

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Master de Ciencia y Tecnología de Materiales

Efecto magnetocalórico en el compuesto $\text{Pr}_2\text{Fe}_{17}$

Autor: Alejandra Álvarez García

Tutor: Pedro Gorria Korres

Fecha de presentación: 21-07-2014

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. El efecto magnetocalórico (MCE)	5
1.2. Termodinámica del efecto magnetocalórico	6
2. SÍNTESIS DE LA MUESTRA	11
3. MEDIDAS MAGNÉTICAS	12
4. RESULTADOS	13
5. CONCLUSIONES	16
6. REFERENCIAS	17
ANEXO: FUNCIONES DE MATLAB	18

1. INTRODUCCIÓN

La Ciencia de los Materiales se centra en la relación entre la estructura cristalina de las sustancias a escala atómica y/o molecular con sus propiedades macroscópicas, de manera que se puedan desarrollar y fabricar nuevos materiales con un comportamiento físico-químico controlado. De esta manera se busca la capacidad para desarrollar materiales con las propiedades adecuadas para distintos fines.

Lo más determinante a la hora de estudiar la estructura cristalina de un material y su microestructura son por una parte sus constituyentes elementales y por otra tanto los métodos de fabricación como su posterior procesamiento. Esto, junto con las leyes de la termodinámica que determinarán los posibles estados estables o metaestables del sistema, serán los ingredientes esenciales que gobernarán las propiedades de cada sustancia.

Uno de los principales campos de estudio de la Ciencia de Materiales son las aleaciones metálicas, siendo las aleaciones de hierro de las más estudiadas, ya que pueden ser usadas en múltiples aplicaciones debido en gran parte a sus propiedades mecánicas, eléctricas y magnéticas. Además, otra gran ventaja que posee este elemento es la relativa abundancia de mineral de hierro en la superficie terrestre y, por ende, su precio competitivo frente a otros elementos menos abundantes y por tanto con precio mucho más elevado en el mercado. En el caso de este proyecto, lo que resulta interesante de las aleaciones de hierro es su potencial para ser usadas en sistemas de refrigeración magnéticos a temperatura ambiente. Este tipo de sistemas se basa en un proceso de imanación-desimanación de un material magnético, que sustituye al proceso de compresión-expansión de un gas en el que se basan los sistemas de refrigeración convencionales. Esta tecnología de refrigeración magnética ya se utiliza en la región de muy bajas temperaturas (en rangos inferiores a los 300 mK), pero aún se encuentra en desarrollo para el caso de la temperatura ambiente.

El interés que suscita el desarrollo de la refrigeración magnética radica en sus ventajas tanto medioambientales (se evitaría el uso de gases de efecto invernadero) como de eficiencia energética (la utilización de estos materiales en ciclos termodinámicos de tipo Ericsson podría lograr un aumento considerable de la eficiencia respecto a los sistemas actuales convencionales que podría alcanzar el 50%).

Si hacemos un poco de historia sobre este efecto magneto-termodinámico, diremos que el efecto magnetocalórico fue descubierto hace más de un siglo por Warburg (1881) en el hierro, pero su aplicabilidad no era manifiesta, ya que ocurría a más de 1000 K. En la Figura 1 puede verse la cabecera del artículo en el que Warburg publicó este descubrimiento.

IX. *Magnetische Untersuchungen;*
von E. Warburg.
 (Aus den Freiburger Berichten, Bd. 8, vom Verf. mitgetheilt.)

I. Ueber-einige Wirkungen -der Coërcitivkraft.

Unter der Coërcitivkraft versteht man die Ursache der Erscheinung, dass von dem Magnetismus, welcher durch eine magnetisirende Kraft im Eisen erregt ist, ein Theil nach Aufhören der magnetisirenden Kraft zurückbleibt.

Ann. Phys. Chem., vol. 13, 141-164 (1881)

Figura 1. Cabecera del artículo original de Warburg.

Más adelante, Weiss & Piccard dieron una primera interpretación teórica del efecto (1918) y fueron Debye y Giauque en la década de los 20 del siglo pasado los que por primera vez descubren su aplicabilidad en criogenia a muy bajas temperaturas (por debajo del He líquido) utilizando sales paramagnéticas. A continuación aparecen las cabeceras de los artículos originales de Debye y Giauque (Figura 2).

<p>16. <i>Einige Bemerkungen zur Magnetisierung bei tiefer Temperatur;</i> <i>von P. Debye</i></p> <p>Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Langevinsche Formel imstande ist die paramagnetische Sättigung wiederzugeben, wie das von Kamerling-Onnes am Falle des Gadoliniumsulfats experimentell gezeigt wurde. Daß dieses möglich ist, obwohl die Voraussetzungen, die Langevin bei</p> <p style="text-align: center;"><i>Ann. Physik, vol. 81, 1154-1160 (1926)</i></p>	<p>A THERMODYNAMIC TREATMENT OF CERTAIN MAGNETIC EFFECTS. A PROPOSED METHOD OF PRODUCING TEMPERATURES CONSIDERABLY BELOW 1° ABSOLUTE</p> <p style="text-align: center;">By W. F. GIAUQUE</p> <p style="text-align: center;">RECEIVED DECEMBER 14, 1926 PUBLISHED AUGUST 5, 1927</p> <p>Some years ago the author's interest in cryogenic work led to a consideration of possible substitutes for the commonly used methods of producing low temperatures.</p> <p>While a method of producing very low temperatures was devised, the</p> <p style="text-align: center;"><i>J. Amer. Chem. Soc., vol. 49, 1864-1870 (1927)</i></p>
--	---

Figura 2. Cabeceras de los artículos de Debye y de Giauque.

Sin embargo, a finales del siglo XX el descubrimiento de materiales con efecto magnetocalórico gigante en las inmediaciones de temperatura ambiente por Gschneidner & Pecharsky en el laboratorio de Ames (EEUU) provoca un fuerte

resurgimiento de la investigación en este campo. Hoy en día se publican más de 1000 artículos en revistas científicas de prestigio dentro de este ámbito.

1.1. El efecto magnetocalórico (MCE)

Como hemos mencionado en el epígrafe anterior el descubrimiento del efecto magnetocalórico (MCE) se produjo en 1881 por Warburg. Puede entenderse como el cambio que sufre un material magnético en la entropía magnética o en la temperatura al ser sometido a una variación isotérmica o adiabática, respectivamente, de un campo magnético externo. Este cambio se debe a la variación de la energía interna que sufre el material debido al acoplamiento térmico que se produce entre los grados de libertad de la red y los magnéticos al cambiar el campo magnético aplicado, por lo que el MCE es una propiedad intrínseca de cada material magnético. Además, al estar la entropía ligada al desorden del sistema, esta se verá reducida cuando los momentos magnéticos se ordenen parcialmente. En los materiales ferromagnéticos, esto se consigue bien aumentando el campo aplicado, bien disminuyendo la temperatura. En la Figura 3 se muestra el esquema del ciclo termodinámico que experimenta un material con efecto magnetocalórico.

