

## MONTAJE DE UN SISTEMA PARA LA DETERMINACION DEL ANCHO DE LINEA DE RESONANCIA FERROMAGNETICA

A. Iglesias Cerveto, Laboratorio Central de Telecomunicaciones  
A. González Arias e I.V. Guerasimenko, Departamento de Física Aplicada,  
Facultad de Física, Universidad de La Habana

### RESUMEN

El uso de dispositivos sobre la base de ferritas es muy amplio; pero en cada caso, las propiedades del material a utilizar están determinadas por su aplicación específica. En algunos casos de ferritas para dispositivos de microondas, el valor del ancho de la línea de resonancia  $\Delta H$ , relacionada a las pérdidas de energía en el material, es un parámetro muy importante para ser tenido en cuenta. En este trabajo se describe el montaje de un sistema para la determinación de  $\Delta H$  y los resultados obtenidos al caracterizar ferritas de LiZnMnTi a la frecuencia de 812 MHz.

### ABSTRACT

The spreading of ferrite-based devices is very wide but, in every case, the properties of the material in use is determined by its specific application. In some cases of ferrites for microwave devices, the line width of the ferromagnetic resonance  $\Delta H$ , related to the energy losses in the material, is a very important parameter to be taken into account. In this paper a system is described for the measurement of the line width  $\Delta H$  at low microwave frequencies, and the results obtained when measuring LiZnMnTi ferrites at 812 MHz.

## 1. INTRODUCCIÓN

El empleo de dispositivos basados en materiales de ferrita en los sistemas de radiocomunicaciones es muy amplio. Sin embargo, en cada caso particular las exigencias de uso requieren materiales con cualidades muy específicas, y resulta indispensable determinar experimentalmente una serie de parámetros característicos en dependencia del uso específico que se le dará a la ferrita en cuestión. En el caso de las microondas, uno de los parámetros de mayor interés es el ancho de la línea de resonancia ferromagnética  $\Delta H$ . Este parámetro se relaciona con las pérdidas de energía en el seno del material cuando este se encuentra bajo la acción de un campo magnético variable de alta frecuencia.

A continuación se describe el montaje de un sistema para la medición de  $\Delta H$  y los resultados obtenidos en muestras de ferrita de  $\text{LiZnMnTi}$  a la frecuencia de 812 MHz.

## 2. RESONANCIA FERROMAGNÉTICA

Los materiales magnéticos presentan el efecto de resonancia ferromagnética cuando, en presencia de un campo magnético constante  $H_0$ , se aplica otra variable en el tiempo  $h(t)$  y normal al primero /1/. La resonancia tiene lugar cuando la frecuencia de la señal aplicada coincide con la frecuencia de precesión  $\omega_0 = \gamma H_0$  (frecuencia de precesión de los momentos magnéticos de los átomos del material que poseen momento magnético no nulo alrededor de la dirección de  $H_0$ );  $\gamma = ge/2mc$  es la constante giromagnética, donde  $g$  es el factor de Landé,  $c$  la velocidad de la luz y  $e/m$  la relación carga/masa del electrón.

Si  $H_0$  es tal que la ferrita está saturada, la magnetización del material toma su valor máximo  $M_s$ . En ese caso es posible establecer la siguiente relación entre las componentes  $m_i$  de la magnetización adicional originada por el campo variable  $h(t) = h_0 e^{j\omega t}$  y las componentes  $h_i$  de la amplitud de dicho campo /2,3/.

$$\begin{vmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_{xx} & X_{xy} & 0 \\ X_{yx} & X_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \end{vmatrix} \quad (1)$$

Los elementos  $X_{ij}$  de la matriz susceptibilidad poseen parte real e imaginaria y cumplen las condiciones

$$\begin{aligned} X_{xx} &= X_{yy} \\ X_{yx} &= X_{xy} \end{aligned} \quad (2)$$

Considerando la onda electromagnética en el seno del material como formada por dos campos magnéticos circularmente polarizados, rotando en sentidos opuestos (+ y -) con frecuencia angular  $\omega$ , la susceptibilidad puede ser expresada como

$$X_{\pm} = X'_{\pm} - jX''_{\pm} \quad (3)$$

donde  $X'_{\pm}$  y  $X''_{\pm}$  se obtienen al agrupar la parte real e imaginaria de los términos en (2). El término  $X''_{\pm}$  representa las pérdidas de energía por absorción en la muestra a cualquier frecuencia, y tiene la forma

$$X''_{+} = \frac{\omega_m \tau}{(\omega_0 - \omega)^2 \tau^2 + 1} \quad (4)$$

donde  $\omega_m = 4\pi M_s$  y  $\tau$  es el tiempo de relajación de los momentos magnéticos atómicos.

