

Creando Imanes a Escala Industrial: Evolución de la Coercitividad en Aleaciones de MnAlC

Jorge Vergara-Ortega^{1*}, Andres Martin-Cid¹, Carla Muñoz-Rodríguez¹, Ester M. Palmero¹, Guixiang Qin², Ian Higgins², Chris Hall², Enrico Forlin³, Lorenzo Bianchin³, Semih Ener⁴, Oliver Gutfleisch⁴, Alberto Bollero¹.

¹ Group of Permanent Magnets and Applications, IMDEA Nanociencia, C/ Faraday 9, Madrid 28049, Spain

² Less Common Metals Ltd. Unit 2 Hooton Park, North Road, Ellesmere Port, Cheshire CH65 1BL, U. K.

³ MBN Nanomaterialia S.p.A., Via G. Bortolan 42, 31050 Vascon di Carbonera, TV, Italy

⁴ Technical University of Darmstadt, Alarich-Weiss-Str. 16, Darmstadt, 64287, Germany

Introducción

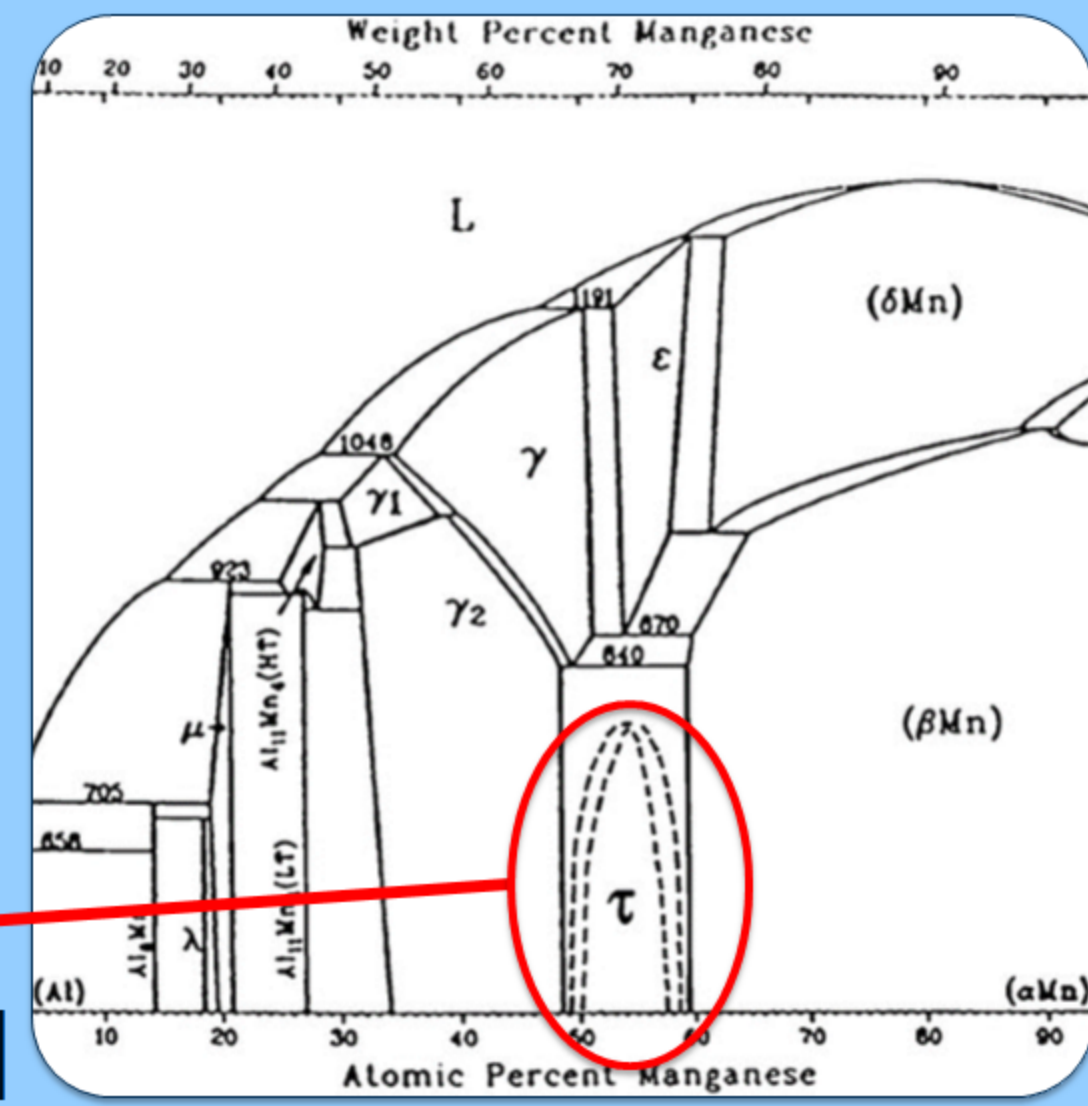
La fase τ de MnAlC es un excelente candidato a Imán Permanente (PM) [2].

