

## Construcción y verificación de un termómetro digital utilizando una curva de calibración con un multímetro

Cabrera Jaime José Alberto\*, Hernández Rodríguez Juan Martín, Ramírez Arenas Stephany,  
Valverde Labastida Mayté Sarai

Facultad de Química, UNAM. Departamento de Física y Química Teórica. Cto. Exterior S/N, C.U., Ciudad de México, C.P. 04510, México.

\*Autor para correspondencia: albertocabja@gmail.com

### Recibido:

21/julio/2019

### Aceptado:

04/noviembre/2019

### Palabras clave:

Termómetro,  
diodo Zener 1N4148,  
curva de calibración

### Key words:

Thermometer,  
Zener diode 1N4148,  
calibration curve

### RESUMEN

Se construyó un dispositivo capaz de medir la temperatura, a partir de un diodo Zener 1N4148, con una curva de calibración de la diferencia de potencial en función de la temperatura usando un multímetro calibrado, un termómetro de resistencia en platino y una resistencia también calibrada. Se realizaron variaciones en la resistencia y el potencial de trabajo, para obtener los valores óptimos en función de la sensibilidad del dispositivo. Estos valores fueron 10  $\Omega$  y 0.95 V respectivamente. Utilizando estos valores, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9976 para un intervalo de temperaturas de (-17 a 75) $^{\circ}$ C. Finalmente se estudió también la repetibilidad y reproducibilidad del dispositivo propuesto, el dispositivo mostró una buena reproducibilidad con un CV <0.5%.

### ABSTRACT

In this work, a new digital thermometer was constructed using a Zener diode (1N4148), a multimeter, a platinum resistance thermometer and a resistance. Calibration curves of the potential difference as function of temperature were constructed, the resistance value and work potential were changed to find the optimum work values: 10  $\Omega$  and 0.95 V, the system's reproducibility was studied. The Zener diodes (1N4148) showed promising characteristics to be used measuring temperature due to their linear response interval (-17 to 75 $^{\circ}$ C) sensitivity, good reproducibility (C.V <0.5 %) and low cost and uncertainly. However, it's necessary to evaluate Zener diodes behavior at higher temperatures.

## Introducción

Los termómetros de mercurio (Hg) son utilizados en ciencia e industria debido a sus intervalos de uso, fácil accesibilidad y bajo costo. Sin embargo, los países de la convención de Minamata han sugerido erradicar su uso para 2020 (Kessler *et al.*, 2013) porque todas las formas de mercurio son tóxicas (Clifton, 2007; Bakir *et al.*, 1973). Actualmente se busca sustituir estos termómetros tanto por su toxicidad como baja precisión respecto a sus contrapartes digitales. Existen al menos tres alternativas digitales comúnmente usadas para reemplazar a los termómetros de Hg: termómetros de resistencia en platino, termorresistores y termopares.

Los termómetros de resistencia deben su funcionamiento a la dependencia que tiene la resistencia de los materiales conductores a la temperatura. En teoría cualquier conductor puede ser usado en este tipo de termómetros, pero el platino es el elemento de mayor elección por su baja reactividad y coeficiente de temperatura de resistividad (Childs *et al.*, 2000). Una opción más barata que un termómetro de resistencia en platino es un termorresistor, éste consiste en un semiconductor cuya resistencia varía en función de la temperatura (Childs *et al.*, 2000). Por otra parte, los termopares funcionan por el efecto Seebeck, que se manifiesta con la aparición de una diferencia de potencial en la unión de dos conductores diferentes debido a una diferencia de temperaturas (Singh, 2009).

