

## Temas sobre el radar. - La caja de ecos

Por CARLOS FRANCO GONZALEZ-LLANOS

*Comandante de Artillería.*

*Diplomado de la Escuela Politécnica.*

En todo sistema, cualquiera que sea su naturaleza, es de suma utilidad para los usuarios del mismo tener en un momento preciso una indicación de la marcha general del conjunto, en donde se refleje si el equipo está funcionando en plena eficiencia o no. En los equipos eléctricos estos indicadores están constituidos por una serie de aparatos de medida colocados en lugares estratégicos, y cuyas indicaciones servirán para comprobar que ciertas partes del sistema trabajan en debida forma; pero en la mayor parte de los casos su indicación no nos mostrará de una manera global que la eficiencia del conjunto es la máxima.

En los equipos de radar, el aparato que llena por completo esta última condición es la llamada "caja de ecos", lo cual, unido a su sencillez y fácil manejo, ha de constituir un elemento inseparable de todo el personal que maneja esta clase de instalaciones.

La "caja de ecos" está constituida en esencia por una cavidad resonante, excitada por el impulso procedente del transmisor del radar; al terminar el impulso excitador, la onda en la cavidad se va amortiguando de acuerdo con una ley exponencial, y una cierta cantidad de energía es radiada al exterior por la cavidad y recogida por el receptor del radar; en el aparato indicador o pantalla del oscilógrafo aparece una señal, que corresponde a la energía irradiada por la cavidad resonante. El tiempo que tarda en amortiguarse esta onda, de forma que el receptor del radar no sea capaz de detectarla debido a que el nivel de energía está por

debajo del límite de sensibilidad del receptor, nos mide o pone de manifiesto el comportamiento de todo el equipo. Este tiempo se conoce con el nombre de "ringing time", o tiempo de duración del "rumor" producido por la cavidad al ser excitada por impulso. Generalmente, este tiempo se traduce a valores de alcance, de acuerdo con su extensión en la pantalla del aparato indicador.

La "caja de ecos" está constituida en esencia por una cavidad resonante funcionando en el modo  $TE_{011}$ , la cual lleva una sonda de acoplamiento con el dipolo externo, que sirve para radiar o recoger la energía electromagnética procedente del impulso.

Cuando se trabaja a frecuencias muy elevadas, los circuitos resonantes de constantes concentradas no son utilizados debido a sus pérdidas; en su lugar se emplean unos elementos formados por un espacio cerrado por una superficie de paredes conductoras, en cuyo interior se pueden mantener campos electromagnéticos oscilantes. Estos elementos reciben el nombre de cavidades resonantes y se utilizan ampliamente en los circuitos de radar como circuitos sintonizados, los cuales poseen la ventaja de ser más sencillos mecánicamente que los de constantes concentradas, las pérdidas son menores y poseen un factor Q de calidad muy elevada.

El estudio analítico de las cavidades resonantes se hace a partir de las ecuaciones de Maxwell, las cuales deben de cumplirse en el interior del dieléctrico que forma el

resonador, añadiendo además las condiciones que impone la presencia de las paredes conductoras de la cavidad. De esta manera se plantean una serie de ecuaciones diferenciales que sólo pueden resolverse en ciertos casos muy sencillos.

El tipo de cavidad resonante utilizada corrientemente en la "caja de ecos" es de forma cilíndrica sintonizada, la cual trabaja en el modo TE<sub>011</sub>; los dos primeros subíndices tienen el mismo significado que en las guías

cavidad cilíndrica trabajando en el modo TE<sub>011</sub> viene dada por la fórmula

$$\lambda_o = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{h^2} + \frac{1,49}{r^2}}}$$

