LAS ANTENAS DIPOLOS

Por EMILIO F. CASADO, Ingeniero de Telecomunicación.

Entre los múltiples elementos de que consta una instalación radioeléctrica han sido sin duda los menos estudiados los sistemas radiantes, y que son, quizá, los más esenciales, ya que de nada nos sirve utilizar equipos muy perfectos y de elevada potencia, si cuando llega el punto realmente interesante, o sea el de la transmisión, desperdiciamos ésta en puras pérdidas, obteniendo resultados inferiores a los que se conseguirían con transmisores de deficiente calidad, pero provistos de una antena apropiada al servicio pretendido.

Hasta hace pocos años no se las concedía mayor importancia, y estábamos acostumbrados a que con cualquier antena nos recibían, y esto nos bastaba, aunque justo es, para dar a cada uno lo suyo, reconocer que lo complicado del estudio de la radiación ha limitado siempre su avance al conseguido por las vanguardias de los investigadores matemáticos, quienes al estudiar nuevas funciones y descubrir modernos cálculos han abierto horizontes insospechados a esta ciencia y sus aplicaciones.

Una vez que la técnica ha conseguido transmisores y receptores perfectísimos, muchos de los mágicos inventos que cada día nos admiran están basados en estudios sobre redes directivas, sobre todo aquellos valiosos auxiliares del piloto, cual son el radiogoniómetro, los altímetros, radiolocalizadores, radiofaros, radiodirección y tantos más, y por ello vamos a ocuparnos de un estudio muy interesante, esto es, del cálculo de la resistencia de radiación de un dipolo, elemento integrante de los aparatos antes enumerados y muy utilizado en Aviación también como antena simple de los transmisores de campo.

Es de esperar que con el empleo de las ondas métricas en servicios de Aeronáutica se generalizará aún mucho más su aplicación, ya alimentados a intensidad o a tensión.

Al montar una antena de este tipo se tropezaba a menudo con el inconveniente de desconocer su impedancia de entrada para poder, en consecuencia, elegir o ajustar el alimentador, y nos limitábamos a saber que en su vientre presentaba unos 70 a 100 ohmios.

El objeto de este artículo es dar normas para un cálculo más exacto y resolver el caso de un dipolo alimentado a tensión.

Comencemos estudiando el caso de dos dipolos en presencia de ejes paralelos o confundidos, de longitudes l_1 y l_2, y cuya diferencia de nivel de sus bases sea h.

Un caso particular de esto sería un solo dipolo (horizontal o vertical) sobre un suelo perfectamente conductor (tierra o contraantena de un avión) y su imagen eléctrica (figura 1).

Si despreciando el amortiguamiento suponemos una distribución de corriente sinusoidal (su consideración sólo sirve para complicarnos los cálculos sin consecuencias prácticas) en el punto A, la impedancia valdría

$$z_A = \frac{o}{i} = 0,$$

así como en B

$$z_B = \frac{v}{o} = \infty.$$

Y no existiría radiación.

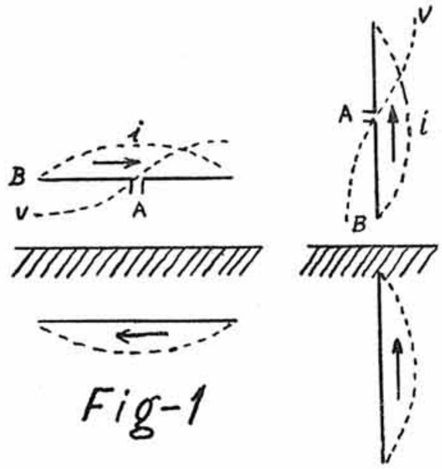

Fig-1

Pero la realidad es bien distinta, pues debido al "acoplo de radiación", entre el dipolo y su imagen (o más general entre dos dipolos reales o ficticios cualesquiera) aparece en A una impedancia que se puede calcular por la fórmula que resulta de dicha teoría:

$$\begin{aligned} z_{12} = \pm 15 \{ & e^{+j\alpha h} [Ei(jU_{oo}) + Ei(jU_{uu}) - \\ & - Ei(jU_{ou}) - Ei(jU_{uo})] + \\ & + e^{-j\alpha h} [Ei(jV_{oo}) + Ei(jV_{uu}) - Ei(jV_{ou}) - \\ & - Ei(jV_{uo})] \} \end{aligned}$$

con

$$\left.\begin{matrix} U_{uu} \\ V_{uu} \end{matrix}\right\} = -\alpha [\sqrt{d^2 + h^2} \pm h],$$

$$\left.\begin{matrix} U_{ou} \\ V_{ou} \end{matrix}\right\} = -\alpha [\sqrt{d^2 + (h + l_2)^2} \pm (h + l_2)]$$

$$\left.\begin{matrix} U_{uo} \\ V_{uo} \end{matrix}\right\} = -\alpha [\sqrt{d^2 + (h - l_1)^2} \pm (h - l_1)],$$

$$\left.\begin{matrix} U_{oo} \\ V_{oo} \end{matrix}\right\} = -\alpha [\sqrt{d^2 + (h + l_2 - l_1)^2} \pm (h + l_2 - l_1)]$$

siendo

d = distancia de los ejes de los dipolos

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$$

y

$$\left\{\begin{matrix} Ei(ju) \\ Ei(jv) \end{matrix}\right.$$

la función

$$Ei(jx) = Ci(x) + jSi(x) - j\frac{\pi}{2}$$

con

$$Ci(x) = \int_{\infty}^{x} \frac{\cos u}{u} \cdot du \quad \text{y} \quad Si(x) = \int_{o}^{x} \frac{\operatorname{sen} u}{u} \cdot du.$$

Funciones tabuladas ya, por ejemplo, en el Jahnke-Emde, Funktionentafeln B. G. Teubner. Leipzig 1933.