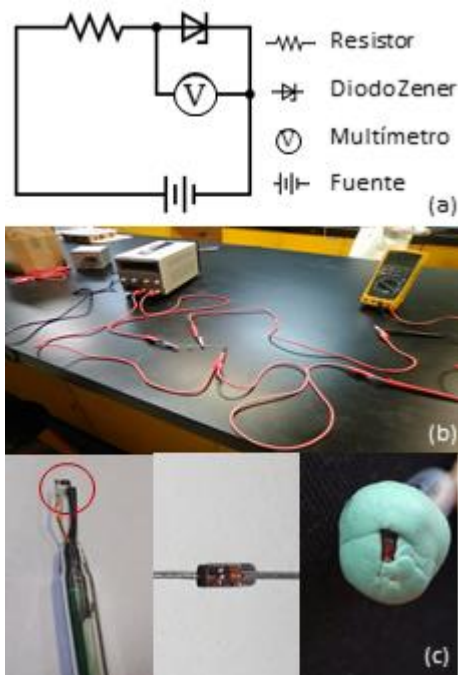
Otra alternativa, reportada con menos frecuencia para medir temperaturas, son los diodos semiconductores (Szmyrka-Grzebyk y Lipiński, 1993; Szmyrka-Grzebyk y Lipiński, 1995) como el BZAP 83 (-269 a 173°C), DT 470, DT 500, 1N 4003 y BYP 401 (-223 a 27°C). La temperatura tiene un efecto marcado en sus características (Boylestad y Nashelsky, 2009): un incremento de 20 hasta 100°C puede producir una caída de potencial de 0.2 V. Las virtudes de los diodos con potencial uso como termómetros son su bajo precio, relación lineal simple de voltaje-temperatura, alta sensibilidad (del orden de 2.5 mV/°C), precisión de hasta 50 m°C y la simplicidad que implica su operación (Krause y Dodrill, 1986).

Detectar y medir la temperatura es una necesidad crucial para incontables investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos. Conforme la tecnología progresa, incrementa la demanda por mediciones de temperatura más precisas. Por consecuencia, el presente proyecto está orientado a la construcción y verificación de un dispositivo capaz de medir la temperatura basado en un diodo Zener 1N4148, haciendo uso de una curva de calibración realizada con un multímetro, a partir de la comparación directa con un termómetro de resistencia en platino calibrado.

## Metodología

### Armado del termómetro

Para el diseño del termómetro se armó un circuito eléctrico con una fuente de poder, un resistor y un diodo 1N4148 conectados en serie y un multímetro en paralelo. El diodo se colocó en un cilindro plástico para darle mayor soporte y fue sellado con una resina epóxica resistente a las temperaturas de trabajo. El circuito utilizado está representado en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema del circuito eléctrico (a), arreglo experimental (b) y diodo 1N4148 con acercamiento a la zona indicada con un círculo (c).

Los valores óptimos de resistencia y potencial de trabajo para el diodo fueron determinados como se describe a continuación.

### Elección de la resistencia

El diodo del circuito electrónico fue sumergido en un baño de temperatura controlada y se fijó un potencial de trabajo de 0.78 V. El resistor del sistema se varió desde 0.22 a 13  $\Omega$ , siendo el resistor de 10  $\Omega$  el que presentó una mayor sensibilidad.

### Elección del potencial de trabajo

El diodo del circuito electrónico fue nuevamente sumergido en el baño de temperatura controlada y, fijando el valor de la resistencia a 10  $\Omega$ , se varió el potencial de trabajo a 0.60, 0.78 y 0.95 V, este último valor resultó el óptimo.

### Calibración del termómetro

La calibración del diodo para medir la temperatura se realizó a través por una curva de calibración por comparación directa respecto a un termómetro de resistencia en platino AMETEK STS 050 A 250 con incertidumbre  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ , un multímetro Fluke con incertidumbre de  $\pm 0.0023\text{ V}$  y una resistencia patrón de  $9.99999\ \Omega$  con incertidumbre  $\pm 0.000416\ \Omega$ , todas las incertidumbres están expresadas con  $k=2$  y los instrumentos son trazables al BIPM.

Para generar la curva de calibración, el diodo y el termómetro patrón fueron colocados en los baños a  $-17, 0, 25, 40, 60$  y  $75^\circ\text{C}$ , se registró la temperatura indicada por el termómetro y el potencial indicado en el multímetro.

### Repetibilidad y Reproducibilidad del sistema

El procedimiento descrito en el párrafo anterior se realizó por triplicado con un mismo diodo para estudiar su repetibilidad.

Para la reproducibilidad, se construyeron 5 dispositivos con diferentes diodos, Figura 2, y se evaluó la respuesta de los diodos a diferentes temperaturas contenidas en el intervalo de calibración.

