

# UN MODELO 1D PARA LA TRANSICIÓN DE FASE MARTENSÍTICA DEL NITINOL

José A. Manzanares<sup>a</sup>, M. Amparo Gilabert<sup>a</sup>, Vladimir García-Morales<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, Facultat de Física,  
Universitat de València, 46100 Burjassot

E-mail: jose.a.manzanares@uv.es

**Palabras clave:** NiTiNOL, transición de fase, demostraciones de aula, termodinámica

Las demostraciones de aula están entre los recursos educativos más eficaces que podemos usar. Su impacto es óptimo cuando permiten ilustrar experimentalmente un fenómeno y también ayudar a su explicación teórica. La legendaria frase "If you can't teach it, don't show it!" de dos editores de *The Physics Teacher* enfatiza que tiene haber una sólida conexión entre la demo usada en el aula y el contenido teórico del curso [1].

Las demostraciones sobre los materiales con memoria de forma como el NiTiNOL son una "apuesta ganadora" en el aula [2,3], pero la complejidad de la transición de fase martensítica y de la histéresis (en su relación entre deformación y esfuerzo deformante) dificultan la explicación cuantitativa de las observaciones [4-6]. De hecho, el uso de modelos microscópicos para el estudio de las transiciones de fase se enfrenta con el problema de que los modelos 2D son excesivamente complejos y pocos modelos 1D muestran transición de fase [7].

En esta comunicación presentamos un modelo original y simple para la transición de fase martensítica del NiTiNOL (Fig. 1). El modelo se ha empleado con éxito en la docencia de Termodinámica de segundo curso en Física y explica las observaciones de las demostraciones de aula con NiTiNOL.

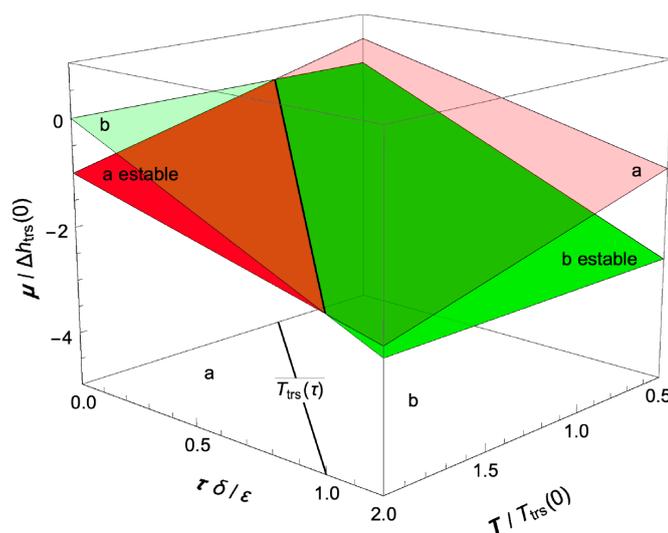


Fig. 1. Potencial químico en las fases austenita (a) y martensita (b) en función de la temperatura  $T$  y la tensión  $\tau$ . El diagrama de fases  $\tau$ - $T$  se muestra proyectado en la base. La temperatura  $T_{trs}(\tau)$  en que hay equilibrio de fases aumenta con  $\tau$ . A  $T < T_{trs}(\tau)$  la fase estable es martensita y a  $T > T_{trs}(\tau)$  es austenita.

Una de las características de los materiales con memoria de forma es la estabilización entrópica de la fase austenita [5, 8]. Esta fase, estable a altas temperaturas, tiene mayor entropía y mayor entalpía que la fase martensita, estable a baja temperaturas. Esta última son, en realidad, dos "fases gemelas" cuya proporción viene determinada por la tensión aplicada: igual proporción en ausencia de tensión y prevalencia de una de ellas para tensión suficientemente grande. El estudio de la transición de fase martensítica se realiza con una ecuación fundamental: la energía de Gibbs en función de sus variables naturales. Esta ecuación fundamental contiene toda la información sobre los estados de equilibrio del hilo y explica las características de esta transición de fase discontinua. Microscópicamente la ecuación fundamental corresponde a un modelo microscópico basado en la aproximación de cooperatividad extrema e incluye un número mínimo de parámetros para describir la estabilización entrópica y las propiedades termoelásticas del material.

### Referencias

- [1] C. E. Swartz, T. Miner, Teaching Introductory Physics, AIP Press, Woodbury, NY, 1997.
- [2] M. A. Gilabert, J. A. Manzanares, J. Garrido, M. I. Aguilera, B. Martínez-Díaz, <https://roderic.uv.es/handle/10550/47505>.
- [3] J. Yañez, *Rev. Esp. Fis.* **32**, 50-53 (2018).
- [4] A. N. Bucsek, H. M. Paranjape, A. P. Stebner, *Shap. Mem. Superelasticity* **2**, 264–271 (2016).
- [5] R. S. Elliott, D. S. Karls, *J. Mech. Phys. Solids* **61**, 2522-2536 (2013).
- [6] A. B. M. R. Islam, E. Karadogan, *Materials* **13**, 1482 (2020).
- [7] J. F. Nagle, *Am. J. Phys.* **36**, 1114-1117 (1968).
- [8] I. Müller, W. Weiss, *Entropy and Energy. A Universal Competition*, Springer, Berlin, 2005.