

PRÁCTICA 2

CALIBRADO DE UN TERMOPAR

OBJETIVO

Se trata de calibrar un termopar de cobre-constantán utilizando como patrón un termómetro de resistencia de platino. Para ello se introducirán ambos termómetros en sistemas de temperaturas estabilizadas entre 0 y 90 °C. Finalmente, se empleará el termopar de cobre-constantán ya calibrado como termómetro.

MATERIAL NECESARIO

- Termómetro de resistencia de platino (Pt 100)
- Termómetro de vidrio
- Baño termostático
- Termopar cobre-constantán
- Dos multímetros
- Calorímetro (vaso Dewar)

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Un termopar es un termómetro que consiste en dos metales (cobre y constantán en este caso, termopar tipo T) unidos en la forma especificada en la figura 1. Este termómetro tiene dos soldaduras “sensoras” y su ecuación termométrica es, en un intervalo pequeño de temperaturas,

$$E = a + b \Delta t \quad (1)$$

donde E es la fuerza electromotriz (fem) del circuito y Δt es la diferencia de temperaturas de las soldaduras. El origen de esta f.e.m. es el efecto Seebeck. Normalmente, la constante *a* es cero y una de las soldaduras se coloca en el punto de hielo del agua (0 °C), por lo que la relación termométrica queda $E = b t$, con *t* la temperatura de la soldadura de medida.

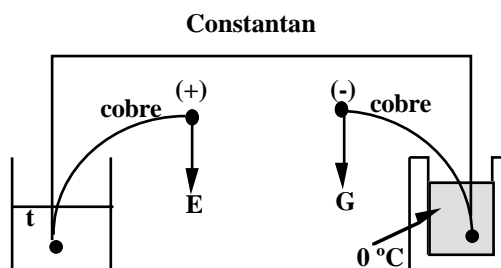


Figura 1.- Esquema de la conexión del termopar

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Es importante observar que las medidas requieren cierto tiempo, pues los termómetros deben alcanzar el equilibrio térmico con sus alrededores. Por tanto, cada vez que tengamos que hacer cualquier medida, se ha de esperar el tiempo suficiente como para que se estabilicen las lecturas de los multímetros (por ejemplo, que la variación sea menor del 0.2% para el termómetro de platino y menor del 1% para el termopar).

Medida de la fem del termopar

Las soldaduras del termopar deberán permanecer introducidos en sus vainas (metálicas o de vidrio) durante la realización de las medidas. Se ha de preparar hielo picado fundente en el vaso Dewar y dejar allí dentro durante toda la práctica una de sus soldaduras. Ésta constituirá la

soldadura fría o de referencia del termopar (1) y la otra soldadura (2) constituirá la soldadura caliente o sensora. La fem del termopar se determinará midiendo la diferencia de potencial entre sus terminales eléctricos con el multímetro Fluke (empleado como milivoltímetro DC).

Medida de temperaturas con el termómetro de resistencia de platino

El termómetro de resistencia de platino es el que se emplea en la Escala Internacional de Temperaturas y tiene una relación termométrica de la forma

$$R = R_0 (1 + A t + B t^2) \quad (2)$$

donde R_0 es la resistencia del termómetro a 0°C y las constantes A y B son características del platino. El termómetro que emplearemos aquí está calibrado de modo que $R_0 = 100.0 \Omega$, aunque este valor R_0 será también una de las medidas que realizaremos. La resistencia del termómetro de platino se determinará con el otro multímetro facilitado (empleado como óhmetro en la escala de 200Ω).

A efectos prácticos de uso del termómetro de platino, emplearemos una tabla y mediante interpolación determinaremos la temperatura correspondiente a cada lectura de la resistencia eléctrica del termómetro.

Empleo del punto de hielo del agua

Hemos dicho que la constante a de la relación termométrica del termopar toma normalmente el valor cero, pero conviene comprobar que esto es así o determinar su valor en caso de no ser nulo. Para ello se colocan las dos soldaduras en el mismo sistema y, como $\Delta t = 0$, una medida de la fem nos dará directamente el valor de a . La elección del sistema en el que se han de introducir las soldaduras es, en cierto modo, arbitraria pero, dado que la soldadura de referencia estará en el punto de hielo, conviene emplear el sistema del hielo fundente. La medida consiste simplemente en introducir las dos soldaduras en el vaso Dewar con hielo fundente, esperar un tiempo prudencial hasta que las soldaduras hayan alcanzado el equilibrio y anotar la lectura de la fem del termopar. Introduciendo también el termómetro de platino en el vaso Dewar, medid la resistencia R_0 del termómetro de platino a 0°C .