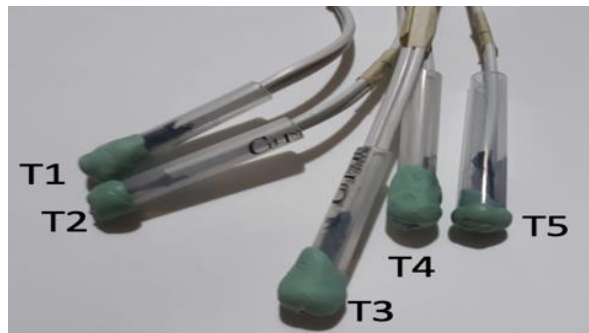


Figura 2. Dispositivos construidos con diferentes diodos.

## Resultados y discusión

### Elección de la resistencia

Los resultados, producto de la regresión lineal de los datos, de la sensibilidad en la elección de la resistencia se encuentran en la figura 3. Para variar el valor de la resistencia se utilizaron resistores comerciales. Se puede observar que hay una mayor sensibilidad por el valor de la pendiente al aumentar el valor de la resistencia del circuito.

El valor máximo del absoluto de la pendiente es obtenido con el resistor de  $10\ \Omega$ , con un valor de  $0.0008\text{ V}^\circ\text{C}^{-1}$ , por ello se seleccionó para las pruebas posteriores.

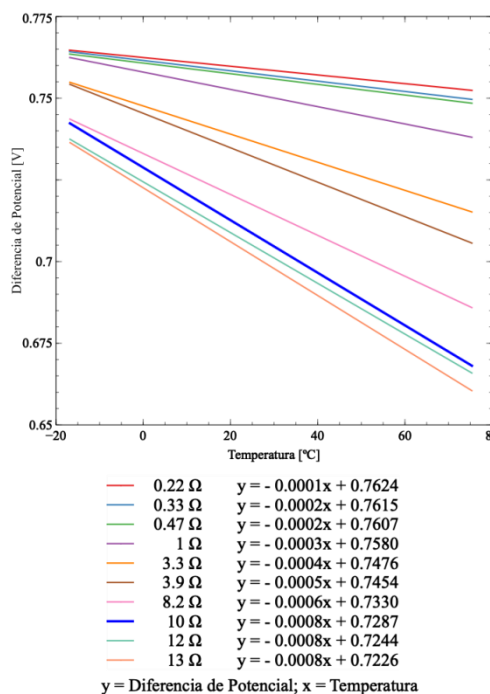


Figura 3. Resultados de la regresión lineal de los datos al elegir el valor de la resistencia. Los datos con el resistor de  $10\ \Omega$  (azul acentuado) producen una pendiente de  $-0.0008\text{ V}^\circ\text{C}^{-1}$  y una intercepción con el eje de las ordenadas de  $0.7288\text{ V}$ .

### Elección del potencial de trabajo

En la figura 4, se muestran la influencia de variar el potencial de trabajo con una resistencia patrón calibrada de  $9.99999\ \Omega$  con un valor límite de  $1\text{ V}$ . Se puede observar que hay un aumento del valor absoluto de la pendiente al aumentar el potencial de trabajo. El valor máximo del absoluto de la pendiente es obtenido con el potencial de  $0.95\text{ V}$ , con un valor de  $0.0010\text{ V}^\circ\text{C}^{-1}$ , lo que sugiere que un potencial de trabajo de  $0.95\text{ V}$  proveerá una mayor sensibilidad al dispositivo.

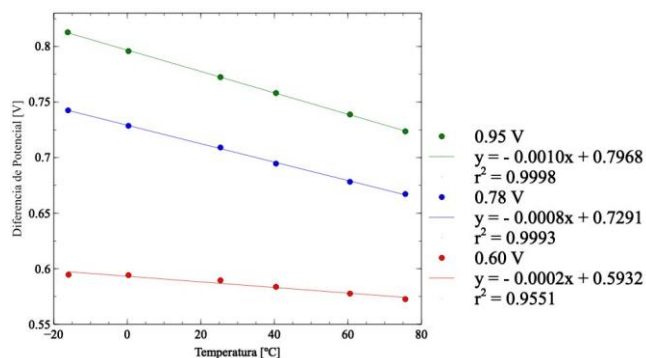
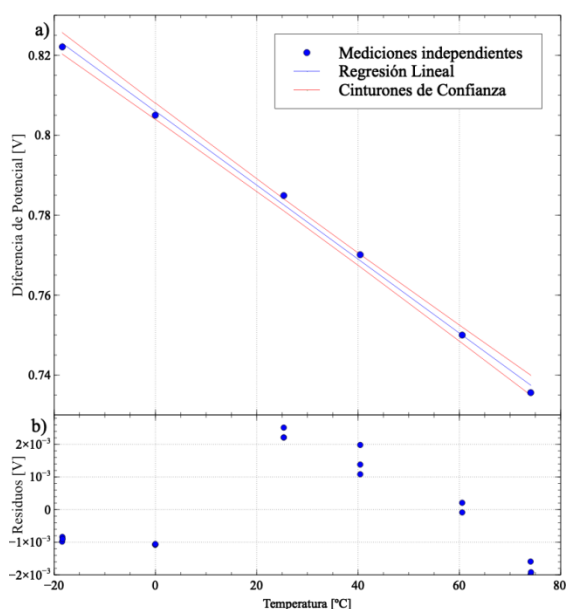


