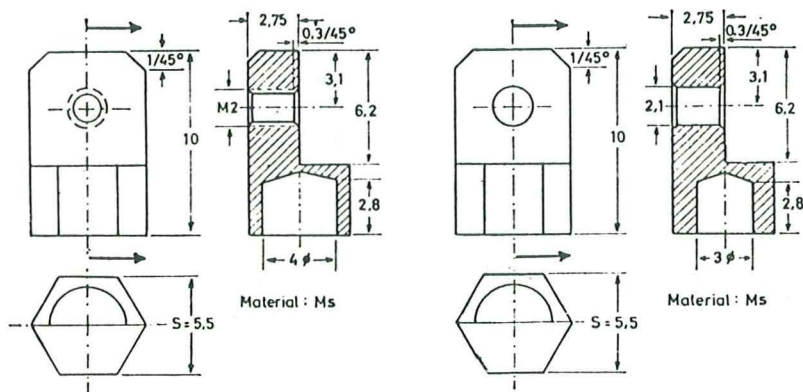


FIG. 2.—Los codos de unión.

Legenda:

Material: ols.—Material: latón.

Diámetro de la varilla del adaptador gamma (no es crítico): 2-4 mm.

Capacidad del trimmer de ajuste C1: 5-15 pF.

Los elementos se platean con una capa de Sp de espesor y se recubren por medio de aerosol con una laca protectora incolora, excepción hecha de las puntas, que para su inserción en los codos habrán de quedar limpias y por

to y sus terminales estén protegidos contra la intemperie. La figura 5 enseña el montaje realizado por el autor dentro de una caja de plástico. En la parte inferior de esta caja se practica un orificio de aireación de 2 mm para evitar el agua de condensación. El cable coaxial de alimentación está conectado permanentemente a los terminales de la caja, pero ésta se une al boom por medio de tornillos (Fig. 3),

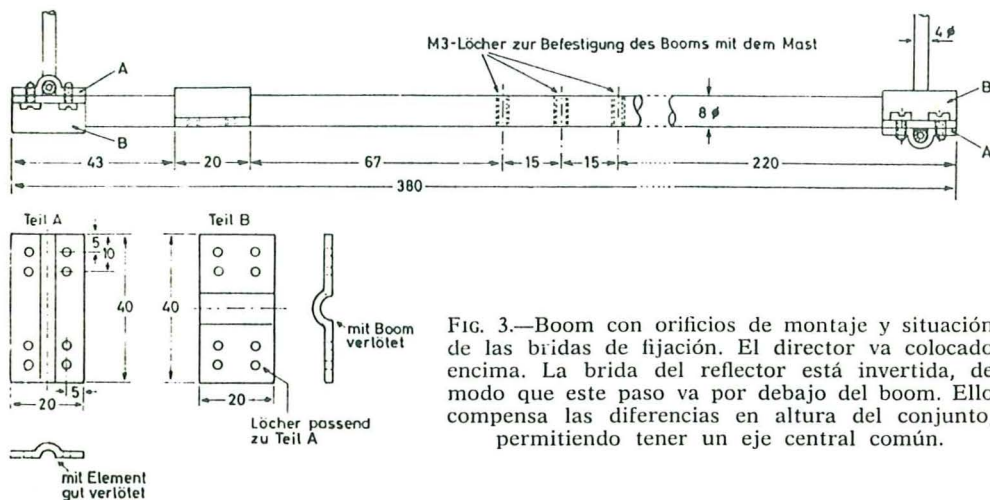


FIG. 3.—Boom con orificios de montaje y situación de las bridas de fijación. El director va colocado encima. La brida del reflector está invertida, de modo que este paso va por debajo del boom. Ello compensa las diferencias en altura del conjunto, permitiendo tener un eje central común.

Legenda:

Löcher für Befestigung des Booms am Mast: agujeros roscados para fijación del boom al mástil.—Mit Element verlötet: soldado con el elemento.—Mit Boom verlötet: soldado con el boom.—Löcher passend zu Teil A: agujeros coincidiendo con pieza A.—Teil A: pieza A.—Teil B: pieza B.

ello se habrán untado previamente con grasa.

La figura 4 representa al boom y las bridas de unión de los elementos y del adaptador. La unión del boom al mástil se realiza por medio de una pieza enchufable en forma de T, de plástico.

El trimmer, de 5-10 pF, podrá ser del tipo Philips cuando se trabaje QRP, pero cuando se haga QRO se utilizará con preferencia un condensador variable con 1 mm de separación de placas. Es primordial que no se pueda desajustar por sí solo y que el conjun-

por lo que en caso de necesidad podrá desmontarse fácilmente.

Las bridas de fijación y sus correspondientes piezas complementarias van fijadas al boom por medio de soldadura realizada con estaño duro. El boom no se platea, pero quedará recubierto con laca protectora, dejando, empero limpias las partes roscadas para asegurar la buena unión eléctrica entre la malla del cable coaxial y el centro del elemento radiante.

La línea para la sección adaptadora gamma consiste en una varilla de 2-4

milímetros de diámetro separada paralelamente 4 cm del elemento radiante, que va desde el trimmer hasta el punto X, situado a 11,5 cm del centro. La unión al punto X se realiza por medio de una abrazadera, mientras que por

AJUSTE.

El ajuste es fácil si se mantienen las dimensiones que figuran en la tabla anterior. Basta entonces con intercalar un puente de medición de ondas esta-

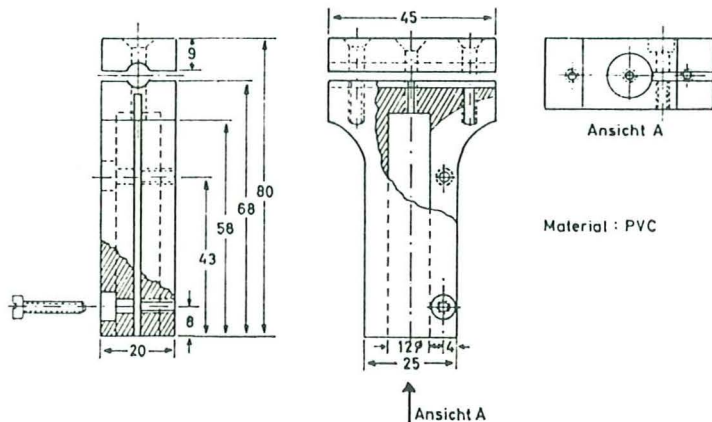


FIG. 4.—Soporte T para enchufar el boom al mástil.

Leyenda:

Ansicht A: vista por A.—Material: PVC: material: CPV (cloruro de polivinilo).

el lado del trimmer se enchufa la varilla a una hembra de banana que lleva la caja del trimmer (Fig. 5). La zona que abarca la abrazadera en el elemento estará libre de laca, por lo que para su fácil localización futura se delimitará mediante 2 trazos de pintura.

cionarias y mover el trimmer hasta que el instrumento indique $m = 1.0$ con $f = 145$ MHz.

Para ello se debe uno situar detrás del reflector y extender el brazo por debajo del mismo lo más cercano posible al boom para llegar hasta el trimmer,

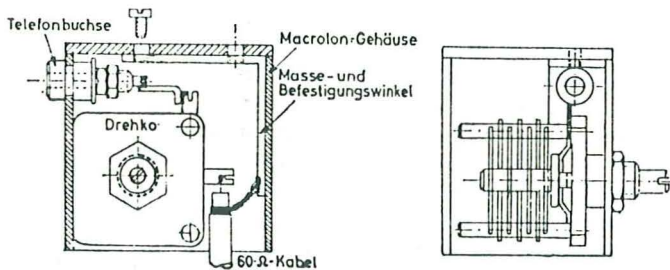


FIG. 5.—La caja del adaptador.

Leyenda:

Telefonbuchse: hembra.—Macrolon-felorese: caja de plástico «macrolon».—Masse und Befestigungswinkel: masa y ángulo de fijación.

que se ajustará con ayuda de un destornillador o una llave aislante alargada..

La capacidad del trimmer quedará entre 7-10 pF. Para aquellos OM's a quienes gusta experimentar, el autor recomienda dejar sin soldar los lados verticales de ambos elementos en la parte en que el tubo de 3 mm va enchufado en el de 4 mm. Al extremo de este tubo de 4 mm se cortarán 4 rendijas en cruz, de 10 mm de largo, aplastando un poco este extremo para que ejerza presión sobre el otro tubo. Así será posible variar la longitud de los elementos, y con ello la ganancia y la relación de ganancia adelante/atrás, por lo cual convendrá tener presente que la máxima ganancia se consigue con una pequeña diferencia de longitud, de 4-5 %, mientras que con una diferencia mayor, del 7-10 %, se obtiene una mejor atenuación de las señales de atrás. Igualmente influye la separación entre elementos, que con $0,12 \lambda$ proporciona la máxima ganancia y con $0,18 \lambda$ la mejor atenuación de las señales de atrás. La longitud física del elemento radiante es $1,08 \lambda$, es decir, que interviene un factor de alargamiento. Esta admite una variación de $\pm 5 \%$. La separación entre elementos puede variar-se entre los límites $30 \text{ cm} \pm 25 \%$. La longitud media del elemento, de 56 cm por codo, no es crítica, pues las mediciones realizadas con instrumental adecuado demuestran que tiene una anchura de banda de 6 MHz, de las que sólo se aprovechan 2 MHz. O sea que entre los límites $L \pm 15 \text{ mm}$ la antena queda dentro de la banda de 2 m.

El punto X de alimentación del adaptador, que es de unos 11,5 cm, admite una variación del 20 %, siempre y cuando se proceda a reajustar el trimmer.

Recuérdese que es preciso ajustar primero la antena a una buena relación de ganancia adelante/atrás y luego corregir la adaptación de impedancias. Para ello se dispondrá de un pequeño

transmisor o una baliza que se sitúa por lo menos a 100 m de distancia, debiendo estos ensayos realizarse en el exterior o cuando menos desde un balcón. Como dato interesante se señala que las medidas así halladas y multiplicadas por 10 proporcionan con gran exactitud las de una antena para la banda de 20 m, ya que si bien es cierto que los alambres utilizados en las quads de bandas bajas provocan un alargamiento eléctrico de la antena, ello queda compensado cuando la frecuencia utilizada para las pruebas en 2 m es de 145 MHz.

Con las medidas de antena indicadas en la tabla inicial se obtuvieron las siguientes mediciones:

Ganancia respecto a un dipolo de media onda: $\geq 7,5 \text{ dB}$.

Relación adelante/atrás: $\geq 25 \text{ dB}$.

Angulo de radiación: aprox. 90° (referido a una atenuación de $\pm 6 \text{ dB}$).

Relación de ondas estacionarias entre 144-146 MHz: $m \leq 1,2$.

Ancho de banda con $m = 1,5$: 6,0 MHz.

Atenuación lateral: $\geq 50 \text{ dB}$.

RESULTADOS PRACTICOS.

Entre 1964 y 1966 el autor realizó numerosas pruebas hasta llegar a las medidas de antena actuales, con las que obtuvo los mejores resultados. Trabajando QRP con sólo 200-400 mW realizó numerosos QSO's en fonía a distancias comprendidas entre 100 y 200 Km; y trabajando en C.W. he llegado a superar varias veces la distancia de 520 kilómetros.

Se ha comprobado que la relación adelante/atrás puede variar según el ángulo de incidencia de la señal, pero con un óptimo ajuste puede llegarse a una atenuación máxima de 40 decibelios. La atenuación lateral es enorme, aunque relativamente estrecha.

Exceptuando tal vez el trabajo para hacer los codos y la pieza T que sujeta el boom al mástil, esta antena resulta fácil de realizar y sumamente económi-

ca, por lo que no dudamos que serán muchos los colegas que se decidirán a probarla en sus excursiones domingueras.

Polarización conmutada de una antena cúbica cuadrática

Por C. J. McCLOUD, G8BIQ
17 Culvers, Douth Harting,
Peterfield, Hants GM31 5LG

El autor necesitaba una antena de alta ganancia que pudiera ser polarizada verticalmente u horizontalmente mediante el accionamiento de un control simple desde su cuarto de trabajo, y ello le llevó a desarrollar el siguiente proyecto.

Detalles de la antena

La antena está formada por ocho lazos cerrados instalados sobre un botolón de aleación. Cada uno de los lazos está construido con tubo de aluminio de 3/8 pulgadas, y están mantenidos en su posición por un enclavijado atornillado al botolón principal.

El reflector tiene todos sus lados de 21 pulgadas, y está separado 14 pulgadas detrás del elemento excitado con polarización horizontal. Este elemento excitado tiene todos sus lados de 20 pulgadas y está alimentado por la mitad del lado inferior. El elemento excitado con polarización vertical está colocado a 14 pulgadas enfrente del primer elemento excitado y es del mismo tamaño que éste. Está alimentado por la mitad de uno de los lados verticales. Los tamaños de los dos elementos excitados pueden ser modificados para que el elemento horizontal quede sintonizado a 144-145 MHz y elemento vertical quede sintonizado a 145-146 MHz. Esto puede mejorar la ROE (Relación de Ondas Estacionarias), porque así el plan de la banda de FM simple queda extensamente en la mitad superior de la banda y polarizado verticalmente. A la frecuencia de sintonía de los elementos excitados, la ROE es de 1:1,1 y crece hasta 1:1,4 en el extremo de la banda. Los directores están colocados a 14 pulgadas de separación de los elementos excitados y enfrente de éstos. El primer director tiene todos sus lados de 19 y 1/2 pul-

gadas, el segundo de 19 pulgadas y los restantes tienen todos sus lados de 18 y 1/2 pulgadas. Las dimensiones de la antena completa son: 107 pulgadas de longitud por 21 pulgadas de anchura. Las separaciones de los elementos dadas anteriormente puede variarse entre $0,5 \lambda$ y $0,25 \lambda$ para mejorar la ganancia.

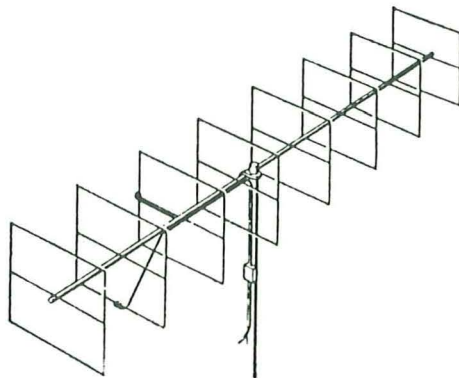


Fig. 1.—Construcción de la antena

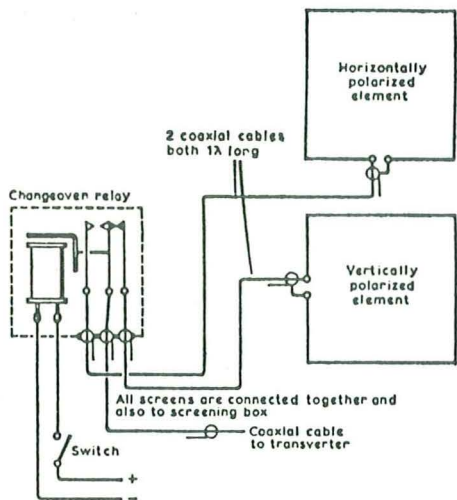
Conmutación de los elementos

Un cable coaxial de longitud igual a 1λ va conectado a cada uno de los dos elementos excitados. Estos dos cables coaxiales son llevados hasta un relé de conmutación instalado dentro de una caja metálica colocada sobre el mástil. Un cable coaxial de alimentación procedente del tranceptor también es llevado al mismo relé. Los apantallamientos de los tres cables se unen conjuntamente y se conectan a la caja del relé. Los conductores

centrales de los cables se conectan al relé de forma que en una de sus posiciones el elemento polarizado verticalmente quede conectado al cable de alimentación y en la otra posición el elemento polarizado horizontalmente quede conectado al cable de alimentación. El relé puede ser de cualquier tipo disponible, pero un relé coaxial es preferible.

Conclusión

El autor ha obtenido muy buenos resultados de esta antena y ha mejorado la Yagi de ocho elementos que aquella ha sustituido ahora. Me vería muy complacido recibiendo noticias de los lectores que utilicen el proyecto.



Leyenda:

- Horizontally polarized element. = Elemento polarizado horizontalmente.
- Vertically polarized element. = Elemento polarizado verticalmente.
- 2 coaxial cables both 1λ long. = 2 cables coaxiales, ambos de 1λ de longitud.
- Changeover relay. = Relé de conmutación.
- All screens are connected together and also to screen box. = Todos los apantallamientos van conectados juntos y también a la caja de apantallamiento.
- Coaxial cable to transceptor. = Cable coaxial que va al transceptor.
- Switch. = Conmutador.

Fig. 2.—Detalles de la conmutación de los elementos

Una antena cúbica para televisión

Por JUSTO BENEDICTO PEREZ (EA 8 EJ)

Como hasta la fecha no he visto publicado en nuestra REVISTA ningún artículo sobre el empleo de la antena cúbica

res, como veremos posteriormente por la descripción de la misma.

Los resultados obtenidos no pueden

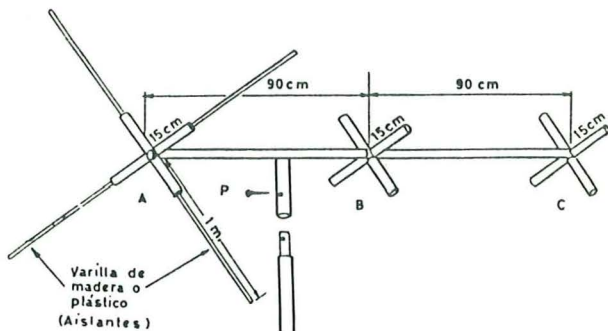
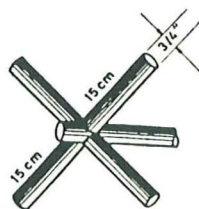


FIG. 1.

bica cuadrada en TV. y creo positivamente que, como yo, varios colegas la han experimentado, quiero dar a conocer los resultados obtenidos por mí con una antena de este tipo, por si alguno quiere construirla para mejorar sus condiciones de recepción.

Esta antena, cuyos cálculos para el canal 3 en que trabaja TV. E. en Canarias me los facilitó el colega EA8DV, mi buen amigo Pepe Carlos González, de Guía de Gran Canarias, fue montada y ampliada con elementos directo-

ser más satisfactorios, sobre todo a las distancias a que se han efectuado las



(A, B, C)

FIG. 2.

pruebas (unos doscientos sesenta kilómetros), desde la emisora de Canarias, cuya antena se encuentra al pie del Teide, en la isla de Tenerife, a Puerto Rosario, capital de la isla de Fuerte-

te perfección al dirigir la antena al NE. aproximadamente, dando a entender que la propagación estaba larga. Con frecuencia se ve la emisión de sobre-mesa de Madrid, Portugal y Marruecos.



FIG. 3.

ventura. La recepción de la imagen y sonido en todas las marcas de televisores en que se hicieron las pruebas fue perfecta, salvo algún que otro día en que las condiciones de propagación no permitían la llegada con fuerza de la señal. En estas ocasiones entraban, sin embargo, la señal de Madrid, Aitán y Guadalcanal o Barcelona con bastan-

CONSTRUCCIÓN PRÁCTICA DE LA ANTENA.

El tubo que soporta la antena A. C. de la figura 1 es de hierro galvanizado de $3/4''$ de diámetro interior y su longitud es de 1,80 m. A los extremos y en el centro, es decir, a 90 cm. de distancia una de otras, van unas crucetas de tubo del mismo diámetro, de unos 15 cm. de longitud, como indica la figura 2, soldadas en A, B y C. Estas crucetas de tubo son para introducir en cada brazo de la cruz una varilla de madera o plástico (aislante) que sirva después de soporte al hilo de cobre de los cuadros. La longitud de estas varillas introducidas, incluyendo los 15 cm. de tubo, deben ser de 1 m. Una vez introducidas las varillas en las crucetas, quedará como la figura 3 y se proce-

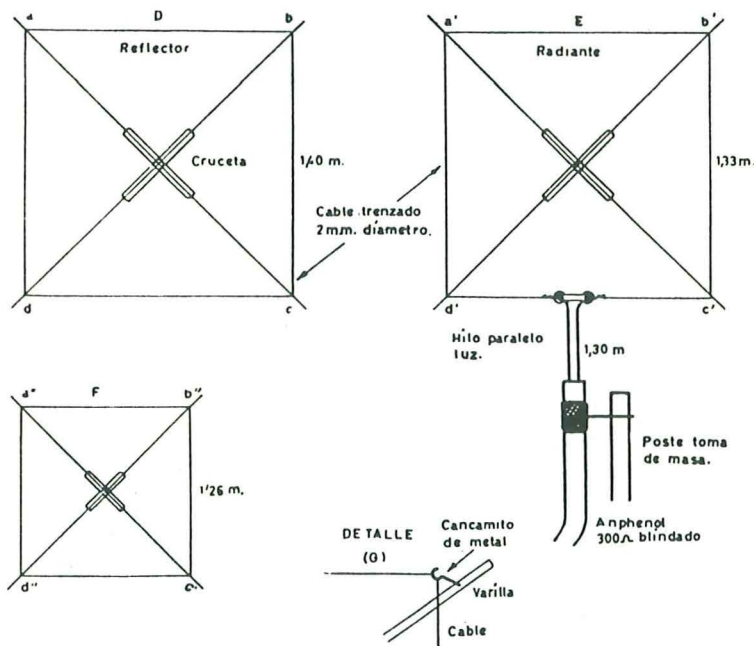


FIG. 4.

derá a montar los cuadros de hilo que forman la antena propiamente dicha (Fig. 4 G).

CUADRO REFLECTOR (FIG. 4 D).

Construir un cuadrado perfecto de cable de cobre de unos 2 mm. de diámetro, estañándolo exteriormente para evitar la fácil oxidación. La longitud de cada lado es de 1,40 m. y deberá pasarse el hilo por los extremos de las varillas a través de unos cancamitos de metal colocados en los puntos *a*, *b*, *c* y *d*, procurando que el cable quede tenso (Fig. 4 G).

CUADRO RADIANTE (FIG. 4 E).

De igual forma que el anterior, con la diferencia de que la longitud del lado es de 1,33 m. y el lado inferior no va cerrado, sino que pasa cada punta a través de un aislador de forma de cacahuete (de los empleados como soportes de fusibles exteriores) (Fig. 5).

A la salida del aislador se le suelda a cada extremo del cable un trozo de cordón doble de la luz (bien paralelo

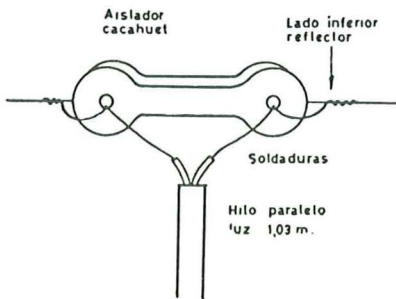


FIG. 5.

o trenzado) de una longitud de 1,03 m. que hace el efecto de transformador de impedancias y al final de esta longitud se suelda la línea de bajada al receptor de TV., de anphenol 300 ohmios; hay que advertir que este anphenol debe ser de buena calidad y preferentemente forrado de una malla metáli-

ca para hacerle una toma de masa en el tubo central de soporte de la antena, con lo que evitan interferencias.

CUADRO DIRECTOR (FIG. 4 F).

Exactamente igual que el cuadro reflector, pero de 1,26 m. de longitud de lado.

Para darle más firmeza al conjunto de las puntas homólogas de las varillas se unen con un hilo de nylon (figura 6).

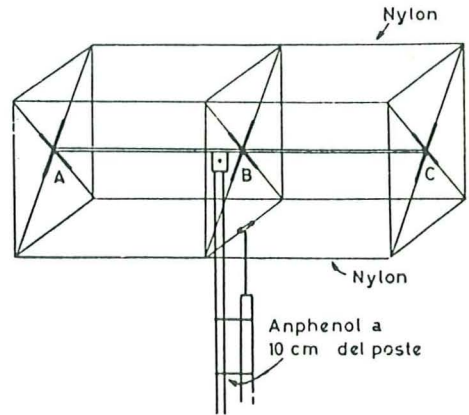


FIG. 6.

A cinco centímetros de *B* y hacia *A* (Fig. 6) se suelda un trozo de 20 cm. de hierro galvanizado cuyo diámetro interior pueda introducir el poste de soporte de la antena, fijándose a ella por un pasador *P*.

La bajada de anphenol 300Ω debe ir separada del poste unos 10 cm. por varillas aislantes (Fig. 6).

Como se podrá apreciar por la descripción de la misma, es de lo más económica y sus resultados sorprendentes y al alcance de todos. No necesita gran técnica, bastando que las soldaduras estén bien hechas (pues todos los empalmes de cables deben ir soldados) y preservadas con cinta plástica aislante a la intemperie.

Se ha construido otra antena, pero

con dos directores, es decir, cuatro elementos, siendo la longitud del último cuadro 1,19 m. y separado del otro director la misma longitud de 90 cm., no apreciándose mucha diferencia con la que se describe en este artículo.

Se advierte que por haber empleado anphenol de mala calidad, a los dos meses de colocada la antena se notó que la imagen desaparecía al ponerse el sol, y se comprobó que era debido a la humedad, que oxidó los hilos in-

teriores del anphenol en su trayecto a la intemperie. Cuando se cambió el anphenol por otro de mejor calidad y blindado desaparecieron los fallos.

Esta antena trabaja en todos los canales; pero por estar cortada para el tres, su mejor rendimiento se obtiene en éste, así como en el dos y el cuarto.

Con el deseo de que los que lean estas líneas y monten esta antena obtengan los mismos resultados que yo, me daría por muy satisfecho.

Antena muy eficiente para 144 MHz

Por J. BARCELO, EA 3 WH

A solicitud de varios colegas, me he animado a escribir estas líneas para describir con detalle la antena para la banda de 2 m, que empleo con gran éxito en mis QSO's.

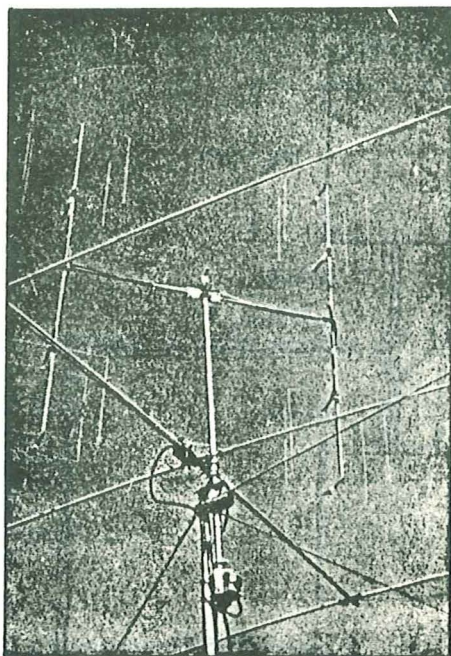
Varios corresponsales siempre me preguntan el equipo con que trabajo debido a la fuerte señal que les pongo en sus receptores; sin embargo, debo indicar que mi emisor tiene como final una válvula EL95 que podrá dar unos 4 W de salida. Habida cuenta que mi QTH no es precisamente una situación muy favorable para el trabajo en estas frecuencias, sólo cabe pensar que el sistema radiante es muy eficaz; por ello va a continuación la descripción de mi antena.

La construcción, realizada totalmente por el que escribe, tal vez sólo adolezca de un pequeño inconveniente: los ohmios que representan la utilización de muchos conectores coaxiales. Concretamente son necesarios: tres del tipo M-358, seis del tipo PL-258 y quince del tipo PL-259, además del cable coaxial para *baluns* y adaptadores de impedancia.

El conjunto de esta antena, con elemento radiante y reflector, representa una ganancia de 13,5 dB auténticos y una relación atrás-delante de 18 dB. En la fotografía anexa se podrá apreciar la configuración total de la misma, y aun que tiene gran envergadura, es liviana y muy resistente al viento.

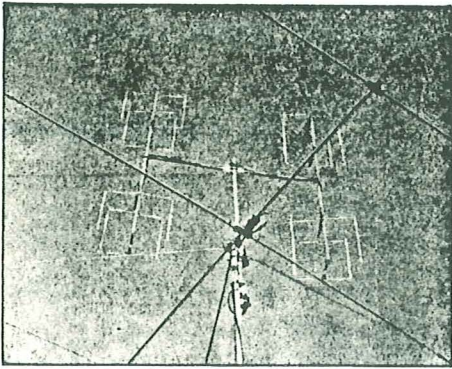
Va accionada por un rotor Stholle, de los empleados para antenas de TV; el ángulo de elevación con respecto a la horizontal, de unos 15-20°.

En el croquis anexo se puede apre-



ciar la distribución y medidas de los elementos radiantes, representando en el dibujo la mitad de la antena, ya que la otra mitad es simétrica.

