

# TERMOCUPLAS: UNA ALTERNATIVA PARA LA MEDICION DE TEMPERATURAS

M. A. LARA<sup>1</sup> Y R. GASPAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario  
Santa Fe 2051, 2000 Rosario.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario.

## RESUMEN

*Dentro de las operaciones científico-tecnológicas, es necesario frecuentemente medir temperaturas. En este trabajo, se discute su proceso de medición, se describen las termocuplas y se explican algunas de sus propiedades. Luego se esquematiza su proceso de construcción, y se detallan los tipos más usuales.*

## ABSTRACT

*In technical research, temperature measurement is a usual process. In this paper, the measurement procedures are analyzed, thermocouples are fully described and some of their properties are explained. Finally, construction techniques and usual types are given.*

## INTRODUCCION

La temperatura es sin duda una de las magnitudes físicas más medidas, tanto en experiencias de laboratorio como en actividades de producción o servicios.

Pese a ello, medir una temperatura no es una operación fácil. Primero es necesario precisar para qué se quiere medir una temperatura, cómo se la quiere medir (con qué periodicidad, con qué precisión), y sobre todo, qué temperatura interesa.

Aclaremos este último aspecto. La Fig. 1 nos muestra un horno destinado a la cocción de cerámicos. Si estamos interesados en el pro-

ceso de cocción en sí, mediremos la temperatura de la pieza ( $T_C$ ). Si queremos conocer el comportamiento de la aislación interior ( $T_p$ ) y la temperatura ambiente ( $T_a$ ). Finalmente, si hubiera sustancias en el aire que afectasen al cerámico a partir de una cierta temperatura, tendremos que determinar la temperatura del propio aire interior ( $T_i$ ). Para cada caso, en general, deberá recurrirse a dispositivos de medición diferentes, que registren los valores instantáneos o que tomen lecturas en el tiempo.

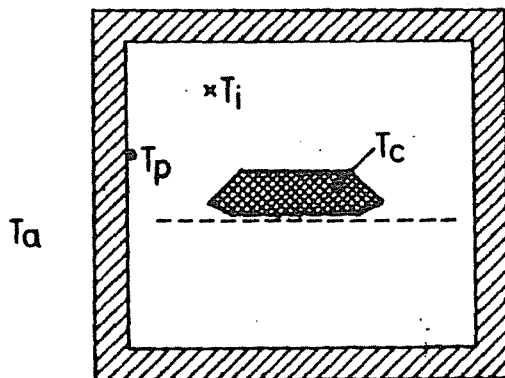


Figura 1: Temperatura en un horno para cerámicos.

El proceso básico de medir una temperatu-

ra requiere del uso de un termómetro. Un termómetro es un instrumento que proporciona una respuesta que depende de la temperatura. Existen termómetros de mercurio o de alcohol (los más conocidos para todos), pero se usan también termocuplas, termorresistencias y diversos dispositivos electrónicos. Dada la gran variedad de casos a estudiar, no existe un termómetro apto para cualquier uso. Al seleccionar uno para una aplicación dada, se deben conocer los rangos de temperatura a cubrir, el tiempo de respuesta, la precisión requerida, la rusticidad y durabilidad del termómetro, su costo y disponibilidad. En los laboratorios de física tradicionalmente se ha recurrido al termómetro de mercurio. Sin embargo, todos sabemos que son instrumentos frágiles, y que su tiempo de repuesta para algunas experiencias no es el adecuado. Con la disponibilidad reciente de multímetros electrónicos frágiles, de precio accesible, es muchas veces más conveniente recurrir al uso de termopares, usualmente llamados termocuplas.

En el presente trabajo se describe sintéticamente el principio de funcionamiento de una termocupla y las preocupaciones que deben tenerse en su uso para la medición de temperaturas. Se describen finalmente algunas técnicas para su construcción.

### LA TERMOCUPLA

Una termocupla está formada por dos materiales diferentes,  $M_A$  y  $M_B$  (Fig. 2), unidos en dos puntos A y B. La unión eléctrica en dichos puntos puede producirse de diversas maneras, como se indica más adelante.