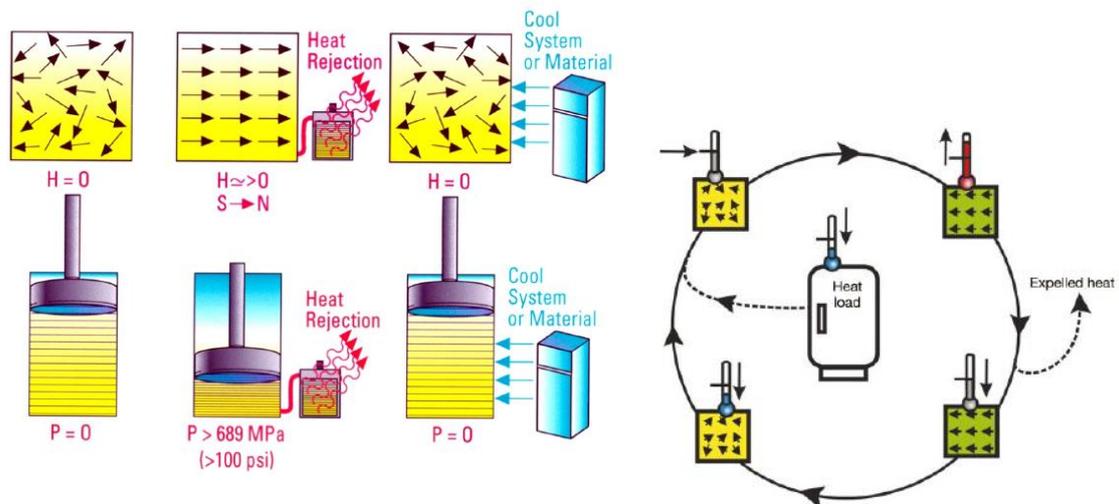


Figura 3. Esquema del ciclo termodinámico que experimenta un material con efecto magnetocalórico [Ref. 5].

1.2. Termodinámica del efecto magnetocalórico

Se parte del supuesto de que la entropía total de cualquier sistema magnético que sufre una transición de fase magnética de segundo orden es siempre una función continua de la temperatura, independientemente del campo magnético. También se asume que la histéresis es despreciable, esto es, que el valor del campo coercitivo, de la anisotropía y de la remanencia son muy pequeños y que, por tanto, no tienen efecto sobre el MCE. Además, se supone que los sistemas magnéticos están en equilibrio estático. Finalmente, se asume que todos los procesos en los sistemas magnéticos son reversibles.

Se considera un sistema magnético en un estado de equilibrio termodinámico sin cambios en su composición (es decir, $dN = 0$). Para ese sistema, la primera ley de la termodinámica postula que su energía interna es función de las propiedades extensivas del sistema, entropía (S), volumen (V), y de la variable extensiva magnética (M):

$$U = TS - PV + HM \quad (1)$$

donde T (temperatura), P (presión) y H (campo magnético) son las variables intensivas conjugadas de S, V y M, respectivamente. M es la componente en la dirección del campo aplicado del momento dipolar magnético total. Escrito de forma diferencial:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{V,M} dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_{S,M} dV + \left(\frac{\partial U}{\partial M}\right)_{S,V} dM \quad (2)$$

teniendo:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{V,M} &= T(S, V, M) \\ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_{S,M} &= -P(S, V, M) \\ \left(\frac{\partial U}{\partial M}\right)_{S,V} &= H(S, V, M) \end{aligned} \quad (3)$$

De la ecuación 3 se infiere que una variable extensiva generalizada puede modificarse por la acción de más de una magnitud intensiva generalizada.

Efectuando la transformación de Legendre de $U(S, V, M)$ con respecto a $S, V,$ y M se obtiene la energía libre del sistema en términos de los parámetros intensivos $T, P,$ y H :

$$A = U - TS + PV - HM \quad (4)$$

$$A = \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{P,H} dT + \left(\frac{\partial A}{\partial P}\right)_{T,H} dP + \left(\frac{\partial A}{\partial H}\right)_{T,P} dH \quad (5)$$

Los parámetros extensivos vienen dados por:

$$\begin{aligned} S(T, P, H) &= -\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{P,H} \\ V(T, P, H) &= \left(\frac{\partial A}{\partial P}\right)_{T,H} \\ M(T, P, H) &= -\left(\frac{\partial A}{\partial H}\right)_{T,P} \end{aligned} \quad (6)$$

Sabiendo que las derivadas segundas parciales de A con respecto a T y H son iguales:

$$\left(\frac{\partial S(T, P, H)}{\partial H}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial}{\partial H} - \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{P,H}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial}{\partial T} - \left(\frac{\partial A}{\partial H}\right)_{T,P}\right)_{P,H} = \left(\frac{\partial M(T, P, H)}{\partial T}\right)_{P,H} \quad (7)$$

Por tanto, obtenemos la siguiente relación de Maxwell:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{P,H} \quad (8)$$

Integrando esta expresión para un proceso isotérmico e isobárico ($dP = 0$), variando el campo magnético entre los valores H_1 y H_2 , es decir, $\Delta H = H_2 - H_1$, se obtiene:

$$\Delta S(T, H_2)_{P,\Delta H} = \int_{H_1}^{H_2} \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{P,H} dH \quad (9)$$

Entonces, para una presión constante P, se tiene que la entropía total de un sólido magnético es una función tanto del campo magnético aplicado, H, como de la temperatura, T. Se asume que la entropía total para los compuestos de tierras raras es una combinación de las contribuciones de la red (S_L), electrónica (S_e) y magnética (S_M):

$$S_{Total}(T, H) = S_L(T) + S_e(T) + S_M(T, H) \quad (10)$$

donde, en primera aproximación, solo S_M varía con H.

En un proceso isotérmico, si el campo magnético varía ΔH , la entropía magnética del material cambia, ya sea aumentando o reduciéndose, mientras que S_L y S_e permanecen constantes en primera aproximación. Por tanto, el valor de $\Delta S(T, H_2)_{P, \Delta H}$ a temperatura constante se corresponde con el cambio de entropía total:

$$\begin{aligned} \Delta S_M(T, H_2)_{P, \Delta H} &= [S_M(T)_{H_2} - S_M(T)_{H_1}]_{T, P} = [S(T)_{H_2} - S(T)_{H_1}]_{T, P} \\ &= \Delta S(T, H_2)_{P, \Delta H} \end{aligned} \quad (11)$$

Sin embargo, cuando la variación del campo magnético ΔH se realiza de forma adiabática, la entropía resultante de combinar la de la red y la electrónica cambia en:

$$\Delta(S_L + S_e) = -\Delta S_M \quad (12)$$

Este cambio en la entropía de la red da como resultado una variación medible de temperatura, llamada variación adiabática de la temperatura, ΔT_{ad} , del material magnético. Esta variación se usa para describir el MCE. ΔT_{ad} también es función de la temperatura. Para una variación fija ΔH y un valor T arbitrario:

$$\Delta T_{ad}(T, H_2)_{P, \Delta H} = [T(S)_{H_2} - T(S)_{H_1}]_{S, P} \quad (13)$$