Los reflectores están formados por rectángulos confeccionados con el mis-

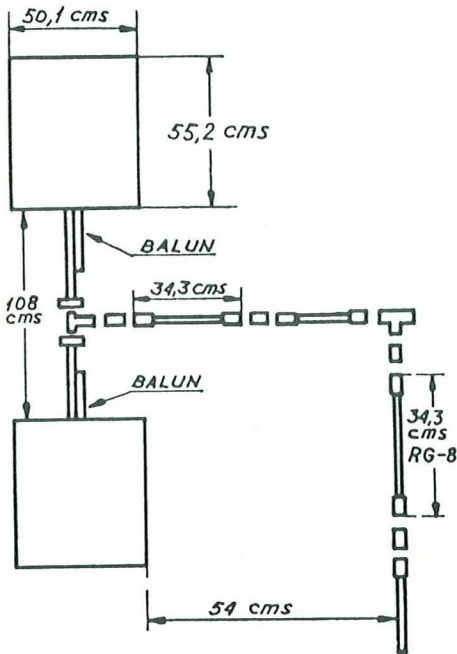
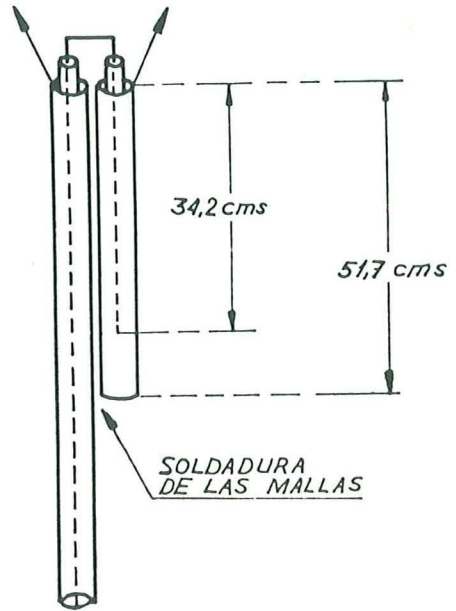


para la bajada. Hay que respetar las dimensiones para que sea correcto. Deberá tenerse cuidado, al cortar el cable interior con la broca, de que no quede cortocircuito alguno, y para estar seguro se comprobará con el óhmetro. El resto de cable interior se retira tirando.

La malla del cable cortado se soldará a la malla del cable de bajada y los

DETALLE DEL BALUN

mo hilo de cobre que los radiantes, de 5,5 mm de diámetro, cuya altura del rectángulo es de 55,2 cm (igual a los cuadros radiantes) y 60,3 cm de ancho. La separación entre el radiante y reflector es de 23 cm.



Son necesarios cuatro *baluns*, uno para cada cuadro, para simetrizar los cables coaxiales. Cada *balun*, relación 1 : 1, está realizado con cable coaxial de 75 ohmios, el mismo que se emplea

dos cables se unirán con cinta adhesiva, formando un solo cuerpo. Los blindajes de la parte que se une a la antena estarán perfectamente separados entre sí. El tipo de cable utilizado en esta antena es el RG-11. En la figura podrá apreciarse la construcción de este *balun*.

Los trozos adaptadores de impedancia están hechos con cable RG-8 de 52 ohmios.

El material de soporte está formado por tubo de aluminio de 13 mm de diá-

metro, el que une los cuadros superior e inferior, y tubo de latón de 20 mm de diámetro el soporte horizontal. En cuanto al material, debo indicar que los tubos verticales serán de duraluminio, ya que por experiencia ensayé tubo de aluminio de 2 mm de grueso de pared y un día de fuerte viento se doblaron. Por descontento, el tubo horizontal lo puse de latón, aunque si en estos momentos tuviera que montarme la antena de nuevo, lo haría con tubo de acero inoxidable de la misma medida.

Creo que es bastante delicada la elección de estos tubos de soporte, y por ello recomiendo la mayor atención al construir la antena.

Este sistema radiante da unos resultados sorprendentes, por su ganancia principalmente y por no tener direccionalidad tan crítica como una Yagui de

10 elementos. Con el tipo de cable empleado puede soportar, sin preocupación alguna, hasta 400 W PEP, lo que la hace muy útil para trabajar con lineales.

Las ondas estacionarias, medidas a la conexión con el emisor, o sea la antena más 18 m de bajada con cable tipo RG-11, no alcanza la relación 1,3 y aun llego a eliminar, mediante un *transmatch* (adaptador de impedancias), que tengo instalado entre la bajada y el emisor, buena parte de estacionarias y alcanzar la relación real (perfectamente comprobada) de 1,05.

En fin, con estas pocas líneas espero y deseo haber complacido a los colegas que se interesaron por mi antena y también a los que tengan en proyecto montarse un sistema radiante para la banda, siempre muy interesante y simpática, de los 2 m. QRV para todos.

El haz de Lazo-Delta para 144 MHz

Construcción de una antena de tres elementos

Por LEWIS G. MCCOY, W1ICP

Editor de Principiantes

Traducido de «QST», abril de 1969

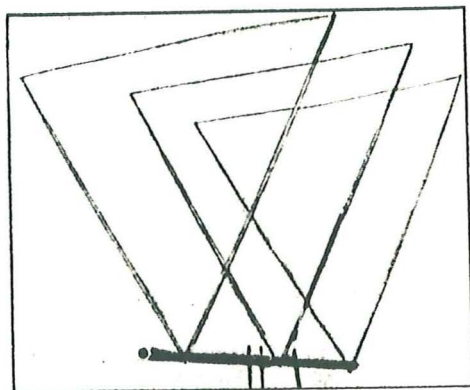
Es cierto que si se quieren probar antenas no hay región como la banda de 2 m. He aquí una antena que interesará a los amantes de la V.H.F. Excelente relación en la dirección frontal, con todas las características buenas de las de cuadro y sin ninguno de sus defectos, son un par de las ventajas del haz de Lazo-Delta.

Desde la aparición de un artículo sobre el haz de Lazo-Delta en una reciente edición del *QST* (Habit: «The HRH Delta Loop Beam», *QST* de enero de 1969) se ha discutido mucho entre los aficionados sobre las posibilidades del haz en V.H.F. Este artículo describe la construcción de una versión de tres elementos del Lazo-Delta para la banda de 144 MHz. Ahora bien: antes de entrar en los detalles de esta antena, conviene decir algunas palabras sobre las antenas de haz a los principiantes de la radioafición.

ANTENAS DE HAZ.

Como saben los principiantes, cuando se aplica potencia de R.F. a una antena, la antena radia energía. Una antena ideal, pero teórica—y la razón de

decir teórica es porque tal antena es imposible de realizar prácticamente—,



Haz completo de tres elementos con acoplamiento gamma. El haz es bastante ligero y puede quedar bien sujeto con una grapa en U de TV.

es una antena isotrópica. Una antena isotrópica es la que radia *igualmente bien* en *todas* las direcciones. Si pudiéramos conseguir que una antena radiara en unas direcciones mejor que en otras, nuestra señal sería más fuerte en las primeras direcciones que en las últimas. Por ejemplo, un dipolo de media onda es esencialmente una antena bidireccional que radia mejor en dos direcciones determinadas que en las demás. Si suponemos que la antena

Para que el principiante esté informado, conviene indicar en este momento que la altura y tamaño de las antenas giratorias tienen unos límites prácticos. Por ejemplo, algunos principiantes nos han escrito pidiéndonos información para construir una antena de haz giratoria para 80 m. Para que se tenga una idea del tamaño de tal antena basta decir que estaría formada por dos elementos, cada uno de unos 41 m de longitud, instalados sobre un

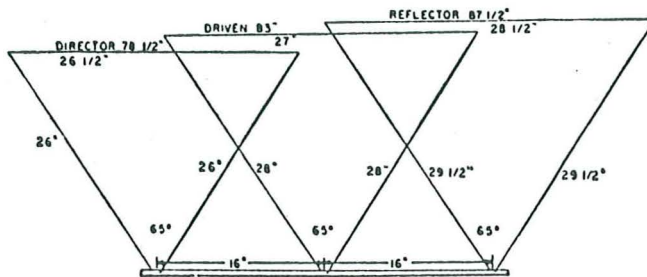


FIG. 1.—Esta figura muestra las dimensiones críticas de los elementos del haz de Lazo-Delta de tres elementos. La dimensión de 16 pulgadas entre elementos no es preciso que sea exacta, porque con este tipo de construcción cualquiera de los elementos tiene sus componentes verticales compensados por la dimensión de la tubería.

Leyenda

Director 78 1/2": director 78 y 1/2 pulgadas.—Driven 83": excitado 83 pulgadas.—Reflector 87 1/2": reflector 71 y 1/2 pulgadas.

isotrópica tiene una ganancia unidad, nuestro dipolo de media onda tendrá una ganancia de 2,14 dB más que la antena isotrópica en las direcciones favorables del dipolo.

Aunque no vamos a entrar en detalles describiendo el decibelio, diremos que es una unidad de medida, y resumidamente, cuando se aplica a la medida de potencias, 3 dB equivalen a doblar la potencia y 10 dB significan que la potencia ha sido aumentada 10 veces. Se puede apreciar fácilmente la ventaja de una antena que concentre la energía en una dirección determinada. Sería aún más conveniente poder girar tal antena y orientarla con su máxima ganancia en la dirección deseada.

totalón de unos 15 m de longitud, y si esto no fuera bastante, para que la antena tuviera utilidad práctica, debería tener una altura de unos 41 m. Sin embargo, a medida que la frecuencia va siendo mayor, las condiciones mejoran hasta llegar a una región en la que las antenas de haz giratorias no solamente son deseables, sino practicables.

La antena de tres elementos descrita aquí tiene una ganancia frontal de 8 a 10 dB más que una antena isotrópica (Lindsay: «Quads and Yagis», *QST*, mayo de 1968) y un índice de efectividad direccional de unos 25 dB. En algunas de nuestras pruebas las medidas fuera de la dirección dieron un rechazo de señal que llegó hasta 35 dB (límite de nuestros aparatos de medida).

EL HAZ DE LAZO-DELTA DE TRES ELEMENTOS.

El haz representado en la figura 1 consta de un elemento excitado, un reflector y un director. Se describen dos procedimientos de alimentación, uno con coaxial empleando un acoplamiento gamma, y otro con un acoplamiento en T para un par paralelo de 300 ohmios. Algunos aficionados de V.H.F. prefieren utilizar los conducto-

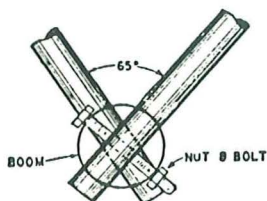


Fig. 2.—Detalles del montaje del elemento en el botalón.

Leyenda

Boom: botalón.—Nut & Bolt: Tornillo y tuerca

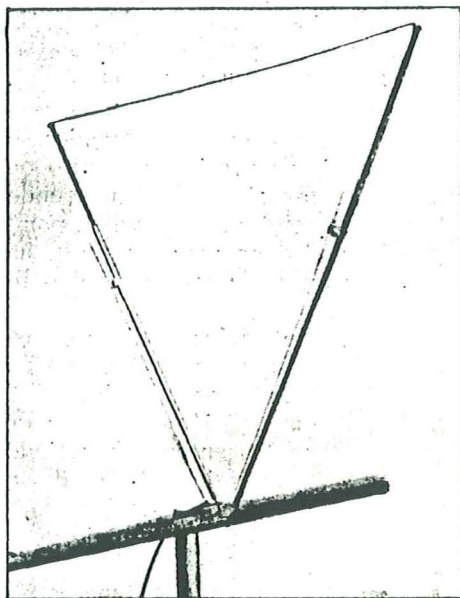
res paralelos, mientras que otros gustan del coaxial. Un punto importante es: *no* emplear nunca el coaxial de diámetro menor, sea RG58/U o RG59/U. Emplear siempre el de diámetro mayor RG8/U o RG11/U o líneas mejores. El coaxial de diámetro menor produce unas pérdidas muy altas en V.H.F., y aunque el de diámetro mayor es más caro por pie, sus características de bajas pérdidas compensan la diferencia de precio.

Los elementos empleados en el haz de Lazo en Delta tienen aproximadamente una longitud de onda de largo o 1/3 de longitud de onda en los lados. En el haz se empleó el tipo de construcción «al gusto del plomero»; es decir, todos los elementos son enteramente de metal y van instalados en un botalón metálico. La antena descrita aquí fue construida para 145 MHz, pero resulta fácil cambiar la longitud de los elementos para adaptarlos a cualquier parte de la banda.

La fórmula para calcular el elemento excitado es: $L = \frac{12036}{f}$, en la que f es la frecuencia en megahertzios y L es el resultado en pulgadas. Para 145 MHz se obtiene un elemento de 83 pulgadas. El reflector se hizo con una longitud un 5 % mayor, y el director, un 5 % más corto.

DATOS SOBRE LA CONSTRUCCION.

Los elementos de la antena están contruidos con tuberías de aluminio de 3/8 y de 1/4 de pulgada. La tubería que nosotros utilizamos fue del tipo 6061-T6 de Alcoa Co., la cual es suministrada en trozos de 12 pies. La tubería de 3/8 de pulgada tiene un espesor de 0,058 pulgadas y un diámetro libre interior de 0,258 pulgadas. En este hueco encaja perfectamente la tubería de 1/4 de pulgada. El botalón está hecho con tubería de 1 pulgada de diámetro.



Vista del elemento excitado con el sistema de acoplamiento en T modificado. Las barras del acoplamiento en T están sujetas al mástil con aisladores de fijación de isolantita.

Nosotros estuvimos informándonos sobre las posibilidades de encontrar los tipos de aluminio citados. La ciudad de Hartford, por ejemplo de unos 150.000 habitantes cuenta con tres casas suministradoras que tienen, o pueden agenciar, las tuberías. Buscar en las páginas amarillas de sus provincias los suministradores de aluminio. Cuando se vive en una ciudad grande o próximo a una de éstas, no existe proble-

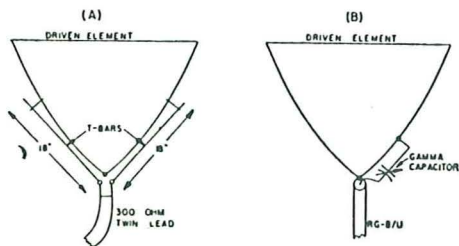


FIG. 3.—En A se muestra el tipo de alimentación por acoplamiento en T, y en B, por acoplamiento gamma.

Leyenda

Driven Element: elemento excitado.—T-Bars: barras en T.—300 Ohm Twin Lead: conductores paralelos de 300 ohmios.—Gamma Capacitor: condensador Gamma.

ma para encontrar los materiales. De cuanto pudimos averiguar resultó que ninguno de los almacenes que venden tuberías las remiten por correo, por lo cual, si se vive en zonas rurales, hay que hacer un viaje a la ciudad o improvisarlas.

El componente horizontal de los elementos, lado superior, está hecho con barra de aluminio para soldadura de 1/8 de pulgada de diámetro. Este material se encuentra en cualquier tienda dedicada a la venta de artículos de soldadura. También podría servir para este fin un conductor de aluminio de toma de tierra.

La construcción de la antena es bastante sencilla. En primer lugar, cortar la tubería de 3/8 en trozos de dos pies y la de 1/4 en trozos de 16 pulgadas. Antes de perforar el botalón para aco-

plar la tubería, hacer con un cartón rígido una plantilla formando ángulo de 65°. A continuación perforar tres orificios de 3/8 de pulgada de diámetro, uno en cada extremo del botalón, separados entre sí 32 pulgadas, y otro en el centro. La mejor forma de conseguir que los orificios queden alineados es perforar uno de los del extremo del botalón e introducir en el mismo uno de los trozos de la tubería de 3/8 de pulgada. Esta tubería, una vez colocada, proporciona un punto o centro de referencia para perforar los otros dos orificios.

Después colocar la plantilla de 65° sobre el botalón y perforar uno de los restantes orificios de sujeción. Una vez perforado se puede introducir en este orificio otro trozo de tubería y perforar el resto de los orificios en línea. Las secciones de 3/8 de pulgada se fijan en sus correspondientes puntos del botalón con tornillos de tuercas de 1 y 1/4 pulgadas y 1/8 de pulgada de diámetro, como representa la figura 2.

Al formar los elementos, todas las medidas se toman desde la entrada del elemento en el botalón; la parte de elemento que se prolonga por el interior del botalón no se cuenta. Si se desea que los elementos sean ajustables, hacer con una sierra una muesca en la tubería de 3/8 de pulgada y adaptarle una mordaza que apriete la sección que lleva la muesca sobre la tubería de 1/4 de pulgada. Ahora bien: nosotros construimos nuestros elementos introduciendo una longitud conveniente de la tubería de 1/4 de pulgada y después, para mantenerla en su sitio, perforamos un orificio, que atravesaba a las dos piezas de tubería, e insertamos en el mismo un tornillo de fijación. Los extremos superiores de la tubería de 1/4 de pulgada de los elementos se aplastan en un tornillo de carpintero o con un martillo y luego se perforan dichos extremos para que pase un tornillo de tuerca del número 6.

El componente transversal se fija en su sitio mediante estos tornillos.

SECCIONES DE ACOPLAMIENTO.

El sistema de acoplamiento en T consta de dos secciones de acoplamiento construidas con material de soldadura de 1/8 de pulgada, cada una de 18 pulgadas de longitud. La figura 3 A muestra un esquema del elemento excitado y de las líneas de acoplamiento.

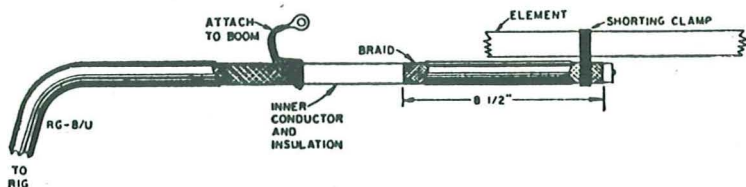


FIG. 4.—Representación de la forma de hacer la sección de acoplamiento gamma. La distancia entre la abrazadera de cortocircuito y el botalón fue de 13,5 pulgadas en nuestro caso. La longitud de sección en que se quita trenzado es de 5 pulgadas. Al efectuar la instalación todas las aberturas del coaxial hay que taparlas con cinta para evitar que la oxidación pueda llegar al interior del coaxial.

Leyenda

To Rig: al aparato.—Attach to the Boom: conectar al botalón.—Inner Conductor and Insulator: conductor interior y aislante.—Braid: trenzado.—Element: elemento. Shorting Clamp: abrazadera de cortocircuito.

Instalados sobre el botalón, directamente debajo de la base del elemento excitado y adyacentes entre sí, van dos aisladores de fijación de 1/2 pulgada de altura. Los dos trozos de barra de 1/8 de pulgada quedan asegurados por los aisladores y por los suplementos de cortocircuito y quedan a 1/2 pulgada aproximadamente de los componentes del elemento.

Para el acoplamiento gamma se emplea un trozo de coaxial RG8/U modificado. La fotografía y la figura 4 muestran detalles para la construcción del acoplamiento gamma.

INFORMACION SOBRE EL ACOPLAMIENTO.

Cuando se emplee el acoplamiento en T y alimentación con conductores paralelos, es necesario un transadapta-

dor y un puente S.W.R. (relación de ondas estacionarias). Los detalles para construir una unidad combinada pueden verse en un artículo publicado en un reciente QST (De Maw: «A 2-Meter Transmatch with S.W.R.», QST de marzo de 1969). El equipo está formado por un transmisor; línea coaxial hasta el puente S.W.R. y línea coaxial desde éste al transadaptador. En sustitución de par paralelo de 300 ohmios se coloca una carga no inductiva de

300 ohmios en derivación con los terminales del transadaptador que reciben normalmente la línea de alimentación de antena. Cuatro resistencias de composición de 1.200 ohmios, 1 W, en paralelo, proporcionan una carga artificial de 300 ohmios y 4 W. Sintonizar el aparato en la forma normal, con la potencia reducida no más allá de 4 W, y conmutar el puente de S.W.R. para leer la potencia reflejada. Ajustar el transadaptador de forma que el puente de S.W.R. señale una adaptación en la línea coaxial. A continuación quitar la carga formada por las resistencias y sustituirla por la línea de 300 ohmios que va al haz. Los suplementos que cortocircuitan el acoplamiento en T deben ser ajustados de forma que el puente S.W.R. indique un acoplamiento. No tocar los ajustes del transadap-

tador cuando haya sido ajustado para una carga de 300 ohmios. La finalidad de esta observación es conservar el acoplamiento en T ajustado para que al sustituir la carga de la resistencia directamente por la del haz no haya cambio en la lectura del puente. Nosotros comprobamos que los suplementos de cortocircuito estaban a unas 15 pulgadas por encima del botalón cuando se conseguía un acoplamiento.

El acoplamiento gamma con línea coaxial se ajusta separando parte del trenzado exterior del trozo de coaxial y moviendo al mismo tiempo, a un lado y otro, la abrazadera de cortocircuito. Nosotros comprobamos que se consiguió un acoplamiento con una longitud de apantallamiento de 8,5 de pulgada por encima del botalón. Al hacer los ajustes, la sección de coaxial modificada, desde el punto de conexión del trenzado con el botalón hasta la abrazadera de cortocircuito, debe ser encintada hasta quedar rasante con el elemento. Antes de colocar definitivamente la antena en su sitio debe encin-

tarse cualquier punto descubierto de la sección gamma para evitar que la oxidación pueda llegar al interior del coaxial y que el trenzado de la sección gamma pueda quedar cortocircuitado en cualquier punto indeseado del botalón.

INSTALACION.

La antena es muy ligera y para instalar el haz pueden utilizarse material y mecanismo de rotación de TV. La antena es lo suficientemente ligera como para ser sostenida con un tornillo en U de unión antena-mástil tipo TV.

La primera vez que se utiliza una antena de haz en V.H.F. hay que estar preparado para cualquier sorpresa. Se *tiene* que orientar la antena hacia la dirección deseada; de lo contrario, puede que no se oiga nunca una señal fuerte. En otras palabras, una señal que sea S9 recibíendola en la dirección frontal del haz, puede ser completamente inaudible en las direcciones laterales u opuesta a la frontal.

Las antenas para VHF

Algunos consejos prácticos

Por **JESUS F. DIAZ PRIETO**
Miembro de la U.R.E.

La instalación de una antena y su exacta valoración suele constituir uno de los principales problemas que ha de solucionar el radioaficionado, ya que un ajuste preciso y la realización de las diversas mediciones a veces resulta bastante difícil en las condiciones en que suele operar un aficionado.

Las dificultades aumentan cuando se trata de VHF, donde se precisa alta ganancia, contando el factor direccional. De los diversos modelos existentes el usuario deberá hacer la elección, teniendo en cuenta, además de sus intereses, las posibilidades de todo tipo.

Para trabajar en VHF se suele utilizar la polarización horizontal en estaciones fijas; en móviles se usa generalmente un radiador vertical (antena de látigo). Otro tipo de antena es la de radiador circular de polarización vertical u horizontal con características de radiación circular.

A ser posible se hará un montaje rotativo con elementos múltiples, teniendo gran importancia la altura y situación más en estas circunstancias que en HF. La línea de transmisión debe ser lo más corta posible, lo que impone ciertas limitaciones.

Se ha de tener siempre en cuenta, a la hora de proyectar o construir una antena para VHF, la especial propagación de estas frecuencias y que el máximo rendimiento está en relación con la altura de la antena.

Vamos ahora a dar algunos diseños, que consideramos de utilidad, de dispositivos de antena útiles en la banda de aficionados en 144 MHz.

Antenas yagi

Las figuras 1 y 2 muestran dos tipos estándar de antena yagi para 144 MHz utilizando dipolo plegado o simple. Se recomienda su construcción con tubo de aluminio, lo que

hace muy sencillo su montaje y fácil su colocación en un mástil.

Fig. 1.—Antena yagi de cinco elementos con dipolo plegado para 144 MHz.

Longitud de los elementos:

A, 89 cm; B, 90,5 cm; C, 93 cm; D, 98 cm; E, 102 cm.

Separación:

A-B, 31 cm; B-C, 31 cm; C-D, 31 cm; D-E, 53 cm.

El tubo de aluminio se recomienda que sea de 0,7 cm de diámetro.

Fig. 2.—Antena yagi de cinco elementos sobre cinco elementos mostrando el dispositivo de acoplamiento.

Longitud de los elementos:

A, 105 cm; B, 51 cm—51 cm; C, 94 cm; D, 92 cm; E, 92 cm.

Separación:

AB, 38 cm; BC, 51 cm; CD, 51 cm; DE, 51 cm.

Antenas cúbicas («Quad»)

Este tipo de antena, que tiene gran aceptación en los países sajones, posee especiales ventajas, por lo que creemos de interés su experimentación.

Sus dimensiones son muy reducidas y posee una ganancia que puede calcularse entre 5,5 y 6,0 dB. No existe ninguna razón para agregar directores al reflector, a diferencia de las antenas tipo yagi. Otra de las ventajas es que no precisa el uso de tubo metálico para su construcción, pudiendo hacerse con hilo grueso, lo que facilita la construcción por el aficionado.

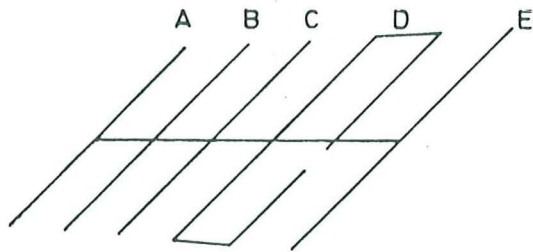


Figura 1. Antena yagi de cinco elementos con dipolo plegado

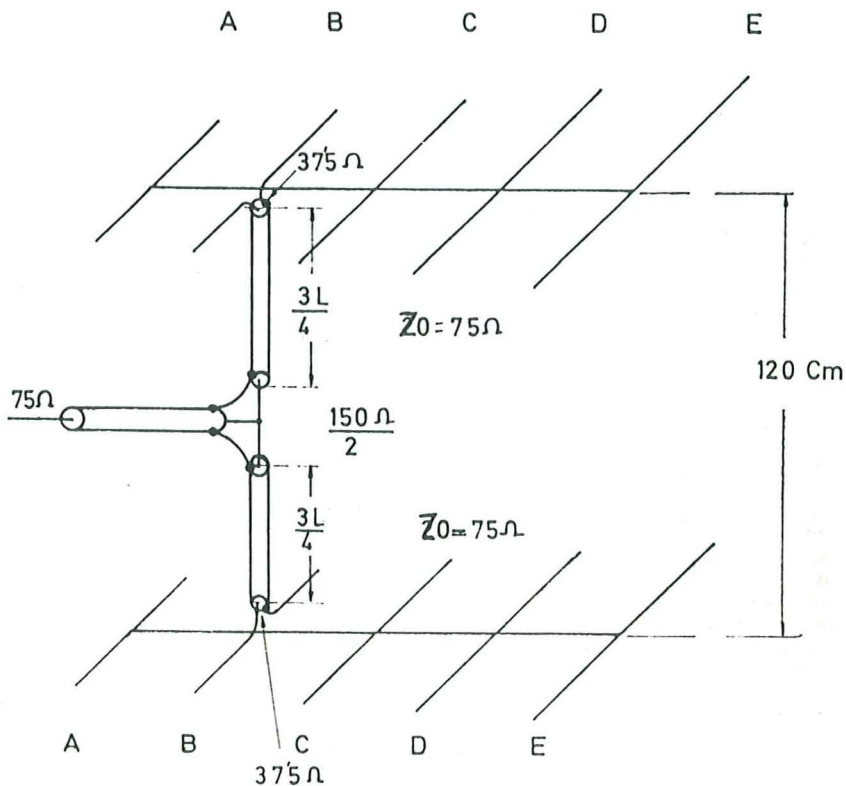


Figura 2.- Antena Yagi de 5 sobre 5 elementos, mostrando el dispositivo de acoplamiento.-

Fig. 3. - Dimensiones de las antenas cúbicas (quad).

CUADRO I

Dimensiones para una antena cúbica de la banda de 144 MHz.

<i>Reflector</i> (longitud total) (b)	<i>Radiador</i> (longitud total) (1)	<i>Directores</i> (si se utilizan)
213,36 cm (a)	203,20 cm	193,04 a 16 cm
203,20 cm (b)	203,20 cm	203,20 a 9 cm

NOTA. Las dimensiones se refieren a la figura 3.

Complejo directivo de antenas cúbicas

El dispositivo que ilustra la figura 4, que forma un complejo directivo de antenas cúbicas para 144 MHz (de G. R. Jessof, G6JP).

La separación entre los dos elementos de una sola unidad proporcionan un adecuado acoplamiento usando líneas de 72 ohmios, que es aproximadamente de 0,08 de la longitud de onda. Esta separación tiene un efecto marcadamente crítico, sin afectar la ganancia, que se estima en 5 dB direccionales, en relación con un dipolo de media onda y una relación de atrás adelante superior a los 20 dB.

Fig. 4 (a).—Dispositivo de un complejo directivo de antenas cúbicas para 2 m.

Fig. 4 (b).—Dispositivo eléctrico del complejo directivo de antenas cúbicas.

Fig. 4 (c).—Dimensiones de los elementos del complejo de antenas cúbicas que se describe.

Empleo de reflectores

El uso de reflectores, planos en ángulo o parabólico, puede ser de gran utilidad para eliminar parásitos. Un reflector plano debe sobresalir por lo menos un cuarto de longitud de onda de la zona que ocupan los elementos activos de la antena.

Cuando se utiliza un reflector en forma de ángulo la ganancia es muy elevada. Los reflectores pueden fabricarse con una lámina metálica, alambre tejido o elementos de alambre o tubo, montados, dejando poco espacio entre ellos. En la figura 5 damos las dimensiones de un reflector de este último tipo para 144 MHz, tomado también de G6JP.

<i>P</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>V</i>	<i>A</i>	<i>U</i>	<i>lambda</i>
508	103	15	96,52	508	1	427

La apertura del ángulo es de 60°.

Fig. 5.—Antena reflectora para 144 MHz.

Para reducir las dimensiones de un reflector en ángulo se suele cortar la porción aguda del mismo y se sustituye por un reflector plano. Esto plantea grandes dificultades técnicas para el aficionado que desea montar su propia antena y su resultado eléctrico no difiere demasiado, traducido en términos de eficacia, de los logrados con el reflector en ángulo. Este último tipo, así como los reflectores parabólicos, tienen mayor aplicación en UHF que en VHF.

