

**Título:** Efecto de la microestructura en aleaciones para aplicaciones de refrigeración magnética.

**Nombre del Profesor:** Dr. José Israel Betancourt Reyes

## **Introducción**

Un área de auge reciente en la investigación de materiales magnéticos es el estudio del efecto magnetocalórico [1-4]. Este efecto consiste en la variación de temperatura de un material cuando se somete a un campo magnético exterior. Este cambio de temperatura está asociado en general a transiciones de fase orden-desorden magnético, de primer y de segundo orden [1,2]. Aunque el efecto magnetocalórico se conoce desde la década de los 50's, no fue sino hasta finales de los 90's que cobró un renovado interés debido a la posibilidad de implementar aplicaciones de refrigeración magnética, lo que sustituiría ventajosamente a las poco ecológicas tecnologías actuales de ciclos compresión-expansión de gases como los clorofluorocarbonos (CFCs) y los hidrofluoroclorocarbonos (HCCs) [5-7]. La eficiencia de enfriamiento en los refrigeradores magnéticos es más alta (30-60%) comparada con los sistemas de refrigeración basados en compresión y expansión de gases (< 15%) [5,6]. Además los refrigeradores magnéticos pueden ser más compactos cuando se construyen con sustancias sólidas como materiales activos [5].

Los materiales que presentan efecto magnetocalórico pueden ser tanto de tipo metálico (aleaciones base Gd o Mn y aleaciones de Heusler) como de tipo cerámico (magnanitas de La, Ca, Sr o Nd) [3,4,8]. En el caso específico de materiales metálicos, hasta ahora el metal de referencia es el elemento Gd puro, el cual presenta el mejor comportamiento magnetocalórico para un material simple (caracterizado por una entropía magnética de hasta  $10 \text{ kJ/m}^3$  para un campo magnético de 2 Teslas, acompañado de un aumento de temperatura de hasta 6 K) [8,9]. Sin embargo, por tratarse de un elemento de tierras raras, el costo del mismo, aunado a su tendencia a la oxidación, hace inviable su utilización en gran escala. En la actualidad, los grupos de investigación enfocan sus líneas de trabajo tanto en la búsqueda de sistemas metálicos que presenten respuesta magnetocalórica [1,2], como en estudios que permitan entender con mayor profundidad el origen del efecto magnetocalórico en materiales metálicos y los mecanismos para modular esta respuesta en términos de condiciones de procesamiento, composición química y modulación de propiedades magnéticas macroscópicas [10-12]. En este contexto, un aspecto poco estudiado es la correlación microestructura-respuesta magnetocalórica, y en particular, los efectos de la distribución y morfología de fases, así como el tamaño de grano característico. En esta propuesta se busca contribuir al entendimiento de esta correlación mediante un estudio metalúrgico detallado en Gd y en aleaciones base Mn.

## **Hipótesis**

La microestructura (fases presentes, morfología, tamaño de grano) de aleaciones base Gd y base Mn tiene influencia en su desempeño como materiales magnetocalóricos.

## **Objetivos**

- Obtener aleaciones base Gd y base Mn mediante técnicas de solidificación rápida y ultrarápida.
- Caracterizar la microestructura de las aleaciones (fases presentes, morfología, tamaño de grano).
- Caracterizar el efecto magnetocalórico de las aleaciones (curva de histéresis, entropía magnética, aumento de temperatura).
- Determinar la correlación microestructura-respuesta magnetocalórica de aleaciones base Gd y base Mn.

## **Metas (productos entregables)**

- Informe detallado de los resultados obtenidos, con el 60% del mismo como avance de tesis.
- Artículo para presentación en congreso

## **Metodología**

- Obtención de Gd puro y aleaciones MnCo por solidificación rápida y ultraárpida (succión en molde de cobre y técnica de templado en sustrato giratorio “melt spinning”).
- Caracterización microestructural de los materiales obtenidos mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.
- Caracterización magnética de los materiales obtenidos mediante curvas de histéresis, entropía magnética y aumento de temperatura.

## **Infraestructura**

- Horno de arco Leybold
- Unidad de templado en sustrato giratorio “melt spinning” Bauer
- Laboratorio de metalografía (pulidoras, microscopio óptico, lijas, alúminas).

- Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica (equipado con microscopio de barrido marca Leica, microscopio de barrido JEOL F7600; microscopio de transmisión JEOL 1200, microscopio de transmisión Arm200F con resolución de 0.7 angstrom; unidad de maquinado por haz de electrones JEM 9320).
- Equipo de medición magnética MPMS3 de Quantum Design, acoplado con magnetómetro de muestra vibrante para medición de curvas de histéresis.

### Cronograma

Actividad	Mes 1 (4 semanas)	Mes 2 (4 semanas)	Mes 3 (4 semanas)	Mes 4 (4 semanas)
Revisión bibliográfica	X	X	X	X
Obtención de aleaciones	X	X		
Caracterización microestructural	X	X		
Caracterización magnética		X	X	
Redacción de artículo para congreso			X	
Redacción de informe final			X	X

Total de semanas: 16

### Bibliografía

- 1.A.Waske et al, MRS Bulletin 43 (2018) 269-272.
- 2.N.Raghu Ram et al, J.Supercon Novel Magn. 2018. DOI 10.1007/s10948-018-4666-z
- 3.V. Franco et al, Annu.Rev.Mater.Res. 42 (2012) 305-342.
- 4.M.H.Phan et al, J. Magn Magn.Mater. 308(2007) 325-340.
- 5.M. Balli, et al, Appl Phys Rev 4 (2017) 021305.
- 6.B. Yu, et al, Int.J. Refrigeration 33 (2010)1029-1060.
- 7.B.F.Yu, et al Int.J.Refrigeration 26 (2003) 622-636.
8. A. M. Tishin and Y. I. Spichkin,” The magnetocaloric effect and its applications” Bristol : Institute of Physics, 2003.
- 9.S.Yu et al, Phys Rev B 57 (1998) 3478-3490.
- 10.M. Hsini et al, J.Superconduc Novel Magn 2018. DOI 10.1007/s10948-017-4167-5.
- 11.E.J.R. Plaza, J.C.P. Campoy, J.Magn Magn Mater 321 (2009) 446-449.
12. Q.Dong et al, J. Magn Magn Mater 319 (2007) 56-59.