Empleo del baño termostático

Colocad el tubo de ensayo un poco de agua destilada de tal modo que el tubo quede medio lleno cuando se introduzcan en su interior, llegando ambos al fondo, el termómetro de platino y la soldadura caliente del termopar. Sin encender el baño, se colocará el tubo de ensayo en su interior y se determinarán la resistencia del termómetro de platino y la fem del termopar.

Después se fijará el control electrónico del baño para que se alcancen $30, 50, 70$ y 90°C y, tras alcanzarse los correspondientes equilibrios térmicos, se medirán los correspondientes valores de la resistencia del termómetro de platino y la fem del termopar.

Apagad el baño cuando hayáis acabado pero no saquéis el tubo de ensayo ni los termómetros.

Calibrado del termopar

Con los seis pares de valores (R, E) obtenidos se procederá al calibrado del termopar. Para ello se calcularán mediante interpolación en la tabla los valores exactos de la temperatura medida con el termómetro de platino. Con estos valores de temperatura y los de la fem, se realizará un ajuste lineal que pase por el origen y se determinará la constante b del termopar.

Uso del termopar como termómetro

Encended el baño y mirad la lectura de su termómetro incorporado en el panel frontal. Fijad el controlador electrónico de temperatura en el valor de la lectura anterior, de tal modo que el baño se quede estable a esa temperatura. Medid entonces la resistencia del termómetro de platino y la fem del termopar.

Utilizando la ecuación de la recta de regresión o ecuación de calibrado del termopar, calculad la temperatura medida por el termopar. Utilizando la tabla, calculad también la temperatura medida con el termómetro de platino. Finalmente, introducid el termómetro de vidrio en el baño y medid la temperatura.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- a) Tabla con los valores de R y E a 0 °C, temperatura ambiente, y las temperaturas aproximadas 30, 50, 70 y 90 °C.
- b) En la misma tabla anterior, valores de la temperatura calculados mediante interpolación a partir de la resistencia del termómetro de platino.
- c) Gráfica de calibrado termopar, $t = f(E)$, obtenida empleando los seis valores de temperatura calculados en el apartado b) y las medidas de la fem del termopar.
- d) Tabla de comparación de las medidas de temperatura del agua del baño realizadas con el termopar, utilizando su recta de calibrado, con el termómetro de resistencia de platino y con el termómetro de vidrio.

CALIBRADO DE UN TERMOPAR

Para calibrar el termopar establecemos una de las soldaduras a 0°C . Esto se consigue sumergiéndolo en una ~~disolución~~ ^{fundente} de hielo fundente. De esta manera la temperatura será siempre constante ya que entre el agua sólida y líquida se crea un equilibrio. ⊕

A continuación debemos comprobar que a 0°C el platino ofrece una resistencia de $100\ \Omega$. Esto nos permitirá emplear las tablas.

Seguidamente mediremos la diferencia de potencial del termopar a temperatura ambiente. Teóricamente debería ser 0, pero en caso de ser distintos se utilizará el valor empleado en la corrección de los resultados.

⊕ Se agita el hielo con una varilla para que no se compacte.

Medida de la diferencia de potencial del termopar a T° ambiente

$\Delta t = 0 \rightarrow E = 0,000 \pm 0,002\ \text{mV}$ → Medido con el Fluke
↳ va variando

$R_0 = 100,3\ \Omega \pm 0,1\ \Omega$ (→ Multímetro Test

↳ en el vaso Dewar (hielo fundente)

→ $T_{\text{vaso}} = 0,0^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (termómetro mercurio)

La experiencia consistirá en introducir el termómetro de platino y la soldadura caliente en un tubo de ensayo con agua destilada, el cual se introducirá en el baño termostático. Con el baño termostático se pueden conseguir diversas temperaturas y nosotros anotaremos la fem y la resistencia del platino en cada caso. Realizaremos estas medidas para temperatura ambiente, 30°C , 50° , 70° y 90°C (de forma aproximada).