Estas dos uniones están a temperaturas  $T_2$  y  $T_1$ , respectivamente. Si estas temperaturas son distintas, aparece una f.e.m.  $\epsilon$ , que dependerá de los materiales y de las temperaturas:

$$\epsilon \propto f(M_A, M_B, T_1, T_2) \quad (1)$$

En la figura 2, un milivoltímetro de alta resistencia interna indica dicha f.e.m. El fenómeno descrito en la Ec. 1 se denomina "efecto Seebeck", y lo trataremos de explicar mediante un modelo simple. Dado un metal  $M$ , no cargado, con su superficie a una temperatura  $T$ , si deseamos extraerle una carga  $q$  es necesario suministrarle a la misma una energía

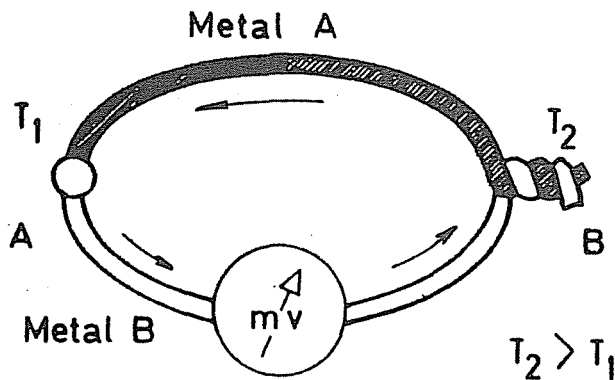


Figura 2: Una termocupla. La flecha indica el sentido de recorrido del circuito, arbitrariamente adoptado.

$W_e$ , llamada "función de trabajo" del metal. Dicha energía se observa que resulta siempre proporcional al valor de  $q$ , es decir:

$$W_e = q \cdot \Phi \quad (2)$$

donde  $\Phi$  se llama "potencial de extracción" del metal, siendo medida en Voltios. El potencial de extracción depende del tipo de metal ( $M$ ) y de la temperatura superficial ( $T$ ):

$$\Phi = \Phi(M, T) \quad (3)$$

El proceso es reversible, es decir, para hacer ingresar una carga  $q$  al metal habrá que extraerle una energía de igual valor a la indicada en la Ec. 2 (es decir que la energía intercambiada es  $-q \cdot \Phi$ ). Consideremos ahora la termocupla de la Fig.2. Recordemos la definición de fuerza electromotriz (f.e.m.) de un circuito: "En una trayectoria cerrada existe una f.e.m. de valor  $\epsilon$  si una carga  $q$  que recorra el circuito intercambia una energía  $W_T = q \cdot \epsilon$ "

Si tomamos una carga  $q$  y recorremos al circuito en el sentido indicado, al cruzar la unión A la energía intercambiada es:

$$q \cdot \Phi(A, T_1)$$

para sacarlo de A, y

$$-q \cdot \Phi(B, T_1)$$

para introducirlo en  $B$ . Análogamente, en la otra unión las energías necesarias son  $q \cdot \Phi(B, T_2)$  y  $-q \cdot \Phi(A, T_2)$ . Por lo tanto, la energía neta intercambiada en la trayectoria vale:

$$W_T = q \cdot \Phi(A, T_1) - q \cdot \Phi(B, T_1) + q \cdot \Phi(B, T_2) - q \cdot \Phi(A, T_2)$$

por lo que la f.e.m.  $\varepsilon = W_T/q$  es:

$$\varepsilon = \Phi(A, T_1) - \Phi(B, T_1) - \Phi(A, T_2) + \Phi(B, T_2) \quad (4)$$

De modo que podemos calcular la f.e.m. "Seebeck" a través de la Ec. 4 si conocemos las funciones  $\Phi(A, T)$  y  $\Phi(B, T)$ . Notemos que si  $T_1 = T_2$  dicha f.e.m. es cero. La inversa no es cierta, dado un par de metales diferentes  $M_A$  y  $M_B$ , puede haber valores de temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  diferentes y tales que la f.e.m. sea cero. Las f.e.m. generadas por efecto Seebeck son pequeñas, del orden de los microvoltios, por lo que se debe tener mucho cuidado en su medición. Por otro lado, mínimas alteraciones en la composición de los materiales pueden producir cambios sustanciales en los valores de las f.e.m. Por ello es necesario trabajar con materiales de elevada pureza e instrumentos de alta sensibilidad.

## LA TERMOCUPLA COMO TERMOMETRO

Si seleccionamos los materiales que forman la termocupla, y conocemos sus propiedades, manteniendo fija una de las temperaturas (por ejemplo  $T_2$ ), la f.e.m. dada por la Ec. 4 dependerá sólo de  $T_1$ :

$$\varepsilon = f(T_1) \quad (5)$$

Estas funciones son sencillas. Para intervalos de temperaturas de algunas decenas de grados  $f(T_1)$  puede considerarse lineal, y cuadrática o cúbica para intervalos mayores. Podemos usar la Ec. 5 al revés: medimos experimentalmente

$\varepsilon$ , y conocemos la función  $f(T)$ , podemos determinar  $T_1$ . Es decir, el dispositivo puede usarse como termómetro.