El diferencial de la entropía total del sistema magnético, expresada como función de T, P y H, es:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{P,H} dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_{T,H} dP + \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,P} dH \quad (14)$$

En un proceso adiabático e isobárico, es decir, $dS = dP = 0$:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{P,H} dT = -\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,P} dH \quad (15)$$

La capacidad calorífica para un conjunto de parámetros constantes x es:

$$C_x = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_x \quad (16)$$

Esto junto con la ecuación (8) nos da que la variación de temperatura debido a un cambio infinitesimal del campo magnético aplicado viene dado por:

$$dT = -\frac{T}{C_{P,H}} \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{P,H} dH \quad (17)$$

La variación adiabática de temperatura se obtiene integrando la anterior expresión:

$$\Delta T_{ad}(T, H_2)_{P,\Delta H} = -\int_{H_1}^{H_2} \left(\frac{T}{C_{P,H}(T, H)}\right) \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{P,H} dH \quad (18)$$

A través de la definición de capacidad calorífica, también se puede obtener el cambio en la entropía magnética. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, un cambio infinitesimal de la entropía con campo magnético y presión constantes puede escribirse como:

$$dS = \frac{C_{P,H}(T, H)}{T} dT \quad (19)$$

Integrando la ecuación (19), y teniendo en cuenta que, según la tercera ley de la termodinámica, la entropía para $T = 0$ K es igual a cero:

$$\Delta S_M(T, H_2)_{P, \Delta H} = \Delta S(T, H_2)_{P, \Delta H} = \int_0^T \frac{C_{P, H_2}(T) - C_{P, H_1}(T)}{T} dT \quad (20)$$

El MCE está entonces totalmente determinado por ambos valores, $\Delta S_M(T, H)$ y $\Delta T_{ad}(T, H)$, es decir, por las ecuaciones (13) y (20). La primera suele usarse para medidas directas de ΔT_{ad} , para lo que se mide la temperatura del material magnético en H_1 y en H_2 , y la diferencia entre ambos valores da el valor intensivo del MCE. En cambio, medidas con campo magnético constante de la transferencia de calor y, por tanto, de ΔS_M usando la ecuación (20) raramente se ponen en práctica, debido a que la integración numérica necesaria para evaluar la función de entropía total puede causar la acumulación de errores que pueden alcanzar el 20-30%. Además, las medidas de la capacidad calorífica deben efectuarse lo más cerca posible del cero absoluto. Debido a esto, la manera más utilizada para medir el valor extensivo del MCE, es una medida indirecta de ΔS_M , que consiste en medir las curvas de imanación, $M(H)$, en condiciones isotermas.

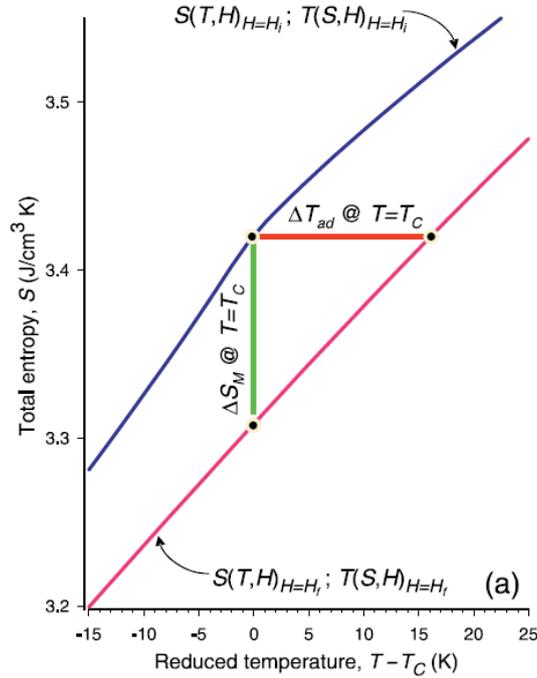


Figura 4. Entropía total para el campo magnético inicial, H_i , y el campo magnético final, H_f . Ref [7]

Hay un método indirecto para calcular ΔT_{ad} basado en la ecuación (18) que necesita expresar la capacidad calorífica como función de T y H , así como las isothermas de

imanación. Sin embargo, usando los datos de ΔS_M también es posible calcular ΔT_{ad} si se dispone de los datos de capacidad calorífica a campo constante: los valores de ΔT_{ad} pueden hallarse como la distancia isoentrópica entre dos curvas de campo constante a H_1 y H_2 sobre el diagrama entropía temperatura (ver Figura 4).

Se asume que la presión del sistema P es constante, y por tanto no se tiene en cuenta. Además, el cambio en la entropía magnética se hará en todo caso usando un campo magnético aplicado $H_1 = 0$ T, por lo que a partir de ahora, se hará referencia a $\Delta S_M(T, H_2)_{P, \Delta H}$ como $\Delta S_M(T, H_2)$.

Por tanto, analizando las ecuaciones (9) y (18), pueden sacarse ciertas conclusiones en relación a los sólidos que experimentan una transición de fase magnética de segundo orden:

- Al depender el MCE de $\partial M / \partial T$ y ΔH , se espera que aquellos materiales sobre cuya entropía total tiene mucha influencia el campo magnético y aquellos cuya imanación varía rápidamente con la temperatura muestren un gran valor de MCE.
- Para materiales ferromagnéticos, la imanación disminuye con la temperatura: $(\partial M / \partial T)_{P, H} \leq 0$. Por tanto, ΔT_{ad} será positivo para variaciones de campo positivas, mientras que ΔS_M será negativo.
- Como $|(\partial M / \partial T)_{P, H}|$ es máxima en la temperatura de transición magnética, temperatura de Curie T_C , $|\Delta S_M|$ tiene un máximo en $T = T_C$. El MCE disminuye gradualmente por encima y por debajo del valor de T_C .
- Los materiales paramagnéticos, al tener $(\partial M / \partial T)_{P, H}$ pequeño, solo muestran una ΔT_{ad} significativa cuando su capacidad calorífica también es pequeña.

2. SÍNTESIS DE LA MUESTRA

Como materiales de partida para la preparación de $\text{Pr}_2\text{Fe}_{17}$ en forma de pastillas, se utilizaron elementos comerciales de alta pureza, Fe 99.9% y Pr 99.98%, suministrados por la empresa Goodfellow. Estos elementos se fundieron mediante el uso de un horno

de arco bajo una atmósfera controlada de Ar. Las pastillas de aproximadamente 2 g de masa cada una (envueltas en una lámina de Tántalo y selladas en vacío en ampollas de cuarzo) fueron recocidas en un horno durante una semana a 1373 K para homogeneizar la fase de tipo $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ y para minimizar la cantidad de otras posibles fases. Se finalizó el tratamiento térmico enfriando directamente las pastillas en un recipiente con agua. Para las medidas, se tomó un trozo de aproximadamente 100 mg.

3. MEDIDAS MAGNÉTICAS

Las medidas de las curvas de imanación, $M(H)$, a temperatura constante se llevaron a cabo usando un magnetómetro de muestra vibrante (VSM). La técnica VSM está basada en la ley de la inducción de Faraday: se coloca la muestra en el seno de un campo magnético, de forma que se imana; entonces, se hace vibrar la muestra sinusoidalmente, y el voltaje inducido es proporcional al momento magnético de la muestra, pero no depende de la intensidad del campo magnético aplicado.