Tabla 1 - Pares de valores de resistencia

Describir mejor el contenido

	$R(\Omega) \pm 0,1$	$E(\text{mV}) \pm 0,001$	$T_R(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{aprox}}(^{\circ}\text{C})$
T_{ambiente}	107,6	0,746	$49,5 \pm 0,3$	47,5
30	115,9 <small>115,9</small>	1,336 <small>1,336</small>	$40,9 \pm 0,3$	29,1 <small>29,1</small>
50	121,8	2,137	$56,3 \pm 0,3$	49,8
70	128,8	2,934	$74,5 \pm 0,3$	69,5
90	135,1 <small>135,1</small>	3,763 <small>3,763</small>	$94,1 \pm 0,3$	89,5

Hay que señalar que la medida de E y R era difícil de obtener, puesto que los valores cambiaban significativamente hasta alcanzar un punto estable, pero durante ese tiempo, el baño había reducido su temperatura, con lo que volvía a calentarse. Por tanto, el alcance del equilibrio era aproximado, con lo que hemos podido subestimar los errores en E y R al haber asignado su sensibilidad).

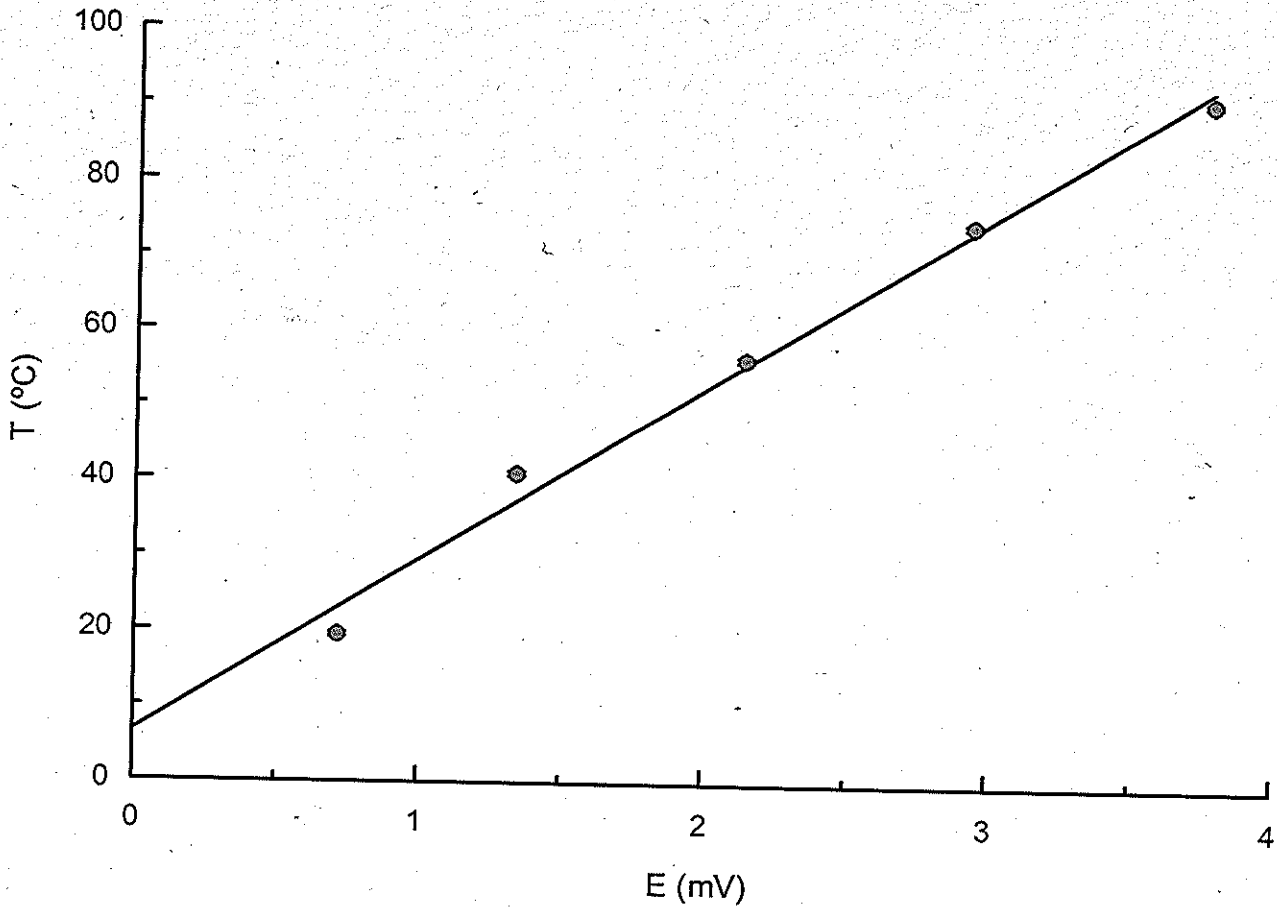
~~La interpolación~~

La temperatura se obtiene a partir del valor de la resistencia del termómetro de platino interpolando en tablas. La interpolación realizada corresponde a la de ~~seg~~ una recta y sigue la siguiente ecuación:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$f(y) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot f(x)$$

Gráfica 1 Recta de calibrado del termopar



Pie de figura: - - - - -

Ecuación de la recta: $T = (22.9 \pm 1.3) E_{(mV)} + (7 \pm 3) ^\circ C$

~~El~~ Coeficiente de correlación $r = 0.995$

¿Se no tardó en captar por las barras de error?