Desde el punto de vista eléctrico, el instrumento de medición equivale a un conductor, de un tercer material  $M_C$ . Si sus extremos están a la misma temperatura, la f.e.m. es independiente de la presencia de este conductor. Efectivamente, si en la Fig. 2 el milivoltímetro está a  $T_3$ ,

$$\begin{aligned} \varepsilon &= q \cdot \Phi(A, T_1) - q \cdot \Phi(B, T_1) \\ &+ q \cdot \Phi(B, T_3) - q \cdot \Phi(C, T_3) \\ &- q \cdot \Phi(B, T_3) + q \cdot \Phi(B, T_2) \\ &- q \cdot \Phi(A, T_2) \end{aligned} \quad (6)$$

cancelándose los términos tercero con sexto y cuarto con quinto, quedándonos nuevamente la Ec. 4.

Usualmente la juntura 2 (llamada juntura de referencia) se mantiene a  $0^\circ\text{C}$ , y la juntura 1 se coloca en el punto donde se desea medir la temperatura.

En la Tabla I se indican varios tipos de termocuplas (según la nomenclatura N.B.S. National Bureau of Standards, de los Estados Unidos), junto con el rango recomendado de uso de la termocupla. El máximo de dicho rango está definido por los valores de temperaturas para las que los materiales son resistentes a la corrosión. La tensión indicada en dicha tabla corresponde a la máxima f.e.m. obtenible.

En la Fig. 3 se muestran las curvas para cada tipo de termocupla de la f.e.m. en función de la temperatura, para una temperatura  $T_2$  de  $0^\circ\text{C}$ . Las máximas sensibilidades (relación entre la variación de la f.e.m. y la variación de temperatura) corresponden a aquellas curvas que tienen mayor pendiente (tipo E, J, T y K).

Habitualmente se dan en tablas o mediante fórmulas los valores de f.e.m. para una dada termocupla cuando la temperatura  $T_2$  es  $0^\circ\text{C}$ . Si en nuestro "termómetro" tenemos esa situación, directamente de tablas o fórmulas se obtiene la temperatura desconocida. Si ello no es así, aún es posible medir temperaturas mediante termocuplas si conocemos la temperatura  $T_2$ . Efectivamente, si en la Ec. 4

MATERIALES DE UNION	Temp. de utilización (°C)	Rango de tensión (mV)	TIPO
- Platino 6% Rodio - Platino 3% Rodio	38 a 1800	13,6	B
- Tungsteno 5% Renio - Tungsteno 26% Renio.	0 a 2300	37,0	C
- Cromel - Constantan	0 a 982	75,0	E
- Hierro - Constantan	-184 a 760	50,0	S
- Cromel - Alumel	-184 a 1260	56,0	K
- Platino - Platino 13% Rodio	0 a 1593	18,7	R
- Platino - Platino 10% Rodio	0 a 1538	16,0	S
- Cobre - Constantan	-184 a 400	26,0	T

Tabla 1.1: MATERIALES, TEMPERATURAS DE USO Y RANGOS DE LA F.E.M. Y LETRA CON QUE SE LAS DESIGNA EN LAS NORMAS DE LA NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (N.B.S.).

sumamos y restamos  $\Phi(A,0)$  y  $\Phi(B,0)$  y reagrupamos, nos queda:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \Phi(A, T_1) - \Phi(B, T_1) \\ &+ \Phi(B, 0) - \Phi(A, 0) \\ &- (\Phi(A, T_2) - \Phi(B, T_2)) \\ &+ \Phi(B, 0) - \Phi(A, 0) \end{aligned}$$

La primera parte es la f.e.m. correspondiente a una termocupla con sus temperaturas a  $T_1$  y 0 y el resto a un par con sus extremos a  $T_2$  y 0, cambiado de signo. Es decir,

$$\varepsilon = f(T_1) - f(T_2) \tag{7}$$

siendo  $f(T_1)$  y  $f(T_2)$  los valores de Tabla a  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente.

Dado que  $\varepsilon$  es medido por el voltímetro y, conocido  $T_2$ ,  $f(T_2)$  se puede extraer de tablas,

$f(T_1)$  es calculable. Podemos entonces evaluar  $T_1$ .

### CONSTRUCCION DE TERMOCUPLAS

#### MATERIALES

Una de las precauciones que se debe tener en cuenta para evitar errores son las impurezas en los materiales. Como expresáramos antes, modificaciones mínimas en la composición química de los metales dan lugar a variaciones significativas de la f.e.m. Por ello, deberán elegirse partidas similares. Además, hay que tener en cuenta los efectos que producen la oxidación, las condensaciones y la contaminación, que pueden modificar la composición del metal. Por ello no es del todo conveniente su utilización en ambientes húmedos o corro-

