



Medición de la resistividad eléctrica a través de un método inductivo

Dattoli Viegas A.M., Espain M.S., Ferreyra Y.A.

La medición de la resistividad eléctrica evitando el contacto de la muestra con el ambiente resulta esencial en muchas ramas de la ciencia, como puede ser el estudio de muestras a bajas temperaturas y la determinación de la edad de muestras rocosas. El método propuesto en este trabajo consiste en utilizar las muestras a caracterizar como núcleo de un transformador diferencial y estudiar el apantallamiento magnético generado por las corrientes parásitas que aparecen en el mismo. La profundidad a la que logra penetrar el campo magnético en la muestra es función de la resistividad eléctrica y recíproco a la frecuencia del campo magnético. Analizando la respuesta en frecuencia del transformador con núcleos de distintos materiales, se calculó la profundidad superficial y a través de ella, la resistividad eléctrica de muestras cilíndricas de Cu, Al y Latón.

Método experimental

Si se ubica una muestra en un campo magnético de la forma $H = H_0 e^{i\omega t}$ se inducen en el material corrientes de Foucault, generadas por la variación del flujo magnético. Estas corrientes hacen que el campo sólo pueda penetrar en el material una distancia δ , llamada profundidad de penetración, relacionada con la resistividad magnética ρ del material y la frecuencia del campo a través de

$$\delta = \left(\frac{2\rho}{\mu_0\omega} \right)^{1/2} \quad (1)$$

donde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{NA}^{-2}$ es la permeabilidad magnética del vacío.

Si se considera un material cilíndrico de radio a , homogéneo e isótropo, la profundidad superficial está relacionado con la susceptibilidad magnética del material a través de la expresión aproximada

$$\delta = \sqrt{\frac{a^2}{-0,01 + 3,06z - 0,105z^2 + 0,167z^3}} \quad (2)$$

donde $z = \chi'/\chi''$ y $\chi = \chi' + i\chi''$ es la susceptibilidad magnética.

Y reescribiendo la Ec. 1 se obtiene

$$\frac{1}{\delta^2} = \frac{A}{\rho} f \quad (3)$$

donde $A = 3,95 \times 10^{-6} \text{TmA}^{-1}$ y $f = 2\pi\omega$. Haciendo un barrido de frecuencias, y conociendo el valor de δ para cada una de ellas, se puede ajustar la recta por esta ecuación y obtener el valor de ρ .

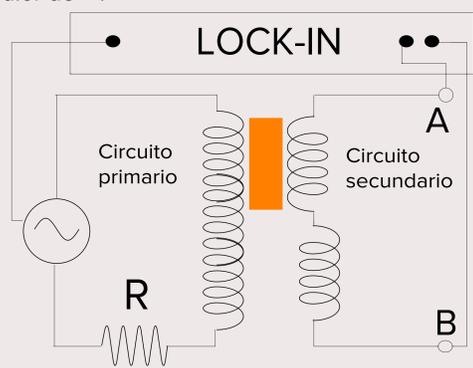


Figura 1: Transformador diferencial utilizado en el dispositivo experimental. La diferencia de voltaje entre los puntos A y B fue medida con el mismo Lock-In SR-830 Stanford Research Systems que excitaba al circuito primario con corriente alterna

El circuito secundario del transformador cuenta con dos bobinas conectadas en serie, una en contrafase respecto a la otra, para que se anulen las fuerzas electromotrices inducidas cuando no hay muestra. Por lo tanto el voltaje medido por el Lock-In en estos casos era exclusivamente el generado por el campo inducido en el material, y la fuerza electromotriz \mathcal{E} inducida en la bobina según la Ley de Lenz, es

$$\mathcal{E} \propto -\frac{d\phi}{dt} \propto -\mu_0 \chi i \omega H_0 e^{i\omega t} \quad (4)$$

dando como resultado dos señales sinusoidales, una en fase con la señal del circuito primario y otra defasada, relacionándose con χ a través de la expresión

$$-\frac{\mathcal{E}''}{\mathcal{E}'} = \frac{\chi'}{\chi''} = z \quad (5)$$

Se midieron los valores de \mathcal{E}' y \mathcal{E}'' , y a través de esta última ecuación se calculó z y con éste, el valor de δ para cada frecuencia con la Ec. 2.

Se realizaron mediciones para muestras de Cobre de dos radios distintos, una muestra de Aluminio y una de Latón.