Figura 5. Magnetómetro de muestra vibrante PPMS-14 T.

El tipo de VMS utilizado es el accesorio correspondiente al equipo PPMS-14 T (sistema de medida de propiedades físicas) de la empresa Quantum Design como el de la Figura 5. En él, el campo magnético aplicado se genera mediante una bobina magnética

superconductor. El utilizado en este caso, alcanza un campo magnético aplicado máximo de 14 T.

4. RESULTADOS

Utilizando el magnetómetro VSM, se procedió a realizar las medidas. A continuación se muestran los datos correspondientes a 35 isotermas $M(H)$. Los pasos de temperatura entre isotermas consecutivas son de 1 K muy cerca de la temperatura de Curie (T_C), 2 K cerca de T_C y 5 K lejos de la temperatura de orden magnético. Para cada temperatura, se tomaron los datos aumentando el campo magnético aplicado en pasos constantes de $\mu_0\Delta H = 0.1$ T desde 0 hasta 5 T. El MCE se determinó como función de la temperatura y el campo magnético aplicado mediante integración numérica de las isotermas $M(H)$ tomadas. Los errores experimentales se han minimizado al utilizar 50 valores de campo distintos.

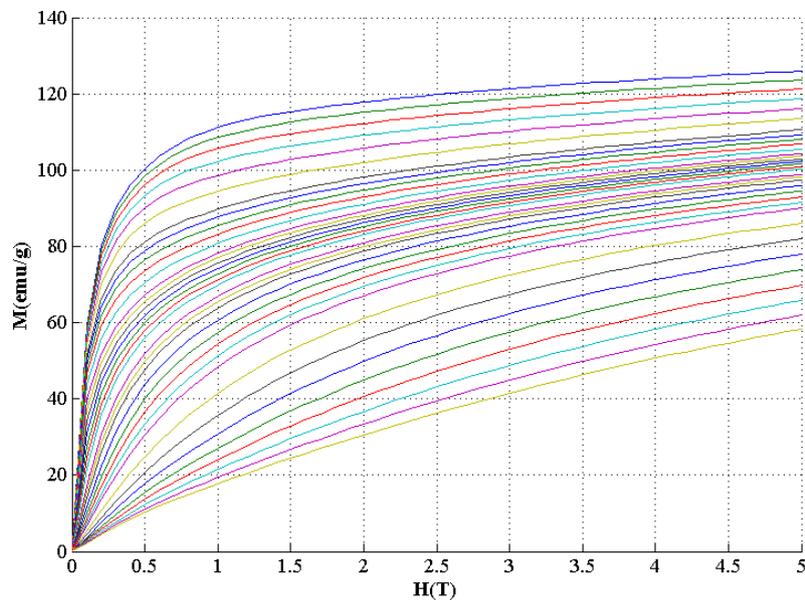


Figura 6. Curvas de imanación isotérmica medidas bajo la acción de un campo magnético de 0 a 5 T, con pasos de 0.1 T. Los pasos en temperatura varían desde 5 K (lejos de T_C) hasta 1 K (sobre T_C).

Se ha estimado que la temperatura de orden de la muestra es $T_C = 286 \pm 1$ K. La Figura 6 muestra las curvas de imanación $M(H)$ para las distintas isotermas. Las curvas que

muestran mayores valores de imanación son las correspondientes con las menores temperaturas, disminuyendo el valor de la imanación a medida que lo hace la temperatura para el mismo campo magnético aplicado.

Mediante integración numérica de las curvas, se obtiene el valor de entropía magnética, S_M , que presenta la muestra para cada temperatura y valor del campo magnético. A partir de esos valores, calculando la diferencia de entropía entre dos isoterma consecutivas podemos obtener para cada caso $|\Delta S_M|$. Realizando este proceso de forma iterativa, se obtiene la curva $|\Delta S_M|(T)$.

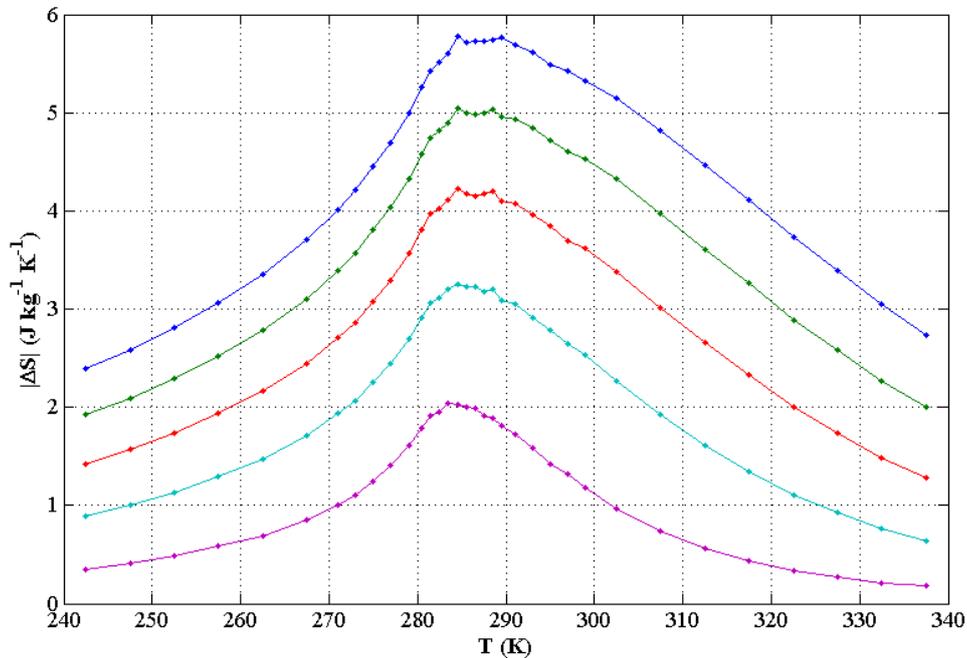


Figura 7. Variación de entropía magnética $|\Delta S_M|$ de la muestra de $\text{Pr}_2\text{Fe}_{17}$ bajo la aplicación de campos magnéticos de 1 T (línea violeta), 2 T (línea azul claro), 3 T (línea roja), 4 T (línea verde) y 5 T (línea azul oscuro).

En este caso, la integración numérica de cada curva isoterma se ha realizado mediante la regla de Simpson y el programa Matlab. Para hallar la curva $|\Delta S_M|(T)$, tras hacer la diferencia entre isoterma consecutivas, se divide entre la diferencia de temperatura entre ambas; es decir, para el caso en que el paso de temperatura es de 5 K, las diferencias de entropía se dividirán entre 5 K, para el paso de 2 K entre 2 K, y para el de 1 K entre 1 K.