y el valor máximo del factor de calidad está expresado por la fórmula

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,67 \frac{\lambda_o}{e}$$

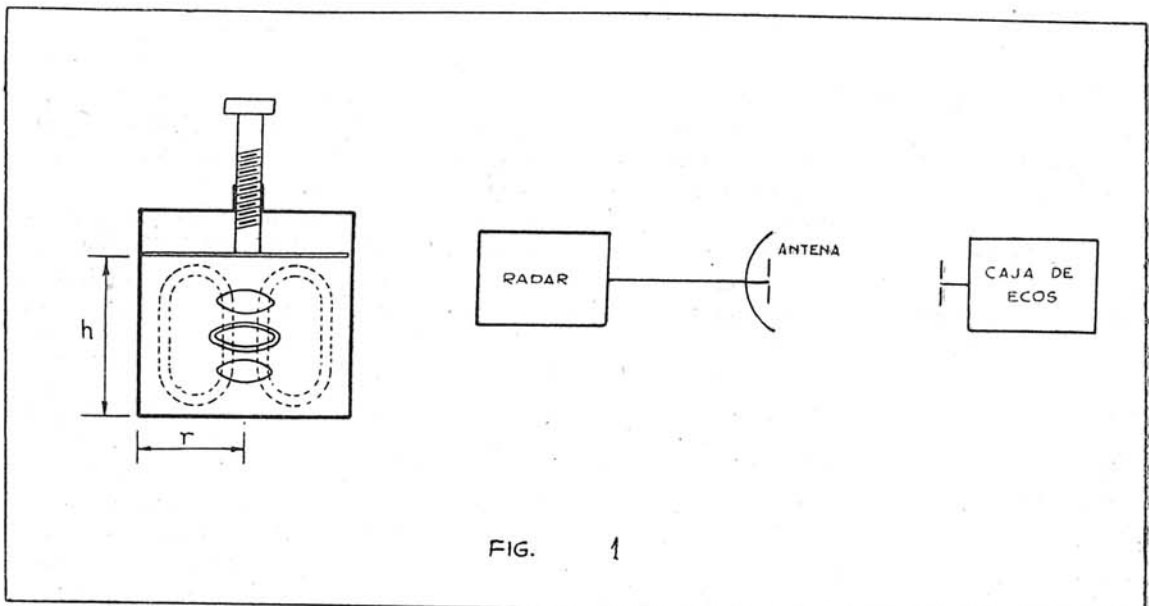


FIG. 1

de onda circulares (variaciones cíclicas en sentido radial de la sección transversal y alrededor del centro de la misma), y el tercero representa el número de semiperíodos de variación en sentido del eje del cilindro; en el caso de ondas TE, este último índice puede tener cualquier valor, excepto cero.

Las ondas TE transversal eléctrica son aquellas que están caracterizadas porque el vector representativo del campo eléctrico está situado en el plano transversal perpendicular a la dirección de propagación y el vector del campo magnético tiene una componente en esa dirección.

La longitud de onda de resonancia de la

(*e* es la profundidad de circulación de la corriente debido al efecto pelicular o Skin) cuando se cumple la condición  $\frac{r}{h} = 0,5$ .

El factor Q de calidad de una cavidad resonante se define como el producto de  $2\pi$  por la relación entre la energía almacenada en la cavidad y la que se disipa por ciclo de oscilación a la frecuencia de resonancia. En el caso de la "caja de ecos", el valor de Q debe de ser grande, y su valor es del orden de 40.000 para una longitud de onda de resonancia de 10 centímetros.

La disposición esquemática del conjunto del aparato y el detalle de la cavidad de resonancia se muestra en la figura 1, y en

ella se ve la disposición del émbolo ajustable para variar la sintonía.

El índice que nos indica el funcionamiento de todo un equipo de radar depende de la potencia máxima que es capaz de poner en juego el transmisor y de la potencia mínima o sensibilidad del receptor, y su valor puede expresarse por el cociente de ambas cantidades.

Durante la emisión del impulso, la caja de ecos reirradia energía electromagnética, que crece de una manera exponencial, y a la terminación de éste la energía decrece, siguiendo una ley de las mismas características. El valor del pico de potencia radiada depende de la potencia transmitida por el equipo, ancho del impulso, grado de acoplamiento del dipolo con la caja de la cavidad, e inversamente, proporcional a la resistencia de radiación del mismo. De acuerdo con esto, el valor de la potencia radiada, después de que el impulso ha terminado, viene dada por la expresión

$$P_r(t) = A P_T e^{-\frac{t}{T}};$$

en donde  $P_T$  es la potencia máxima transmitida por el radar;  $A$  es una constante que depende del ancho del impulso, características de forma y disposición del dipolo de la caja de ecos y de la antena del radar, y grado de acoplamiento de la sonda con la cavidad;  $T$  es otra constante, función del coeficiente de calidad de la cavidad, resistencia de radiación del dipolo y grado de acoplamiento de la sonda.