Figura 4. Resultados de la regresión lineal de los datos al elegir el valor del potencial de trabajo. Los datos con el potencial de  $0.95\text{ V}$  (verde acentuado) producen una pendiente de  $-0.0010\text{ V}^\circ\text{C}^{-1}$  y una intercepción con el eje de las ordenadas de  $0.7968\text{ V}$ .

### Calibración de Termómetro

Se realizó la curva de calibración para el dispositivo (T1) constituido por un diodo, una resistencia patrón de 9.99999  $\Omega$  y un potencial de trabajo de 0.95 V. Se hicieron mediciones independientes y por triplicado a -17, 0, 25, 40, 60 y 75°C. El promedio de las mediciones a las distintas temperaturas se muestra en la figura 5(a), en 5(b) se incluye el gráfico de residuales para demostrar un comportamiento aleatorio al realizar la regresión por el método de mínimos cuadrados. En la Tabla 1, se muestran los datos más importantes de la regresión realizada con los respectivos valores de incertidumbre ( $k=2$ ) que deberán ser asociados al realizar mediciones posteriormente con el dispositivo T1 a partir de la ecuación, se muestra además la ecuación que permitirá calcular posteriormente la temperatura con los dispositivos.



**Figura 5.** Resultados de la curva de calibración para el dispositivo T1 (a) y gráfico de residuales de la regresión por el método de mínimos cuadrados (b).

**Tabla 1.** Resultados de la regresión lineal para el dispositivo T1, los resultados se expresan con un 95% de confianza.

Pendiente	$(-9.3 \times 10^{-4} \pm 1.1 \times 10^{-5}) \text{V}^\circ\text{C}^{-1}$
Ordenada al origen	$(8.1 \times 10^{-1} \pm 5.1 \times 10^{-4}) \text{V}$
Coef. de corr. $R^2$	0.9976
$T = f(V)$	$-1.07 \times 10^3 \text{ V} + 8.66 \times 10^2$
Incertidumbre en $T$	$\pm 1.6 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$

### Repetibilidad y reproducibilidad

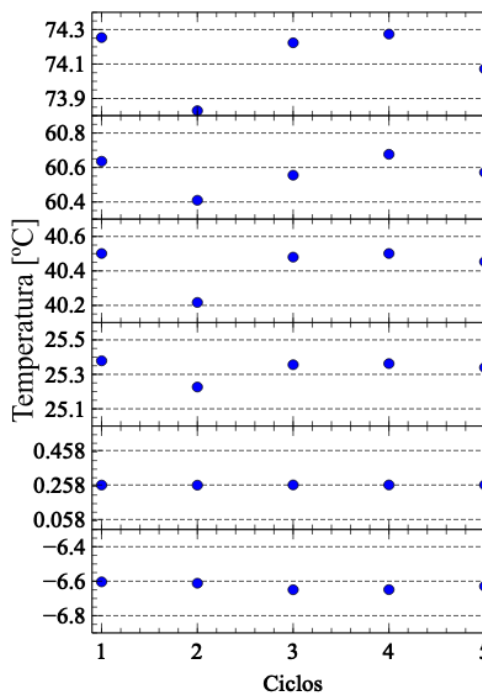
Un parámetro importante evaluado es la repetibilidad de los diodos 1N4148 al medir la temperatura. Se realizaron 6 mediciones de temperaturas dentro del intervalo lineal de los dispositivos para los dispositivos T1, T2, T3, T4, T5, a las condiciones

previamente especificadas. En la Tabla 2, se indican los % coeficientes de variación (CV) a las distintas temperaturas, la figura 6 muestra el comportamiento de las lecturas de la diferencia de potencial generadas en el diodo por efecto de la temperatura para los distintos dispositivos.