Antenas helicoidales

Este tipo de antena, muy sencilla, es igualmente de un elevado rendimiento y alta ganancia, así como capaz de un margen de frecuencia bastante amplio.

Las propiedades de una antena en hélice están determinadas por el diámetro de la espiral *D* (Fig. 6) y el «paso» *p*. La ganancia depende del número de espiras. El diámetro del reflector *R* deberá ser de por lo menos la mitad de la longitud de onda, el diámetro de la espiral *D*, un tercio de la longitud de onda y el paso *p* aproximadamente de cuarto de onda.

Un dispositivo de este tipo puede fabricarse con alambre de aluminio; teniendo en cuenta sus dimensiones, es también más apropiado para UHF que para VHF.

Fig. 6.—Antena helicoidal.

Antenas en «halo» y «molinete»

Este tipo de antenas son muy populares para servicio móvil por su poco peso, fáciles de fabricar y de polarización circular. Lo mismo cabe decir de las llamadas de «molinete» o «trébol».

Fig. 7.—Antena de halo.

Fig. 8.—Antena de molinete. Los elementos radiantes han de ocupar un área circular de algo más de 1 mm de diámetro.

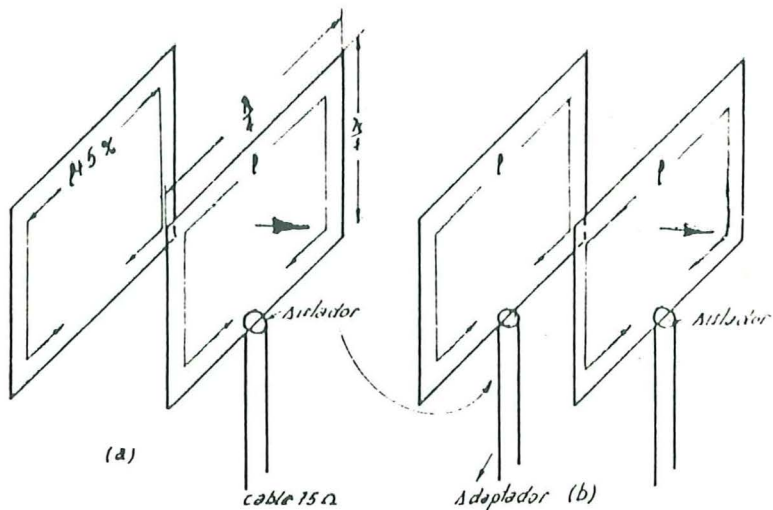


Figura 3.- Dimensiones de las antenas cúbicas (quad)

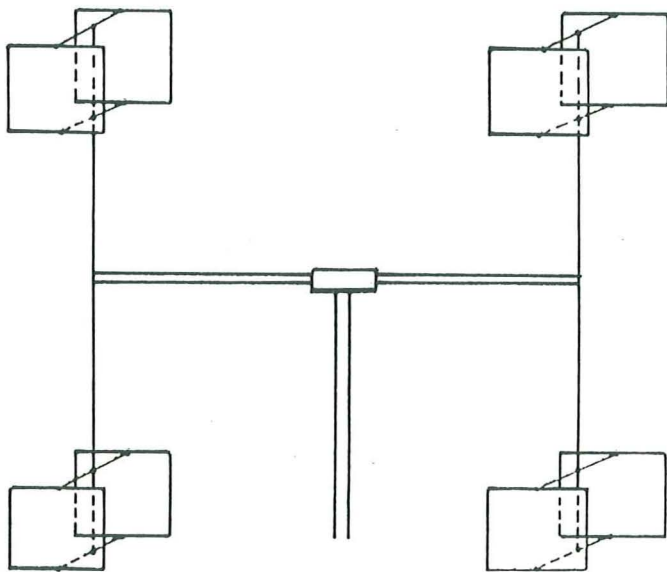


Figura 4 (a).- Dispositivo de un complejo directivo de antenas cúbicas para 2 m.

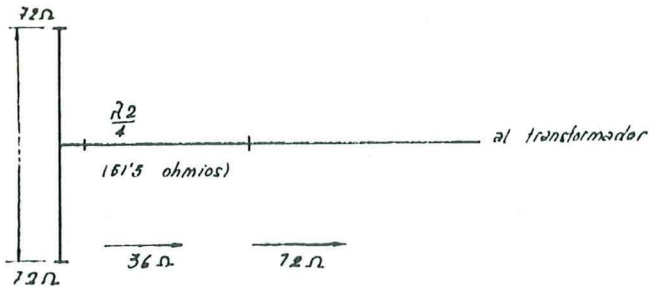


Figura 4 (b)
Dispositivo eléctrico de el complejo directivo de antenas cúbicas

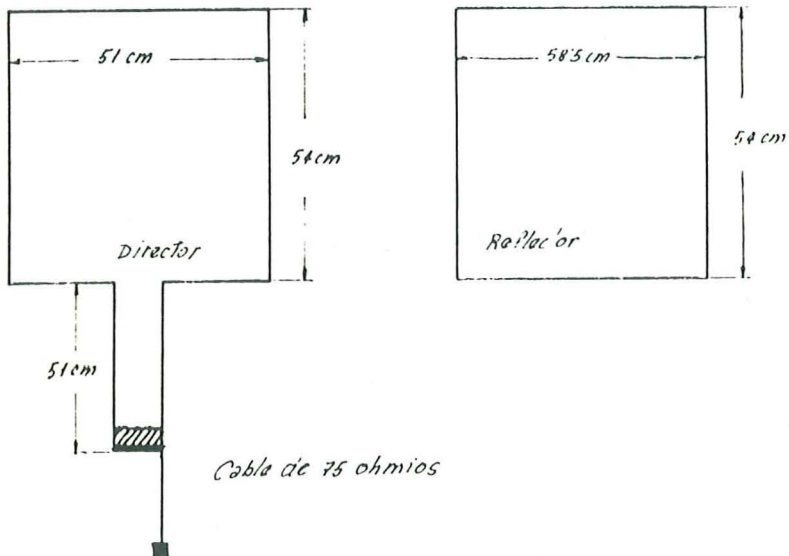
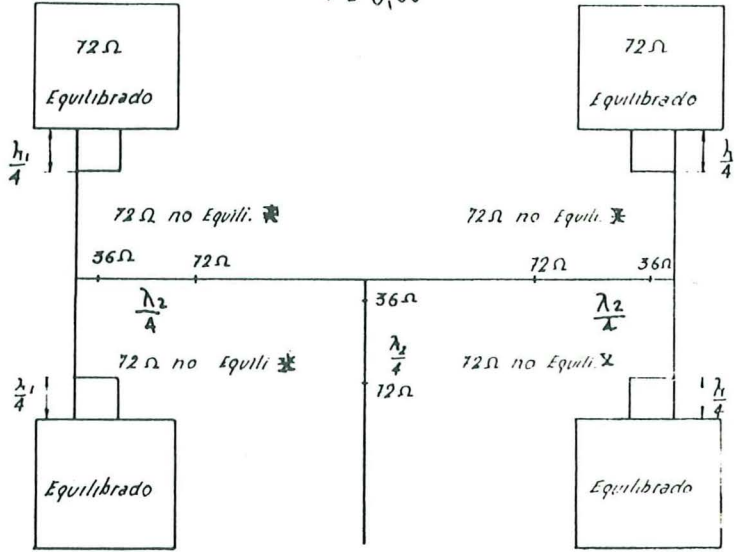


Figura 4 (c). Dimensiones de los elementos de complejo de antenas cúbicas.-

$\lambda_1 =$ longitud de onda en espacio libre

$\lambda_2 =$ longitud de onda en cable de polietileno solid,
 $V = 0,66$



* $72\ \Omega$ ohmios no equilibrado en relación a tierra

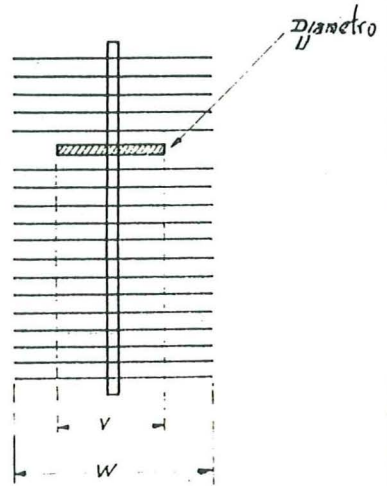
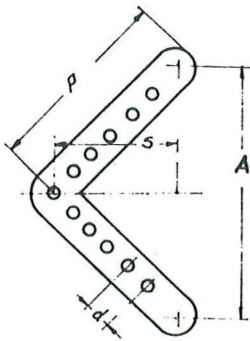


Figura 5. - Antena reflectora a 60° para 144 MHz.

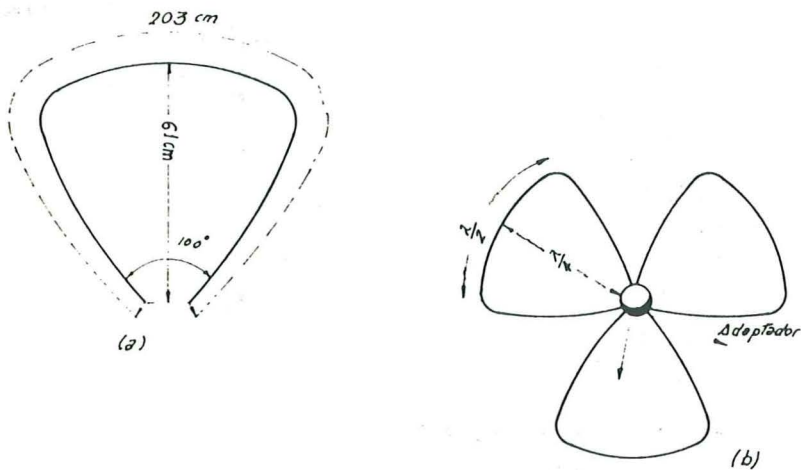
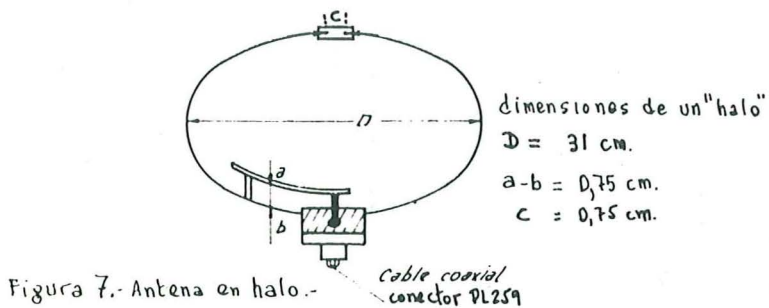
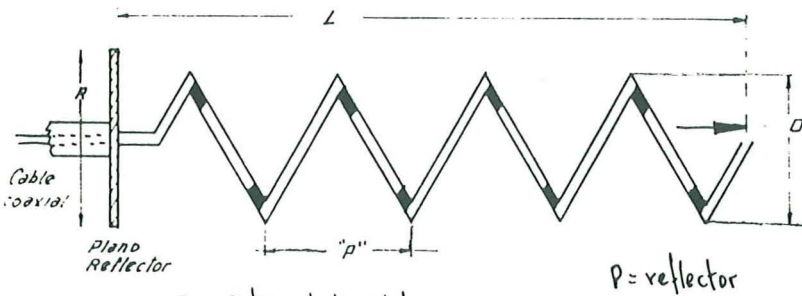


Figura 8.- Antena de molinete. Los elementos radiantes han de ocupar un área circular de aproximadamente 1 m. de diámetro.

Palabras finales

Estas notas sólo aspiran a ser orientadoras, puesto que las condiciones en que opera cada radioaficionado son muy individuales y han de adaptarse tras un mínimo de ensayos. Tendremos siempre muy en cuenta la altura de la antena, la situación de la misma respecto a edificios, montañas, la ubicación en una gran ciudad, en medio del campo o en una estación móvil, etc.

Nos agradecería mucho que otros colegas publicaran su personal experiencia con antenas no «comerciales» dentro del apasionante campo de la VHF.

Bibliografía consultada

- (1) A.R.R.L.: *The Radio Amateurs Handbook*, edición castellana, 1973.
- (2) Ch. GUILBERT: *La práctica de antenas*, Barcelona, Marcombo, 1973.
- (3) G. R. JESSOP (G6JP): *VHF-UHF Manual*, Londres, GSGB, 1972.
- (4) Werner W. DIEFENBACH: *Antenas de onda corta y ultracorta para radioaficionados*, Barcelona, Marcombo, 1972.
- (5) Edward P. TILTON (WIHDQ): *VHF antenna, Facts and Fallacies QST*, XLVIII, núm. 1, 1964, 52.
- (6) R. S. G. B.: *The Radio Communication Handbook*, Fourth Edition, 1972.

La Ley de Murphy se puede enunciar de la siguiente forma:

**CUANTO MEJOR SEA LA ROSCA DE
LOS CONECTORES TIPO PL-259, MAYOR
SERA SU CAPACIDAD DE QUEDARSE ATO
RADA "PER SECLA SECULORUM".**

ANTENAS - FORMACIONES

Hoy día son muchos los radioaficionados que para obtener más ganancia en la antena de VHF o UHF emplean formaciones de dos o más antenas Yagis. La instalación mecánica de ellas se logra con más o menos habilidad constructiva, pero hay muchos que la parte eléctrica les proporciona numerosos problemas, quizá debido a los comentarios más o menos acertados que le puedan hacer otros colegas. Voy a intentar poner en claro los diversos sistemas de acoplamiento, puesta en fase y separación que deben tener estas formaciones por dos antenas. Estas dos antenas las podemos apilar una sobre otra, lo que proporciona una mayor directividad en el plano vertical o ponerlas una al lado de la otra en el plano horizontal, siendo en este caso el lóbulo de radiación horizontal el afectado; esto es, una sola antena nos cubriría un espacio de captación o volumen en el aire; al obtener una mayor directividad, este espacio se estrecha en el plano afectado alargándose a la vez, así obtenemos más direccionalidad y más ganancia en esta dirección.

La primera interrogante que nos encontramos es cuál ha de ser la separación óptima para que esto suceda (para que la ganancia aumente y sea la máxima posible); pues bien, la separación de dos antenas está en consonancia con la longitud del boom o soporte, o sea, la distancia entre el reflector y el último director (el más alejado del dipolo), y, cómo no, con los lóbulos de radiación de éstas, en un artículo que publiqué en el mes de julio, analiza los diversos casos que pueden producirse, y se llega a la conclusión de aplicar la fórmula,

$$D = \frac{L}{2 \times \text{sen } \varphi/2}$$

pero, para simplificar, una simple regla para calcular la separación vertical de dos antenas Yagis es la de multiplicar la longitud del boom por 0,75; para la separación horizontal puede aplicarse lo mismo, pero descontándole un cuarto de onda. Es posible que estas separaciones no sean las óptimas que podríamos obtener por diversos ensayos y mediciones, pero en la práctica nos darán buenos resultados y sólo la diferencia será, en el peor de los casos, de 0,2 dB de menos. En el caso de instalar cuatro antenas, lo más normal es poner dos en el plano horizontal y las otras dos sobre éstas; las separaciones entre ellas serán las calculadas en el caso de dos.

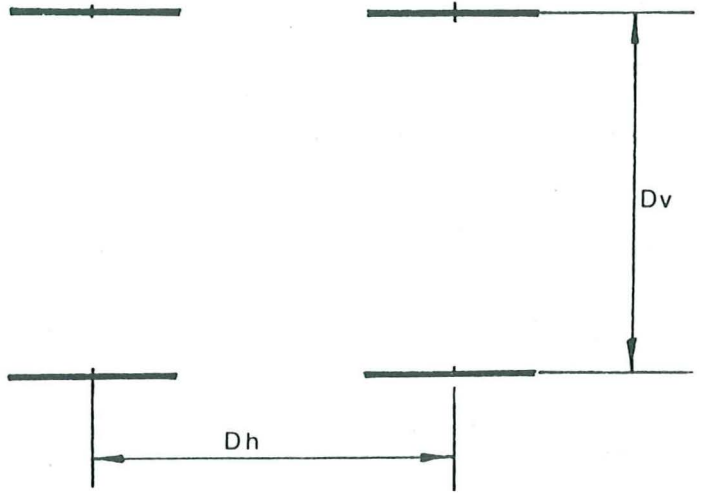


Figura 1

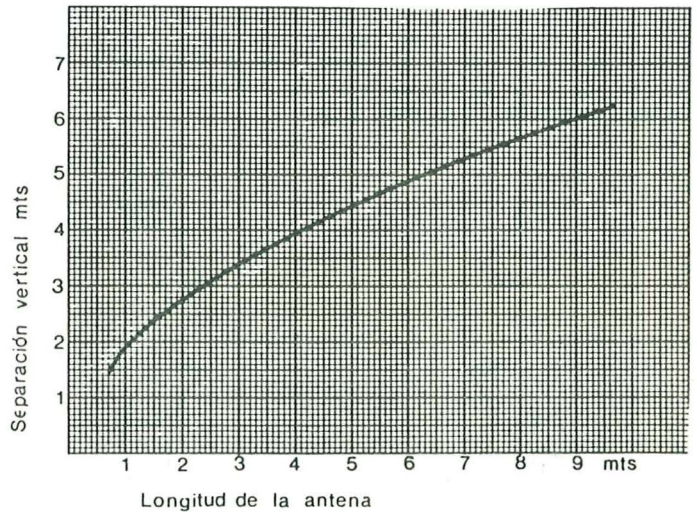


Figura 2

En un gráfico tenemos las distancias óptimas para diferentes medidas de longitud de antena para separaciones verticales (fig. 2).

Un factor muy importante a tener en cuenta al conectar varias antenas entre sí es conectar todos los mismos lados de los dipolos que estén hacia una dirección sobre el mismo lado de la línea, ya que en caso contrario una antena anularía a la otra (figura 3).

He reservado para la última parte los diversos sistemas de acoplamiento entre las antenas, y entre éstas y la línea de alimentación, ya que a primera vista este punto parece un poco embrollado, pero en realidad es relativamente sencillo y con sólo unos pocos cálculos podremos hallar muchas y variadas soluciones, a gusto del constructor o diseñador.

Si recordamos varios principios sobre líneas de transmisión, como pueden ser: impedancia característica de una línea, lo que sucede cuando se ponen varias de ellas en paralelo, las propiedades de una línea cortada a media onda o sus múltiplos y la propiedad de una línea de cuarto de onda, podremos unir perfectamente todas las antenas que deseemos, y no necesariamente estas formaciones tienen que ser simétricas, podemos unir dos, tres, cuatro o más antenas sobre una bajada.

Normalmente, hoy día, las antenas Yagis están diseñadas para alimentarlas a 52 ohmios o para 75 ohmios. Vamos a ver el caso de dos antenas de 52 ohmios (fig. 4), al poner las dos líneas de alimentación que parten de las mismas en paralelo; por el extremo opuesto a éstas tendremos $52 : 2 = 26$ ohmios; para conectar esta impedancia sobre la línea de 52 ohmios tendremos que elevar la impedancia y aquí es donde entra en juego la propiedad de una línea de cuarto de onda, aplicando la fórmula $Z_0 = \sqrt{Z_1 \times Z_2}$ y sustituyendo tenemos: $Z = \sqrt{26 \times 52} = 36,76$ ohmios, por tanto, tendremos que intercalar un cuarto de onda de línea de 36,76 ohmios entre el punto de unión de las líneas que parten de las antenas (estas líneas pueden tener cualquier longitud mientras sean iguales en longitud) y la línea de bajada o de alimentación.

Otro sistema que se da en este caso podría ser utilizar cable de 75 ohmios; aquí entra otra propiedad de las líneas cortadas a media onda, que es la de reflejar la impedancia de carga en el extremo opuesto, por tanto, si nosotros tenemos la línea de alimentación de 52 ohmios, tenemos que poner en paralelo 104 ohmios para obtener $104 : 2 = 52$ ohmios; cómo conseguirlo, pues utilizando desde las antenas hasta el punto de unión con la línea dos trozos de línea coaxial de 75 ohmios, pero de unas longitudes calculadas por la fórmula $nL/2 + L/4$, ya que $nL:2$ nos refleja los 52 de la antena y el 4 de la onda nos eleva esta impedancia de 52 ohmios a los 104, que al ponerla en paralelo con la otra línea de la otra antena nos da los 52 ohmios, sobre los cuales podremos conectar la línea de bajada (52 ohmios) (figura 5).

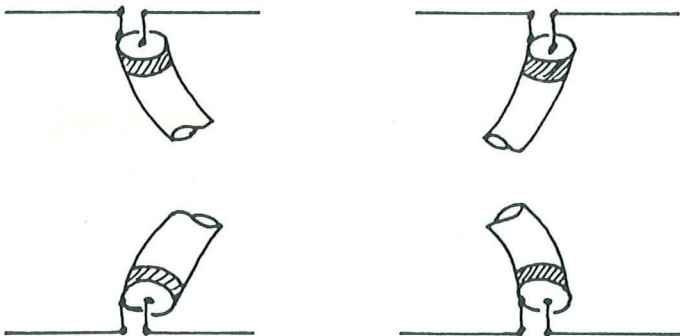
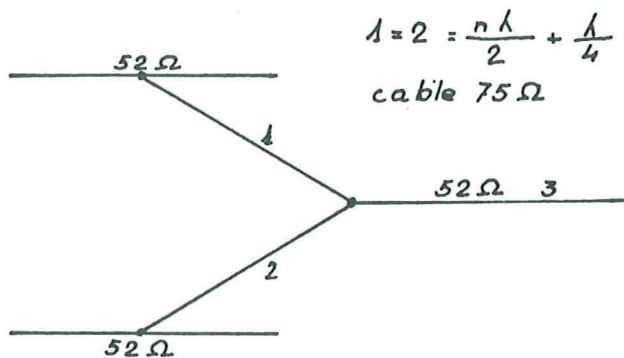


Figura 3

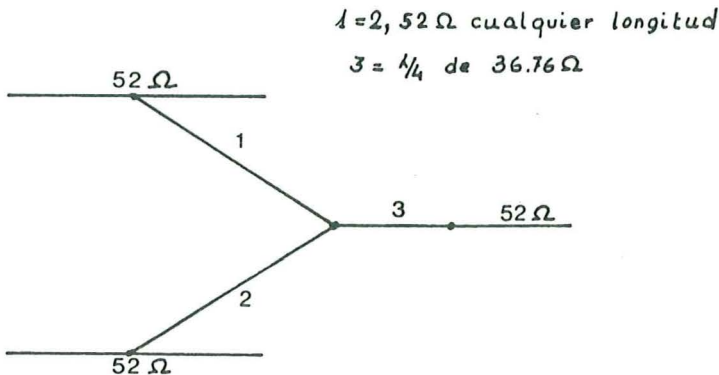
En el caso de que las antenas tengan 75 ohmios de impedancia, tendremos (como en el primer caso expuesto): al poner dos impedancias de 75 en paralelo $75 : 2 = 37,5$ ohmios, pues aplicando $Z_0 = \sqrt{37,5 \times 75}$ nos da 53 ohmios; un cuarto de onda de línea



$$1 = 2 = \frac{n \lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

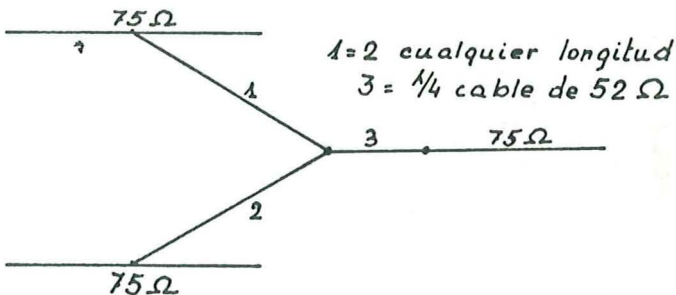
cable 75 Ω

Figura 4



1 = 2, 52 Ω cualquier longitud
3 = $\frac{1}{4}$ de 36.76 Ω

Figura 5



1 = 2 cualquier longitud
3 = $\frac{1}{4}$ cable de 52 Ω

Figura 6

coaxial de 52 ohmios será suficiente para una buena adaptación a una línea de 75 ohmios (figura 6).

En todos los demás casos de tres o cuatro antenas se reduce a aplicar la suma de impedancias. En nuestro caso, al ser todas las impedancias iguales, la fórmula queda reducida a dividir la impedancia de una por el número de ellas. Conocida la impedancia resultante y la de la línea, podremos aplicar la fórmula $Z_0 = \sqrt{Z_1 \times Z_2}$, con lo que sabremos la impedancia de la línea de cuarto de onda, que tendremos de intercalar entre la línea de alimentación y las líneas que van a las antenas. Estas líneas tienen que ser de la misma impedancia que las antenas y ser todas de la misma longitud (figura 7).

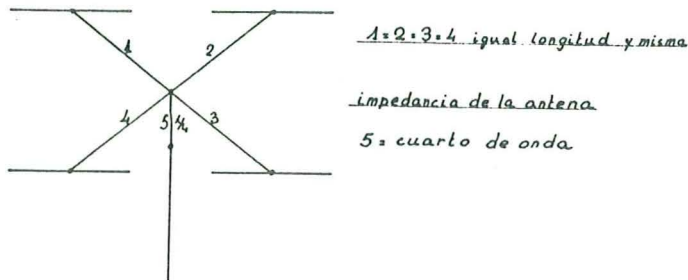


Figura 7

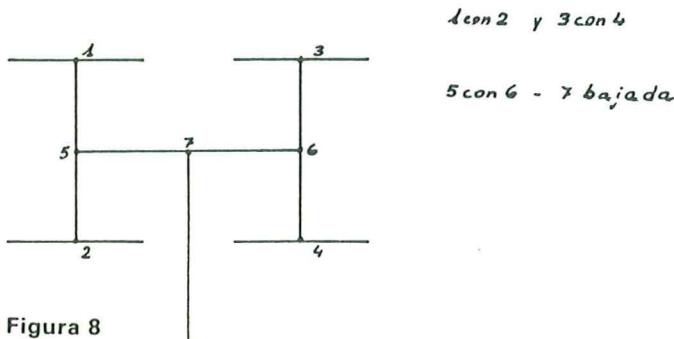


Figura 8

Cuando la formación es simétrica, caso de cuatro antenas, podremos acoplarlas de dos en dos, quedando dos puntos de alimentación y desde estos puntos actuar como si se tratara de dos antenas para adaptarlas a la línea de alimentación.

Para poder calcular las dimensiones físicas de las líneas coaxiales con dieléctrico aire, de cuarto de onda o media onda, en el gráfico de la figura 9 da la relación de diámetros para las diversas impedancias que podemos necesitar. Esta línea tendrá una longitud de 480 mm. para 144 MHz y de 130 mm. para 432 MHz. En el caso de tener dos o más antenas podremos poner en un extremo los conectores para conectar las líneas que vienen de las antenas y el otro extremo un conector para unir la bajada (figura 11).

Cuando tengamos que hacer un cuarto o media onda a base de cable coaxial hay que tener en cuenta el factor de velocidad del cable y reducir la longitud según este factor. Así tenemos que para 144 MHz la longitud será $300 : 144,4$ por el factor de velocidad en el caso de un cuarto de onda.

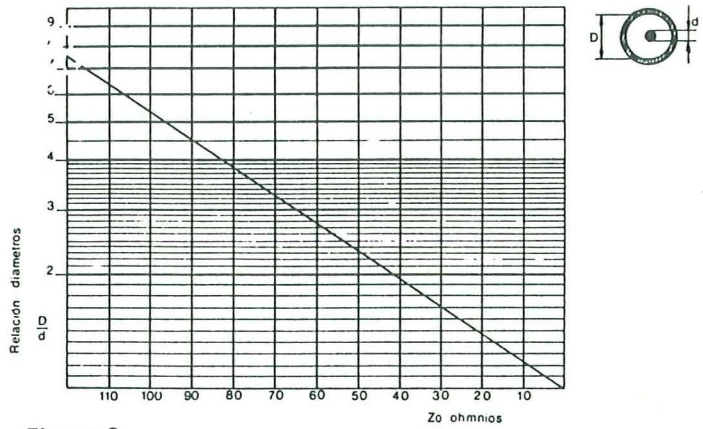


Figura 9

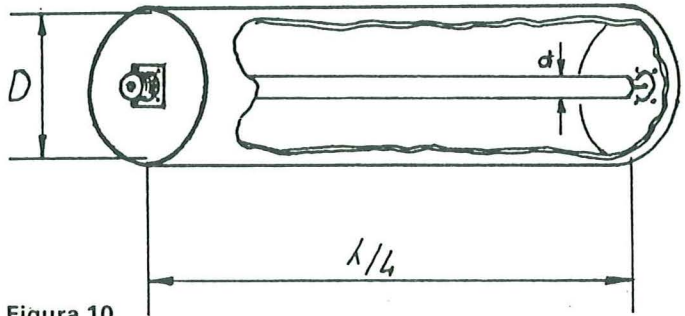


Figura 10

Finalmente, quizá a un nivel más profesional, podemos adoptar dos antenas o cuatro o más sobre una línea de bajada de su misma impedancia utilizando unos repartidores (figura 12). En éstos también es utilizada la propiedad de las líneas de cuarto de onda para convertir una impedancia de un valor en otro. En el caso de dos antenas de 52 ohmios, el repartidor alarga las líneas que le llegan de las antenas un cuarto de onda, con una impedancia tal que eleva a 104 ohmios la original de 52; al poner las dos en paralelo queda otra vez los 52 ohmios para conectar la bajada.