✓ Se estima que posee un $(BH)_{max} = 12$ MGOe [3] a temperatura ambiente.

✓ Densidad de 5.2 g/cm³ (7.6 g/cm³ para Nd₂Fe₁₄B).

✓ Una buena resistencia a la corrosión.

τ -MnAl es una fase meta-estable.



Producción de muestras

LCM
less common metals

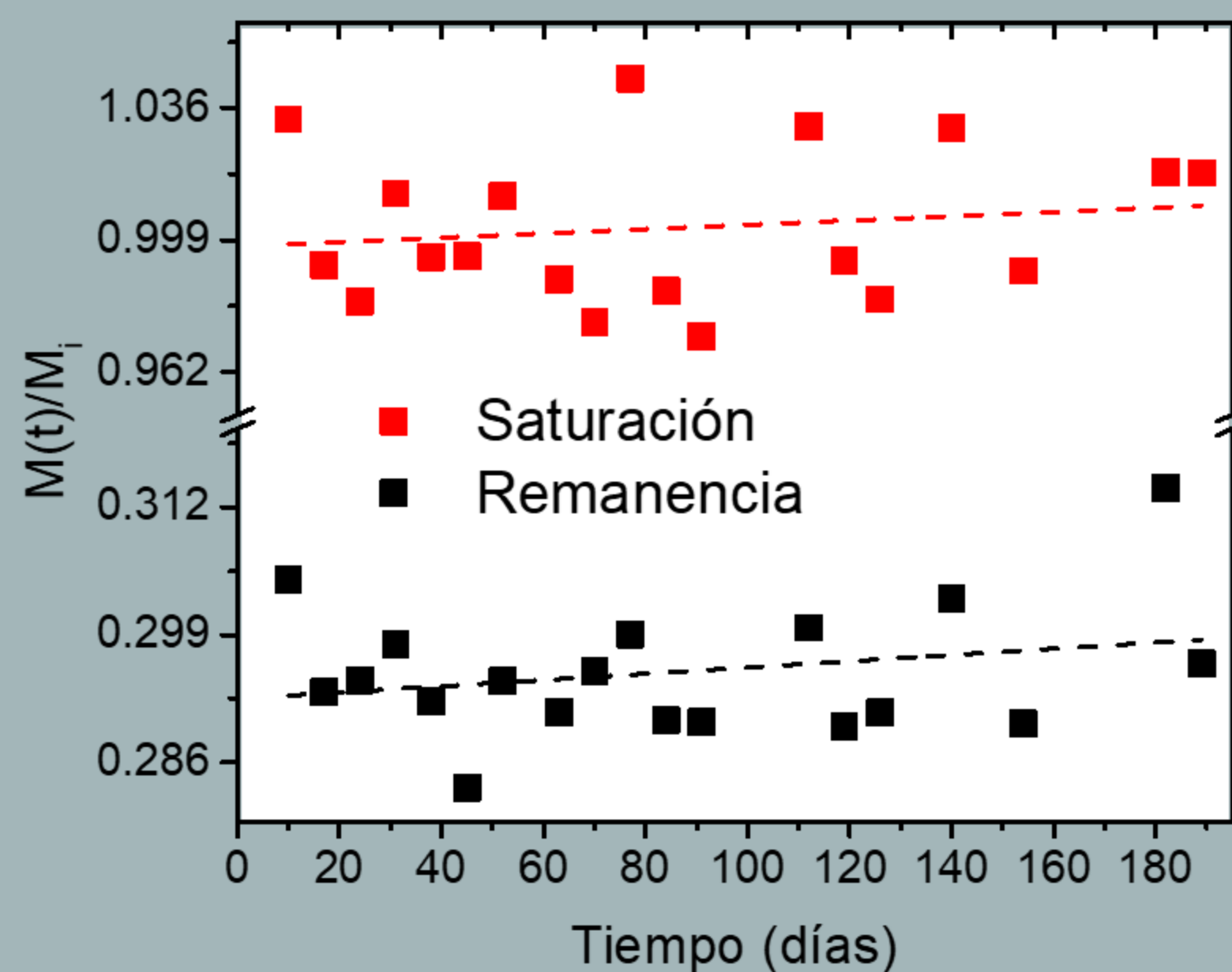
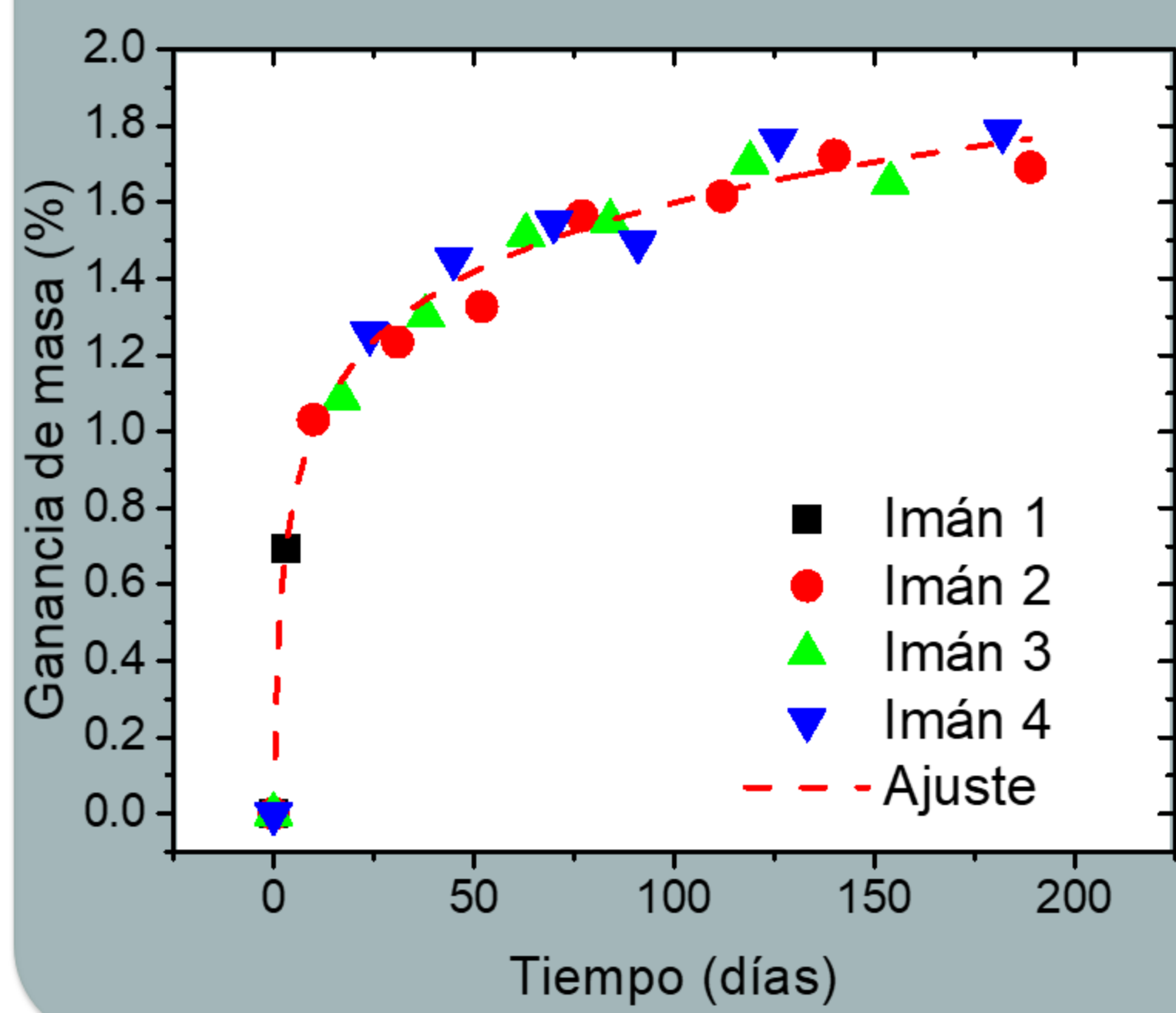
Less Common Metals (LCM) produjo un polvo con partículas de tamaño menor a 90 μ m y 300 μ m.