Manteniendo constante la frecuencia  $\omega$  y variando el campo  $H_0$  se obtiene una singularidad cuando  $\omega_0 = \omega$  (resonancia). Se acostumbra definir el ancho de la línea de resonancia como el ancho de la curva (en valores de  $H$ ) correspondiente a la mitad del valor máximo de absorción. Designando por  $\Delta H$  este valor, el mismo se relaciona con el tiempo de relajación  $\tau$  (y con las pérdidas de energía en la ecuación (4) de acuerdo a:

$$\tau = \frac{2}{\gamma \Delta H} \quad (5)$$

### 3. INSTRUMENTACIÓN

Existen diversos métodos para la determinación experimental de  $\Delta H$ . En este caso se utilizó el recomendado por la norma de la Comisión Internacional de Electrotécnica en su publicación 556 de 1982 /5/. El método se basa en el establecimiento de una onda TEM en el interior de una cavidad resonante construida de forma tal que el campo magnético transversal tiene una intensidad alta en la región próxima al conductor central, alcanzando su valor máximo en el centro geométrico de la misma. Es precisamente en este punto donde se coloca la muestra a medir, de tal manera que sobre ella quedan aplicados de forma simultánea el campo magnético constante y la señal de radiofrecuencia, con su componente del vector magnético normal a la dirección del campo constante.

El sistema de medición está compuesto por un generador de radiofrecuencia, una cavidad resonante que se coloca entre los polos de un electroimán y un sistema de detección (Figura 1).

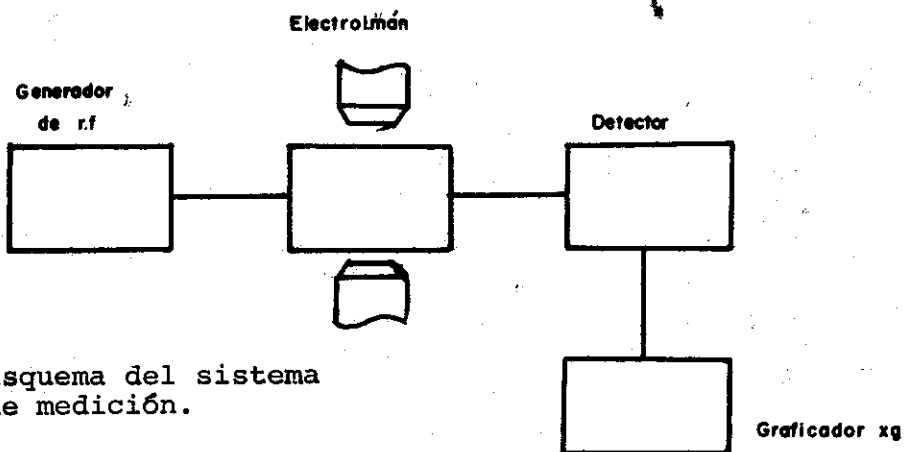


Figura 1. Esquema del sistema de medición.

Para energizar el electroimán se utilizó una fuente estabilizada Philips, Mod. Pe 1520. El mismo posee polos de 99 mm de diámetro y proporciona un campo máximo  $H$  de 4.56 kOe para una corriente de 6A cuando la distancia entre polos es de 40 mm. Los valores del campo magnético generado por el electroimán se determinaron utilizando un gaussímetro Redcliffe tipo 102-D, de apreciación 0.1 Gauss. Se midió  $H$  en función de la intensidad de la corriente aplicada al enrollado para diferentes posiciones paralelas a la superficie de los polos ( $r$ ) y para diferentes separaciones de los mismos. El ancho de la zona entre los polos paralela a las caras donde el campo es uniforme es también de 40 mm.

La cavidad resonante, construida de latón con recubrimiento de plata y abierta en los extremos, aparece en la Figura 2a. El campo magnético se debe mantener lo más constante y uniforme posible dentro de la cavidad, lo que requiere un cuidadoso diseño del sistema de medición. La frecuencia de resonancia está determinada por la longitud del elemento central. En la Figura 2b aparece la dependencia frecuencia de resonancia vs longitud obtenida experimentalmente. El detector utilizado es un analizador de espectros marca Anritsu, Mod. Ms-62C.