En el caso de cuatro antenas pone dos bajadas de 52 ohmios en paralelo a cada lado del repartidor, desde aquí un cuarto de onda eleva la impedancia resultante de 26 ohmios a los 104, que al ponerlos en paralelo con los 104 del otro lado quedan los 52 ohmios de la línea de alimentación o bajada.

También se fabrican para impedancias de 75 ohmios u otros valores, pero en todos los casos el principio es siempre el mismo.

$\lambda/4$ para unir cuatro antenas de 75Ω a una bajada de 75Ω

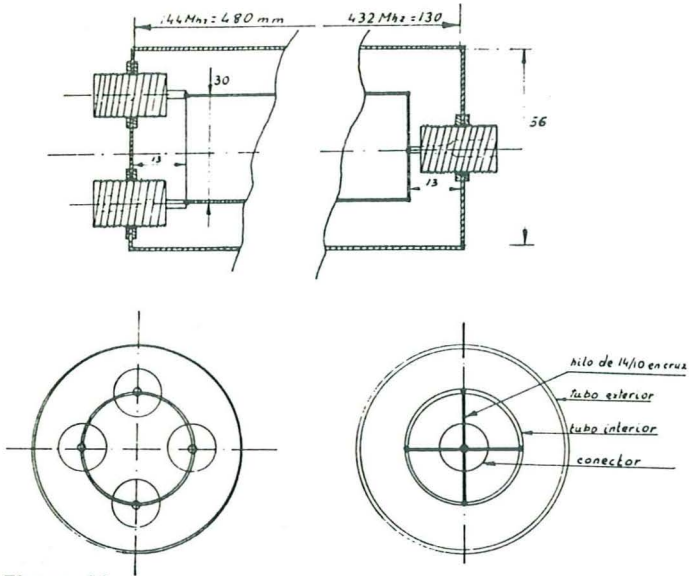


Figura 11

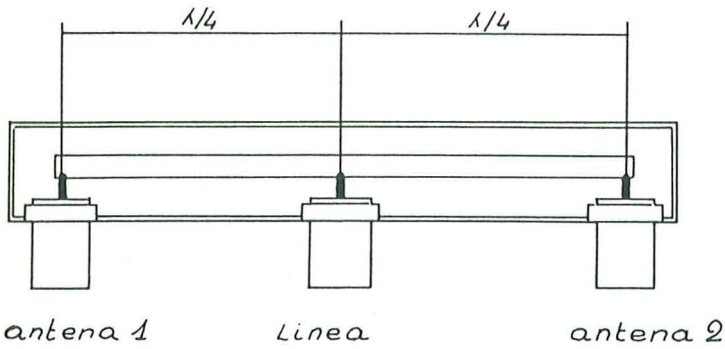


Figura 12

Formaciones de antenas de VHF para conseguir un gran rendimiento

Por JOSEPH H. REISERT, JR. W 6 FZJ/1
Traducido de «QST», diciembre 1974

Mi primer pensamiento fue construir un reflector parabólico, pero... la idea de un disco de 20 pies flotando sobre mi casa unida a la sospecha de una violenta reacción por parte del vecindario (y de mi XYL) me producía escalofríos de terror. Ello me indujo a estudiar otras posibles antenas.

La antena Yagi ofrece seguramente la máxima ganancia en un tamaño determinado. ¡Existen informes de ganancias de hasta 19 dB+ en una sola antena! Esta es una cifra impresionante, pero aún así resulta insuficiente para la mayoría de las comunicaciones Tierra-Luna-Tierra (EME). Un modo de conseguir una ganancia más alta es el de acoplar dos o más yagis grandes. Sin embargo, el aumento de ganancia es casi siempre inferior al calculado. Por lo general cuanto más alta sea la ganancia de una yagi individual más difícil es predecir el resultado de una combinación de varias en una gran formación.

Las yagis largas son extremadamente sensibles a cualquier cambio de fase en la estructura de la onda-lenta (los directores). W6JF hizo experimentos con directores colocados de 1/2 a 1 largo de onda fuera de lado de una yagi; esto originó una clara caída de ganancia y un desplazamiento de patrón, lo que nos llevó a la conclusión de que convendría dejar mayores espacios entre yagis largas. Sin embargo, los experimentos han demostrado que cuando las yagis se espacian más unas de otras para reducir su interacción, el aumento de ganancia raramente alcanza los 3 dB calculados, y al mismo tiempo, los lóbulos laterales se hacen muy grandes en relación con el lóbulo delantero. Más aún, el lóbulo principal se hace muy estrecho. Si los espacios se reducen, decrecen los ló-

bulos laterales de la ganancia. Más adelante volveremos sobre este asunto.

Los grandes lóbulos laterales pueden no ser gran obstáculo para el trabajo, troposférico o en dispersión meteórica, pero sí lo son en EME. Y digamos además que las yagis largas son, por lo común, elementos de banda muy estrecha y, por consiguiente, difíciles de duplicar, especialmente cuando son varias las que se precisan para una formación. Esto seguramente explica la causa de que hayan resultado más eficaces muchas formaciones de yagis cortas que las constituidas con yagis largas.

Luego pasamos a investigar una formación colineal de diseño convencional para ver si ésta podía aportar la ganancia necesaria para trabajar en EME. En la figura 1 A se muestra una antena colineal corriente de 16 elementos. Su ganancia máxima es teóricamente de 14 dB's, pero 13 es una cifra más realista.

Los directores que K6MYC y otros colocaron al frente de este tipo de antena, produjeron una ganancia suplementaria de 1 a 1,7 dB pero a costa de aumentar la complejidad mecánica, tamaño y peso. Por lo tanto, se requería una formación de 8 a 16 de tales antenas para conseguir 25 dB..., una formación muy voluminosa. Al mismo tiempo, los problemas de alimentación pueden llegar a ser importantes y pueden producirse pérdidas, anulando la ganancia conseguida con los directores suplementarios.

El problema del diseño colineal, normal es que básicamente es el resultado de una «componenda». Los aisladores están muchas veces colocados en el punto de alto voltaje. Esto puede originar alguna pérdida y un cierto desequilibrio en el padrón de radiación, como señala W1HDQ. También el sis-

tema de alimentación debe tener separación de media onda en el lado del plano ancho para dividir correctamente la potencia entre todos los elementos dirigidos. Sin embargo, el espacio de media onda no consigue la ganancia máxima obtenible para esta cantidad de elementos. Si los elementos individuales estuviesen correctamente espaciados, la ganancia tendría que aumentar, pero una vez más, esto exigiría un complejo sistema de

aumentada y expandida. Este diseño creemos fue concedido por el ya fallecido Oliver Wright, W6GD, y luego popularizado por Frank Jones, W6JF. Las antenas de este tipo han ganado virtualmente todos los concursos de mediciones y rendimiento de antenas en 432 MHz celebrados en la Costa Occidental.

El diseño de colineal aumentada y expansionada comprende el estudio de espacio en ambos planos (ver fig. 1B). Tanto el lado ancho como los espacios colineales se aumentan al punto óptimo para una ganancia máxima. Esto, por supuesto aumenta la complejidad del sistema de alimentación (como ya se esperaba) pero los aisladores no están ya en el punto de más alto voltaje de la formación. La ganancia teórica de una antena aumentada y expansionada de 16 elementos es de 17,3 dB. En la práctica, son fácilmente alcanzables 16 ó 17. Más aún. ¡Se requerirían dos colineales normales de 16 elementos para igualar la ganancia de una formación, aumentada y expansionada, de 16 elementos! Por lo tanto, podemos aumentar el rendimiento con muchos menos elementos y más baja carga de viento.

Diseño de colineal, aumentada y expansionada.

Los únicos diseños existentes que yo pude encontrar eran para formaciones con ganancias de 19-20 dB (32 elementos). La información de W) GD era para 144 MHz, con soportes de madera. Los diseños de W6AJF son para 432 MHz, construcción metálica. No estaban perfeccionados para ganancia, requisito esencial para EME. La correspondencia con W6AJF fue muy útil, pero no disponía de información para formaciones más grandes. Por lo tanto, se hacía necesario proseguir la investigación.

Como punto de partida, construí una colineal de 32 elementos, aumentada y expansionada de acuerdo con W6AJF. Las mediciones indicaron una ganancia nominal de 18 dB. Luego construí la alimentación tipo X», y la ganancia aumentó a 19 dBi, según medidas tomadas en la Conferencia de la Costa Occidental, en 1970. Esto ya resultaba muy prometedor, y tomé la decisión de seguir adelante, hasta los 128 elementos con cuatro antenas de 32 elementos.

Consulté publicaciones técnicas y artículos sobre estructuras. Los informes de Kasper fueron valiosos, aunque sólo aplicables a estructuras de dos y cuatro alturas. La información de C. Tai sólo servía para elementos dirigidos sin reflectores. Con esta base y algo de mi propia intuición diseñé una formación de 128 elementos para 432 MHz, y las construí. Todos los soportes horizontales se montaron con abrazaderas móviles, de forma que se pudiesen variar los espacios.

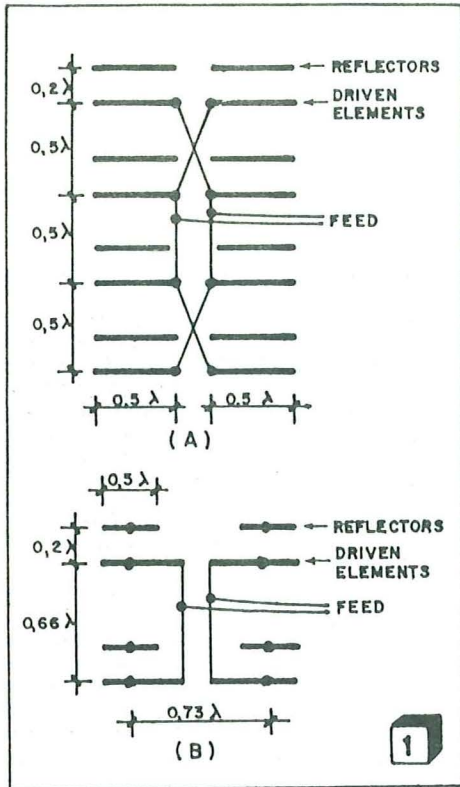


Fig. 1.—La formación básica colineal de 16 elementos «A» y una formación básica colineal aumentada y expansionada de 8 elementos B. Los espacios para formaciones más grandes varían de acuerdo con la TABLA I.

alimentación. La razón por la que los directores suplementarios ofrecen un aumento de ganancia en este diseño particular, se debe probablemente al aumento de la apertura efectiva.

Esta ganancia adicional podría obtenerse sencillamente *sin los directores*, si los elementos estuviesen correctamente espaciados desde un principio.

A continuación investigamos la colineal

Rendimiento

La colineal aumentada y expansionada de 128 elementos que usé inicialmente ofrecía $0,9 \lambda$ de lado ancho y espacio colineal de $0,93 \lambda$. Varios intercambios con VE7BBG ofrecieron resultados confusos. ¡A mí me oían, pero yo no oía nada positivo. Por este tiempo existían tantos otros problemas (conmutación, rotor, energía preamplificador) que resultaba difícil una evaluación completa. Tras la solución de algunos de estos problemas, efectuamos pruebas de ruido solar. Por todas partes aparecían lóbulos laterales, y el lóbulo delantero era muy estrecho. Las pruebas siguientes demostraron que la ganancia resultaba baja en 1 ó 2 dB y que el primer lóbulo lateral era sólo de 8 dB debajo del haz principal. Los fuertes lóbulos laterales aumentan la captación de ruido muy por encima de un nivel aceptable. Cuando la separación (espacios) es muy ancha, suelen formarse grandes lóbulos laterales. El paso siguiente se dirigió a determinar un nivel aceptable para los lóbulos laterales. Estudié las alimentaciones de formaciones tales como de distribución uniforme, Dolp-Tchebyscheff, Taylor, conicidad invertida, binómica. Decidí quedarme con la distribución uniforme de potencia (igual potencia en cada elemento dirigido) toda vez que era el sistema de alimentación menos complejo y producía más ganancia. Silver señala que se produce una ganancia de estructura óptima en una formación de apertura lineal cuando el nivel del primer lóbulo lateral es de 13,2 dB por debajo del lóbulo principal. Usando la distribución uniforme de potencia, ésta podría producir respuestas de $-17,7$ dB y -20 dB para el segundo y tercer lóbulos, aproximadamente.

Pensando en ésto, se colocó una fuente de señal de referencia a cierta distancia de la formación, y llevé los resultados a un plano. Disminuí una pulgada cada vez de la separación (espacio) de la colineal hasta que los primeros lóbulos laterales del plano horizontal estuvieron bajo 13 ó 14 dB. A continuación, disminuí y perfeccioné el espacio del lado ancho. Continué con otras pruebas con formaciones de 32 y 64 elementos para perfeccionar los espacios en dichas configuraciones. Los resultados se resumen en la Tabla I y se pueden usar directamente para diseñar colineales aumentadas y expansionadas de 8 a 128 elementos en cualquier frecuencia. Si los lóbulos laterales constituyen una traba, pueden reducirse los espacios desde $0,5$ a $0,1 \lambda$ lo que rebajará la ganancia de $0,5$ a $2,0$ dB (mayores pérdidas aparecen en formaciones grandes).

También afectué pruebas de eficacia direccional (Front to back). Tuve que perfeccionar

los reflectores y alargarlos ligeramente. Los resultados de esta prueba se muestran en la figura 2 y pueden servir como referencia de longitud frente a relación de eficacia direc-

TABLA I.—Separación óptima para las formaciones colineales aumentadas y expansionadas.

Núm. de elementos en plano	Espacios lado, ancho λ	Espacios colineales λ
2	0,66	0,73
4	0,73	0,80
8	0,80	0,85
16	0,85	0,90

El autor no ha tratado las estructuras de 16 elementos, pero basándose en los resultados de las pruebas, estas cifras pueden producir un rendimiento óptimo.

cional, para los diseños futuros. Noten la aguada caída cuando el reflector es demasiado corto, comparándola con la disminución gradual producida por un reflector demasiado largo; es mejor errar por el lado largo.

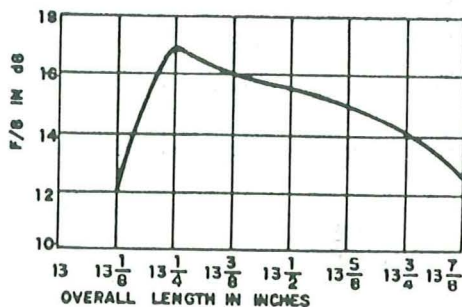


Fig. 2.—La relación de eficacia direccional varía según se cambie la longitud de los elementos del reflector. Esta información se tomó en 432 MHz, usando elementos de $3/32$ pulgadas de diámetro, montados en soportes de $1/4$ de pulgada.

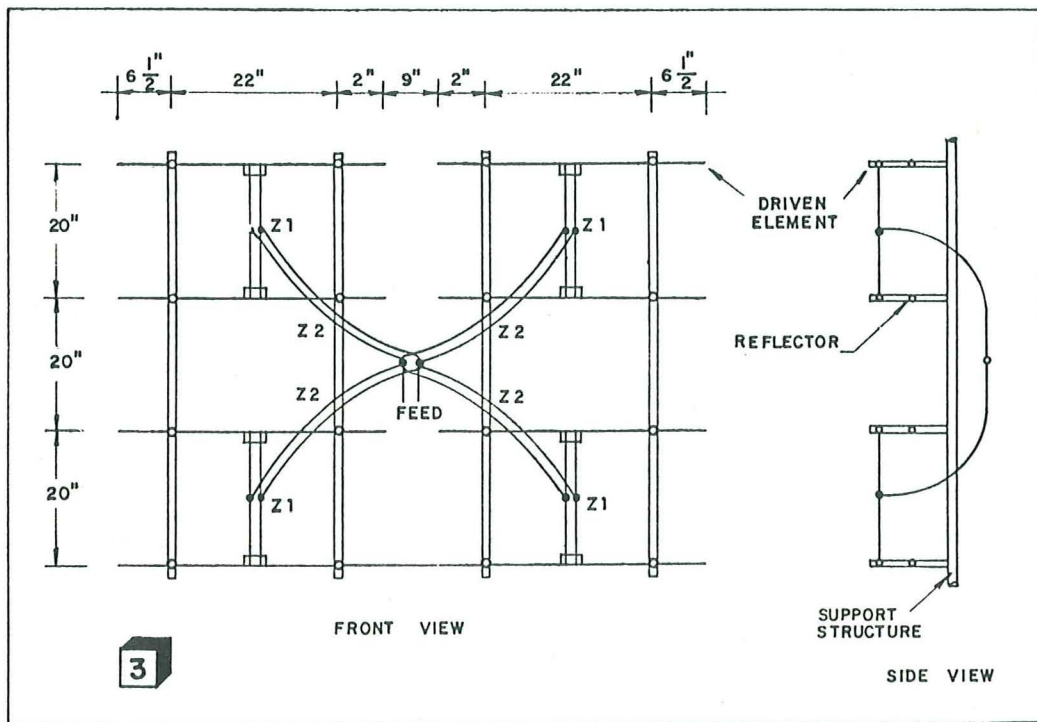
Construcción

En la formación descrita se emplean soportes metálicos. Estos proporcionan una fuerte estructura mecánica, resistente a la

intemperie durante mucho tiempo y, a la vez, ofreciendo un buen medio de protección contra rayos y electricidad estática.

En la fig. 3 se muestra el esquema de una formación normal de 32 elementos para 432 MHz. En la fig. 4 se presenta una formación similar de 128 elementos. Se usaron soportes de aluminio de 0,25 pulgadas de diámetro toda vez que este material es suficientemente fuerte y fácil de trabajar. Más adelante ofreceremos más detalles de los soportes. Los elementos son varillas de latón

Usé soldadura de plata para la unión de los elementos a las barras de estructura, pero puede aceptarse la soldadura corriente. Los elementos se fijaron mecánicamente en su sitio. Esto representaba una gran ventaja, toda vez que permitía la sustitución de los elementos o la modificación de sus longitudes. Sin embargo, y una vez que sus dimensiones ya han sido determinadas, no es necesario este método de montaje. Pueden usarse soportes de latón o cobre y los elementos se pueden fijar mediante soldadura,

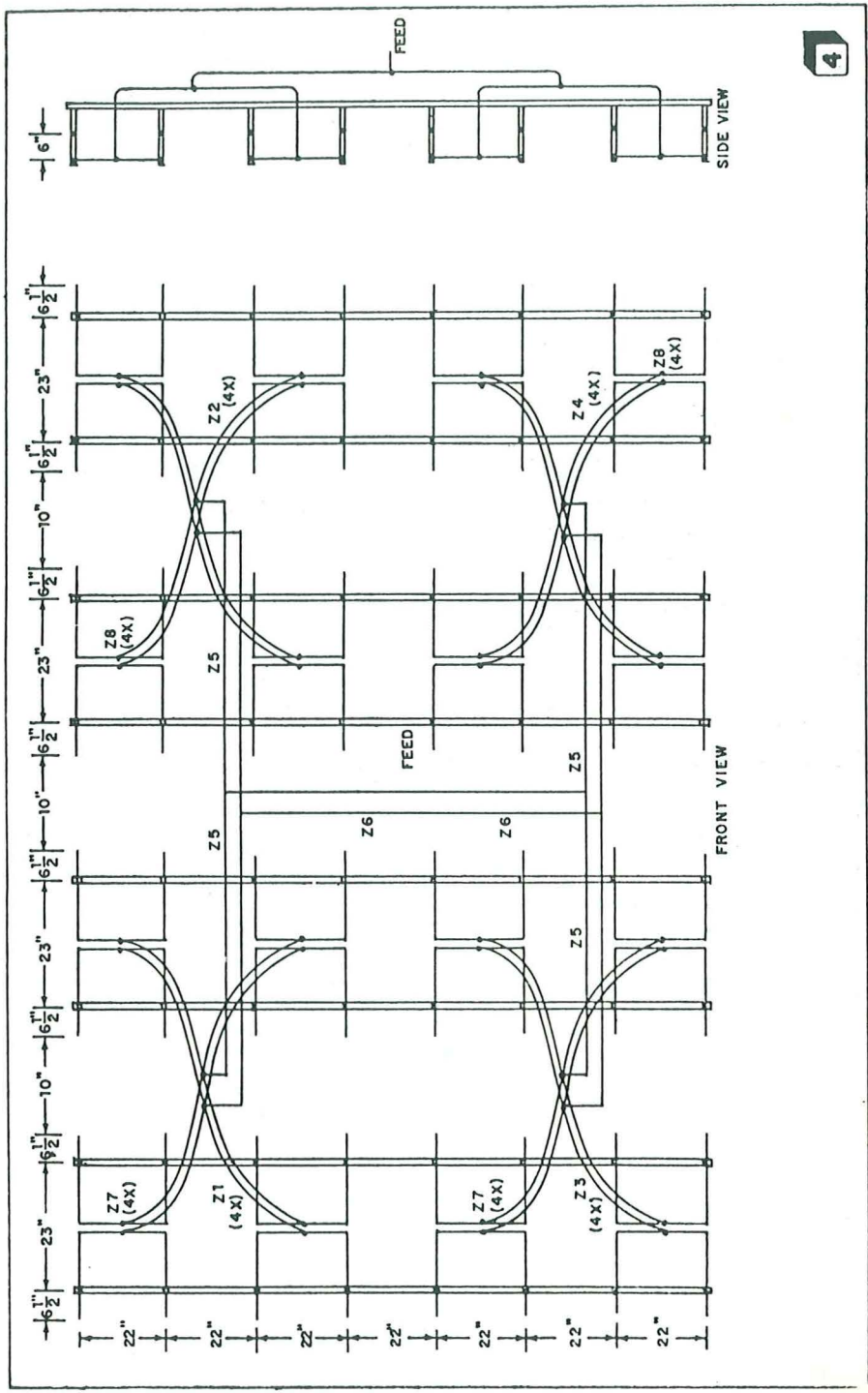


de 3/32 pulgadas de diámetro, fáciles de encontrar en las tiendas de suministros de materiales de soldadura. Estas varillas se manejan fácilmente, toman bien las soldaduras y resulta el material de soldadura menos costoso.

Las barras de la estructura son de 1/16 pulgadas de diámetro y espaciadas en 3/4 de pulgada, de centro a centro. Usé varillas de latón (1) de soldadura porque son suficientemente rígidas y mantienen bien su forma. Se inserta un espaciador de Teflón donde se juntan el elemento y la barra de estructura. Se sitúa otro espaciador en la línea de fasaje donde se hace la conexión al aparato.

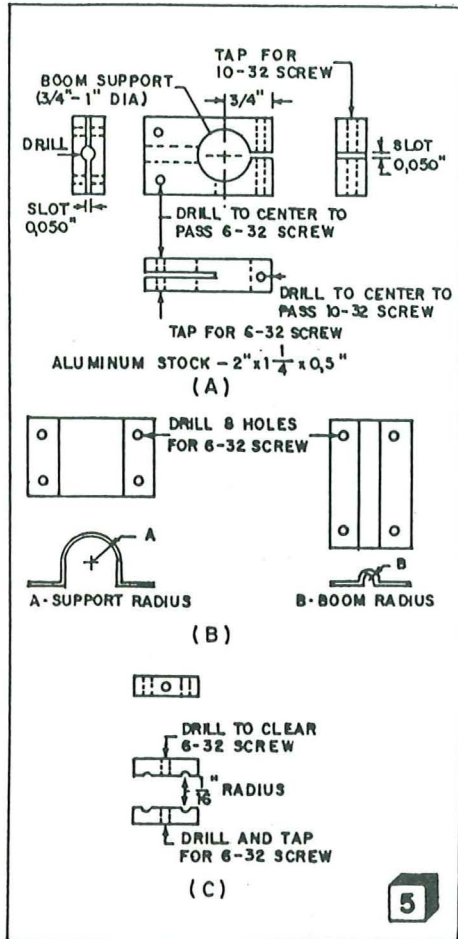
con un pequeño soplete o con un soldador grande, como desee.

Preparé dos tipos de grapas para soporte. Los macizos (fig. 5) de chapa de aluminio de 1/2 pulgada de grueso, mecanizados y taladrados. Su diseño y construcción correspondió a Greg Toben, W6CCN. Resultan costosas y su construcción exigió tiempo, pero proporcionan un gran ahorro de tiempo en las pruebas. Las grapas de sencilla construcción, de la fig. 5B, fueron ideadas por John Ehler W5TMN, quien me sugirió que las hiciese. Son de muy fácil construcción, una vez que se ha hecho un patrón adecuado. Estas grapas para el soporte son muy re-



comendables porque no exigen perforaciones en las estructuras de montaje. perforaciones que siempre debilitan la formación.

El aparejo de la línea de alimentación, presentó una serie de problemas. Al principio usamos una línea de cable abierto comercial



malte, con espaciadores de Teflón de 1/4 de pulgada de diámetro. Estos espaciadores son de una pulgada de largo y van separados unas seis o siete pulgadas. El espacio entre cables es de 3/4 de pulgada, de centro a centro. Preparé un pequeño dispositivo para ayudarme en el taladrado y corte de los espaciadores. Corté el cable del aparejo a una longitud ligeramente superior, los extremos a bisel para mayor facilidad de introducción en los espaciadores. Todos los espaciadores deberían estar a distancias iguales a través de la formación. Para mantener una separación uniforme puede usarse una regla o un trozo de tubo de aluminio. La línea resultante es fuerte, de baja pérdida y resistente a la corrosión. Los aparejos pueden sujetarse convenientemente con aisladores tipo T.V. y espaciadores de Teflón en sustitución del material aislante existente. La longitud de las líneas de fase, no es cuestión de absoluto interés, por cuanto que como líneas complementarias son todas de la misma longitud y simétricas.

IGUALIZACION Y SINTONIZACION

Después de completada la construcción, habrán de efectuarse varias pruebas. Habrá que verificar, con respecto a longitud, todas las líneas de alimentación de cada aparejo de fase. Si se desea obtener un resultado óptimo, la simetría es un factor muy importante. Todos los puntos de alimentación deben comprobarse cuidadosamente para asegurarse de que no existen transposiciones accidentales. El medio más seguro de alimentar una formación es mediante un adaptador de igualación. Los adaptadores de igualación presentan una pérdida muy baja y pueden virtualmente igualar cualquier impedancia a cualquier otra impedancia, con una unidad de aproximación de VSWR. Estos adaptadores de mucha más fácil aplicación que la mayoría de los sistemas de igualación usados en las yagis, toda vez que toleran muy bien las desigualaciones, las variaciones de antena y fallos semejantes. No obstante, para cada formación se recomienda solamente un adaptador. Un adaptador consiste en dos varillas de latón de 1/8 pulgadas de diámetro espaciadas a 3/4 de pulgada de centro a centro, y por lo menos, de 14 pulgadas de longitud para 432 MHz, o proporcionalmente más largas para más bajas frecuencias. Uno de los extremos debe estar aislado y el aparejo procedente de la antena debe conectarse en este punto. El otro extremo, puede llevarse a tierra si se desea. Junto al extremo de tierra debe fijarse una barra de cortocircuito, y la línea de alimentación debe conectarse a unas dos pulgadas por

de 300 ohm. Esta demostró su gran desventaja ya que los aisladores quedaban sobresaliendo durante la construcción necesitando una línea sustitutoria. También este cable abierto se corría casi inmediatamente. Todavía me duele el recuerdo de los muchos cientos de pies gastados en las primeras pruebas. Al final decidí seguir adelante y construir mis propias líneas de cable abierto. Consiste en un cable Beldsol de número 16 con espeso revestimiento de es-

encima de la barra de corto. En la fig. 5C se muestra una barra de cortocircuito apropiada. La línea de alimentación puede conectarse temporalmente al adaptador con conectores de hendidura, fáciles de encontrar en la mayoría de las tiendas de accesorios y ferreterías.

El adaptador igualador debe alimentarse a través de una línea equilibrada. Los conductores gemelos de T.V. o línea de cable abierto, resultan adecuados. Debe utilizarse un buen «balun» de baja pérdida, tal como el tipo «bote de cerveza». Si la longitud desde la línea de alimentación hasta el adaptador se considera un número completo de medidas longitudes de ondas eléctricas, carece entonces de importancia la impedancia de la línea. Yo uso un «balun» 4:1 de baja pérdida y línea de alimentación de 200 ohms, pero cualquier línea de baja pérdida es aceptable.

La sintonización de una colineal es realmente fácil cuando se usa un adaptador de igualación. Un sistema conveniente es encarar la antena hacia el cielo y aplicar potencia procedente de una fuente de señal, tal como un transmisor. La barra de cortocircuito y la línea de alimentación se mueven ahora hacia arriba o hacia abajo del adaptador hasta obtener una VSWR (Relación de Onda Estacionaria) unitaria. Cuando se utilicen líneas de 200 ó 300 ohms el punto de alimentación estará por lo general, de una a tres pulgadas por encima del corto. Después de conseguida la igualación, la barra de cortocircuito deberá asegurarse firmemente, y la línea de alimentación se soldará al adaptador.