El proceso industrial consiste en un "casting" de la aleación y posteriormente una molienda ("hammer milling").

Medidas de XRD y VSM confirmaron la presencia de casi un 100 % de τ -MnAlC.

Estudio de Corrosión

Un primer estudio de corrosión se realizó con imanes compactados en frío sumergidos en agua des-ionizada a temperatura ambiente.



Tras 190 días, la masa sufrió un incremento inferior al 2 %, mostrando una tendencia a estabilizarse. La magnetización y la remanencia no presentan cambios apreciables.

Conclusiones

- Exitosa producción de polvo τ -MnAlC casi puro mediante "casting" y "hammer milling" en entorno industrial.
- Se ha probado la utilidad el método "flash milling" de IMDEA para incrementar la coercitividad de la aleación, consiguiendo duplicar la coercitividad en tiempos de molienda record.
- El proceso HEBM ha demostrado ser un proceso industrial viable a escala de planta piloto cuadruplicando la coercitividad..
- No hay pérdida aparente de propiedades magnéticas, tras estar sumergidas en agua des ionizada por más de 190 días, y un incremento inferior al 2% en masa .
- LCM, IMDEA Nanociencia, MBN Nanomaterialia, Technische Universität Darmstadt and WILO están trabajando juntos en el proyecto UE H2020 PASSENGER para industrializar la producción de imanes de MnAlC .

Reconocimientos

Autores reconocen la ayuda de EU Horizon 2020 research and innovation programme a través del proyecto PASSENGER (grant agreement N° 101003914). IMDEA agradece la ayuda de MICINN a través del proyecto NEXUS (PID2020-11521RB-C21). E.M.P. reconoce la ayuda de AEI - Juan de la Cierva - Incorporación program (IJC2020-043011-I/MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y NextGeneration EU/PRTR.



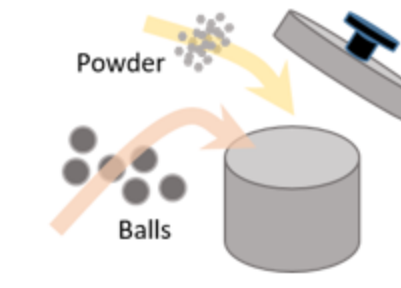
<https://passenger-project.eu/>

Referencias

- [1] C. Yanar et al., *Metal Mater Trans A*. 33 (2002) 2413-2423.
- [2] Y. Jia et al., *Acta Mater.* 245 (2023) 118654.
- [3] J.H. Park et al., *J. Appl. Phys.* 107 (2010) 09A731.
- [4] J. Rial et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* 50 (2017) 105004.
- [5] J. Rial, E.M. Palmero, A. Bollero, *Engineering* 6 (2020) 173-177.
- [6] J. Rial et al., *Acta. Mater.* 157 (2018) 42-45.

Análisis resultados

instituto **imdea nanociencia**



MBN
nanomaterialia®

Método "flash milling" de IMDEA [4].

