

1 Estado del Arte

1.1. Materiales Magnéticos y sus Propiedades

Debido a que se busca caracterizar las propiedades magnéticas de los materiales de interés en esta tesis, es necesario puntualizar algunas características de interés.

1.1.1. Magnetización

La magnetización (M) de un volumen determinado se define como la suma de los momentos magnéticos contenidos dentro de éste. Representa la dirección y fuerza del campo magnético macroscópico resultante.

Ésta puede ser inducida por un campo magnético externo (H), como se explicará es el caso de los materiales para y diamagnéticos, o ser producto de un orden intrínseco de los átomos que forman el material, como es el caso de los ferro, antiferro y ferrimagnéticos. Sin embargo, incluso en este último caso, el campo magnético externo sigue teniendo efecto en la magnetización.

A excepción únicamente del diamagnetismo, los materiales magnéticos dependen de la alineación de sus momentos de espín, lo cual se traduce en una dependencia de la magnetización y la susceptibilidad magnética en la temperatura, debido a que el ordenamiento de los momentos se ve afectado por el movimiento causado por la temperatura [1].

1.1.2. Susceptibilidad Magnética

Esta propiedad es una medida de la respuesta de un material a un campo magnético externo. Es la capacidad de un material de ser magnetizado al ser expuesto a un campo externo [1].

La susceptibilidad (χ) para materiales lineales e anisótropos se expresa a través de un tensor de 3x3, cuyas componentes χ_{ii} describen la respuesta en cada eje principal, y las componentes χ_{ij} , $i \neq j$ los acoplamientos entre diferentes direcciones de la magnetización y el campo magnético externo. Es decir, de forma general:

$$\mathbf{M} = \boldsymbol{\chi} \cdot \mathbf{H}$$

Si el material fuera además isótropo, esta relación se simplifica, debido a que ahora $\chi_{ij} = \delta_{ij}\chi$, con δ_{ij} una delta de Kronecker. Por lo cual, se reemplaza el tensor $\boldsymbol{\chi}$ con un escalar χ :

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H} \iff \chi = \frac{M_i}{H_i}$$

Sin embargo, la relación entre la magnetización y el campo externo no siempre es lineal, sino que presenta comportamientos más complejos, lo cual da origen a fenómenos como la histéresis.

1.1.3. Tipos de Materiales Magnéticos

Clasificando a través de su respuesta a campos externos, podemos dividir los materiales en 5 tipos:

- **Diamagnéticos:** Cuando un material diamagnético es expuesto a un campo magnético externo, éste presenta una magnetización en el sentido opuesto, es decir, $\chi < 0$. Esta magnetización suele ser relativamente débil en comparación con otros fenómenos como el paramagnetismo o el ferromagnetismo [2].
- **Paramagnéticos:** Cuando un campo magnético actúa sobre un material, los espines de los electrones contenidos dentro de este tienden a alinearse con este, de forma paralela o antiparalela. Si todos los electrones están apareados, sus momentos magnéticos se cancelarán entre sí aún después de alinearse, sin embargo esta cancelación no ocurre en aquellos materiales que poseen un electrón desapareado, en este caso, antes de aplicar el campo magnético, los momentos magnéticos individuales en el material apuntan en direcciones aleatorias, dando como resultado una magnetización nula, pero al exponer el material a un campo, estos momentos se alinean, dando como resultado una magnetización en el mismo sentido, es decir, $\chi > 0$.
- **Ferromagnéticos:** De forma similar a los materiales paramagnéticos, éstos poseen una susceptibilidad positiva, sin embargo, poseen un orden magnético intrínseco, es decir,
- **Antiferromagnéticos:**
- **Ferrimagnéticos:**

1.1.4. Histéresis

La histéresis

1.2. Ortoferritas de Tierras Raras

1.2.1. Propiedades Magnéticas

1.2.2. Aplicaciones