OTRAS CONFIGURACIONES

El autor ha proyectado muchos otros cambios y configuraciones, pero aún no ha habido tiempo de completar su evaluación. Por lo tanto, deseo divulgar alguno de ellos con la esperanza de que alguien más desee proseguir los experimentos. Uno de los medios más sencillos de mejorar el rendimiento consiste en añadir un reflector tipo pantalla. Se recomienda para los 432 MHz tela metálica de malla circular (de una pulgada de diámetro) y consecuentemente, se acepta un diámetro superior para más bajas frecuencias. Las pruebas efectuadas con formaciones más pequeñas de este mismo tipo, acusan una mejora de ganancia de 1 dB. Sin embargo la carga de hielo y viento será proporcionalmente mayor, por lo que la concepción de la línea de alimentación habrá de ser más compleja. Es también posible el uso de directores en vez de los reflectores antes indicados. Si se usan directores, la ganancia puede incrementarse teóricamente de

0,1 a 0,5 dB. Otra ventaja de los directores es que la separación se reducirá del presente 0,22 a 0,1 ó 0,12, una considerable ventaja mecánica en 144 MHz. Un lógico paso adelante en este razonamiento es el uso conjunto de reflectores y directores. Tendríamos ahora en efecto, una formación de Yagis de tres elementos. Esto mejoraría la ganancia pero habría que aumentar los espacios, con la exigencia de nuevos experimentos. Técnicamente, la formación ya no debe llamarse una colineal, puesto que realmente sería una formación de Yaguis! KH6NS ha utilizado esta configuración para 144 MHz EME.

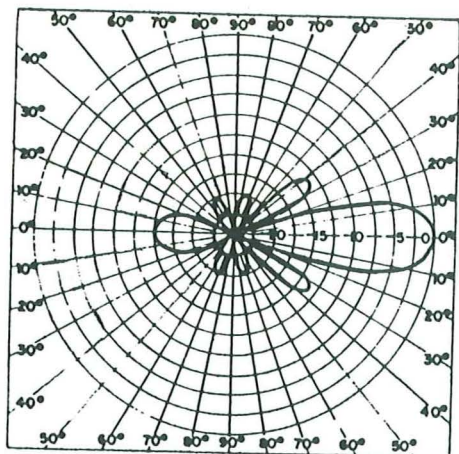
Otro posible perfeccionamiento podría ser la alimentación central de todos los elementos dirigidos en vez de hacerla por los extremos. En este caso se duplicaría el número de puntos de alimentación y el aparejo de faseado, probablemente, consumiría más la mejora conseguida por un sistema de alimentación equilibrada a más altas frecuencias. La construcción para 1296 MHz es también posible mediante adaptación de la escala. No obstante, las líneas de faseado se convierten en un problema. Si se proyecta una formación de 1296 MHz, la alimentación tipo «X» con espacios de 3/8 de pulgada es la que se recomienda en todas las líneas de alimentación. Puede conseguirse una construcción para 144 MHz multiplicando todas las dimensiones de la escala por un factor de tres. Una buena combinación sería 1/4 de pulgada de diámetro de tubo para los elementos y 3/4 de pulgada de diámetro de tubo para los soportes.

Si se cambia el diámetro de los elementos o del soporte, tendrán que variar proporcionalmente las longitudes de los elementos. Esto exigirá algunas pruebas suplementarias.

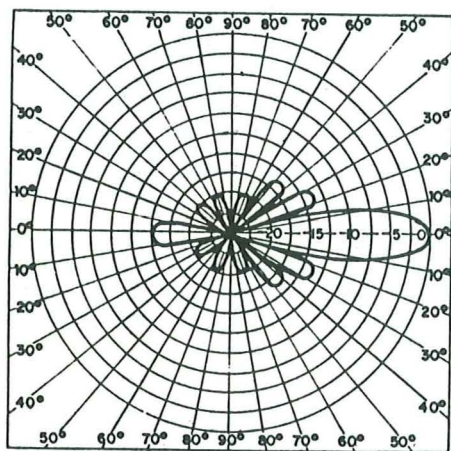
Rendimiento:

El rendimiento de esta formación se explica por sí mismo. Una formación de 32 elementos produce normalmente 19-20 dB, una de 64 elementos, 21-23 dB y una de 128 elementos 24-25 dB. Esto indica una eficacia de apertura total de 60-70 %. Para duplicar este rendimiento se requeriría un disco parabólico de 6 pies con el 55 % de eficacia a 432 MHz. Por supuesto, la formación de 128 elementos que el autor posee, produce más de 24 dB a 432 MHz, basado en ecos EME, medidas de ruido solar y en el gran número de QSO's EME. ZE6JJ posee ahora una formación idéntica, y recientemente consiguió el primer contacto de África a USA sobre los 144 MHz. Una formación de este tipo de 32 elementos, sería capaz de producir ecos EME, a 144 MHz.

En las figuras 6 y 7 respectivamente, se



6



7

ofrecen gráficos polares de plano-E característicos de formaciones de 32 y 128 elementos. Los diseños de plano-H son completamente similares toda vez que la formación es casi cuadrada. El ancho de haz de 3 dB es normalmente de 18 a 20 grados para una formación de 32 elementos, y de 9 a 12 grados para una formación de 128 elementos.

Basándonos en los resultados de las pruebas, podría afirmarse con seguridad que es posible una mejora de ganancia de 2,3 dB cuando se duplica el tamaño de la formación. Esto presupone un ajuste de todos los espacios entre elementos.

Resumen:

La antena colineal aumentada y expandida es básicamente una estructura de banda ancha y bajo-Q. Diferentemente de la Yagi larga, ofrece mucha tolerancia a las variaciones mecánicas pequeñas, siempre que se mantenga la simetría. Es una antena ideal para aquellos que no disponen de muchos elementos de prueba, toda vez que el rendimiento puede duplicarse fácilmente. Los reflectores parabólicos, las formaciones de Yagis y las colineales normales han sido rodos muy populares. Su rendimiento ha quedado demostrado, con sus ventajas y sus inconvenientes. El propósito de este trabajo no es el de desacreditar tales antenas, pero sólo estimular el uso de la colineal aumentada y expandida. Hay que esperar que otros se animen a experimentar con los diseños y que encuentren los medios de perfeccionarlos.

Agradecimientos:

Estoy profundamente agradecido a Greg Toben, W6CCN(que diseñó y construyó casi todas las abrazaderas mecánicas. Sin su constante ayuda y agujoneo esta antena nunca se hubiera alzado sobre el suelo. También debo un especial agradecimiento a Frank Jones W6AJF y a Bob Melvin W6VSV, por sus valiosas sugerencias cuando yo diseñaba la formación.

Antenas de banda ancha

(«Manual de V.H.F. del radioaficionado», pág. 227)

Además de utilizar las resonancias a los diferentes armónicos, como en la mayoría de las antenas de hilo largo, hay varias formas de hacer trabajar a una antena en más de una banda. La mayoría son variaciones del fundamento del dipolo de banda ancha, en las

cuales se modifica la forma del elemento radiante para que no tenga una longitud *eléctrica* exacta. Las antenas «cónicas» y de «mariposa» de V.H.F. y U.H.F. empleadas en TV son ejemplos familiares. En todas estas antenas lo que en definitiva ocurre es que la línea

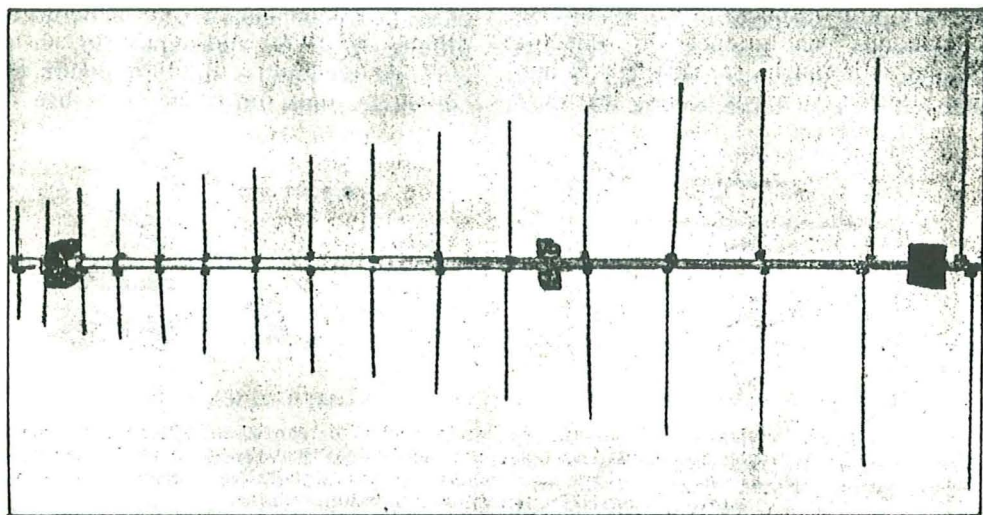


Fig. 1.—Esta antena logarítmico-periódica para 140 a 450 Mc/s parece una Yagi vista de arriba hacia abajo. Realmente tiene dos botalones separados eléctricamente, cada uno de los mismos con un juego de elementos dispuestos como muestra la figura 2. Los objetos negros son tacos de madera que separan a los botalones. El proyecto es de K7RTY.

funcionamiento de las antenas logarítmico-periódicas.

La versión descrita aquí no se ha dibujado ni fotografiado completa y no pueden verse todos los detalles. Tiene dos botalones, uno encima del otro, como están representados en el croquis del extremo corto (frontal) de la figura 3. Los elementos van siendo progresivamente más largos y con mayor separación entre sí a medida que nos movemos hacia la parte posterior de la antena. Esta se alimenta con una línea coaxial que va por dentro del botalón inferior en toda su longitud. El apantallamiento exterior se conecta a este botalón y el conductor interior al de arriba. Cada botalón tiene un juego de elementos escalonados, como muestra la figura 2. Estos van montados de tal forma que cuando se mira la antena directamente desde arriba o desde abajo parece una antena Yagi larga, como se aprecia en la fotografía. Los dos botalones se mantienen separados entre 1 y 1/4 pulgada mediante tacos de madera.

La respuesta de frecuencia viene determinada por los elementos más corto y más largo. El prototipo tiene una ganancia y una impedancia de alimentación uniformes desde 140 a 450 Mc/s. La ganancia en todo este margen completo es, a grosso modo, la que podría esperarse de una antena Yagi de 3 elementos para cualquier frecuencia.

Los montajes de los elementos se hicieron con partes de antenas de TV, modificados de forma que el elemento tuviera un extremo roscado, como se muestra. K7RTY empleó barras de 1/4 de pulgada para los elementos, pero también son apropiados otros tamaños si se dispone de un procedimiento de montaje adecuado. Obsérvese que hacen falta dos conjuntos como el representado en la figura 2. Estos deben mantenerse alineados, pero aislados entre sí.

Una antena de propiedades eléctri-

cas similares fue construida por W1CUT empleando conductos de aluminio de 1/2 pulgada para los botalones y barras de aluminio de 1/8 de pulgada, con el extremo roscado, para los elementos. La línea coaxial corría a lo largo de uno de los conductos, sirviendo aparentemente como un «balun in-

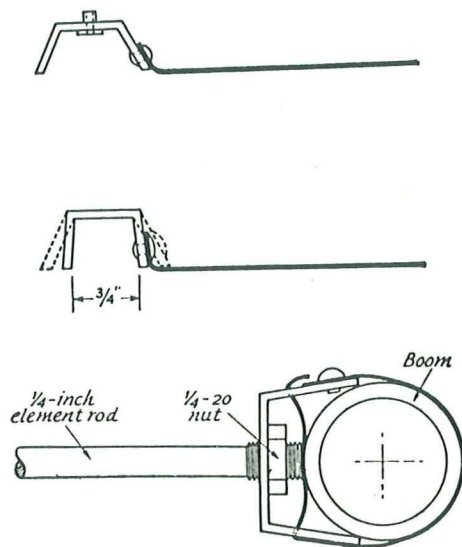


FIG. 4.—Los montajes de los elementos se hacen con sujetadores de línea de TV y bandas de acero puro, parte superior. El encaje se hace remachado o perforado, y la parte de la grapa se abre como se ve en el centro. El montaje completo, con un elemento de 1/4 de pulgada colocado, tiene un cierre y una tuerca de tensión dentro de la grapa para no tener que perforar la última.

Leyenda de la figura

1/4-inch element rod: barra de elemento de 1/4 de pulgada.—Nut: tuerca.—Boom: botalón.

finito», de la misma forma que en la versión de K7RTY, en la cual el coaxial va por el interior del botalón. Esta antena fue probada y se vio que tenía una S.W.R. (relación de onda estacionaria) inferior a 2 : 1 en 144,220 y 432 megaciclos y una ganancia media de 6 dB en este margen.

La logarítmico-periódica, en común con las antenas de banda ancha, no ofrece gangas por nada. La ganancia es muy baja comparada con la que una antena Yagi del mismo tamaño físico entregaría para una frecuencia, pero la principal debilidad está en su naturaleza de banda ancha. Es casi tan eficaz a través de más de un margen de frecuencia de 3 a 1, pero presenta muchísimos más problemas con las respuestas espúreas del receptor que una Yagi, con la inherente selectividad de esta última. Por los mismos motivos, hay que tener gran cuidado de sujetar los productos espúreas del transmisor.

La logarítmico-periódica acepta potencia a cualquier frecuencia de su amplio margen y la radia con alguna ganancia. Esto difiere grandemente del trabajo de una Yagi, la cual produce ganancia en un margen de frecuencias estrecho y una facultad considerable para rechazar la mayoría de las otras frecuencias.

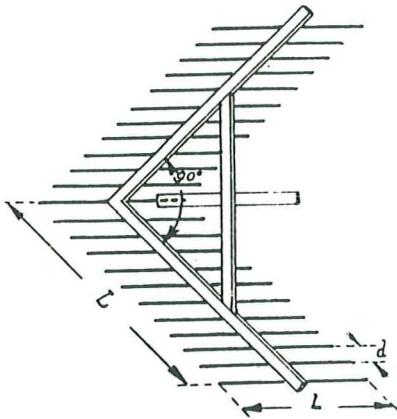
Sin embargo, si se necesita una antena con línea de alimentación y mando de rotación para varias bandas de V.H.F. y U.H.F. (entre éstas, quizá canales de TV), la logarítmico-periódica servirá tan bien como pueda hacerlo cualquier otra antena.

Antena «CORNER»

Por C. FRATTINI, I I CF, traducido de «Radiotecnica Televisione», por MIGUEL GIMENEZ, EA. 3. 358. U

No obstante ser una antena indicada para la televisión, nada impide el emplearla para la recepción de emisiones moduladas en frecuencia. Siendo excelente para el tráfico de ondas métricas, puede ser utilizada con gran rendimiento en emisión y recepción por los radioaficionados.

Dicha antena está formada por un dipolo, recto o doblado, a la que se le ha añadido un reflector diedro; así concebida es dirigida

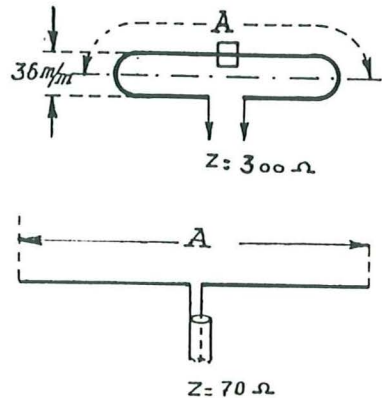


da, pudiendo ser transformada en orientable para la mejor recepción de una fija y determinada estación.

Teóricamente, los límites de empleo en frecuencia están tan sólo determinados por el oscurecimiento del reflector. Sin embargo, se ha contrastado su eficacia, como lo demuestra el alcance de recepción en televisión de 80 km. en Milán y 100 km. en Turín.

Deberá tenerse en cuenta, como debe ser conocido por la mayoría de los radioaficionados, que el «doblete» simple tiene en el centro una impedancia de 70Ω , debiéndose

usar como feeder un cable coaxial de dicha impedancia. Doblado en «trombone», el dipolo tiene una impedancia de 300Ω , la que exige un feeder del llamado «twin-lead» (cable gemelo), además de ser menos onerosa, es más fácil de instalar, al permitir fijarla por entre los dos conductores. Otras ventajas del «trombone» son que el tubo es de una sola pieza, lo que no sólo evita los puntos calientes, con el consiguiente ahorro de



un aislante de f. u. e. capaz de resistir a la intemperie, sino que su centro está a potencial cero, lo que permite fijarla directamente sobre el soporte, aun siendo éste metálico.

Sea «doblete» o «trombone», el tubo deberá ser de una aleación ligera de 6 mm. de diámetro exterior. Su longitud (A) en el «trombone» no corresponde, para efectos de cálculos, a su envergadura, sino a su semidesarrollo.

El reflector está formado de tubos del mismo diámetro, fijados sobre dos reglas de metal o madera. Las dimensiones L y l son

las mínimas, por lo que se desprende que a mayor superficie de reflector, mejor será el resultado; por debajo de las medidas obtenidas, según fórmula, el rendimiento disminuye notablemente. La separación entre tubos (d) es el valor máximo; la finalidad de dichos tubos es el materializar dos planos,

y que no son sustituidos, por razones de estética y de menor presa al viento, por dos sencillas telas.

Todas las medidas están en relación de la frecuencia. El ángulo del diedro es en todos los casos de 90° .

Frecuencia	A	l	L	d	D
F (MHz).	$14059/F$.	$16764/F$.	$23470/F$.	$2794/F$.	$10058/F$.
250 MHz.	56,2 cm.	67 cm.	93,8 cm.	11 cm.	40,2 cm.
100 MHz.	140,6 cm.	167,6 cm.	234,7 cm.	28 cm.	100,6 cm.

Recuérdese que:

A longitud del dipolo.

l longitud mínima de un elemento del reflector.

L longitud mínima de una ala del reflector.

d distancia máxima entre elementos del reflector.

D distancia entre el dipolo y el vértice del diedro.

La antena con reflector angular para 50, 144 y 432 Mc/s.

Por el Dr. I. M. MORENO QUINTANA (h)
(LU 8 BF)

La elevada ganancia delantera y directividad, amplio ancho de banda y un alto valor para la discriminación entre frente delantero/trasero que proporcionan estos sistemas los hacen muy aconsejables para operación en F.M.E. y F.U.E.

Generalidades

Utilizando un reflector metálico doblado en forma de ángulo, dispuesto en las proximidades de un elemento radiante, constituido por un dipolo de $1/2$ longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento, se obtiene un diagrama de radiación similar al de un sistema direccional Yagi (*) de varios elementos, con excelente directividad y rendimiento, según se observa en la figura 6.

El sistema dipolo/reflector se puede emplear con el elemento radiante en posición horizontal para obtener polarización horizontal (criterio que impera en F. M. E.), en cuyo caso la mayor parte de la directividad se hallará en el plano vertical; o bien con el elemento radiante en posición vertical, para tener polarización vertical y directividad en el plano horizontal.

La función del reflector es la de inter-

ceptar la energía radiada hacia una dirección y devolverla en sentido contrario o en dirección determinada. En otras palabras: actúa como un espejo cuando intercepta y vuelve a reflejar los rayos luminosos.

Un reflector puede evolucionar desde un elemento de pequeño diámetro, como en el caso de los sistemas rotativos direccionales de tipo Yagi—muy sensible a las variaciones de frecuencia—, hasta un reflector plano de cierto tamaño, relativamente insensible a las variaciones de frecuencia, tal como muestra la figura 3.

Toda vez que el tamaño de un dipolo de $1/2$ longitud de onda para operación en bandas de frecuencia elevada es relativamente grande, estos sistemas no son factibles de empleo en bandas de F. E., pero son fácilmente construibles en F. M. E. y en F. U. E., donde las dimensiones son considerablemente más reducidas.

Dimensiones

El tamaño, la forma y el material metá-

(*) HIDEETSUGU, YAGI: *Beam Transmission of Ultra-Short Waves, Proceedings of the I.R.E.*, número 16, págs. 715-740, junio 1928.

lico empleado para el reflector puede variar considerablemente, dependiendo de los materiales disponibles y de los requisitos que debe llenar el sistema, pudiendo utilizarse desde tubos de duraluminio hasta conductores de cobre separados y soldados en forma de cuadro o de pantalla en

la parte superior e inferior, para las bandas de F. M. E., y hasta chapas de cobre o de duraluminio e incluso alambre de gallinero, para la gama de F. U. E. Cualquiera que sea el material empleado para la construcción del reflector, la separación entre los conductores o tubos metálicos

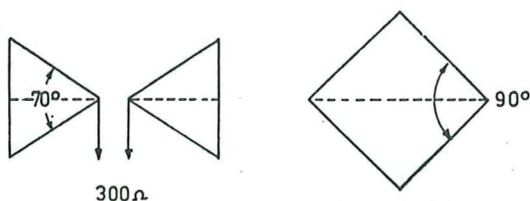
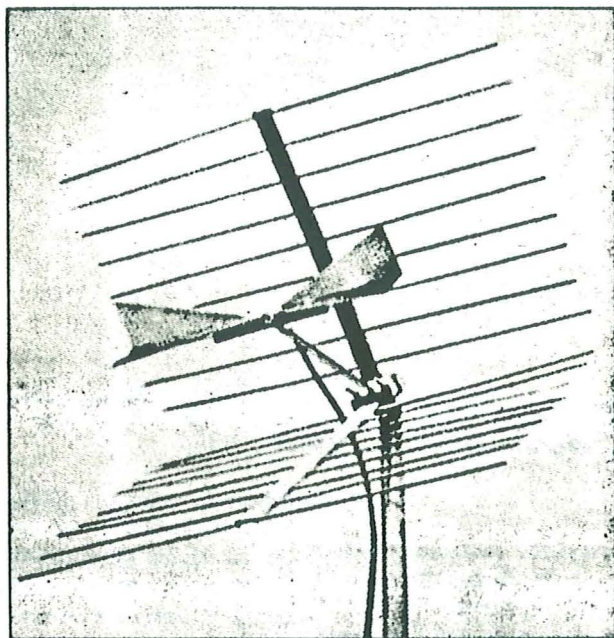


FIG. 1.—Sistema con reflector angular que utiliza un elemento radiante constituido por un dipolo de $1/2$ longitud de onda en forma de aspas de ventilador con el objeto de elevar la impedancia en el punto central de alimentación del mismo y obtener un mayor ancho de banda. El reflector angular tiene un ángulo de 90° y se halla formado con tubos de duraluminio de 6,35 milímetros de diámetro, soportados en su parte central por dos piezas del mismo metal en forma de "U" invertida ajustadas por sus extremos al mástil que sostiene el sistema. Si al dipolo que forma el elemento radiante se le da un ángulo de 70° se puede alimentar el sistema con una línea de transmisión aperiódica de 300 ohmios, bifilar de polietileno, del tipo empleado para televisión. La separación dipolo/reflector debe ser en este caso de $0,35$ de longitud de onda y la apertura del reflector angular de 1 longitud de onda. La ganancia delantera será de unos 10 dB.

debe estar comprendida entre 0,05 a 0,1 de longitud de onda como máximo. Dicho intervalo tiene importancia, ya que la eficiencia del reflector devolviendo la energía depende de la uniformidad de la superficie del mismo con relación a la longitud de onda. Si la separación mencionada es

al viento sobre una superficie metálica sólida.

La máxima directividad y ganancia delantera del sistema se logra cuando las dimensiones del reflector son suficientemente grandes con relación a la longitud de onda. Según algunos autores (*), la longi-

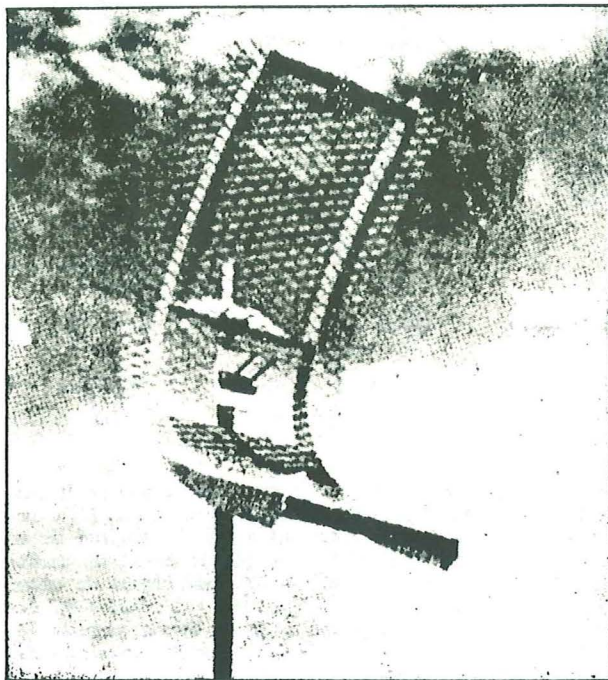


FIG. 2.—En esta antena el reflector angular ha sido sustituido por un reflector parabólico, a fin de aumentar todavía más la eficacia del mismo. El elemento radiante es un dipolo plegado de $1/2$ longitud de onda, hecho con un conductor del mismo diámetro en su totalidad, con objeto de elevar la impedancia de alimentación del mismo y poder alimentar el sistema con una línea de transmisión de 300 ohmios. El reflector parabólico se construye con un marco de piezas metálicas de duraluminio que sostiene a su vez el reflector propiamente dicho, constituido por una pantalla hecha con alambre de cobre entrelazado.

aumenta a un valor de 0,15 de longitud de onda o mayor aún, habrá dispersión de energía, con la disminución consiguiente de la eficacia del reflector, aparte de la reducción de la ganancia delantera.

El empleo de una pantalla o parrilla metálica para el reflector tiene la gran ventaja de un menor peso y de menor resistencia

tud L debe ser igual a cuatro veces el valor de la separación dipolo/reflector y el costado H de $1/2$ longitud de onda, más el valor de la separación dipolo/reflector. Pero la práctica ha demostrado que dando

(*) LEINWOLL, S.: "Understanding Very High Frequency Antennas." *CQ magazine*, páginas 41-42, marzo 1961.

a la longitud L dos veces el valor de la distancia dipolo/reflector y al costado H que forman los planos del reflector angular es de 90° .

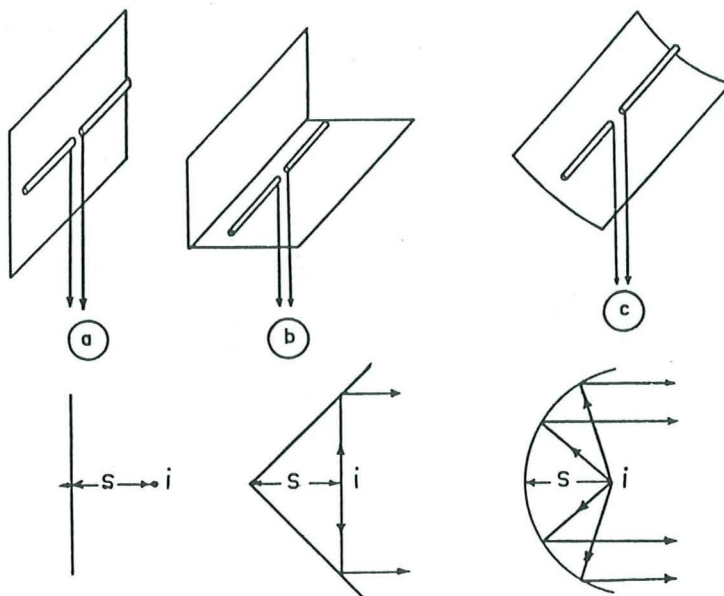


FIG. 3.—Principales formas que puede afectar un reflector situado en la parte trasera del elemento radiante, constituido por un dipolo de $1/2$ longitud de onda. En *a* se trata de un plano metálico con una separación S que varía entre $0,1$ a $0,3$ de longitud de onda y que se denomina reflector plano (180°). En *b* se tiene dos planos metálicos unidos en un extremo y formando un ángulo comprendido entre 45° a 90° , con objeto de obtener alta directividad y ganancia delantera, con una separación S que varía entre $0,35$ a $0,7$ de longitud de onda y que se llama reflector angular. En *c* el reflector en forma angular se convierte en un reflector parabólico. Si bien aumenta la eficacia del reflector, sucede lo mismo con el montaje mecánico, que debe ser muy cuidadoso, aparte de que el elemento radiante debe estar situado en el foco exacto.

$0,6$ de longitud de onda, los resultados son prácticamente iguales, con el gran beneficio de la reducción del tamaño del reflector (**), especialmente cuando el ángulo

Valores de ganancia delantera e impedancia

El tipo más sencillo de reflector es una chapa plana (180°) montada en las proximidades de un elemento radiante, constituido por un dipolo de $1/2$ longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento, como muestra la figura 3 *a*. Con un sistema de esta naturaleza es posible obtener una ganancia delantera máxima de $6,5$ dB con separaciones dipolo/reflector del orden de $0,1$ a $0,15$ de longitud de onda y un valor de impedancia comprendido entre 22 a 43 ohmios en el punto de alimentación.

(**) Si la altura H del costado del reflector angular se reduce a valores menores de $0,6$ de longitud de onda, la radiación hacia los costados y hacia la parte trasera del sistema tiende a aumentar y la ganancia delantera decrece de valor. Con $0,3$ de longitud de onda, por ejemplo, Kraus señala que la radiación máxima ya no es delantera, sino trasera, y que el reflector ya no actúa como tal, sino que desempeña el papel de director. En consecuencia, la cifra de $0,6$ de longitud de onda indica el valor mínimo aconsejable para el costado H .

Si se dobla el reflector en forma de ángulo, se puede llegar a cifras comprendidas entre 9,5 a 13,5 dB para la ganancia delantera del sistema con relación a un dipolo de $1/2$ longitud de onda en el espacio libre. Un sistema de este tipo, con reflector angular, posee elevada directividad en el plano perpendicular al plano que contiene el elemento radiante, hacia el centro del reflector. El reflector angular consiste en dos planos dispuestos de manera que formen un ángulo comprendido entre 45° a 90° . El dipolo de $1/2$ longitud de onda se coloca paralelo a la línea de intersección de los planos, a una distancia comprendida entre 0,35 a 0,7 de longitud de onda, dependiendo del ángulo que forman los planos y del valor de impedancia requerido en el punto de alimentación del sistema.