**Tabla 2.** Porcentaje de coeficiente de variación para las distintas temperaturas medidas con los distintos dispositivos.

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	-6.629	0.258	25.333	40.431	60.570	74.130
Promedio (V)	0.823	0.807	0.783	0.769	0.749	0.734
Desv. Est.	0.0026	0.0022	0.0019	0.0023	0.0013	0.0018
% CV	0.32	0.27	0.24	0.30	0.17	0.25

El porcentaje del coeficiente de variación más grande se obtiene a la temperatura promedio de  $-6.629^\circ\text{C}$ , con 0.3159%, y el más pequeño a la temperatura promedio  $40.431^\circ\text{C}$ , con 0.1684%, estos parámetros evidencian la reproducibilidad de los dispositivos. Los valores para el coeficiente de correlación para cada uno de los dispositivos son mayores a 0.9944.



**Figura 6.** Variación de la temperatura de las distintas mediciones. En azul se encuentran marcados los valores de obtenidos de cada dispositivo, el promedio de las mediciones de temperatura se encuentra marcado con las líneas punteadas centrales y valores del promedio  $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$  en las líneas punteadas inferior y superior como referencia.



## Conclusiones

Se construyó y verificó un dispositivo capaz de medir la temperatura basado en un diodo Zener 1N4148, haciendo uso de una curva de calibración realizada con un multímetro, a partir de la comparación directa con un termómetro de resistencia en platino calibrado. Se logró obtener un coeficiente de correlación de 0.9976 y para un intervalo de temperaturas de -17 °C a 75 °C. La incertidumbre de la temperatura medida con el dispositivo denominado T1 es de  $\pm 1.5 \cdot 10^{-3}$  °C, con coeficientes de variación menores al 0.5% para las diferentes temperaturas evaluadas, lo que es evidencia de la confiabilidad, reproducibilidad y repetibilidad del dispositivo propuesto por lo que se sugiere podría utilizarse en mediciones de temperatura de forma confiable y a un bajo costo.

## Agradecimientos

Al Departamento de Física y Química Teórica y al comité de la Muestra Experimental de Física Jocelyn Bell Burnell por las facilidades otorgadas y por el apoyo para llevar el proyecto más allá de la Facultad de Química. A los Laboratoristas Martín Urquiza y Azucena Gracia por el apoyo proporcionado durante el desarrollo del proyecto.

## Referencias

- Bakir F., Damluji S. F., Amin-Zaki, L., Murtadha M., Kahlidi A., Al-Rawi N. Y., Tikriti S., Dhair H. I., Boylestad R L., Nashelsky L. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. 10ª Ed. Pearson Educación, p.18-19.
- Clarkson T.W., Smith J.Jc. Doherty R.A. (1973). Methylmercury Poisoning in Iraq. *Science*, 181, 230-241.
- Clifton J.C. (2007). Mercury Exposure and Public Health. *Pediatric Clinics of North America*, 54, 237.e1-237.e45.
- Childs P.R.N., Greenwood J.R., Long C.A. (2000). Review of Temperature Measurement. *Review of Scientific Instruments*, 71, 2959-2978.
- Kessler R. (2013). The Minamata Convention on Mercury: A First Step toward Protecting Future Generations. *Environmental Health Perspectives*, 121, A304-A309.
- Krause J. K., Dodrill B. C. (1986). Measurement System Induced Errors in Diode Thermometry. *Review of Scientific Instruments*, 57, 661-665.
- Singh O. (2009). *Applied Thermodynamics*. 3ª Ed. New International (P) Limited Publishers, p.46.
- Szmyrka-Grzebyk A., Lipiński L. (1993). Low Temperature Current - Voltage Characteristics of Silicon Diodes Used as Thermometers. *Cryogenics*, 33, 222-225.

Szmyrka-Grzebyk A., Lipiński L. (1995). Linear diode thermometer in the 4-300 K temperature range. *Cryogenics*, 35: 281-284.