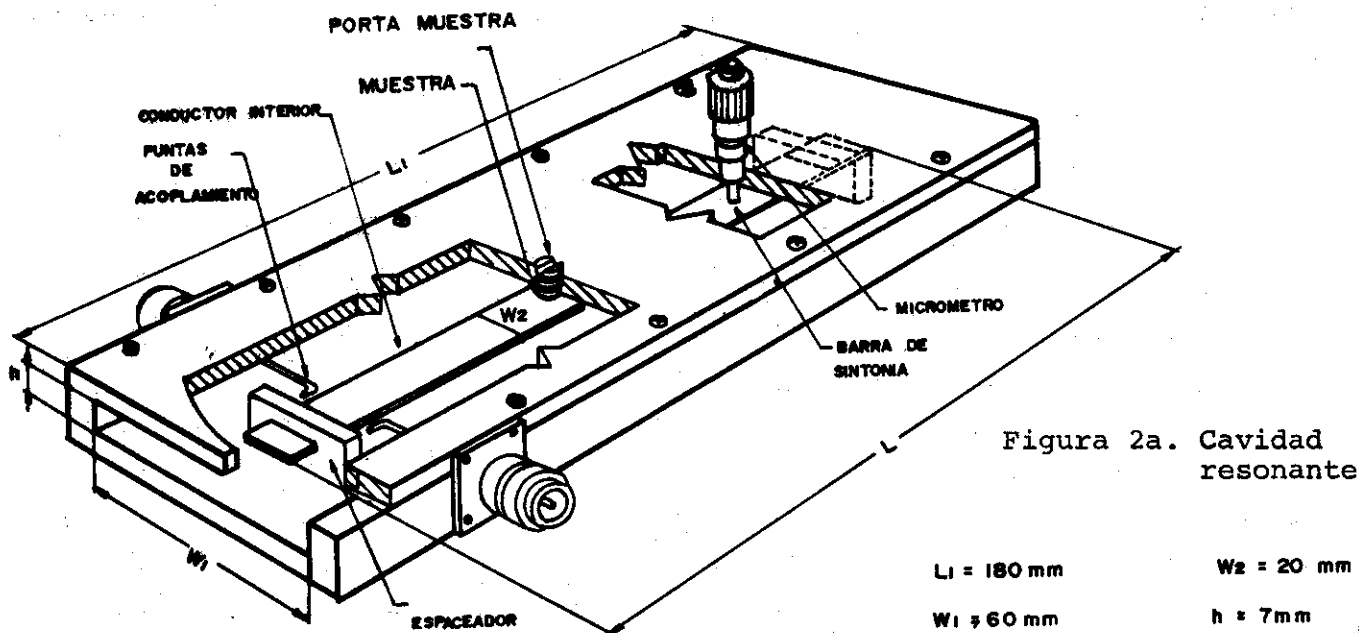
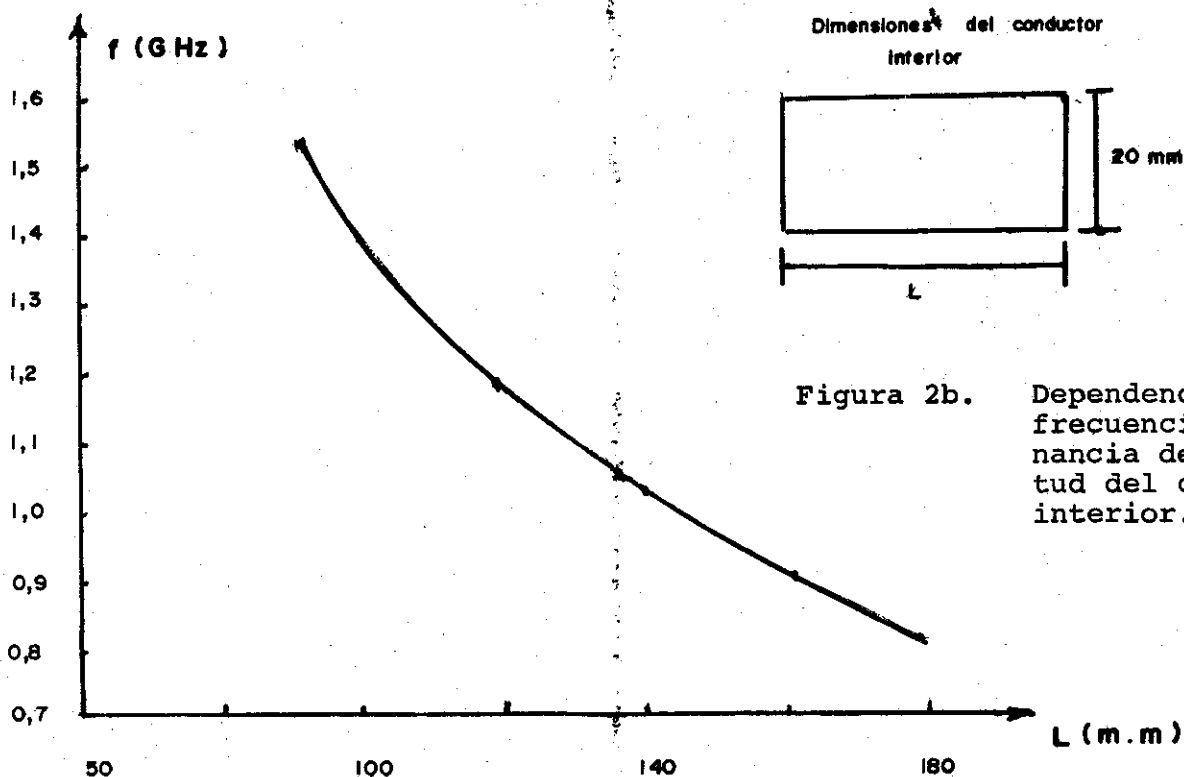