El gráfico de la figura 4 muestra los valores de ganancia delantera con relación a un dipolo de $1/2$ longitud de onda, con la misma potencia y a la misma altura sobre tierra, de antenas con reflector angular, con valores de ángulos de 45° , 60° y 90° en función de la separación dipolo/reflector.

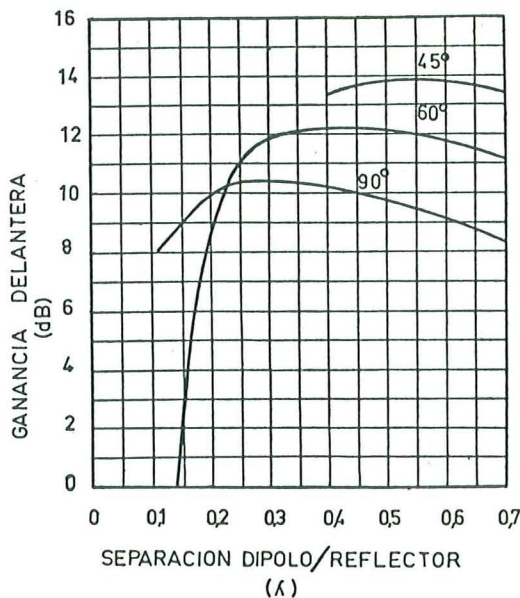


FIG. 4.—Gráfico que muestra las curvas de ganancia delantera obtenidas con sistemas de reflector angular para valores de ángulos de 45° , 60° y 90° en función del distanciamiento entre dipolo/reflecto, con referencia a un dipolo de $1/2$ longitud de onda, con la misma potencia de entrada y a la misma altura sobre tierra.

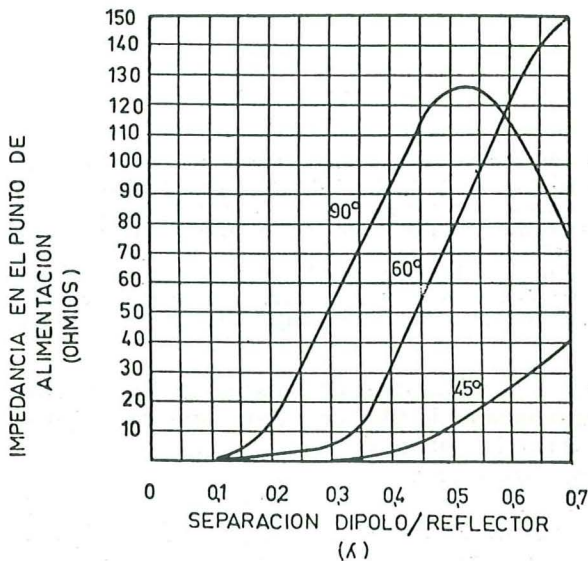


FIG. 5.—Gráfico que muestra el valor de impedancia en el punto de alimentación del elemento radiante de $1/2$ longitud de onda del sistema con reflector angular, en función de la separación dipolo/reflecto, con ángulos de 45° , 60° y 90° para el ángulo que forman los planos del reflector.

El gráfico de la figura 5 revela los valores de impedancia en el punto de alimentación central del dipolo de $1/2$ longitud de onda que se comporta como elemento radiante del sistema, para los mismos valores de ángulos, en función de la separación dipolo-

man los dos planos del reflector se reduce, la ganancia delantera aumenta. No obstante, desde el punto de vista práctico, un ángulo de 45° es el valor más reducido que se puede emplear, manteniéndose las dimensiones del reflector dentro de valores

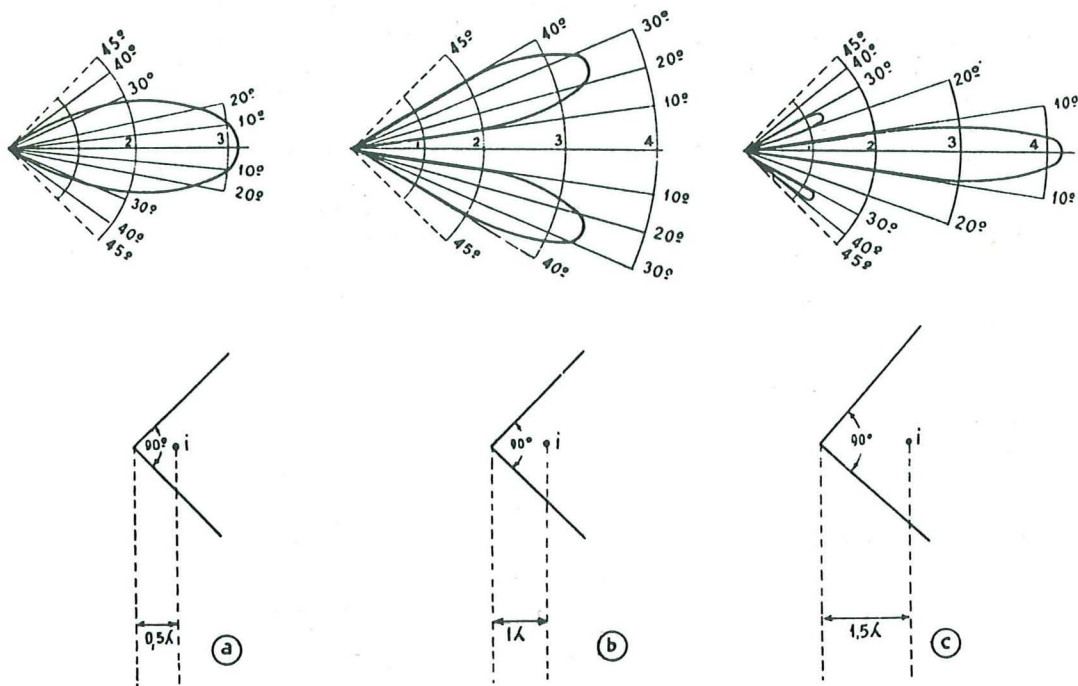


FIG. 6.—Diagramas de campo radiado por sistemas con reflector angular, con separación dipolo/reflecter de 0,5 λ y 1,5 de longitud de onda, con indicación de la ganancia delantera con relación a la intensidad de campo. Con un ángulo de 90° y una separación de 0,5 de longitud de onda se obtiene un diseño de campo radiado, típico de estos sistemas, siempre que la separación dipolo/reflecter no sea muy amplia. La ganancia delantera es del orden de 10 dB con relación a un dipolo de $1/2$ longitud de onda en el espacio libre. Para que no se hagan presentes lóbulos menores, la separación deberá mantenerse entre 0,25 a 0,7 de longitud de onda, con un ángulo de 90° , según Kraus.

reflecter. De acuerdo a la información de estos gráficos, se ha compuesto la tabla de la figura 7, que establece los valores de la ganancia y de la impedancia, proporcionados por sistemas con reflectores angulares, de acuerdo a los valores de los ángulos y de las separaciones más comunes utilizadas para los mismos (*).

El examen de la tabla mencionada demuestra que si el valor del ángulo que for-

realizables. Esta situación se debe a que el distanciamiento dipolo/reflecter debe ser

(*) Con el objeto de evitar diseños de campo radiado como el de la figura 6 b con lóbulos radiados menores, Kraus aconseja que el distanciamiento dipolo/reflecter se mantenga dentro de los siguientes valores, con un ángulo de 90° para el reflector:

α 90°	S (separación) 0,25 a 0,7 λ
180° (plano)	0,1 a 0,3 λ

aumentado, a medida que el valor del ángulo mencionado disminuye, para mantener la impedancia del sistema en su punto de alimentación, en un valor razonable (**).

De los diferentes valores de la tabla de la figura 7 se observa que con un ángulo de 90° para el reflector angular y una separación de 0,35 de longitud de onda para el distanciamiento dipolo/reflecter se tiene un sistema que presenta una ganancia delantera de 10,2 dB y un valor de impedancia de 72 ohmios en el punto de alimentación. Esto permite la utilización de una línea de transmisión aperiódica de 75

lidad. Esta solución no solo proporciona una relación elevadora de impedancias de 4 a 1, posibilitando el empleo de una línea de transmisión aperiódica de 300 ohmios, sino que el centro superior del dipolo plegado puede ser derivado a la estructura metálica de montaje sin necesidad de aislamiento alguno, lo que facilita considerablemente la construcción del sistema.

Elemento radiante

Supóngase un sistema con reflector angular como el mencionado precedentemen-

TABLA DE VALORES DE GANANCIA E IMPEDANCIA EN SISTEMAS CON REFLECTORES ANGULARES
SEPARACION DIPOLO-REFLECTOR

Angulo	0,35 λ	0,4 λ	0,5 λ	0,6 λ	0,7 λ
45°	13,5 dB 4 Ω	13,5 dB 7 Ω	13,8 dB 13 Ω	13,8 dB 13 Ω	13,5 dB 40 Ω
60°	12,2 dB 15 Ω	12,2 dB 29 Ω	12,0 dB 72 Ω	11,8 dB 117 Ω	11,3 dB 148 Ω
90°	10,2 dB 72 Ω	10,0 dB 95 Ω	9,7 dB 125 Ω	9,5 dB 113 Ω	8,6 dB 75 Ω

FIG. 7.—Tabla que muestra cómo varían los valores de ganancia e impedancia en los sistemas provistos de reflectores angulares, de acuerdo con el valor del ángulo que forman los planos del reflector angular y del espaciado dipolo/reflecter.

ohmios de impedancia característica, como la Amphenol núm. 214-080 ó 214-023, según la potencia que se ha de aplicar al sistema. Pero el dipolo de 1/2 longitud de onda que constituye el elemento radiante del sistema puede ser reemplazado con ventaja por un dipolo plegado hecho con un conductor del mismo diámetro en su tota-

te en el ejemplo dado, que deba operar en una frecuencia de 144 Mc/s y que se ha escogido para la construcción del dipolo plegado un tubo de duraluminio de 14 milímetros de diámetro para asegurar un buen ancho de banda.

La longitud del elemento radiante de 1/2 longitud de banda para funcionamiento en frecuencias superiores a 30 Mc/s está dada por la fórmula: $150 \times k/f$ (Mc/s), donde k es el factor de acortamiento, menor que la unidad y cuyo valor varía según la relación entre la longitud y el diámetro del conductor empleado para el

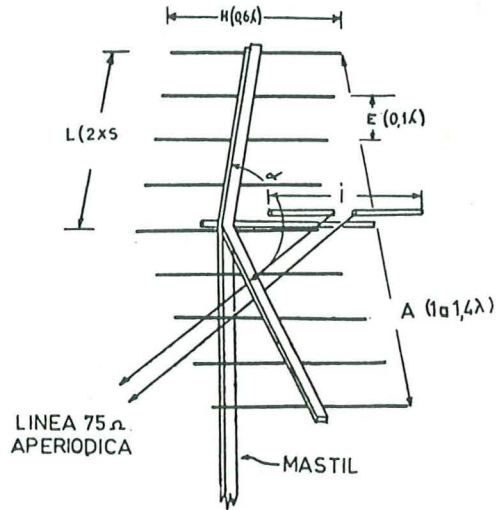
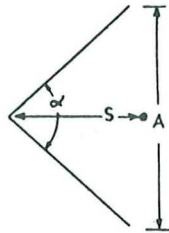
(**) En frecuencias del orden de 50 Mc/s, por ejemplo, es preferible utilizar un ángulo de 90° para los planos del reflector angular, ya que la diferencia de tamaño del reflector con un ángulo de 45° no justifica los 3 dB de diferencia en la ganancia delantera.

dipolo, según muestra el gráfico de la figura 9. Así, en nuestro caso, la longitud teórica del dipolo (L del conductor) será de $150/f$ (Mc/s), o sea: $150/144,1 : 1,04$ metros. El diámetro del dipolo (D del conductor) es de 14 milímetros, o sea 0,014 metros. Luego la relación L/D es de $1,04/0,014 : 74,28$. En el gráfico de la figura 9 para ese valor el factor k de acortamiento es de 0,96. Aplicando dicho valor en la fórmula precedente, se tiene: $150 \times 0,96/144,1 : 0,9993$ metros o 99,93 centímetros para el elemento radiante. La separación entre centros del dipolo plegado debe ser de aproximadamente 0,05 de longitud de onda. 1 longitud de onda en 144,1 Mc/s es igual a $300/144,1 : 2,08$ metros. Luego 0,05 de longitud de onda será igual

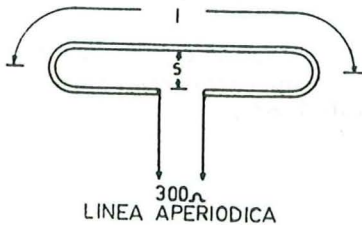
tamiento es de 0,96. Aplicando dicho valor en la fórmula precedente, se tiene: $150 \times 0,96/144,1 : 0,9993$ metros o 99,93 centímetros para el elemento radiante. La separación entre centros del dipolo plegado debe ser de aproximadamente 0,05 de longitud de onda. 1 longitud de onda en 144,1 Mc/s es igual a $300/144,1 : 2,08$ metros. Luego 0,05 de longitud de onda será igual

$S = 0,35 \lambda$
 $\alpha = 90^\circ$
 $A = 1 \lambda$
 Gan. = 10,2 dB
 Imp. = 72Ω

$S = 0,5 \lambda$
 $\alpha = 60^\circ$
 $A = 1,4 \lambda$
 Gan. = 12,2 dB
 Imp. = 70Ω



	α	S	L	H	A	E	Gan.	Imp.
50,1	90°	2,09 m.	4,18 m.	3,58 m.	2,99 m.	0,59 m.	10,2 dB	72Ω
50,1	60°	2,99 m.	5,98 m.	3,58 m.	8,37 m.	0,59 m.	12,2 dB	70Ω
144,1	90°	0,728 m.	1,56 m.	1,24 m.	2,08 m.	0,208 m.	10,2 dB	72Ω
144,1	60°	1,04 m.	2,08 m.	1,24 m.	2,91 m.	0,208 m.	12,2 dB	70Ω
432,0	90°	0,211 m.	0,423 m.	0,414 m.	0,690 m.	pantalla	10,2 dB	72Ω
432,0	60°	0,345 m.	0,690 m.	0,414 m.	0,962 m.	pantalla	12,2 dB	70Ω



Mc/s	I	S
50,1	2,82 m.	29,9 cm.
144,1	0,95 m.	10,4 cm.
432,3	0,316 m.	3,45 cm.

$$\text{R.E.I.} = 4 = 72 \times 4 = 288 \Omega \quad \text{para } Z_a$$

$$70 \times 4 = 280 \Omega$$

FIG. 8.—Datos para la construcción de sistemas con reflector angular de 90° y 60° con un elemento radiante constituido por un dipolo plegado de $1/2$ longitud de onda, hecho con un tubo de duraluminio de 12,5 milímetros de diámetro en su totalidad, incluido el factor k de acortamiento.

a: $2,08 \times 0,05 : 0,1040$ metros o 10,4 centímetros.

Dimensiones del reflector angular

El reflector angular con un valor angular de 90° tendrá las siguientes dimensio-

que el amplio ancho de banda de estos sistemas, su elevada ganancia delantera y directividad, más un alto valor para la discriminación entre frente delantero-trasero, los hace sumamente aconsejables para el trabajo de radioaficionado en 144 y frecuencias superiores, donde las dimensiones

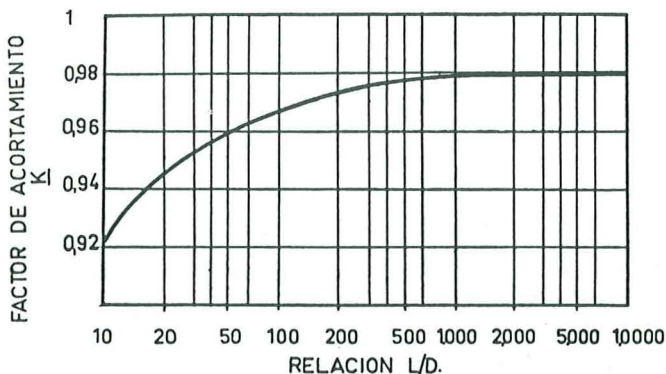


FIG. 9.—Gráfico que determina el valor del factor de acortamiento k para la relación L/D existente entre la longitud y el diámetro del conductor utilizado en la construcción del elemento radiante de $1/2$ longitud de onda. Su aplicación se muestra en el texto.

nes, con una separación dipolo/reflector de $0,35$ de longitud de onda:

$S (0,35 \lambda) : 300/144,1 : 2,08 \times 0,35 : 0,728$ m. o 72,8 cms.

$L (2 \times S) : 0,728 \times 2 : 1,56$ m.

$H (0,6 \lambda) : 300/144,1 : 2,08 \times 0,6 : 1,24$ metros.

$A (1 \lambda) : 300/144,1 : 2,08$ m.

$E (0,1 \lambda) : 300/144,1 : 2,08 \text{ m.} \times 0,1 : 0,208$ m. o 20,8 cms.

Para evitarle estos cálculos al radioaficionado interesado en la construcción de una de estas antenas con reflector angular, en la figura 8 se establecen las dimensiones requeridas para sistemas angulares de 60° y 90° en las bandas de 50, 144 y 432 Mc/s.

Para finalizar, desearíamos puntualizar

requeridas se hallan dentro de límites perfectamente realizables.

BIBLIOGRAFIA

- MORENO-QUINTANA (h), L. M.: «Antenas emisoras para 50 y 144 Mc/s.» *Radio Chasis Televisión*, junio 1959.
- LEINWOLL, S.: «Understanding Very High Frequency Antennas.» *CQ Magazine*, marzo 1961.
- KRAUS JOHN, D.: *Antennas*. McGraw-Hill Book Co. editores. New York (E. U. A.), 1950.
- A. R. R. L.: *The Radio Amateur's Handbook*. Edición en castellano de Arbó editores. Buenos Aires, 1960.

Antenas para microondas

Colaboración de «LENKURT ELECTRIC»
California (EE. UU.)

La eficacia de la antena es de vital importancia en todo buen sistema de radiocomunicación, especialmente en la transmisión por microondas entre puntos fijos, donde la baja potencia de salida y las elevadas pérdidas de propagación hacen necesario emplear antenas de alta directividad. Se han desarrollado numerosas clases de antenas destinadas a desolver problemas específicos, pero en la selección de antenas por lo general debe aceptarse una solución de compromiso. Por ejemplo, en algunos casos se deja de aprovechar el rendimiento máximo de una antena de alta especialización con objeto de darle una aplicación más amplia. Además, casi siempre debe equipararse el grado de rendimiento de la antena con el coste del equipo de transmisión. En el present artículo se describen las características de diversas clases de antenas de microondas que se emplean en numerosos servicios de radiocomunicación.

En todo sistema de radiotransmisión se utilizan dos antenas: una para enviar la energía de radiofrecuencia al espacio y otra para recibirla con la menor pérdida posible. El rendimiento del sistema depende de la eficacia con que una antena propaga la energía y de la capacidad con que la otra la capta. A su vez, el grado de captación depende de las características de ambas antenas.

Las estaciones de radiodifusión tienen un rendimiento relativamente bajo debido a que las señales se radian por igual en todo sentido y las antenas de recepción sólo captan una fracción de esa energía. Las radiodifusoras superan este «mal necesario» transmitiendo las señales a una elevada potencia. En comparación, los sistemas de radiotransmisión por microondas entre puntos fijos sólo emplean una pequeña potencia de salida, pero, en

cambio, utilizan antenas altamente directivas que concentran la energía de radiofrecuencia en un estrecho haz o rayo orientado hacia el punto de destino. Las antenas de recepción también deben poseer una alta directividad para poder absorber la mayor parte de la energía de la señal útil, rechazando la que procede de otros sistemas de transmisión.

La propiedad direccional de las antenas, que se expresa como *ganancia de antena*, es de primordial importancia en el proyecto de sistemas de transmisión. Dicha ganancia—que es el producto de la directividad de la antena y se utiliza como cifra de mérito—se define como la relación que existe entre la intensidad máxima de radiación en un sentido determinado y la radiación máxima que se obtendría en el mismo sentido con una *antena isotrópica*. (Esta es una antena teóri-

ca, cuyas propiedades de radiación son idénticas en todo sentido de propagación. Si bien la antena isotrópica es irrealizable, como concepto resulta de gran utilidad para el cálculo de antenas debido a su simplicidad matemática.)

La ganancia de antena aumenta la radiación de energía en el trayecto de propagación con la misma eficacia que lo haría la ganancia del amplificador. Por ejemplo, una antena con 30 dB de

requisitos de transmisión. Por ejemplo, en algunas instalaciones de radar se utiliza un haz en forma de abanico con objeto de abarcar la mayor extensión posible del espacio en cada exploración de la antena. En los sistemas de comunicación por microondas entre puntos fijos, normalmente se utilizan antenas que proyectan un haz filiforme, o sea que concentran la parte principal de la energía en un solo punto. En la figura 1 se muestra el



FIG. 1.—Representación teórica del diagrama de radiación de las siguientes antenas: a) isotrópica, b) dipolo de media onda y c) reflector parabólico.

ganancia que radia 1 W de energía suministraría a una antena receptora, ubicada en un punto determinado del paso del haz, la misma intensidad que se obtendría con una antena isotrópica que radiase 1.000 W. El rendimiento de la transmisión aumenta en igual forma con la ganancia de la antena receptora. En efecto, las propiedades de ambas clases de antena son idénticas.

Existe otro factor que tiene estrecha relación con la ganancia de antena: el *ancho del haz*. Dicho factor generalmente se define como el ángulo del haz tomado entre los dos puntos del trayecto en que la potencia radiada es inferior en 3 dB al valor máximo. El ancho se puede especificar tanto vertical como horizontalmente para describir la forma del haz en tres dimensiones. Se emplean diferentes formaciones de haces para satisfacer diver-

diagrama de radiación, o sea la forma geométrica del haz, de tres clases de antenas.

ANTENAS DIRECTIVAS.

Ninguna antena direccional concentra la totalidad de la energía radiada en un haz determinado, debido a factores como la pérdida de dispersión por el elemento radiante o las estructuras de soporte, la difracción por los bordes del reflector y el número finito de longitudes de onda a través del diámetro de apertura de la antena. Dichos factores restan energía al haz principal, creando *lóbulos* o haces secundarios que dirigen parte de la señal fuera del eje útil enviándola en otras direcciones, inclusive hacia atrás en algunos casos. Los *lóbulos* secundarios—laterales y posteriores—representan

un desgaste de energía que, aparte de debilitar la señal, pueden causar interferencia con otros servicios de comunicación.

Una forma de obtener directividad de la antena es empleando redes o conjuntos de elementos radiantes. Dichas redes consisten en combinaciones complejas de numerosos radiadores sencillos, cuyas características se suman para lograr la directividad deseada. El diagrama de radiación de las redes de antenas depende de la forma de los elementos, la relación de fase entre ellos y el tamaño de cada uno (expresado en longitudes de onda). Las redes de antenas proyectadas correctamente suministran una ganancia superior a 30 dB, pero la alimentación resulta sumamente complicada debido a los numerosos elementos necesarios.

Generalmente las redes de antenas no se emplean para comunicación por microondas entre puntos fijos a causa de la compleja disposición necesaria para lograr la ganancia deseada. Además, en la transmisión por frecuencias superiores a 2 Gc/s. (2.000 Mc/s.) es sumamente difícil obtener tolerancias mecánicas aceptables debido a las pequeñas dimensiones de los elementos en tales frecuencias. Recientemente han adquirido gran importancia las redes de antenas consistentes en guías de ondas o placas ranuradas, en lugar de conductores radiantes. Esta clase de antena se utiliza en algunos casos como radiador para iluminar o alimentar energía a los reflectores de microondas.

Una de las propiedades más interesantes de las microondas, desde el punto de vista del proyecto de antenas, es que en muchos aspectos dichas ondas siguen las leyes de la óptica. Por ejemplo, se pueden concentrar en un estrecho haz utilizando un reflector o lente iluminado por un radiador primario, en la misma forma que se iluminan con una fuente de luz los re-

flectores o lentes ópticos. En los sistemas de microondas, la iluminación primaria generalmente se efectúa con una *bocina electromagnética* (consistente en una guía de ondas de borde acampanado y que en sí concentra la radiación, aunque con poca eficacia). Para suministrar la iluminación en las

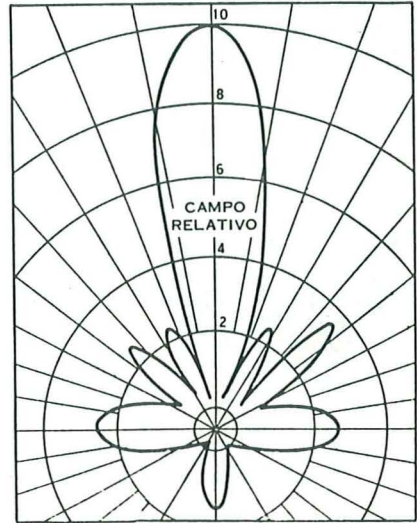


FIG. 2.—Diagrama de radiación de los reflectores parabólicos. La mayor parte de la energía se concentra en el haz principal, pero cierta porción se disipa por los haces secundarios o lóbulos que radian energía por los lados o hacia atrás.

frecuencias elevadas también se utilizan conjuntos de guías de ondas, mientras que en las frecuencias más bajas se pueden emplear dipolos.

En algunas aplicaciones se utiliza una *lente de microondas*, dispositivo cilíndrico, circular o esférico que reúne las radiaciones divergentes, concentrándolas en un haz paralelo por medio de refracción (curvatura), en forma muy semejante al enfoque de los rayos de luz por medio de lentes ópticas. Las lentes de microondas por lo general se fabrican de materiales dieléctricos, tal como el poliestireno,

pero también se construyen de metal en forma de dos placas dispuestas en paralelo (que son las llamadas lentes de guías de ondas). La principal ventaja de la lente es la posibilidad de radiar desde su parte posterior, lo que

el radiador de atrás envía la energía en el mismo sentido que la propia lente. Sin embargo, no se pueden evitar las reflexiones de la superficie de la lente ni las pérdidas del material dieléctrico, lo que produce una pérdida

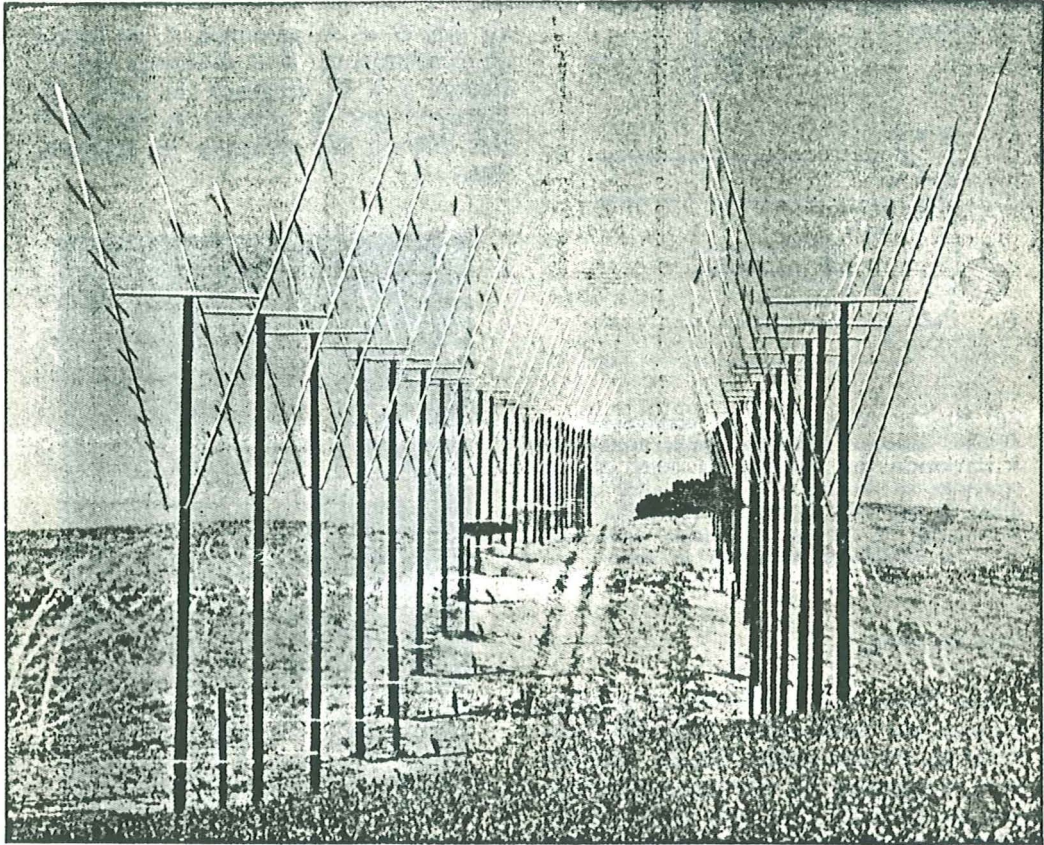


FIG. 3.—Una red de 50 antenas periódico-logarítmicas que se emplea en las exploraciones de los astros del sistema solar por medio de radar.

evita la necesidad de ocupar el radiador frontal, que bloquea la apertura del reflector y crea problemas mecánicos. La lente de microondas suministra una elevada *relación de radiación directa a inversa* o antero-posterior (que es la relación entre la potencia del haz directo y la potencia que se dispersa hacia atrás), debido a que

de inserción de 1 a 3 dB. Por tanto, la ganancia resulta algo inferior a la que se obtiene con los reflectores; además, los lóbulos laterales que produce la lente son de mayor amplitud. Por último, las lentes son difíciles de diseñar, si bien al construirse correctamente se obtiene una mayor tolerancia de error por imperfecciones de

la superficie que en el caso de los reflectores.