En la Figura 7 se muestra la curva $|\Delta S_M|(T)$ obtenida mediante este proceso. También se representan las curvas para los casos en que el campo magnético es de 4 T, 3T, 2 T y 1 T. Salta a la vista que hay un máximo en el valor absoluto de la variación de entropía magnética en torno a la temperatura de orden magnético, es decir, para $T = T_C = 286$ K. El valor máximo de variación de entropía magnética es de aproximadamente $5.8 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para el campo magnético de 5 T.

5. CONCLUSIONES

Partiendo de una base termodinámica, según la cual a la temperatura de orden magnético un material ferromagnético debería ser susceptible de presentar su máximo de variación de entropía magnética al verse sometido a un campo magnético aplicado, se ha establecido un rango de medidas de temperatura en torno a $T_C=286$ K. Los datos calculados a partir de las imanaciones obtenidas son coherentes con lo que establece la termodinámica, mostrando un máximo bien diferenciado en torno a la temperatura de Curie.

El pico obtenido en la variación de entropía magnética de la muestra es bastante ancho en temperatura. Esto es bueno para su uso en sistemas de refrigeración, ya que para eso no es solo importante el valor de variación de entropía en el máximo, sino también el área bajo la curva, que representaría la cantidad de calor que puede ser transferida entre el material y el ambiente.

Por tanto, el compuesto $\text{Pr}_2\text{Fe}_{17}$ parece un buen candidato para su estudio en el desarrollo de sistemas de refrigeración magnética, ya que no solo presenta un valor de variación de entropía magnética considerable, sino que además posee una buena capacidad de refrigeración, es decir, capacidad para intercambiar energía con el ambiente, a lo que se suma su bajo coste de fabricación.

6. REFERENCIAS

- 1) Warburg
- 2) Debye
- 3) Giauque
- 4) V. K. Pecharsky and K. A. Gschneidner Jr., Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 4494.
- 5) O. Tegus, E. Brück, K. H. J. Buschow, F. R. De Boer, Nature **415** (2002) 150.
- 6) A. M. Tishin and Y. I. Spichkin, “The magnetocaloric effect and its applications”, Bristol, IoP Publishing, 2003.
- 7) K. A. Gschneidner Jr., V. K. Pecharsky, A. O. Tsokol, Rep. Prog. Phys. **68** (2005) 1479.
- 8) P. Gorria, P. Álvarez, J. Sánchez Marcos, J. L. Sánchez Llamazares, M. J. Pérez, J. A. Blanco, Acta Mater. **57** (2009) 1724.
- 9) P. Álvarez, Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 2011.

ANEXO: FUNCIONES DE MATLAB

A continuación se muestran tres ficheros utilizados en Matlab para la representación de los datos y el cálculo del efecto magnetocalórico. En cada fichero hay una pequeña explicación sobre para qué sirve y qué son los elementos que aparecen en él.

Fichero 1: Matrices.m

```
% Fichero que lee los datos de temperatura, campo magnético aplicado e
% imanación que se encuentran en un fichero Excel y los almacena en
ese
% orden en una matriz A, con 3 columnas para cada isoterma de datos.

A=xlsread('Pr2Fe17_isotermas_5T_columnas.xlsx');

% A partir de la matriz A, se obtienen las matrices AXXX, BXXX, CXXX,
% DXXX y EXXX para cada isoterma (XXX:temperatura de la isoterma;
A:5T;
% B:4T; C:3T; D:2T; E=1T)

A240=A(:,1:3);
A245=A(:,5:7);
A250=A(:,9:11);
A255=A(:,13:15);
A260=A(:,17:19);
A265=A(:,21:23);
A270=A(:,25:27);
A272=A(:,29:31);
A274=A(:,33:35);
A276=A(:,37:39);
A278=A(:,41:43);
A280=A(:,45:47);
A281=A(:,49:51);
A282=A(:,53:55);
A283=A(:,57:59);
A284=A(:,61:63);
A285=A(:,65:67);
A286=A(:,69:71);
A287=A(:,73:75);
A288=A(:,77:79);
A289=A(:,81:83);
A290=A(:,85:87);
A292=A(:,89:91);
A294=A(:,93:95);
A296=A(:,97:99);
A298=A(:,101:103);
A300=A(:,105:107);
A305=A(:,109:111);
A310=A(:,113:115);
A315=A(:,117:119);
A320=A(:,121:123);
A325=A(:,125:127);
A330=A(:,129:131);
A335=A(:,133:135);
A340=A(:,137:139);
```

B240=A (1:41, 1:3) ;
B245=A (1:41, 5:7) ;
B250=A (1:41, 9:11) ;
B255=A (1:41, 13:15) ;
B260=A (1:41, 17:19) ;
B265=A (1:41, 21:23) ;
B270=A (1:41, 25:27) ;
B272=A (1:41, 29:31) ;
B274=A (1:41, 33:35) ;
B276=A (1:41, 37:39) ;
B278=A (1:41, 41:43) ;
B280=A (1:41, 45:47) ;
B281=A (1:41, 49:51) ;
B282=A (1:41, 53:55) ;
B283=A (1:41, 57:59) ;
B284=A (1:41, 61:63) ;
B285=A (1:41, 65:67) ;
B286=A (1:41, 69:71) ;
B287=A (1:41, 73:75) ;
B288=A (1:41, 77:79) ;
B289=A (1:41, 81:83) ;
B290=A (1:41, 85:87) ;
B292=A (1:41, 89:91) ;
B294=A (1:41, 93:95) ;
B296=A (1:41, 97:99) ;
B298=A (1:41, 101:103) ;
B300=A (1:41, 105:107) ;
B305=A (1:41, 109:111) ;
B310=A (1:41, 113:115) ;
B315=A (1:41, 117:119) ;
B320=A (1:41, 121:123) ;
B325=A (1:41, 125:127) ;
B330=A (1:41, 129:131) ;
B335=A (1:41, 133:135) ;
B340=A (1:41, 137:139) ;

C240=A (1:31, 1:3) ;
C245=A (1:31, 5:7) ;
C250=A (1:31, 9:11) ;
C255=A (1:31, 13:15) ;
C260=A (1:31, 17:19) ;
C265=A (1:31, 21:23) ;
C270=A (1:31, 25:27) ;
C272=A (1:31, 29:31) ;
C274=A (1:31, 33:35) ;
C276=A (1:31, 37:39) ;
C278=A (1:31, 41:43) ;
C280=A (1:31, 45:47) ;
C281=A (1:31, 49:51) ;
C282=A (1:31, 53:55) ;
C283=A (1:31, 57:59) ;
C284=A (1:31, 61:63) ;
C285=A (1:31, 65:67) ;
C286=A (1:31, 69:71) ;
C287=A (1:31, 73:75) ;
C288=A (1:31, 77:79) ;
C289=A (1:31, 81:83) ;
C290=A (1:31, 85:87) ;

C292=A (1:31, 89:91) ;
C294=A (1:31, 93:95) ;
C296=A (1:31, 97:99) ;
C298=A (1:31, 101:103) ;
C300=A (1:31, 105:107) ;
C305=A (1:31, 109:111) ;
C310=A (1:31, 113:115) ;
C315=A (1:31, 117:119) ;
C320=A (1:31, 121:123) ;
C325=A (1:31, 125:127) ;
C330=A (1:31, 129:131) ;
C335=A (1:31, 133:135) ;
C340=A (1:31, 137:139) ;