Figura 2a. Cavidad resonante

$L_1 = 180$  mm  
 $W_1 = 60$  mm

$W_2 = 20$  mm  
 $h = 7$  mm



Para llevar a cabo la medición a una frecuencia determinada se establece un nivel determinado de potencia a la entrada de la cavidad, con el auxilio de atenuadores, y se mide el nivel de salida de la misma con el detector acoplado, anotándose este valor ( $a_0$ ). El tornillo con la muestra acoplada se introduce en el orificio central de la cavidad (ver Figura 2), procurando que la muestra quede lo más próxima posible al conductor central pero sin tocarlo. Este procedimiento no debe alterar el valor de  $a_0$ .

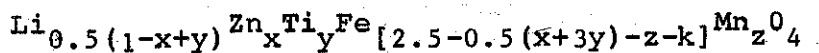
Seguidamente se varía el campo magnético H hasta que ocurre la máxima absorción  $a_r$  y se determina el valor medio de la potencia consumida  $a_{(\frac{1}{2})}$ . Una vez establecido este valor, se varía el campo magnético H por debajo y por encima del valor de resonancia  $H_r$ , anotando los valores  $H_1$  y  $H_2$  del mismo en que se alcanza el nivel de salida  $a_{(\frac{1}{2})}$ . El ancho de la línea de resonancia viene dado entonces por:

$$\Delta H = |H_2 - H_1| \quad (6)$$

En nuestro caso, las mediciones se llevaron a cabo a 812 Mhz. El sistema utilizado también permite llevar a cabo el registro automático de las curvas, a costa de una disminución de la precisión de los resultados.

#### 4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Muestras de ferrita de composición general

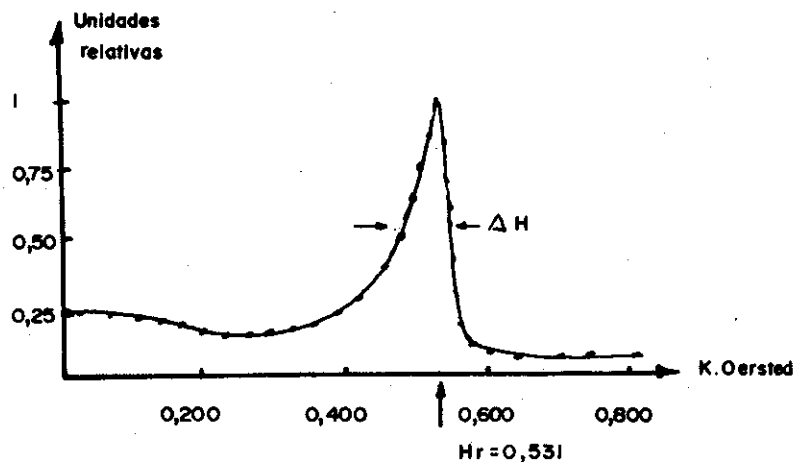


con  $x = 0.2$ ,  $y = 1.05$ ,  $z = 0.05$  y  $k$  variando entre 0 y 0.05 se prepararon por el método cerámico convencional, adicionando pequeñas cantidades de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  con el fin de favorecer la sinterizabilidad /6/. Los polvos se mez-

claron y molieron durante 1 hora por vía húmeda en etanol, fueron precocidos a 850 °C, compactados en forma de tabletas de 6 mm de diámetro y sinterizados al aire a la temperatura máxima de 1050 °C, durante 3 horas.