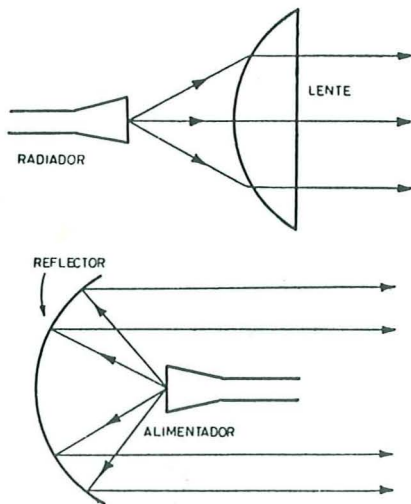


FIG. 4.—Las microondas se comportan en muchos aspectos como las ondas luminosas. A diferencia del reflector, la lente de microondas se ilumina con el radiador desde atrás, lo que evita la obstrucción de la abertura, pero, en cambio, la energía sufre cierta pérdida al traspasar la lente.

REFLECTORES.

Los haces radioeléctricos se pueden formar por medio de la reflexión o refracción de las ondas. En la mayoría de los sistemas de comunicaciones en que se necesita una alta ganancia de antena, se utilizan reflectores de una configuración determinada. La figura geométrica de mayor aplicación en el proyecto de dichos reflectores es la parábola. De los numerosos diseños posibles, probablemente el más común es el paraboloide de revolución, que se ilumina por medio de una bocina de guía de ondas colocada en el punto focal del paraboloide (véase figura 5).

La ganancia de antena, que depende del tamaño del reflector calculado en longitudes de onda, aumenta a me-

didada que se acorta la longitud de onda o se amplían las dimensiones de la antena, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$G = k \left(\pi \frac{d}{\lambda} \right)^2,$$

en que G es la ganancia, k un factor de rendimiento, d el diámetro del reflector y λ la longitud de onda. (El factor k por lo general es de un 55 por 100 en los sistemas de microondas.)



FIG. 5.—Antena formada por un paraboloide de revolución, con iluminación en el centro, que es la más común para la transmisión de microondas.

La fórmula anterior demuestra que cuando la antena es de pequeñas dimensiones deben emplearse frecuencias elevadas para obtener una alta ganancia. Por ejemplo, supongamos que el sistema funciona en una frecuencia de 6 Gc/s. y que el reflector tiene 2 m de diámetro. La longitud de onda en

DIAMETRO DEL REFLECTOR
METROS PIES

FRECUENCIA DE TRABAJO
GC/S

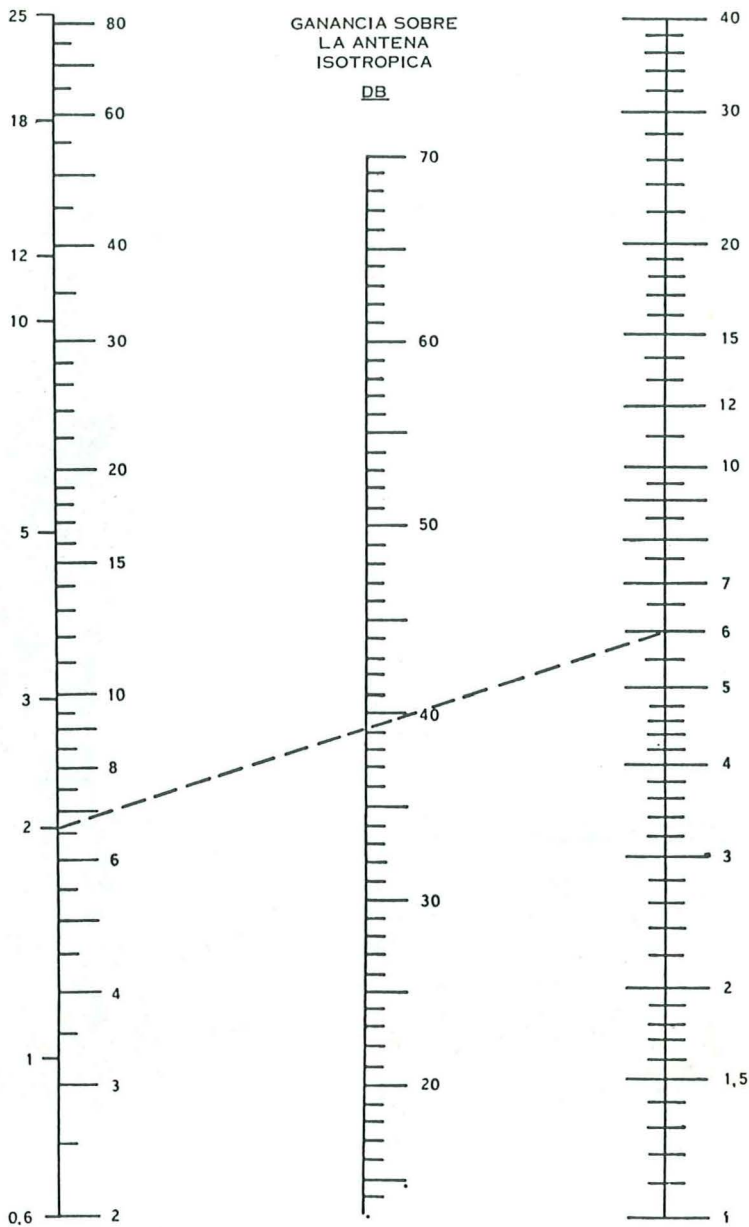


FIG. 6.—Ganancia de los reflectores parabólicos (con un supuesto rendimiento de 55 por 100) con respecto a la ganancia teórica de la antena isotrópica.

la frecuencia indicada es de 5 cm. Por tanto,

$$G = 0,55 \left(\pi \frac{2}{0,05} \right) = 8690.$$

Expresada en decibelios, esta relación resulta ser de 39,4 dB. Para obtener igual ganancia al transmitir a 1 Gc/s. se necesitaría un reflector de 11 m de diámetro.

Toda vez que en realidad la ganancia de antena es producto de su directividad, el ancho del haz se puede calcular en forma semejante a la anterior. El valor aproximado del ancho del haz entre los puntos de 3 dB, expresado en grados, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{ancho del haz} = \frac{(70^\circ) (\lambda)}{d}$$

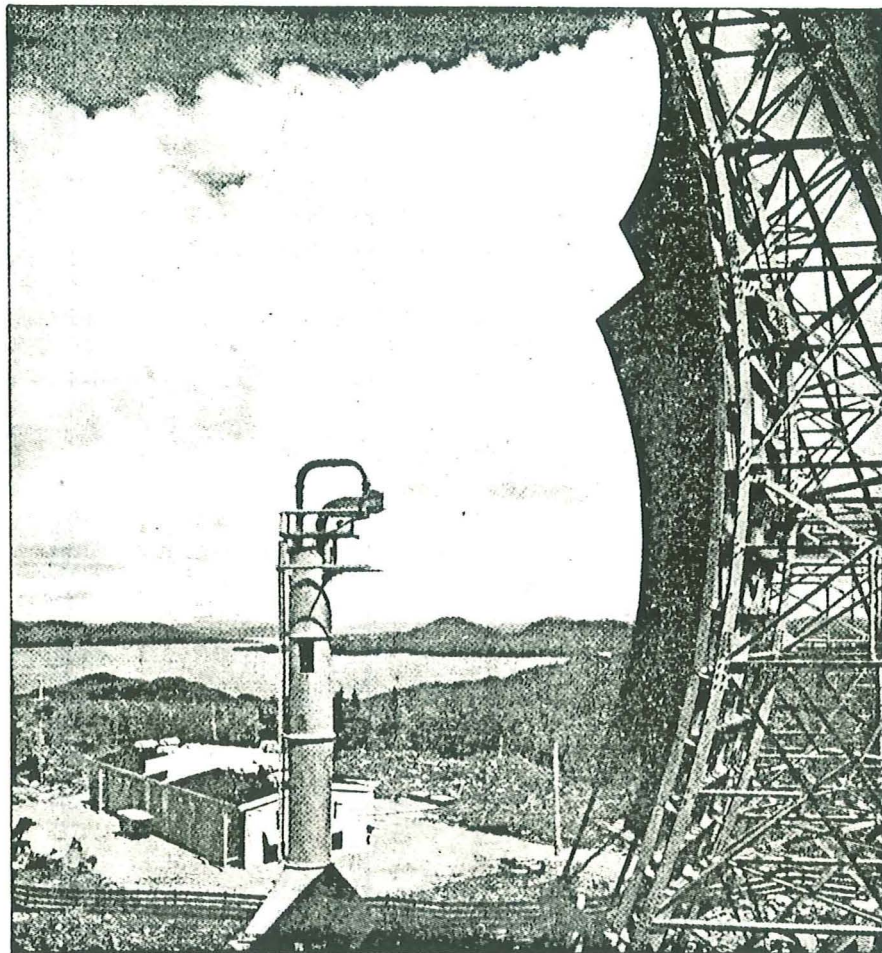


FIG. 7.—Esta antena reflectora de 18 m. forma parte de un sistema de comunicación por dispersión troposférica instalado por Lenkurt en Trutch Island, Columbia Británica, Canadá. Las antenas de esta clase, que poseen una ganancia de 39 dB en el funcionamiento a 900 Mc/s., emplean la troposfera como reflector intermedio, lo que permite abarcar una mayor longitud que con la transmisión por línea visual entre puntos fijos.

En el mismo caso del reflector de 2 m con una frecuencia de 6 Gc/s. se obtendría:

$$\text{ancho del haz} = \frac{(70^\circ)(0,05)}{2} = 1,75^\circ.$$

En sus esfuerzos por diseñar antenas directivas de alto rendimiento, los proyectistas procuran que los lóbulos

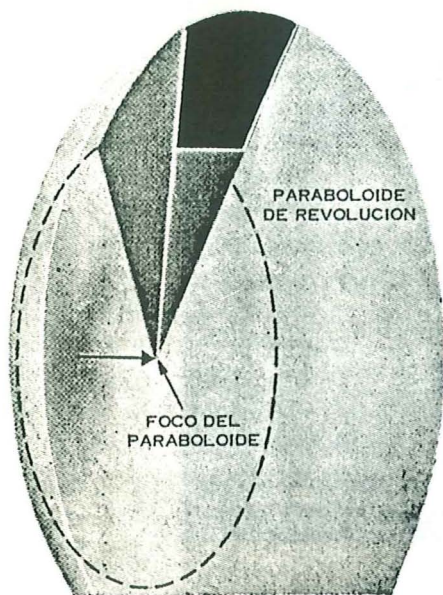


FIG. 8.—Antena de reflector-bocina que consiste en una sección parabólica radiada desde el foco del parabolóide. Debido a que la bocina se prolonga hasta el borde del reflector, se disminuye la dispersión de energía, el nivel de los lóbulos laterales resulta bajo y se obtiene una elevada relación de radiación directa a inversa.

laterales se mantengan a un bajo nivel de potencia. El nivel de los lóbulos laterales de los reflectores parabólicos depende principalmente del diagrama de iluminación del radiador y no del propio reflector. Un recurso que se emplea para disminuir el nivel del lóbulo es darle una forma ahusada al rayo de iluminación. Para este objeto, la potencia de iluminación en el

borde exterior del reflector se rebaja en unos 10 dB con respecto al nivel en el centro. De este modo, por el borde del reflector se dispersa menos energía lateralmente o hacia atrás, mejorando así la relación de radiación directa a inversa. La forma de la propia bocina de radiación y la dispersión que produce la estructura de soporte de la antena también influyen en el nivel de los lóbulos.

El empleo de una bocina para iluminar el reflector crea dos problemas principales: 1) el bloqueo parcial de la apertura del reflector que produce el armazón de la bocina y 2) el regreso de parte de la energía a la bocina debido a la reflexión directa, lo que crea ondas estacionarias que ocasionan distorsión y perjudican el rendimiento. Estos inconvenientes se pueden evitar utilizando un reflector de sección parabólica en lugar de un parabolóide de revolución, lo que permite disponer el radiador en el punto focal de la parábola, pero alejado de la apertura del reflector. Con esta disposición no se obstruye la apertura y se evita el reflejo de la energía.

En la actualidad se está popularizando el diseño de una sección parabólica máxima para sistemas de microondas: el reflector-bocina. La bocina de radiación y el reflector se fabrican de una sola pieza, pero el conjunto se puede considerar simplemente como una bocina que ilumina una sección parabólica. En ciertos sistemas de microondas se emplean bocinas-reflectores para la transmisión simultánea de señales en las bandas de 4, 6 y 11 Gc/s. con un margen de ganancia que va desde 39 dB en la frecuencia menor hasta más de 47 dB en la mayor. Debido a que los lados de la bocina se prolongan hasta el reflector, el «desborde» de energía se reduce al mínimo. Como resultado, baja el nivel de los lóbulos laterales y se obtiene una relación directa-inversa superior a la de

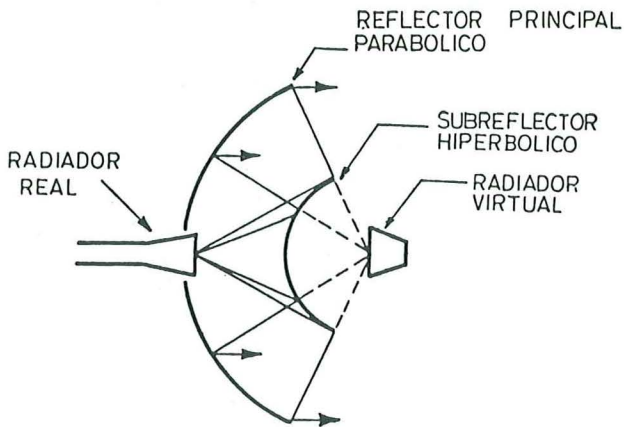
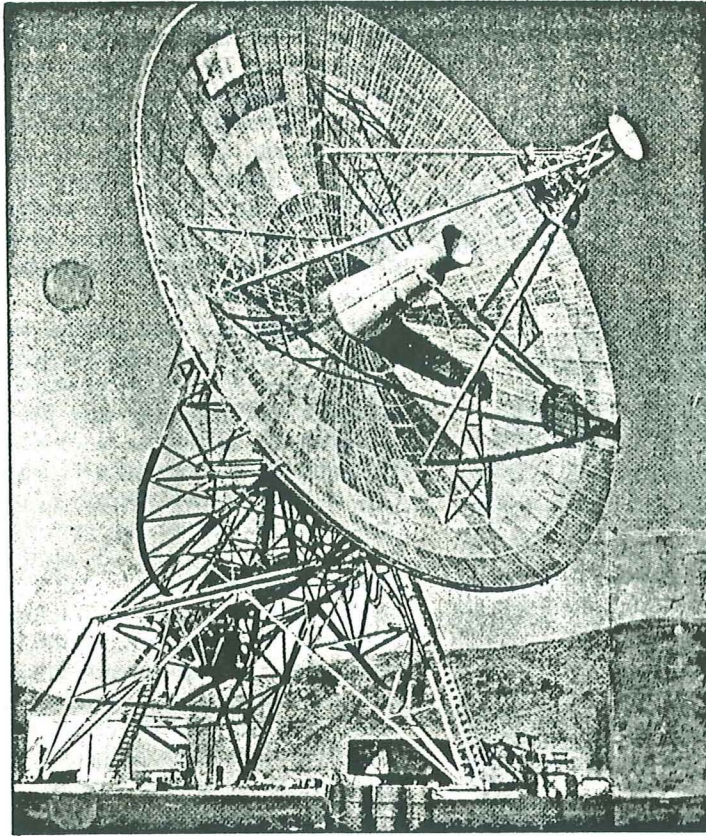


FIG. 9.—Sistema de antena Cassegrain que se utiliza principalmente en las comunicación espaciales, donde deben colocarse preamplificadores de bajo ruido cerca del radiador. El sistema Cassegrain permite instalar los preamplificadores y el radiador detrás del reflector principal.

los reflectores parabólicos corrientes. Esta es una de las mayores ventajas de la bocina-reflector, pues en algunos casos se ha obtenido una relación superior a 70 dB.

En algunos diseños, el almacén de la guía de ondas con el radiador adquiere grandes dimensiones y resulta

plificadores a menudo exigen un complicado sistema de refrigeración para mantener el ruido al mínimo. Con este objeto, generalmente se coloca un radiador de gran tamaño en el foco del paraboloide, lo que por otra parte puede producir un exceso de dispersión y obstruir la radiación del haz.

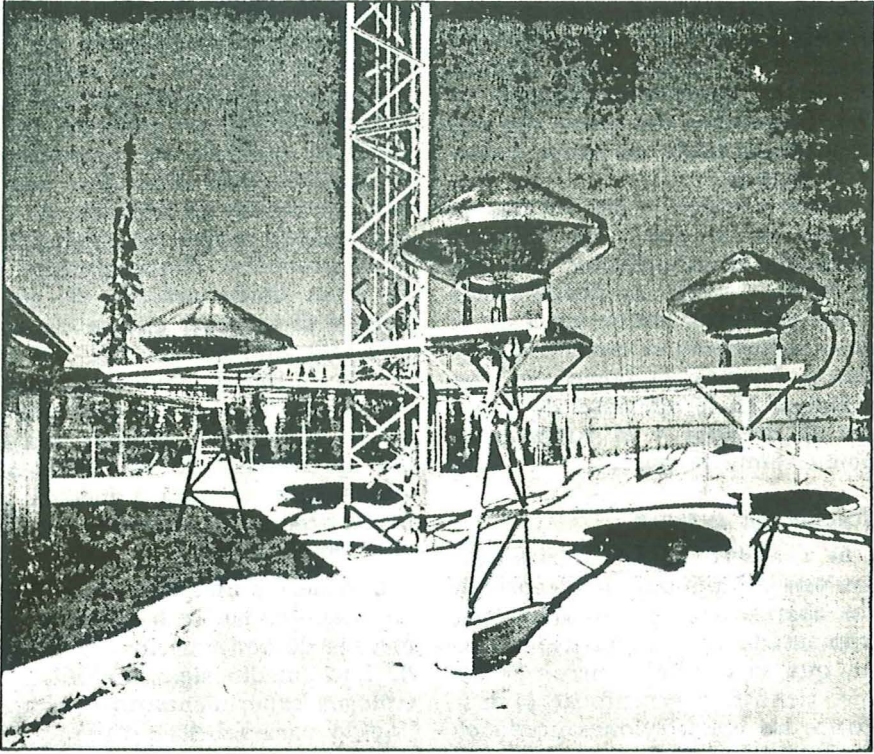


Fig. 10.—Cúpulas de radar que se emplean en algunas instalaciones para proteger las antenas contra el polvo y las inclemencias del tiempo. La protección reviste especial importancia cuando los reflectores se colocan horizontalmente para iluminar a un reflector pasivo que dirige de nuevo el haz hacia un punto de recepción distante.

complicado. Esto sucede especialmente en las comunicaciones espaciales con satélites artificiales, donde se utilizan preamplificadores más o menos paramétricos de bajo nivel de ruido, que deben colocarse muy próximos al radiador para evitar las pérdidas que introduciría el empleo de una larga sección de guía de ondas. Dichos pream-

Además, la disposición mecánica para el funcionamiento y enfriamiento de los amplificadores resulta sumamente complicada.

Con objeto de evitar los problemas mencionados, los proyectistas de antenas han recurrido a un método que se emplea en el diseño de telescopios ópticos. El método, denominado *diseño*

de Cassegrain, permite iluminar la antena desde la parte posterior del reflector, mientras que la bocina sobresaliente del centro del reflector para iluminar el lado convexo de un subreflector hiperbólico, como se ilustra en la figura 9. La energía del subreflector ilumina al reflector principal, el que concentra la energía en un solo haz. Si se diseña correctamente el subreflector y el reflector principal, este se ve virtualmente radiado desde su foco, resultando idénticas todas las longitudes del paso del haz desde la bocina hasta un punto distante en el espacio.

La mayor desventaja del sistema de Cassegrain es el grado de abertura que presenta el subreflector. Sin embargo, la obstrucción se puede disminuir ampliando las dimensiones de la bocina o reduciendo el tamaño del subreflector. Además, la bocina se puede prolongar hacia adelante, de manera que el radiador y el subreflector proyecten sombras iguales.

FABRICACIÓN DE ANTENAS.

De la analogía de las microondas con las ondas luminosas se desprende que las aberraciones o imperfecciones de pulimentado de la superficie del reflector, que se denomina *error de superficie*, tienden a desenfocar el haz. En efecto, las imperfecciones producen un aumento del nivel de energía de los lóbulos, disminuyen la ganancia de la antena y ensanchan el haz. La magnitud de estas alteraciones depende principalmente del grado de error de superficie (expresado en términos de longitudes de onda) que introducen en la frecuencia útil las imperfecciones del reflector. Desde luego, la tolerancia de error sólo llega a cierto límite, sobre todo en las antenas de grandes dimensiones, pero es necesario establecer una solución de compromiso entre coste y rendimiento. Por regla general, el error de superficie no debe exceder

de 1/16 de la longitud de la onda de transmisión. Esta tolerancia no es difícil de obtener en la transmisión a baja frecuencia con reflectores pequeños, pero resulta sumamente complicada en la transmisión a frecuencias elevadas empleando grandes reflectores. Por ejemplo, la tolerancia a 6 Gc/s. es en el orden de 3 mm, mientras que a 11 Gc/s. sería alrededor de 1,6 mm. La tolerancia aproximada es proporcional al diámetro del reflector. Por ejemplo, se puede esperar que las irregularidades de un reflector de 18 m (que se utilizaría en comunicaciones espaciales) sean unas diez veces mayor que las de un reflector de 1,80 m, aun cuando ambos se construyan con igual precisión. Eventualmente se llega a un límite práctico de ganancia, porque el aumento que se logra al ampliar las dimensiones del reflector se pierde en parte debido al mayor error de superficie. Con los métodos actuales se ha logrado obtener una ganancia aproximada de 70 dB, valor que sin duda aumentará a medida que se perfeccionan los métodos de fabricación de antenas.

Uno de los métodos que se emplean en la actualidad se basa en los experimentos de construcción de telescopios de hace medio siglo. En 1908, los astrólogos experimentaron con mercurio líquido para fabricar espejos reflectores. Se colocaba una cantidad de mercurio en una mesa que se hacía girar rápidamente. Con la fuerza centrífuga el líquido adquiría la forma de un paraboloide natural, produciendo un espejo de gran exactitud. Para adaptar este antiguo sistema a la fabricación de antenas fué necesario recurrir a la química moderna. En efecto, en un molde de forma adecuada se coloca una cantidad de resina «epoxy», catalizada para producir un endurecimiento lento a la temperatura ambiente. La resina se hace girar en una mesa a una velocidad determinada hasta en

durecerse, convirtiéndose en parábola de longitud focal apropiada. Una vez formada, a la parábola se le aplica una delgada capa metálica para formar la superficie reflectora. Se han obtenido excelentes resultados con reflectores de pequeñas dimensiones fabricados por este procedimiento. Hace poco, en un modelo de 8,5 m el error máximo resultó de menos de 0,5 mm y el error eficaz fué inferior a 0,22 mm. Esta estrecha tolerancia permitió el funcionamiento en frecuencias sumamente elevadas. En pruebas realizadas a 35,2 Gc/s. (longitud de onda = 8,5 milímetros) se obtuvo una ganancia de 67,4 dB, mientras que el ancho del haz resultó de 4,4 minutos de arco.

En algunos casos de instalación es necesario cubrir las antenas para protegerlas de las inclemencias del tiempo, la caída de hojas de los árboles, etcétera. Desde luego, la protección no debe alterar las características eléctricas de la antena. En teoría, este requisito se podría satisfacer con una cubierta fabricada de alguna sustancia dieléctrica de baja pérdida que tuviera las mismas características de propagación que el espacio libre. En la práctica se utilizan *cúpulas* de plástico (Fig. 10) que cumplen en alto grado con el requisito ideal. En algunos casos es necesario instalar calefacción en la cúpula para impedir la formación de hielo en la antena durante el invierno, lo que perjudicaría el rendimiento del sistema.

TRANSMISIÓN ENTRE PUNTOS FIJOS.

Debido a que la propagación de microondas en esencia sigue una línea recta, la longitud del trayecto (o sea la distancia entre los puntos terminales del sistema de transmisión) se ve limitada por la curvatura de la tierra o las obstrucciones del trayecto, tales como grandes árboles y edificios o las

elevaciones del terreno. En realidad, no sólo se requiere un espacio libre adecuado de línea óptica, sino que además debe dejarse un margen de tolerancia para contrarrestar el desvanecimiento y ciertas formas de interferencia que sufre el haz en las frecuencias de microondas.

Para obtener un espacio libre adecuado, a menudo conviene situar las antenas en torres o el techo de edificios, pero en algunos casos esta medida no es práctica debido a la elevada pérdida de energía y el mayor gasto que significa el empleo de largas guías de ondas para conducir las señales desde el transmisor hasta la antena. Por tanto, es práctica común situar la antena cerca del equipo de radio, disponiendo los reflectores pasivos de manera que permitan dirigir el haz en el sentido correcto, en forma muy semejante a la orientación de los periscopios ópticos.

Las estaciones terminales generalmente se instalan próximas a los caminos existentes y a las líneas de transmisión eléctrica, mientras que las antenas se disponen de modo que conduzcan las señales superando las obstrucciones del trayecto.

Lo anterior no significa que debe establecerse un solo paso en línea recta entre las estaciones terminales. Como las microondas se comportan de acuerdo con la mayoría de las leyes de la óptica, el problema de las antenas se puede resolver empleando un sistema de *espejos reflectores* semejante a los juegos de espejos ópticos, con el objeto de hacer pasar las señales por encima o alrededor de cualquier obstáculo por medio de la reflexión del haz. En esencia, la solución del problema consiste en establecer un equilibrio entre los factores económicos y la altura libre del trayecto, directividad de la antena y pérdida de propagación.

ANTENAS «PERISCÓPICAS».

El sistema de antena de microondas más conocido y sencillo es el «periscópico», que consiste en una antena parabólica colocada al pie de una torre y orientada verticalmente de forma que ilumine un reflector pasivo

instalado encima de la torre. A su vez el reflector, inclinado en un ángulo de 45° , dirige el haz horizontalmente al punto de recepción, donde se puede emplear otra antena periscópica para captar la señal y reflejarla hacia tierra para ser recibida por la antena.

La separación vertical entre antena



FIG. 11.—Antena periscópica compuesta de un radiador parabólico colocado a nivel de tierra, unido al equipo de microondas con una corta guía de ondas, y un reflector pasivo instalado arriba de la torre. Este sistema suministra la altura libre del trayecto sin el coste elevado ni los inconvenientes de transmisión que presentaría una larga guía de ondas desde el equipo hasta la cima de la torre.

y reflector se puede obtener por medio de una torre especial; de lo contrario el reflector se instala en un edificio o alguna estructura adecuada, teniendo en cuenta los siguientes factores: 1) el edificio debe tener suficiente altura libre y 2) debe existir una separación correcta entre antena y reflec-

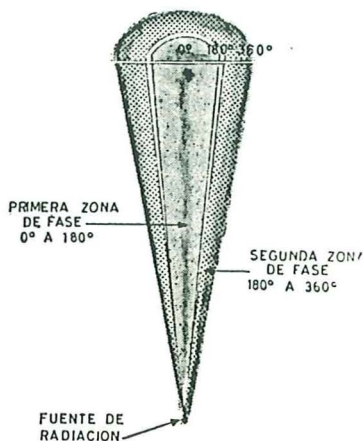


FIG. 12.—Diagrama del haz emitido desde el radiador hacia el reflector en un sistema combinado de antena. Al intersectar el haz con un plano a cierta distancia del punto de radiación, se produce una suma de fase de toda la energía dentro de la primera zona. Si también se intercepta energía de la segunda zona, se producirá cancelación de fase, bajando la potencia de la señal.

tor, porque la intensidad de la señal disminuye si la distancia es excesiva o insuficiente. Aunque el segundo factor no resulta imprescindible, ejerce decidida influencia en el rendimiento del sistema. En efecto, con una combinación de antena y reflector se obtiene mayor ganancia que con la sola antena, aun teniendo en cuenta las pérdidas del reflector y la dispersión de energía. (La ganancia es el resultado del aumento de directividad que se produce a medida que el haz se estrecha.)

Esta condición, aparentemente paradójica, se debe a la compleja relación que existe entre el tamaño y for-

ma de la antena y del reflector, la separación entre ambos elementos y la frecuencia de funcionamiento del sistema. Dichos factores variables determinan la relación de fase que tendrá la energía de la señal al llegar al reflector. Por su parte, la relación de fase constituye la base del rendimiento del sistema.

La variación de fase con que la señal llega al reflector se explica en la figura 12. Como se observará, con un plano imaginario se ha intersectado el frente de onda del haz emitido por la fuente de radiación. A medida que aumenta el ancho del haz, partiendo del punto central del plano, aumenta también la distancia desde la fuente de radiación. Al llegar a cierto punto, la distancia resulta ser media longitud de onda mayor que entre la fuente y el centro del plano. En dicho punto alejado del centro el frente de onda tiene un desfase de 180° con respecto al punto central (que es de 0°). Si se traza un círculo que una todos los puntos de desfase de 180° , toda la energía de la señal dentro del círculo tendrá una componente en fase. Es decir, en algún ángulo intermedio de la zona de 0° a 180° la energía tendrá una componente común dentro de fase. En la

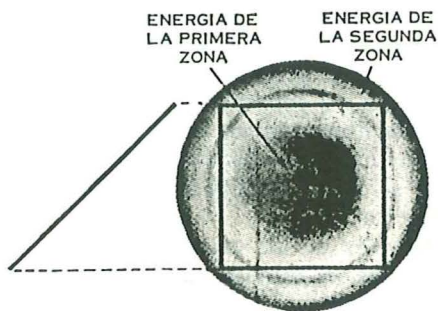


FIG. 13.—Iluminación (radiación) de un reflector rectangular vista desde la antena. Si el reflector es muy pequeño se pierde una porción de la energía de la primera zona de fase, mientras que si es demasiado grande, las esquinas captarán parte de la energía de la segunda zona, reduciendo la ganancia.

zona siguiente, que se extiende de 180° a 360° , la señal posee una componente fuera de fase con respecto a la energía de la primera zona. Existen otras zonas de fase, pero la mayor parte de la energía se concentra en las dos primeras.