Como se observa, el comportamiento lineal no es especialmente bueno, (como se ve en el coeficiente de correlación lineal), pues varios puntos están a los lados de la recta y su intervalo de error está a más de dos barras de error de la recta. Esta desviación se debe a varios factores. Uno de ellos es el ya comentado de que era difícil establecer cuándo se habría alcanzado el equilibrio térmico, pues el baño no mantenía la temperatura constante (varía más de 1 grado) y el termómetro de resistencia (la medida con el ohmetro) tardaba en estabilizarse. En la 2ª medida fue especialmente variable, lo que se corresponde con una mayor desviación en la gráfica.

al hilo fundente no fuese exactamente cero, o que el termómetro de resistencia de platino no estuviese adecuadamente calibrado.

Si representamos $E = f(T)$, se obtiene un valor de la ordenada en el origen $a = -0,27 \pm 0,15 \text{ mV}$, lo que se podría aceptar como compatible con cero, al estar a menos de dos veces de error de la medida experimental de a . En cuanto a la pendiente, se obtiene $b = 0,043 \pm 0,002 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$, magnitud que se corresponde con la potencia termométrica.

Posteriormente realizamos una medida de la resistencia, la diferencia de potencial y de la temperatura mediante el termómetro de mercurio para comprobar que el termopar esté calibrado correctamente.

Tabla 2. — — — — —

$T_{\text{merc}} [^\circ\text{C}]$	$R \pm 0,1 \Omega$	$E \pm 0,001 \text{ mV}$	T_{termopar}	$T_{\text{aprox}} [^\circ\text{C}]$
73	128,6	3,000		73 $^\circ\text{C}$

Podemos calcular T_R y T_{termopar} interpolando y utilizando la ecuación $T = f(E)$ respectivamente.

$$\begin{array}{ccc}
 T_{\text{merc}} & T_R & T_{\text{termopar}} \\
 73 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C} & 74,0 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} & 75 \pm 5
 \end{array}$$

$$T_{\text{termopar}} = (22,9 \pm 1,3) \cdot 3 + (7 \pm 3) \quad \delta(T_{\text{termopar}})^2 = 3^2 + (0,001 \cdot 22,9)^2 + (3 \cdot 1,3)^2$$

Como se observa, los valores son compatibles entre sí.

En cuanto al error del T_{termopar} , se observa que el peso del error está en el error de la ordenada de origen.

CONCLUSIONES

Nuestro principal objetivo ha consistido en calibrar un termopar de cobre-constantán utilizando como patrón un termómetro de resistencia de platino.

Nos hemos basado en el efecto Seebeck, en el cual una diferencia de temperatura entre dos puntos provoca una fem. La ley nos dice que esta fem es proporcional a la diferencia de temperaturas y hemos asumido que la relación que siguen (al tratarse de temperaturas relativamente próximas) es lineal $E = a + b\Delta T$ donde a le da un carácter general a la fórmula.

A partir de cinco medidas ~~de~~ a diferentes temperaturas hemos realizado el calibrado del termopar (véase gráfica 1). Se puede observar cómo la relación que sigue es lineal. En principio no podemos contradecir esta hipótesis ya que harían falta muchas más medidas en diferentes intervalos de temperatura. Sin embargo los residuos de nuestros datos sí que nos puede hacer pensar lo contrario.

Para observar si el calibrado está bien realizado hemos efectuado una última medida con los siguientes datos:

$$T_R = 74.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{tempor}} = 75.15^\circ\text{C}$$

Vemos cómo ambos resultados son compatibles entre sí, lo que nos da prueba de que el calibrado efectuado es correcto. No obstante, el error de nuestro calibrado es excesivamente grande debido a la dificultad experimental de realizar las medidas una vez alcanzado el "equilibrio térmico"; instante difícil de determinar. Por tanto, habría que realizar más medidas o mejorar la regulación del baño termostático para obtener resultados más precisos y fiables.

⊗ Otros errores pueden ser que el hielo fundente no estuviese a 0°C exactamente o que el termómetro de platino Pt-100 no estuviese correctamente calibrado, como se observa en la medida de R_0 .