Las muestras a medir se desbastaron hasta alcanzar la forma de pequeños cilindros con un diámetro (D) de aproximadamente 3 mm y un espesor (d) tal que  $d/D < 0.05$ , de acuerdo a lo recomendado en la literatura. Cada disco se fija posteriormente en el extremo de un tornillo de material no magnético (nylon de alta densidad).

Figura 3. Curva de resonancia ferromagnética para una ferrita de  $\text{LiZnMnTi}$ .



## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con el fin de verificar la reproducibilidad de los resultados y la validez del método, se realizaron grupos de diez determinaciones de  $\Delta H$  en varias muestras diferentes. En cada caso se midieron las corrientes en el enrollado del electroimán  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_r$  que corresponden a los niveles de potencia descritos en la sección 3, determinándose los valores  $H_1$  y  $H_2$ . En la Figura 3 aparece la curva de resonancia obtenida para una de las muestras, donde es posible observar el campo de resonancia  $H_0$  y el ancho de línea  $\Delta H$ . La absorción de energía está medida en unidades arbitrarias. En la Tabla 1 se muestra uno de los juegos de valores obtenidos.

Tabla I

	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$H_1$ (kOe)	$H_2$ (kOe)	$\Delta H$ (Oe)	$I_r$ (mA)	$H_r$ (kOe)
1	585	670	0.480	0.546	65,6	650	0,530
2	582	669	0.478	0.545	67.1	646	0.527
3	582	668	0.478	0.544	66.3	643	0.525
4	577	669	0.474	0.545	70.9	646	0.527
5	577	668	0.474	0.544	70.1	643	0.525
6	577	666	0.474	0.543	68.6	641	0.523
7	579	667	0.475	0.543	67.9	640	0.522
8	579	666	0.475	0.543	67.1	641	0.523
9	576	667	0.473	0.543	70.2	640	0.523
10	583	666	0.479	0.543	64.0	642	0.524

El valor medio de  $\Delta H$  y la desviación standard  $\sigma$  obtenidos para tres muestras diferentes, del mismo lote de polvos (igual composición y tratamiento), aparecen en la Tabla II.

Tomando  $\sigma/\sqrt{10}$  como una medida del error absoluto, se obtiene una contribución del error accidental al error total de entre 0.7 (muestra 4.2) y 1.7 % (muestra 43), lo que representa un valor adecuado para mediciones magnéticas. El valor promedio de las tres muestras es  $\Delta H = 68.6$  Oe. En la Tabla II también se muestran los promedios para el campo de resonancia  $H_r$  que proporciona una media general de 0.527 kOe.

Tabla II

Muestra	$\Delta H$ (medio) (Oe)	$\sigma$ (Oe)	$H_r$ (kOe)
M-130790-41	68.9	3.76	0.517
M-130790-42	69.2	1.70	0.538
M-130790-43	67.8	2.09	0.525

#### RECONOCIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por el Lic. Francisco Calderón Piñar y el Ing. Roberto Pedroso para la realización de este trabajo, así como la colaboración del Lic. Sergio Díaz.

#### REFERENCIAS

1. Bloembergen, Nicolas (1956). *Magnetic Resonance in Ferrites*. Proceedings of the IRE, Vol. 10, 10.
2. Vrehan, Q.H.F. (1969). *Absorption and Dissipation in Porous and Anisotropic Polycrystalline Ferrites at Microwave Frequency*. J. of Appl. Physics, Vol. 40, 4. March.
3. Nicolas, J. (1980). *Microwave Ferrites*. North Holland Pub. Co.
4. Lax, B. and K.J. Button (1962). *Microwave Ferrites and Ferrimagnetics*. McGraw-Hill Book Co. Inc.
5. Norma de la Comisión Internacional Electrónica (1982). Publicación 556.
6. Sun, Minche and Yu-chen, Shu (1980). *A Study of Narrow Linewidth Li Ferrites*. IEEE Trans. on Magnetics; Vol. Mag. 16, 5, september.