De lo expuesto se desprende que el reflector rinde su ganancia máxima cuando intercepta solamente la energía de la primera zona, porque en la totalidad de esta zona se produce una *suma de fase*. En cambio, si también intercepta parte de la energía de la segunda zona, ocurrirá una *cancelación de fase* que disminuirá la potencia eficaz de la señal. Por las razones expuestas, el tamaño óptimo del reflector es el que corresponde a la magnitud de la primera zona de fase del haz. En consecuencia, si el reflector resulta pequeño no podrá interceptar toda la energía en fase y si es demasiado grande captará parte de la energía fuera de fase, produciendo cierta cancelación.

Desafortunadamente, el problema no se resuelve por completo eligiendo un reflector de tamaño correcto en función de una distancia determinada, porque la primera zona de fase se va ampliando a medida que aumenta la separación entre el reflector y la antena. (El diámetro de la zona es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la distancia.) Por tanto, si se aumenta la separación después de fijar las dimensiones de la antena y del reflector, se producirá el mismo efecto que si se disminuyera el tamaño del reflector.

Además de las consideraciones mencionadas, el tamaño de la antena tam-

bién influye en el rendimiento del sistema. En la explicación anterior la antena se ha considerado como la fuente de radiación de energía, pero en realidad la superficie de la antena puede constituir una fracción considerable de la superficie del reflector. Esta condición es de gran importancia, porque la verdadera fuente de radiación se convierte en una fuente aparente situada en algún punto detrás de la antena, desde donde parece emanar la radiación (véase Fig. 14). Si se emplea una antena de grandes dimensiones el haz resulta menos divergente, por lo cual el punto aparente de radiación queda más hacia atrás y la primera zona de fase no se extiende con tanta rapidez.

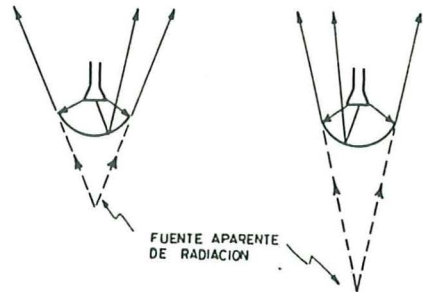


FIG. 14.—Una antena muy pequeña produce un haz más divergente, ampliando el diámetro de las zonas de fase. Por tanto, mientras más chica es la antena, mayor debe ser el reflector para poder interceptar toda la energía de la primera zona de fase con objeto de obtener el máximo de ganancia.

En otras palabras, en una separación determinada entre antena y reflector, con una antena de grandes dimensiones se obtiene un mejor foco y se necesita un reflector más pequeño para obtener la ganancia máxima.

Otro aspecto del problema es la *forma del reflector*. Como la primera zona de fase es circular, el reflector debe presentar una superficie redonda a la antena para obtener el rendimiento óptimo. Si la superficie es cuadrada o rectangular, los ángulos pueden proyectarse hacia la segunda zona captando parte de la energía fuera de fase; además, por las orillas rectas se puede perder energía en fase de la primera zona. Debido a que los reflectores normalmente tienen una inclinación de 45°, tendrían que ser de forma elíptica para proyectar una superficie circular. Sin embargo, rara vez se utilizan reflectores elípticos, prefiriéndose los de forma rectangular por ser más económicos. Los reflectores rectangulares están calculados para proyectar una superficie cuadrada tanto vertical como horizontalmente. Debido a la menor eficacia de la superficie cuadrangular, la ganancia puede disminuir en 1 ó 2 dB si las esquinas se prolongan hacia la segunda zona de fase. Como en la práctica generalmente los reflectores no aprovechan la totalidad de la primera zona, las esquinas aumentan la superficie de reflexión eficaz, mejorando ligeramente la ganancia.

Los ángulos rectos también ejercen un efecto desfavorable en el nivel de energía de los lóbulos laterales. Los reflectores elípticos producen lóbulos de alto nivel, pero en los reflectores rectangulares las esquinas aumentan la dispersión de energía, produciendo lóbulos de nivel aún más elevado. Debido a este inconveniente, es práctica común eliminar los ángulos rectos del reflector, ya sea cortando diagonalmente dos esquinas o formando una superficie de proyección octagonal.

Con un sistema de reflector y antena diseñado correctamente la ganancia puede aumentar en 2 ó 3 dB, en comparación con el empleo de la antena únicamente. Este aumento se debe a que el rendimiento óptimo no depende sólo de la reflexión total de la energía dentro de fase, sino también de otro factor. Como en la mayoría de los casos la superficie del reflector es mayor que la de la antena, en realidad el reflector actúa como una antena de mayor abertura. Es decir, produce un haz más estrecho en un punto distante del trayecto. Si el reflector se reemplazase con una antena de igual abertura se obtendría el mismo aumento de ganancia, pero, en cambio, la antena y la extensa guía de ondas

necesaria elevarían el coste del sistema. Además, se introduciría mayor pérdida de transmisión y reflexión de energía.

Una forma de obtener mayor ganancia con un sistema combinado de antena es curvar el reflector para aumen-

nes, alimentada desde el punto focal por la antena. Sin embargo, el coste de fabricación e instalación de una sección parabólica de tamaño apropiado podría resultar prohibitivo. Una solución práctica y eficaz es instalar un reflector plano pero flexible. Una

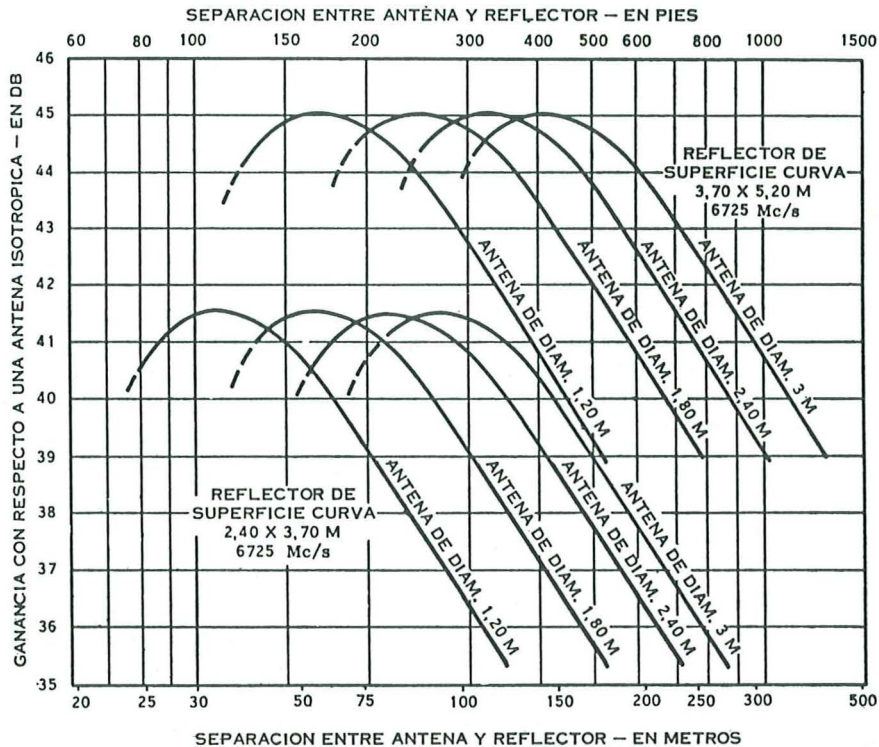


FIG. 15.—Variación de la ganancia de los reflectores de superficie curva con respecto a la separación entre antena y reflector. Las curvas de arriba, a la derecha, corresponden a los diversos tamaños de antenas que se emplean con un reflector rectangular de 3,70 x 5,20 m. Las curvas de abajo, a la izquierda, son para un reflector de 2,40 x 3,70 m. Como se observará, con antenas más grandes se requiere un reflector más pequeño o una torre más alta para poder obtener la ganancia máxima.

tar el enfoque. Cualquiera que sea el tamaño de la antena, el haz que envía el reflector siempre resulta divergente. El reflector con una curvatura parabólica se comporta como si fuera una prolongación de la antena: estrecha los lados del haz haciéndolos casi paralelos. Este tipo de reflector tendría la forma de una pequeña sección de paraboloides de grandes dimensio-

nes, colocada en su sitio y con el sistema de transmisión en funcionamiento, el reflector se curva hacia atrás, desde la parte central, con un mecanismo de tensión. Se puede obtener una excelente curvatura variando el ajuste hasta que se produzca la ganancia máxima.

La importancia del tamaño de la antena y el reflector y de la separación entre ambos se muestra gráficamente

en la figura 15. Las curvas pueden representar la ganancia relativa del sistema de antena-reflector con respecto a la antena sola, pero resulta más útil trazarlas de modo que indiquen la ganancia del sistema de antena en diversos grados de separación con respecto a la ganancia de una antena isotrópica. En esta forma la combinación de radiador y reflector se puede considerar como una sola antena de gran tamaño. De acuerdo con la figura, si se

curvas demuestran que se puede obtener una ganancia máxima de 45 dB, ya sea empleando un radiador de 1,20 m o bien uno de 3 m espaciado 123 m. Como se observará, para aprovechar la mayor ganancia que permite el reflector mayor, es necesario elevar la altura de la torre. A la inversa, si la altura libre del trayecto exige una torre más elevada, se necesitará un reflector de mayores dimensiones para obtener el rendimiento óptimo.

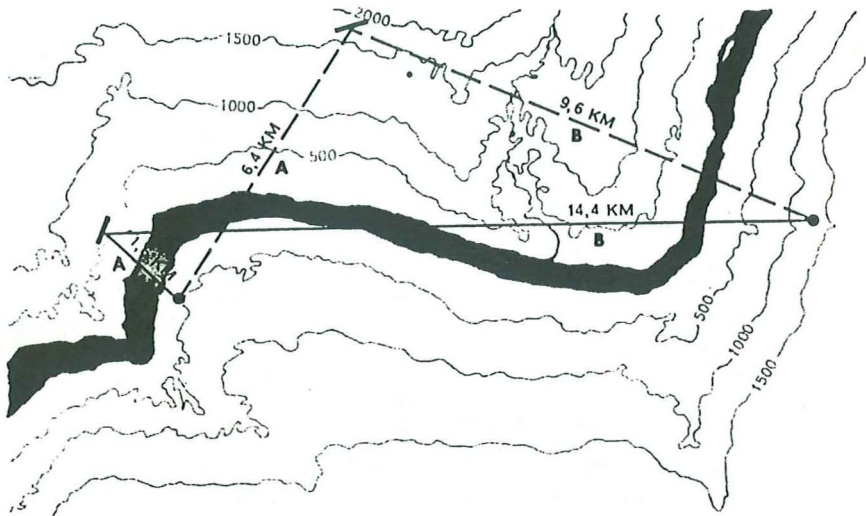


Fig. 16.—Mapa topográfico que indica dos posibles asentamientos de un reflector rectangular empleado como repetidor pasivo. El trayecto total formado por las secciones A y B tiene igual longitud en ambos casos, pero al instalar el reflector más cerca de una de las estaciones terminales, la atenuación se reduce en 7,5 dB.

toma como ejemplo un reflector curvado de $2,40 \times 3,70$ m para transmisión en la frecuencia de 6,75 Gc/s., con un radiador de 1,20 m de diámetro colocado a 37 m de distancia se obtendrá una ganancia máxima de 41,5 dB. La misma ganancia se lograría con un radiador de 4 m situado a 80 m del reflector.

Con objeto de comparación, en la figura 15 también se da una serie de curvas correspondientes a un reflector de $3,70 \times 5,20$ m para funcionamiento en la misma frecuencia. Estas

REPETIDORES PASIVOS.

En algunos casos la torre no alcanza a suministrar la altura necesaria para superar un obstáculo. Por ejemplo, si existe un cerro entre dos sitios de una instalación de microondas, tendrá que pasarse sobre el cerro o a su alrededor desviando el haz en uno o varios puntos intermedios. En los puntos de desviación se pueden utilizar estaciones repetidoras para amplificar y retransmitir la señal, pero es preferible utilizar *repetidores*

pasivos si sólo se desea cambiar el sentido del haz. Los repetidores pasivos no contribuyen a amplificar la señal, pero tampoco requieren alimentación eléctrica y su mantenimiento es mínimo, de modo que se pueden utilizar en sitios de difícil acceso sin mayores preocupaciones.

Existe un tipo de repetidor pasivo

guía de ondas inevitablemente introduce cierta pérdida y reflexión que perjudica en alto grado la señal.

El repetidor pasivo que se emplea con mayor frecuencia para desviar las señales consiste simplemente en un reflector de superficie rectangular plana de grandes dimensiones. Estos reflectores se pueden disponer, por

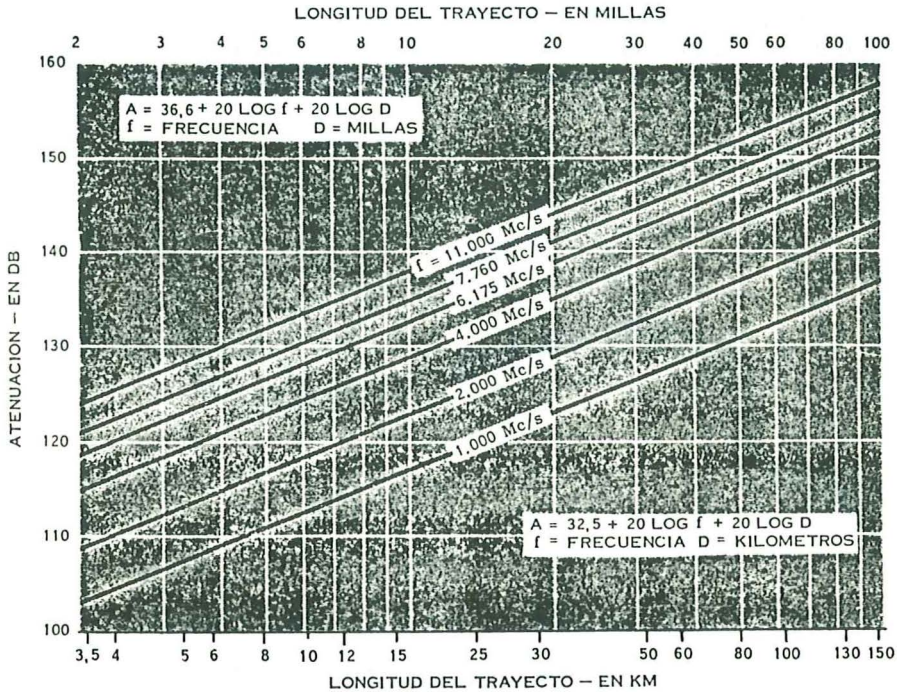


FIG. 17.—Atenuación de espacio libre entre antenas isotrópicas. La atenuación aumenta en 6 dB cuando se duplica la longitud del trayecto, cualquiera que sea el aumento de distancia.

formado por dos antenas parabólicas interconectadas por la espalda con una corta guía de ondas. Esta disposición de antenas permite cambiar la orientación del haz en cualquier sentido, simplemente doblando la guía de ondas en la forma necesaria. Sin embargo, los repetidores de esta clase no son de uso general debido a las pérdidas que presentan. En efecto, la eficacia típica de cada antena parabólica es de solo un 55 por 100 y además la

ejemplo, en los recodos de un valle para desviar el haz siguiendo la configuración del terreno. Por medio de una antena periscopónica se puede enviar el haz al reflector rectangular y éste a su vez lo refleja hacia otra antena periscopónica situada más adelante, formando en total una disposición semejante a un enorme sistema de espejos.

Las medidas del reflector triangular—que varían entre $1,80 \times 2,40$ y

7,30 × 9 m—no están sujetas a las mismas limitaciones que tiene el reflector de las antenas periscópicas. Esta ventaja se debe a que los repetidores pasivos por lo general se disponen lejos del transmisor, de modo que toda la energía de señal que se intercepta queda esencialmente dentro de fase,

intensidad de las señales es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el transmisor. Por tanto, cada vez que se duplica la longitud del trayecto, la intensidad de la señal baja a $1/4$ de su valor original. Lo anterior significa que la atenuación sube en 6 dB al duplicar la longitud del tra-

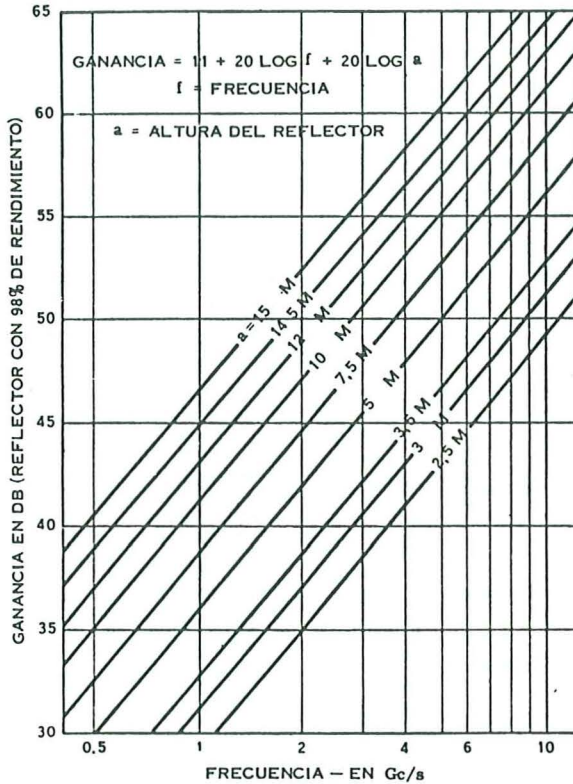


FIG. 18.—El reflector pasivo produce una ganancia con respecto al valor teórico de la antena isotrópica. La magnitud de la ganancia depende tanto del tamaño del reflector como de la frecuencia de funcionamiento.

cualquiera que sea el tamaño práctico del reflector.

A diferencia de la transmisión por línea aérea o cable, en que la atenuación por kilómetro resulta constante a cualquier distancia, la atenuación de las señales de radio depende de la longitud del trayecto de propagación. La

yecto, ya sea que la distancia aumente en uno o en diez kilómetros.

Debido a que la atenuación es mayor en los primeros metros del trayecto, la longitud relativa de las secciones es de gran importancia en la situación del reflector triangular empleado como repetidor pasivo. Tome-

mos el caso de la instalación que se ilustra en la figura 16. Colocando el reflector próximo a un punto terminal, la sección A tiene 1,5 Km de distancia, mientras que la sección B tiene 14,5 Km, por lo cual la longitud total del trayecto es de 16 Km. Si se cambia la situación del reflector de modo que A tenga 6,4 Km y B 9,5 Km, la extensión total siempre será de 16 kilómetros, pero la pérdida de la sección A habrá aumentado en un factor de 16, mientras que la de B habrá disminuído a sólo 4/9 de su valor anterior. Por tanto, como la atenuación máxima ocurre cuando las dos secciones son de igual longitud, conviene instalar el reflector más cerca de uno de los puntos terminales.

La atenuación del ejemplo anterior se puede obtener en decibelios empleando la siguiente fórmula:

$$A = 32,5 + 20 \text{ Log } F + 20 \text{ Log } D,$$

en que

A = Atenuación de espacio libre entre antenas isotrópicas, en decibelios.

F = Frecuencia de funcionamiento, en megaciclos.

D = Distancia en kilómetros.

Si el sistema funciona en una frecuencia de 6.000 Mc/s., la atenuación de la sección A será de 112,2 dB y la sección B tendrá 131,3 dB, lo que da un total de 243,5 dB. Al modificar la situación del reflector, las secciones A y B tendrán 124,2 y 127,8 dB de atenuación, respectivamente, o sea un total de 251 dB. En consecuencia, al colocar el reflector unos 5 Km más cerca del punto medio del trayecto, la pérdida total aumentará en 7,5 dB, lo cual significa que la señal llegará con 82 por 100 de pérdida al receptor, sin que se haya variado la longitud total del trayecto.

En el ejemplo de la figura 16, si la situación del reflector rectangular se determina solamente a base de la pérdida en el trayecto, se elegirá la que establece una sección de 1,5 Km y otra de 14,5 Km. Debe observarse que el valor de 243,5 dB indicado anteriormente representa la atenuación teórica entre dos antenas isotrópicas, sin considerar la directividad de ninguna de las dos antenas situadas en los puntos terminales del sistema ni la del propio reflector. Si las antenas terminales consisten en parábolas de 1,80 m de diámetro, la ganancia de cada una será de aproximadamente 38 dB, lo que disminuirá la pérdida del trayecto en un total de 76 dB. De las curvas de la figura 18 se desprende que un reflector pasivo con una superficie de proyección de 4,30 × 4,30 m tendrá una ganancia de 50 dB, debido a que para el cálculo se considera que el reflector recibe y retransmite la señal. Como la ganancia constituye una medida de la directividad, el reflector rectangular tiene un rendimiento superior en 50 por 100 a la antena isotrópica, tanto en la recepción como la transmisión. Por tanto, el reflector reduce la pérdida teórica del trayecto en otros 100 dB. El resultado de 67,7 dB (243,5 menos 76 y 100) es la diferencia efectiva entre los niveles de transmisión y recepción.

El procedimiento anterior en realidad constituye un método práctico de «contabilidad» para calcular el rendimiento de los reflectores en un trayecto. Otra forma de hacer el cálculo es considerar la distancia total del sistema de transmisión como un trayecto único. En este caso el reflector *no se considera* como un receptor y retransmisor. En el ejemplo del trayecto de 16 Km, la atenuación de antena isotrópica sería de 132,2 dB, o sea sólo 1 dB más que el trayecto de 14,5 Km. Al descontar la ganancia de las antenas (76 dB), la pérdida de transmisión

queda en 56,2 dB. Como en este segundo procedimiento no se ha tomado en cuenta el reflector, al comparar los dos métodos se obtiene la pérdida real del reflector: $67,5 - 56,2 = 11,3$ dB.

Como los reflectores pasivos poseen

una ganancia adicional de 9 dB, lo que reduciría la pérdida del reflector a un valor más aceptable de 2,3 dB.

Cuando se presentan pequeños problemas de desviación del haz debido a curvas o recodos del terreno, se em-

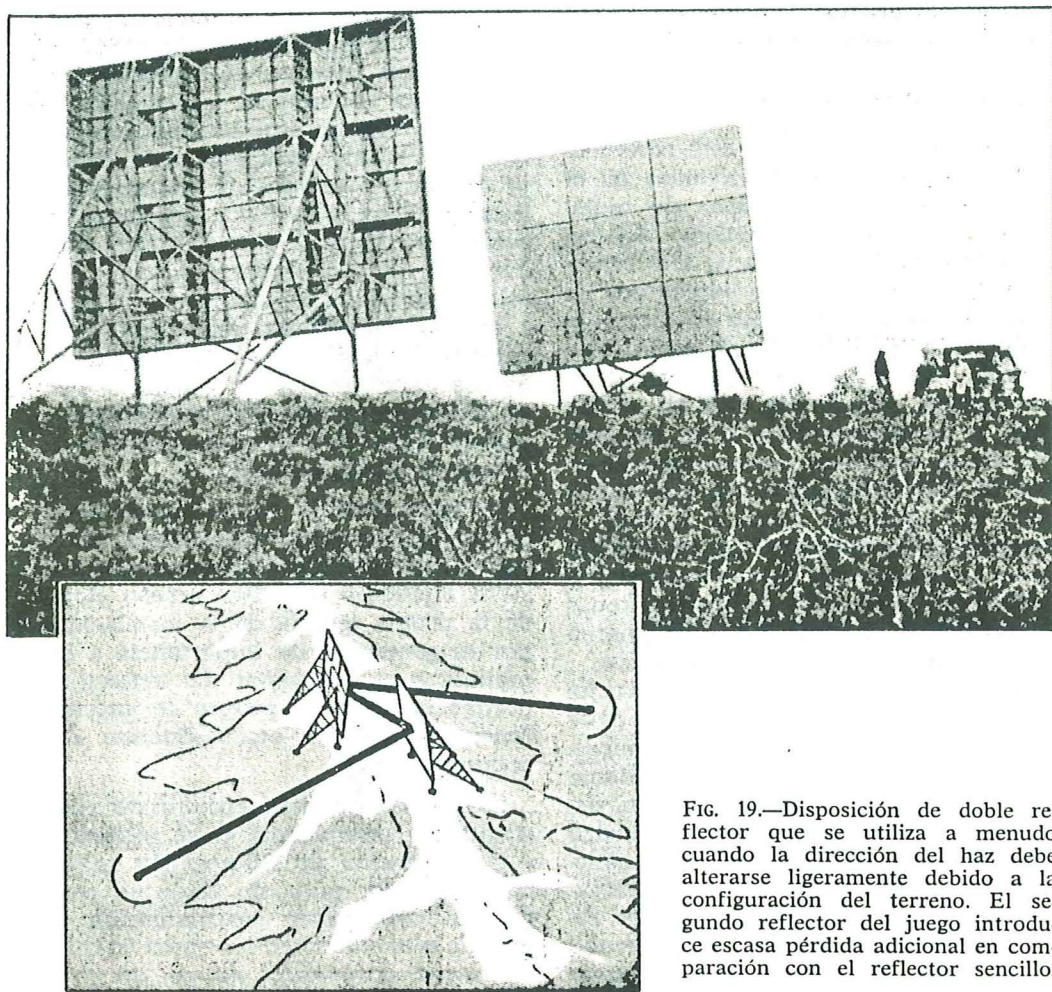


FIG. 19.—Disposición de doble reflector que se utiliza a menudo cuando la dirección del haz debe alterarse ligeramente debido a la configuración del terreno. El segundo reflector del juego introduce escasa pérdida adicional en comparación con el reflector sencillo.

un rendimiento elevado (aproximadamente 98 por 100), es muy probable que la alta pérdida del reflector de nuestro ejemplo se deba al hecho de que no retransmite suficiente energía por su pequeño tamaño. Con un reflector más grande de 7,30 m se obtendría

plea una doble instalación de reflectores como la que se ilustra en la figura 19. En estos casos no se puede utilizar un solo reflector, porque el haz llegaría con un ángulo demasiado agudo, restringiendo seriamente la eficacia de la superficie reflectora. Los dos

reflectores se colocan casi en paralelo y con bastante proximidad, de manera que prácticamente toda la energía que refleje uno sea interceptada por el otro. Sin embargo, como los reflectores no tienen 100 por 100 de rendimiento, es inevitable que se introduzca una pérdida algo mayor que al emplear un reflector sencillo

EL FUTURO DE LOS REFLECTORES.

El sistema de antenas está revistiendo cada vez mayor importancia en el desempeño de los sistemas de radiotransmisión por microondas. En los sistemas de transmisión de alto rendimiento, la eficacia de la antena con su guía de ondas constituye el factor limitador de la distorsión de intermodulación. Las reflexiones que introduce la extensa sección de guía de ondas que va del transmisor a la antena puede elevar en forma considerable el nivel de intermodulación, aunque se utilice una guía de primera calidad, a menos que la instalación se realice con gran exactitud. Por dichas razones, resulta más ventajoso instalar antenas periscópicas, porque sólo requieren una corta sección de guía de ondas.

Pese a las consideraciones mencionadas, los reflectores se utilizan principalmente por razones económicas. Casi todos los problemas de antena que se pueden solucionar con un sistema de reflectores también se pueden resolver con otros medios, pero generalmente a un coste mucho más elevado. Lo dicho no significa que los reflectores sean inferiores, pero cuando se dispone de varios métodos aceptables se prefiere el de menor coste.

Si bien los reflectores poseen notables ventajas, también tienen ciertas limitaciones. Por ejemplo, las antenas periscópicas están sumamente expuestas a las interferencias de diafonía debido a su baja relación de radiación directa a inversa, el alto nivel de los lóbulos laterales y la iluminación cruzada (posible radiación de los reflectores de otros sistemas de transmisión). Por dichas razones, en las estaciones repetidoras es de especial importancia emplear distintas frecuencias de trabajo en ambos sentidos de transmisión. Esta solución resulta satisfactoria cuando se dispone de suficientes frecuencias, pero el factor económico se está relegando a segundo plano debido a la gran escasez de asignaciones. El empleo de una misma frecuencia en ambos sentidos por lo general exige un rendimiento que no se puede lograr con un reflector y ni siquiera con una antena parabólica sencilla.

La gran ventaja de los reflectores rectangulares como repetidores pasivos es su conveniencia para empleo en sitios lejanos o de difícil acceso, donde la propia lejanía de la instalación por lo general resta importancia a la pérdida por dispersión del reflector, porque no existe el peligro de interferencia mutua con otros sistemas de comunicación.

Los reflectores han encontrado una aceptación permanente en el proyecto y la instalación de sistemas de radiocomunicación, pero sin duda se emplearán con mayor discriminación a medida que aumentan los casos en que el factor económico no es de primordial importancia.

UNION DE
RADIOAFICIONADOS
ESPAÑÓLES