D240=A (1:21, 1:3) ;
D245=A (1:21, 5:7) ;
D250=A (1:21, 9:11) ;
D255=A (1:21, 13:15) ;
D260=A (1:21, 17:19) ;
D265=A (1:21, 21:23) ;
D270=A (1:21, 25:27) ;
D272=A (1:21, 29:31) ;
D274=A (1:21, 33:35) ;
D276=A (1:21, 37:39) ;
D278=A (1:21, 41:43) ;
D280=A (1:21, 45:47) ;
D281=A (1:21, 49:51) ;
D282=A (1:21, 53:55) ;
D283=A (1:21, 57:59) ;
D284=A (1:21, 61:63) ;
D285=A (1:21, 65:67) ;
D286=A (1:21, 69:71) ;
D287=A (1:21, 73:75) ;
D288=A (1:21, 77:79) ;
D289=A (1:21, 81:83) ;
D290=A (1:21, 85:87) ;
D292=A (1:21, 89:91) ;
D294=A (1:21, 93:95) ;
D296=A (1:21, 97:99) ;
D298=A (1:21, 101:103) ;
D300=A (1:21, 105:107) ;
D305=A (1:21, 109:111) ;
D310=A (1:21, 113:115) ;
D315=A (1:21, 117:119) ;
D320=A (1:21, 121:123) ;
D325=A (1:21, 125:127) ;
D330=A (1:21, 129:131) ;
D335=A (1:21, 133:135) ;
D340=A (1:21, 137:139) ;

E240=A (1:11, 1:3) ;
E245=A (1:11, 5:7) ;
E250=A (1:11, 9:11) ;
E255=A (1:11, 13:15) ;
E260=A (1:11, 17:19) ;
E265=A (1:11, 21:23) ;
E270=A (1:11, 25:27) ;
E272=A (1:11, 29:31) ;
E274=A (1:11, 33:35) ;

E276=A(1:11,37:39);
E278=A(1:11,41:43);
E280=A(1:11,45:47);
E281=A(1:11,49:51);
E282=A(1:11,53:55);
E283=A(1:11,57:59);
E284=A(1:11,61:63);
E285=A(1:11,65:67);
E286=A(1:11,69:71);
E287=A(1:11,73:75);
E288=A(1:11,77:79);
E289=A(1:11,81:83);
E290=A(1:11,85:87);
E292=A(1:11,89:91);
E294=A(1:11,93:95);
E296=A(1:11,97:99);
E298=A(1:11,101:103);
E300=A(1:11,105:107);
E305=A(1:11,109:111);
E310=A(1:11,113:115);
E315=A(1:11,117:119);
E320=A(1:11,121:123);
E325=A(1:11,125:127);
E330=A(1:11,129:131);
E335=A(1:11,133:135);
E340=A(1:11,137:139);

Fichero: simpson.m

```
function S=simpson(A)

% S=simpson(A)
% Función para integrar numéricamente mediante la regla de simpson la
curva
% que forman los valores de imanación, dando así el área bajo la
curva, es
% decir, la entropía magnética.
% S: valor de entropía magnética para la isoterma analizada.
% A: matriz con los valores de temperatura (columna 1), campo
magnético
% (columna 2) e imanación (columna 3).
% s: vector columna en el que se almacenan los valores de cada
iteración de
% la regla de Simpson.

x=length(A(:,1));

m=1;
for i=3:2:x
    s(m,1)=((A(i,2)-A(i-2,2))/6)*(A(i,3)+A(i-2,3)+4*A(i-1,3));
    m=m+1;
end

n=length(s);
S=ones(1,n)*s;
```

Fichero: entropia.m

```
% Fichero que calcula la curva de variación de entropía magnética.
% SAXXX, SBXXX, SCXXX, SDXXX, SEXXX: entropía para la temperatura XXX
según
% el campo magnético aplicado máximo (A:5T; B:4T; C:3T; D:2T; E: 1T)
% DSA, DSB, DSC, DSD, DSE: vector que almacena los datos de variación
de
% entropía magnética (A:5T; B:4T; C:3T; D:2T; E: 1T)
% X: vector que almacena la temperatura media entre pares de isothermas
% consecutivas.
```

Matrices

```
% Se representan las isothermas de datos en curvas M(H).
```

```
hold on
```

```
plot(A240(:,2)',A240(:,3)',A245(:,2)',A245(:,3)',A250(:,2)',
A250(:,3)',A255(:,2)',A255(:,3)',A260(:,2)',A260(:,3)',A265(:,2)',
A265(:,3)',A270(:,2)',A270(:,3)',A272(:,2)',A272(:,3)',A274(:,2)',
A274(:,3)',A276(:,2)',A276(:,3)',A278(:,2)',A278(:,3)',A280(:,2)',
A280(:,3)',A281(:,2)',A281(:,3)',A282(:,2)',A282(:,3)',A283(:,2)',
A283(:,3)',A284(:,2)',A284(:,3)',A285(:,2)',A285(:,3)',A286(:,2)',
A286(:,3)',A287(:,2)',A288(:,3)',A289(:,2)',A289(:,3)',A290(:,2)',
A290(:,3)',A292(:,2)',A292(:,3)',A294(:,2)',A294(:,3)',A296(:,2)',
A296(:,3)',A298(:,2)',A298(:,3)',A300(:,2)',A300(:,3)',A305(:,2)',
A305(:,3)',A310(:,2)',A310(:,3)',A315(:,2)',A315(:,3)',A320(:,2)',
A320(:,3)',A325(:,2)',A325(:,3)',A330(:,2)',A330(:,3)',A335(:,2)',
A335(:,3)',A340(:,2)',A340(:,3)')
```

```
grid
```

```
title('M(H) vs. H')
xlabel('H(T)')
ylabel('M(emu/g)')
```

```
% Se calcula la entropía de cada isoterma mediante la regla de
Simpson.
```

```
SA240=simpson(A240);
SA245=simpson(A245);
SA250=simpson(A250);
SA255=simpson(A255);
SA260=simpson(A260);
SA265=simpson(A265);
SA270=simpson(A270);
SA272=simpson(A272);
SA274=simpson(A274);
SA276=simpson(A276);
SA278=simpson(A278);
SA280=simpson(A280);
SA281=simpson(A281);
SA282=simpson(A282);
SA283=simpson(A283);
SA284=simpson(A284);
SA285=simpson(A285);
SA286=simpson(A286);
```

```

SA287=simpson (A287);
SA288=simpson (A288);
SA289=simpson (A289);
SA290=simpson (A290);
SA292=simpson (A292);
SA294=simpson (A294);
SA296=simpson (A296);
SA298=simpson (A298);
SA300=simpson (A300);
SA305=simpson (A305);
SA310=simpson (A310);
SA315=simpson (A315);
SA320=simpson (A320);
SA325=simpson (A325);
SA330=simpson (A330);
SA335=simpson (A335);
SA340=simpson (A340);

```

```

% Se calcula la curva de variación de entropía hallando la diferencia
entre
% las entropías magnéticas de isothermas consecutivas y dividiéndola
por la
% diferencia de temperatura entre ambas isothermas.