Afortunadamente se han publicado también, por Barzilay, unas tablas bastante completas, que nos dan dicha impedancia en función de h, d y λ.

Realmente de esta impedancia sólo nos interesa su parte real, que constituye la "resistencia de radiación", ya que su reactancia se compensa al hacer el ajuste, bien con reactancia de signo contrario concentrada o por variación de la longitud física del dipolo. (Tany).

Estos dipolos presentan, como casos particulares, si están aislados en el espacio, alrededor de 73 ohmios, y si son verticales, con su base inferior a tierra, 98 ohmios.

En la figura 2 puede leerse directamente, para el caso de un dipolo horizontal, la resistencia de radiación en el vientre a diferentes alturas.

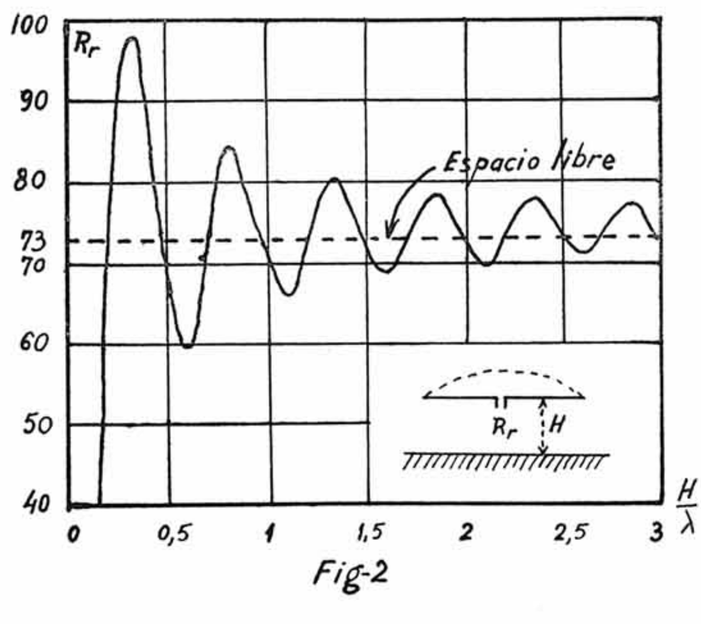

Fig-2

En el caso, por ejemplo, de los radiofaros, existen varios dipolos en presencia, y la impedancia de radiación de cualquiera de ellos puede calcularse en principio, suponiendo están todos ellos recorridos por iguales corrientes por la fórmula:

$$Z_1 = Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + \ldots..$$

En la que Z_{11} es la "propia" del dipolo, supuesto aislado de los demás, y Z_{12}, Z_{13}... las de acoplo de radiación con cada uno de los otros y sus imágenes (es decir, algo parecido a la impedancia mutua en un circuito cerrado).

Y conocida la impedancia en el vientre R_o, vamos a calcular la que presenta en un extremo.

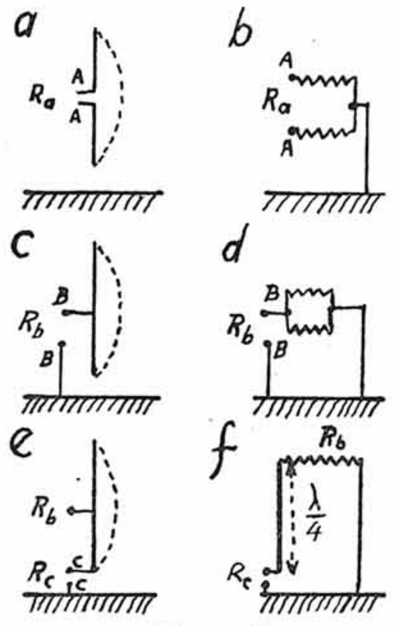

Fig-3

En la figura 3 vemos el caso — *a*, que nos da R_a y su circuito equivalente. Si alimentamos entre *B B* (caso — *c*), su equivalente es *d*, y la impedancia en el vientre se reduce a

$$R_b = \frac{R_a}{4}.$$

Y en el caso — *e*, equivalente a *f*, que es simplemente una línea transformadora en $\frac{\lambda}{4}$, terminada por la resistencia R_b, como la impedancia de entrada de una línea de impedancia característica Z_o y terminada por otra impedancia *R*, vale:

$$Z_e = Z_o \cdot \frac{Z_o \cdot Sh\gamma l + R \cdot Ch\gamma l}{R \cdot Sh\gamma l + Z_o \cdot Ch\gamma l}.$$

Como en nuestro caso:

$$Sh\gamma l = j \operatorname{sen} \alpha l \quad ,, \quad R = R_b \quad ,, \quad \alpha l = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$Ch\gamma l = \cos \alpha l \quad ,, \quad Z_e = R_e.$$

La impedancia en un extremo (alimentación a tensión) será:

$$R_e = \frac{4 Z_o^2}{R_a}.$$

Valor que oscila según el hilo empleado y la altura del dipolo entre 2.000 y 5.000 ohmios.

Esta fórmula es válida tanto para el dipolo vertical como horizontal, pues para el primero se tomaría una Z_o media.

Conocida la impedancia R_b, se puede calcular la que presenta en cualquier punto para una alimentación monofilar (antena Conrad o de $^3/_4$), por la fórmula:

$$R_p = \frac{R_b}{\cos^2 \alpha l}.$$

αl = distancia eléctrica de *P* al centro del dipolo.

Con lo que quedan resueltos todos los casos que se presentan en el cálculo de la alimentación al instalar un dipolo, bajo las formas más utilizadas en los servicios radioeléctricos del Aire.