Veamos ahora la forma de ligar el valor de  $\frac{P_T}{P_R}$  con el tiempo que dura "el rumor" de la cavidad ("ringing time"), pues conseguido esto estará plenamente justificado el empleo de la caja de ecos como indicadora del grado de eficacia del funcionamiento del equipo.

No cabe duda que el final del tiempo de

duración del "rumor" la energía irradiada por el dipolo de la caja no se pone de manifiesto en la pantalla del osciloscopio, y su valor iguala al límite de sensibilidad del receptor, o sea  $P_{R_{min}}$ ; suslituyendo estos valores en la fórmula general, se tiene

$$P_{R_{min}} = A P_T e^{-\frac{t_c}{T}};$$

$t_c$  es el tiempo de duración del "rumor" de la cavidad ("ringing time"); tomando logaritmos neperianos resulta

$$t_c = T \cdot \log_e \left[ A \frac{P_T}{P_R} \right];$$

lo que nos dice que el tiempo que tarda en extinguirse la señal en la pantalla del oscilógrafo es proporcional al logaritmo neperiano del índice de funcionamiento del equipo.

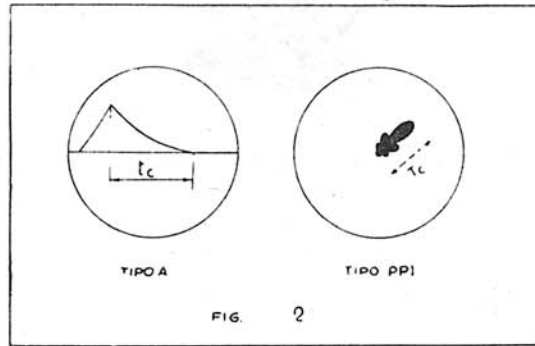
La forma de presentarse la señal en el aparato indicador varía de acuerdo con el sistema de pre-

sentación empleado; en la figura 2 se indican dos tipos de indicadores, que corresponden a la presentación  $A$  y  $PPI$ .

Para que la magnitud del tiempo que dura el "rumor" de la cavidad nos sirva como índice del funcionamiento del equipo, es preciso tomar un valor que nos sirva de término de comparación, y éste es el que corresponde al máximo de  $\frac{P_T}{P_R}$ .

Este valor normal del "ringing time" deberá determinarse previamente ajustando el equipo para que proporcione la máxima potencia y que el límite de sensibilidad sea el óptimo; aun cuando estas condiciones se cumplan, es preciso que las características que afectan a "la caja de ecos" se mantengan invariables en todas las medidas que se realicen, pues si no los resultados no son comparables y su indicación no nos sirve para ningún fin práctico.

Como información de un aparato de medida de este equipo se indica en la figura 3



el aspecto exterior del modelo americano, muy utilizado en las baterías antiaéreas, TS - 270 U P, empleado en combinación con el equipo de radar SCR-584 para la dirección del tiro contra blancos aéreos; este equipo dispone de dos indicadores tipo *J* y uno *PPI*.

La caja de ecos debe de colocarse exactamente enfrente de la antena del radar, de modo que la distancia de separación sea unos 1,83 metros. Estas condiciones de instalación deben de mantenerse de una manera rigurosa, con el fin de que la indicación del "ringing time" sea una medida precisa de la eficacia del sistema; una disminución de su valor, aun en el caso de que sea pequeña,

nos indica que el alcance del sistema ha disminuído de una manera apreciable. Como ejemplo de ello podemos decir que una pérdida de 150 yardas en el tiempo de duración del "rumor" se traduce en que el sistema ha perdido eficacia, pues la distancia de detección se ha reducido a un 91 por 100 del valor normal, y si la disminución del tiempo fuese del orden de 4.500 yardas, la reducción del alcance máximo es considerable, se reduce al 6 por 100 del máximo.

La caja de ecos puede dedicarse a otros usos, tales como para la medida del espectro; medida de frecuencias; conseguir la sintonía del equipo para la máxima eficacia, etc.