```

```

DSA (1) = (SA245-SA240) /5;
DSA (2) = (SA250-SA245) /5;
DSA (3) = (SA255-SA250) /5;
DSA (4) = (SA260-SA255) /5;
DSA (5) = (SA265-SA260) /5;
DSA (6) = (SA270-SA265) /5;
DSA (7) = (SA272-SA270) /2;
DSA (8) = (SA274-SA272) /2;
DSA (9) = (SA276-SA274) /2;
DSA (10) = (SA278-SA276) /2;
DSA (11) = (SA280-SA278) /2;
DSA (12) = (SA281-SA280) /1;
DSA (13) = (SA282-SA281) /1;
DSA (14) = (SA283-SA282) /1;
DSA (15) = (SA284-SA283) /1;
DSA (16) = (SA285-SA284) /1;
DSA (17) = (SA286-SA285) /1;
DSA (18) = (SA287-SA286) /1;
DSA (19) = (SA288-SA287) /1;
DSA (20) = (SA289-SA288) /1;
DSA (21) = (SA290-SA289) /1;
DSA (22) = (SA292-SA290) /2;
DSA (23) = (SA294-SA292) /2;
DSA (24) = (SA296-SA294) /2;
DSA (25) = (SA298-SA296) /2;
DSA (26) = (SA300-SA298) /2;
DSA (27) = (SA305-SA300) /5;
DSA (28) = (SA310-SA305) /5;
DSA (29) = (SA315-SA310) /5;
DSA (30) = (SA320-SA315) /5;
DSA (31) = (SA325-SA320) /5;
DSA (32) = (SA330-SA325) /5;
DSA (33) = (SA335-SA330) /5;
DSA (34) = (SA340-SA335) /5;

```

```

SB240=simpson (B240);

```

```

SB245=simpson (B245);
SB250=simpson (B250);
SB255=simpson (B255);
SB260=simpson (B260);
SB265=simpson (B265);
SB270=simpson (B270);
SB272=simpson (B272);
SB274=simpson (B274);
SB276=simpson (B276);
SB278=simpson (B278);
SB280=simpson (B280);
SB281=simpson (B281);
SB282=simpson (B282);
SB283=simpson (B283);
SB284=simpson (B284);
SB285=simpson (B285);
SB286=simpson (B286);
SB287=simpson (B287);
SB288=simpson (B288);
SB289=simpson (B289);
SB290=simpson (B290);
SB292=simpson (B292);
SB294=simpson (B294);
SB296=simpson (B296);
SB298=simpson (B298);
SB300=simpson (B300);
SB305=simpson (B305);
SB310=simpson (B310);
SB315=simpson (B315);
SB320=simpson (B320);
SB325=simpson (B325);
SB330=simpson (B330);
SB335=simpson (B335);
SB340=simpson (B340);

```

```

DSB (1) = (SB245-SB240) /5;
DSB (2) = (SB250-SB245) /5;
DSB (3) = (SB255-SB250) /5;
DSB (4) = (SB260-SB255) /5;
DSB (5) = (SB265-SB260) /5;
DSB (6) = (SB270-SB265) /5;
DSB (7) = (SB272-SB270) /2;
DSB (8) = (SB274-SB272) /2;
DSB (9) = (SB276-SB274) /2;
DSB (10) = (SB278-SB276) /2;
DSB (11) = (SB280-SB278) /2;
DSB (12) = (SB281-SB280) /1;
DSB (13) = (SB282-SB281) /1;
DSB (14) = (SB283-SB282) /1;
DSB (15) = (SB284-SB283) /1;
DSB (16) = (SB285-SB284) /1;
DSB (17) = (SB286-SB285) /1;
DSB (18) = (SB287-SB286) /1;
DSB (19) = (SB288-SB287) /1;
DSB (20) = (SB289-SB288) /1;
DSB (21) = (SB290-SB289) /1;
DSB (22) = (SB292-SB290) /2;
DSB (23) = (SB294-SB292) /2;
DSB (24) = (SB296-SB294) /2;
DSB (25) = (SB298-SB296) /2;

```

DSB (26) = (SB300-SB298) /2;
DSB (27) = (SB305-SB300) /5;
DSB (28) = (SB310-SB305) /5;
DSB (29) = (SB315-SB310) /5;
DSB (30) = (SB320-SB315) /5;
DSB (31) = (SB325-SB320) /5;
DSB (32) = (SB330-SB325) /5;
DSB (33) = (SB335-SB330) /5;
DSB (34) = (SB340-SB335) /5;

SC240=simpson (C240) ;
SC245=simpson (C245) ;
SC250=simpson (C250) ;
SC255=simpson (C255) ;
SC260=simpson (C260) ;
SC265=simpson (C265) ;
SC270=simpson (C270) ;
SC272=simpson (C272) ;
SC274=simpson (C274) ;
SC276=simpson (C276) ;
SC278=simpson (C278) ;
SC280=simpson (C280) ;
SC281=simpson (C281) ;
SC282=simpson (C282) ;
SC283=simpson (C283) ;
SC284=simpson (C284) ;
SC285=simpson (C285) ;
SC286=simpson (C286) ;
SC287=simpson (C287) ;
SC288=simpson (C288) ;
SC289=simpson (C289) ;
SC290=simpson (C290) ;
SC292=simpson (C292) ;
SC294=simpson (C294) ;
SC296=simpson (C296) ;
SC298=simpson (C298) ;
SC300=simpson (C300) ;
SC305=simpson (C305) ;
SC310=simpson (C310) ;
SC315=simpson (C315) ;
SC320=simpson (C320) ;
SC325=simpson (C325) ;
SC330=simpson (C330) ;
SC335=simpson (C335) ;
SC340=simpson (C340) ;

DSC (1) = (SC245-SC240) /5;
DSC (2) = (SC250-SC245) /5;
DSC (3) = (SC255-SC250) /5;
DSC (4) = (SC260-SC255) /5;
DSC (5) = (SC265-SC260) /5;
DSC (6) = (SC270-SC265) /5;
DSC (7) = (SC272-SC270) /2;
DSC (8) = (SC274-SC272) /2;
DSC (9) = (SC276-SC274) /2;
DSC (10) = (SC278-SC276) /2;
DSC (11) = (SC280-SC278) /2;
DSC (12) = (SC281-SC280) /1;
DSC (13) = (SC282-SC281) /1;

```

DSC (14) = (SC283-SC282) /1;
DSC (15) = (SC284-SC283) /1;
DSC (16) = (SC285-SC284) /1;
DSC (17) = (SC286-SC285) /1;
DSC (18) = (SC287-SC286) /1;
DSC (19) = (SC288-SC287) /1;
DSC (20) = (SC289-SC288) /1;
DSC (21) = (SC290-SC289) /1;
DSC (22) = (SC292-SC290) /2;
DSC (23) = (SC294-SC292) /2;
DSC (24) = (SC296-SC294) /2;
DSC (25) = (SC298-SC296) /2;
DSC (26) = (SC300-SC298) /2;
DSC (27) = (SC305-SC300) /5;
DSC (28) = (SC310-SC305) /5;
DSC (29) = (SC315-SC310) /5;
DSC (30) = (SC320-SC315) /5;
DSC (31) = (SC325-SC320) /5;
DSC (32) = (SC330-SC325) /5;
DSC (33) = (SC335-SC330) /5;
DSC (34) = (SC340-SC335) /5;