Resultados

Respuesta en frecuencia de la profundidad de penetración

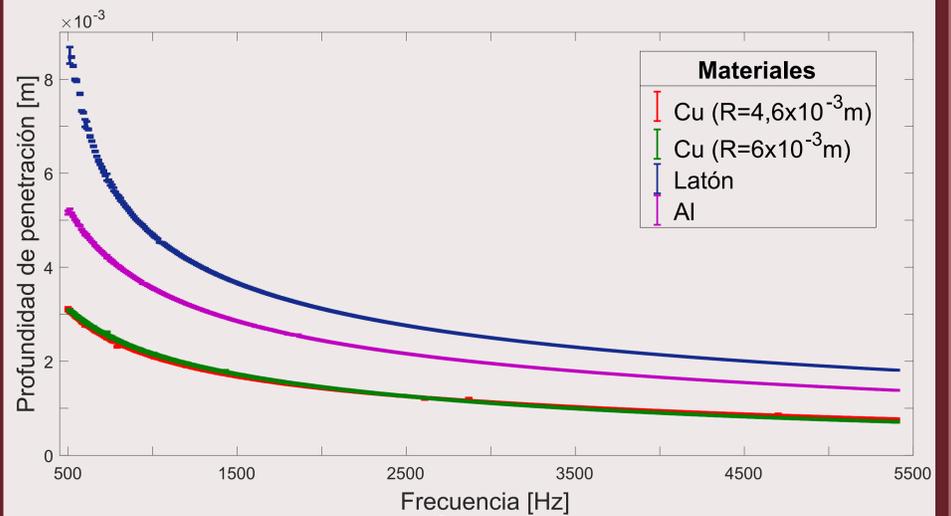


Figura 2: Gráfico de la profundidad de penetración en función de la frecuencia de la corriente con la que se excita al circuito primario para los diferentes materiales estudiados. El mismo se realizó a partir de la ecuación (1) reemplazando con el valor de δ correspondiente a cada frecuencia.

En congruencia con el modelo teórico, la profundidad superficial es menor a medida que aumenta la frecuencia de la corriente que circula por el circuito primario. Esta variación de la profundidad superficial se debe a que, a frecuencias menores, las corrientes de Foucault que se producen sobre el material llegan a decaer en cada oscilación por lo que el campo externo no es apantallado y entra en la muestra, magnetizando

Cálculo de las resistividades eléctricas

Muestra	Densidad Calculada [g/cm ³]	Densidad Tabulada [g/cm ³]	Resistividad Calculada x10 ⁻⁸ [Ω.m]	Resistividad Tabulada x10 ⁻⁸ [Ω.m]
Cu (R=4,6x10 ³ m)	9,478±0,01	8,9	(1,68±0,05)	(1,68-1,82)
Cu (R=6 x 10 ³ m)	9,170±0,02	8,9	(1,80±0,07)	(1,68-1,82)
Latón	8,587±0,02	8,6	(6,89±0,08)	(5,90-7,80)
Aluminio	2,919±0,04	2,7	(3,35±0,02)	(2,65-3,31)

Tabla 1: Valores obtenidos para la resistividad eléctrica y densidad de los materiales analizados y los respectivos valores tabulados. La resistividad fue calculada a través del ajuste de la ecuación (1) una vez medidos los valores de δ en función de la frecuencia.

Para todos los materiales se obtuvo un valor de la resistividad eléctrica dentro del orden esperable, teniendo en cuenta que las muestras no son homogéneas ni puras, como la comparación de las densidades lo indica, mientras que en las hipótesis sí se había considerado un material homogéneo e isótropo.

Los materiales con mayor resistividad tienen mayor profundidad de penetración, dado que al tener un material más resistivo las corrientes que circulan decaen más rápido y dejan de apantallar al campo magnético en menor tiempo.

Si la frecuencia es lo suficientemente grande evitando que la corriente decaiga, se puede apantallar el campo por completo.

Conclusiones y mejoras

Los resultados obtenidos concuerdan con el marco teórico analizado: la profundidad superficial para un mismo material disminuyó con el aumento de la frecuencia y resultó mayor para los materiales con mayor resistividad.

La efectividad de la medición de la resistividad a través de este método fue comprobada a medias, ya que no se pudieron comparar los valores obtenidos con tabulados por tener muestras inhomogéneas e impuras. Se propone que en una experiencia futura se realice la misma medición pero con muestras homogéneas, isótropas y puras.