- Tamaño de partícula < 90 μ m.
- Tiempos entre 30s y 840s.
- **Doble coercitividad.**
- Remanencia de **34 Am²kg⁻¹.**

High-energy ball milling (HEBM)

- Proceso desarrollado por MBN.
- Tamaño de partícula < 300 μ m.
- **Escala de planta piloto**
- Tiempos < 1 h.
- **Máxima coercitividad 0.35 T (cuadruplica la original).**

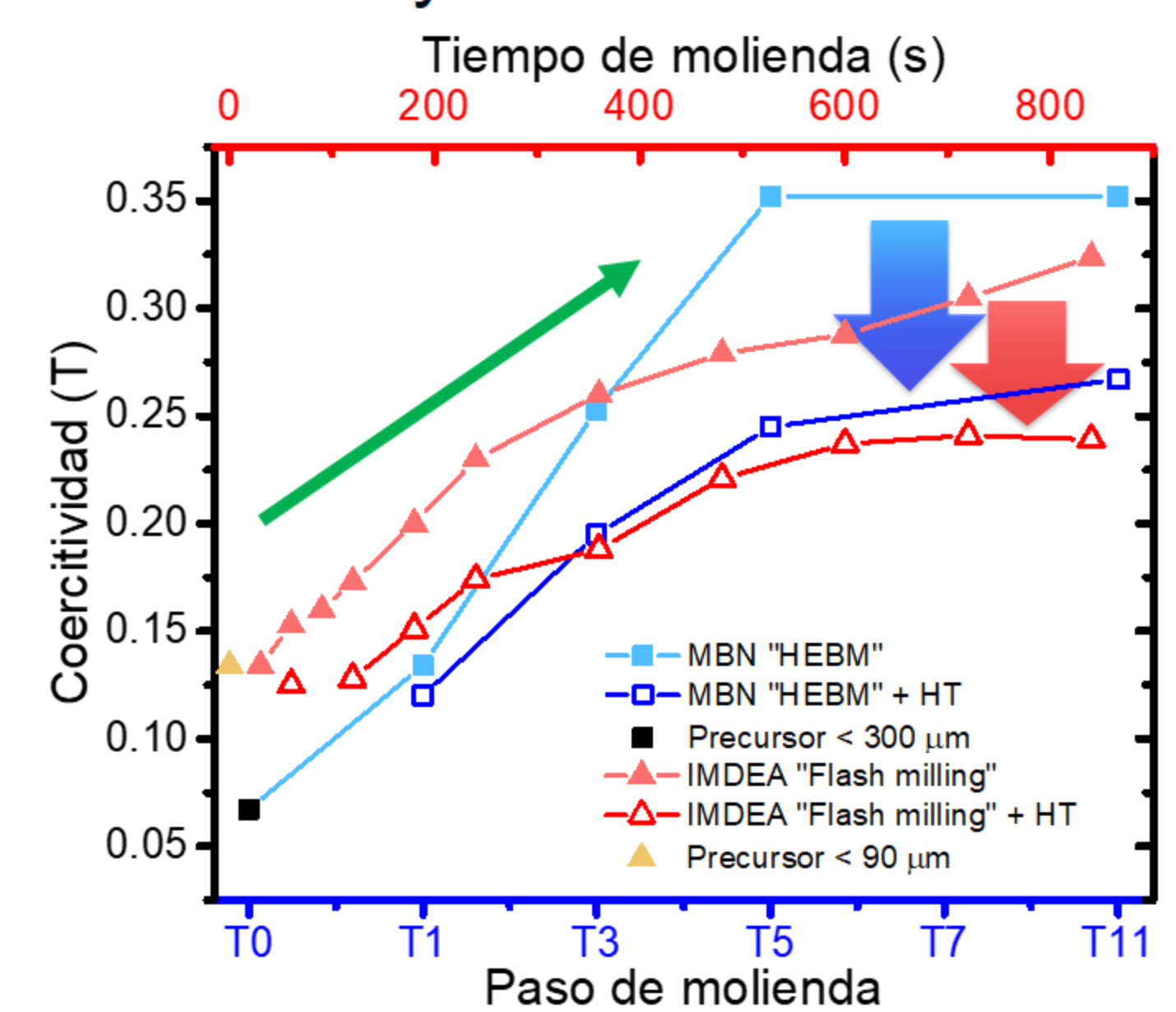
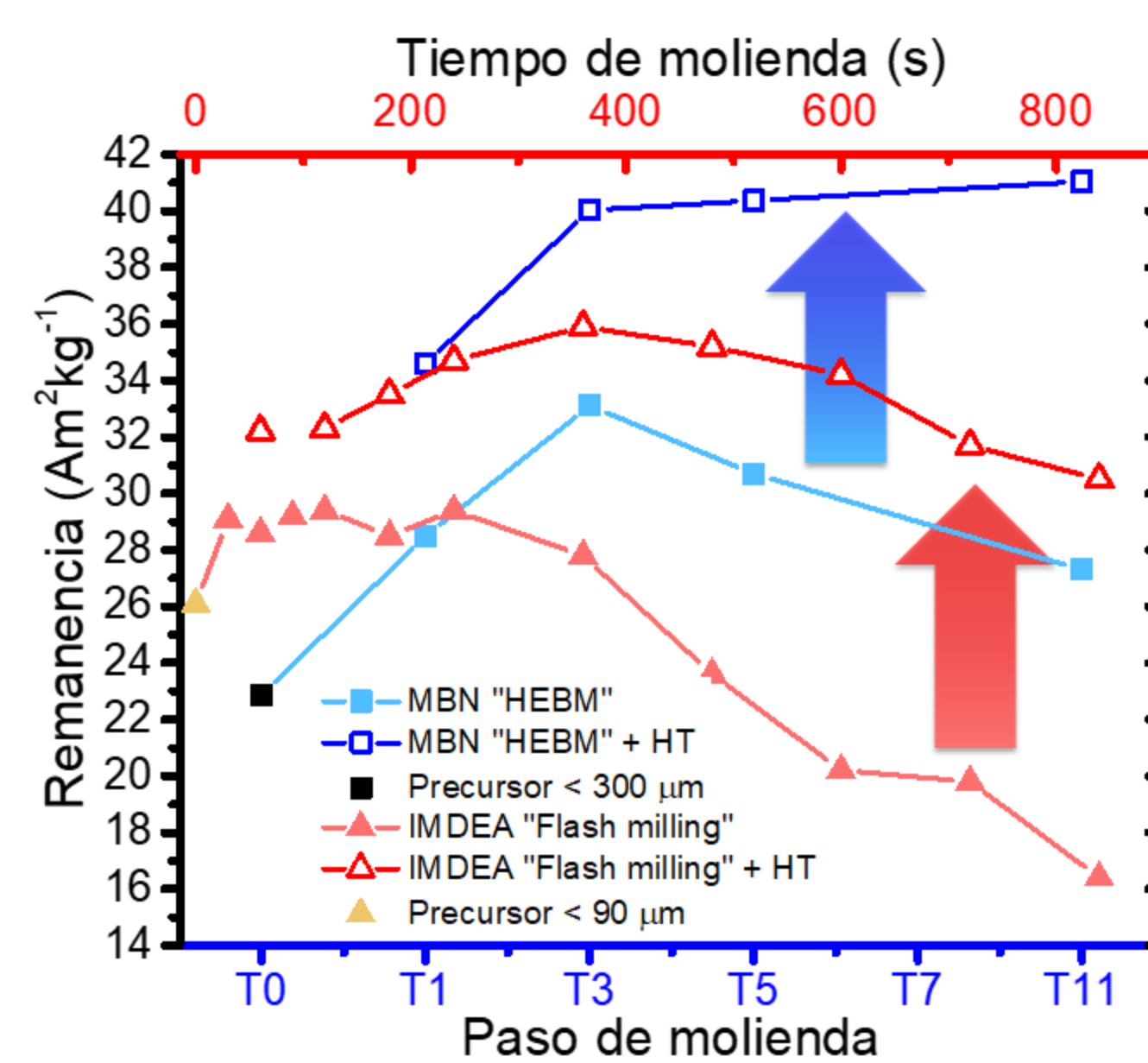
Según aumenta el tiempo de molienda:

Coercitividad

→ Aumenta y se estabiliza

Remanencia

→ Crece y decrece



Tratamiento térmico moderado (550 °C por 10 min en flujo de N₂), siguiendo experimentos anteriores [5,6].

- **Recristalización de la fase τ y creación de la fase β .**
- **Restauración magnetización**
- **Perdida de coercitividad.**

→ Optimización de las propiedades magnéticas.

→ Mejora general de la remanencia.