```

```

SD240=simpson (D240);
SD245=simpson (D245);
SD250=simpson (D250);
SD255=simpson (D255);
SD260=simpson (D260);
SD265=simpson (D265);
SD270=simpson (D270);
SD272=simpson (D272);
SD274=simpson (D274);
SD276=simpson (D276);
SD278=simpson (D278);
SD280=simpson (D280);
SD281=simpson (D281);
SD282=simpson (D282);
SD283=simpson (D283);
SD284=simpson (D284);
SD285=simpson (D285);
SD286=simpson (D286);
SD287=simpson (D287);
SD288=simpson (D288);
SD289=simpson (D289);
SD290=simpson (D290);
SD292=simpson (D292);
SD294=simpson (D294);
SD296=simpson (D296);
SD298=simpson (D298);
SD300=simpson (D300);
SD305=simpson (D305);
SD310=simpson (D310);
SD315=simpson (D315);
SD320=simpson (D320);
SD325=simpson (D325);
SD330=simpson (D330);
SD335=simpson (D335);
SD340=simpson (D340);

```

```

DSD (1) = (SD245-SD240) /5;

```

DSD (2) = (SD250-SD245) / 5;
DSD (3) = (SD255-SD250) / 5;
DSD (4) = (SD260-SD255) / 5;
DSD (5) = (SD265-SD260) / 5;
DSD (6) = (SD270-SD265) / 5;
DSD (7) = (SD272-SD270) / 2;
DSD (8) = (SD274-SD272) / 2;
DSD (9) = (SD276-SD274) / 2;
DSD (10) = (SD278-SD276) / 2;
DSD (11) = (SD280-SD278) / 2;
DSD (12) = (SD281-SD280) / 1;
DSD (13) = (SD282-SD281) / 1;
DSD (14) = (SD283-SD282) / 1;
DSD (15) = (SD284-SD283) / 1;
DSD (16) = (SD285-SD284) / 1;
DSD (17) = (SD286-SD285) / 1;
DSD (18) = (SD287-SD286) / 1;
DSD (19) = (SD288-SD287) / 1;
DSD (20) = (SD289-SD288) / 1;
DSD (21) = (SD290-SD289) / 1;
DSD (22) = (SD292-SD290) / 2;
DSD (23) = (SD294-SD292) / 2;
DSD (24) = (SD296-SD294) / 2;
DSD (25) = (SD298-SD296) / 2;
DSD (26) = (SD300-SD298) / 2;
DSD (27) = (SD305-SD300) / 5;
DSD (28) = (SD310-SD305) / 5;
DSD (29) = (SD315-SD310) / 5;
DSD (30) = (SD320-SD315) / 5;
DSD (31) = (SD325-SD320) / 5;
DSD (32) = (SD330-SD325) / 5;
DSD (33) = (SD335-SD330) / 5;
DSD (34) = (SD340-SD335) / 5;

SE240=simpson (E240) ;
SE245=simpson (E245) ;
SE250=simpson (E250) ;
SE255=simpson (E255) ;
SE260=simpson (E260) ;
SE265=simpson (E265) ;
SE270=simpson (E270) ;
SE272=simpson (E272) ;
SE274=simpson (E274) ;
SE276=simpson (E276) ;
SE278=simpson (E278) ;
SE280=simpson (E280) ;
SE281=simpson (E281) ;
SE282=simpson (E282) ;
SE283=simpson (E283) ;
SE284=simpson (E284) ;
SE285=simpson (E285) ;
SE286=simpson (E286) ;
SE287=simpson (E287) ;
SE288=simpson (E288) ;
SE289=simpson (E289) ;
SE290=simpson (E290) ;
SE292=simpson (E292) ;
SE294=simpson (E294) ;
SE296=simpson (E296) ;
SE298=simpson (E298) ;

```

SE300=simpson(E300);
SE305=simpson(E305);
SE310=simpson(E310);
SE315=simpson(E315);
SE320=simpson(E320);
SE325=simpson(E325);
SE330=simpson(E330);
SE335=simpson(E335);
SE340=simpson(E340);

```

```

DSE(1)=(SE245-SE240)/5;
DSE(2)=(SE250-SE245)/5;
DSE(3)=(SE255-SE250)/5;
DSE(4)=(SE260-SE255)/5;
DSE(5)=(SE265-SE260)/5;
DSE(6)=(SE270-SE265)/5;
DSE(7)=(SE272-SE270)/2;
DSE(8)=(SE274-SE272)/2;
DSE(9)=(SE276-SE274)/2;
DSE(10)=(SE278-SE276)/2;
DSE(11)=(SE280-SE278)/2;
DSE(12)=(SE281-SE280)/1;
DSE(13)=(SE282-SE281)/1;
DSE(14)=(SE283-SE282)/1;
DSE(15)=(SE284-SE283)/1;
DSE(16)=(SE285-SE284)/1;
DSE(17)=(SE286-SE285)/1;
DSE(18)=(SE287-SE286)/1;
DSE(19)=(SE288-SE287)/1;
DSE(20)=(SE289-SE288)/1;
DSE(21)=(SE290-SE289)/1;
DSE(22)=(SE292-SE290)/2;
DSE(23)=(SE294-SE292)/2;
DSE(24)=(SE296-SE294)/2;
DSE(25)=(SE298-SE296)/2;
DSE(26)=(SE300-SE298)/2;
DSE(27)=(SE305-SE300)/5;
DSE(28)=(SE310-SE305)/5;
DSE(29)=(SE315-SE310)/5;
DSE(30)=(SE320-SE315)/5;
DSE(31)=(SE325-SE320)/5;
DSE(32)=(SE330-SE325)/5;
DSE(33)=(SE335-SE330)/5;
DSE(34)=(SE340-SE335)/5;

```

```

X=[242.5,247.5,252.5,257.5,262.5,267.5,271,273,275,277,279,280.5,281.5
,282.5,283.5,284.5,285.5,286.5,287.5,288.5,289.5,291,293,295,297,299,3
02.5,307.5,312.5,317.5,322.5,327.5,332.5,337.5]

```

```

% Se representa gráficamente la curva de variación de entropía frente
a los
% valores de temperatura almacenados en el vector X, que se
corresponden
% con el valor medio de temperatura entre isothermas consecutivas.

```

Figure

```

plot(X,-DSA,'.-',X,-DSB,'.-',X,-DSC,'.-',X,-DSD,'.-',X,-DSE,'.-')

```

```
grid
```

```
title('|\\DeltaS| vs. T')  
ylabel('|\\DeltaS| (J kg-1 K-1)')  
xlabel('T (K)')
```