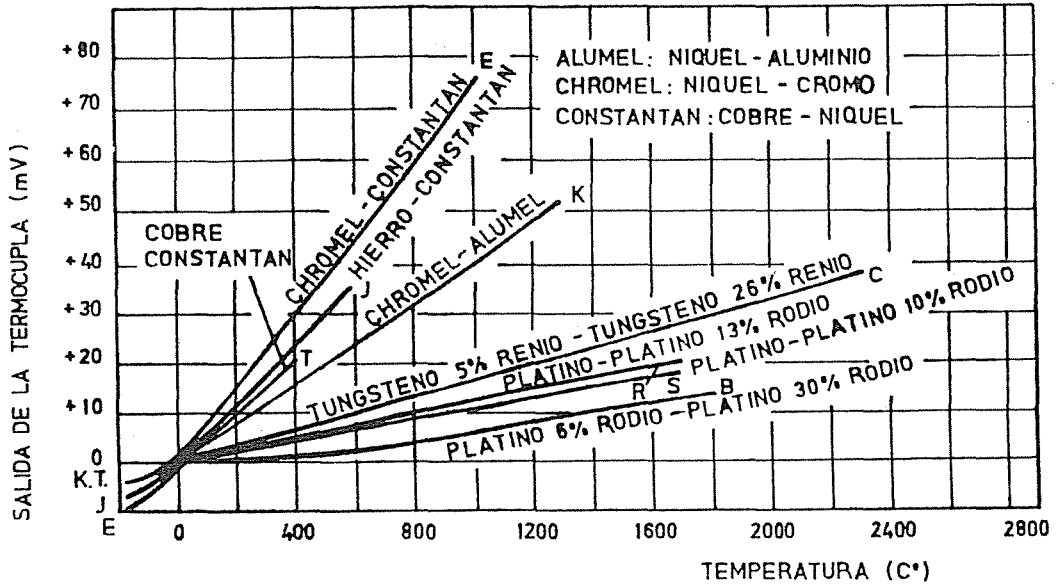


Figura 3: f.e.m. en función de la temperatura, para varios tipos de termocuplas usuales.

sivos. Si deben usarse en esos casos, debe recurrirse al uso de "vainas protectoras", que evitan estos procesos al separar la termocupla del medio ambiente.

Con respecto a la longitud del termopar, los errores no resultan importantes cuando la resistencia de la termocupla es despreciable frente a la del instrumento de medición. Sin embargo, como el costo por unidad de longitud de las termocuplas es importante, suele situarse la junta de referencia cerca del lugar de medición y luego se lleva la señal hasta el instrumento mediante los cables de idénticas características termoelectricas, generalmente de cobre de buena calidad. Estos cables se denominan "cables compensados".

Varios son los factores a tener en cuenta en la elección de los conductores para la construcción de la termocupla. Se elegirán aquellos que respondan mejor al problema estudiado: su poder termoelectrico, su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas, costo, disponibilidad del material en el mercado, etc.

La unión cobre constantán (tipo T, norma

N.B.S.) es la más clásica y la más fácil de realizar. En los comercios se las puede conseguir bajo diferentes diámetros y envainadas en forma conjunta. El cobre presenta una resistencia pequeña, propiedad importante para mediciones a distancia. Como además los bornes de los instrumentos son generalmente de cobre, no aparecen f.e.m. térmicas adicionales. Se obvia en muchos casos el uso de cables compensados.

Los conductores deben estar bien aislados uno del otro en toda su extensión. Es conveniente envainarlos: se evitan contactos térmicos y eléctricos con otros elementos; además de darle rigidez mecánica. Previo a unir los metales, sus extremos deben estar perfectamente limpios. Generalmente se los une a través de una soldadura. Si además se retuercen ambos conductores en toda su longitud, se evita la presencia de interferencias electromagnéticas externas.

## SOLDADURA

La unión que se utiliza más frecuentemente es la formada soldando los conductores con aporte de estaño (Fig. 4). Si toda la soldadura está a una única temperatura, la f.e.m. no se modifica.

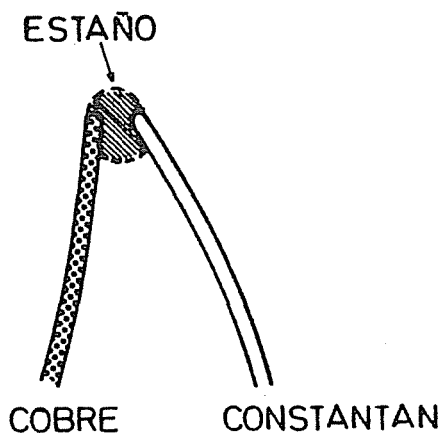


Figura 4: Soldadura cobre-constantán con aporte de estaño.

Otra unión simple es la producida en la soldadura por arco eléctrico. Se logran excelentes resultados aún en alambres de distinto diámetro. El arco se puede producir mediante la descarga de un condensador o utilizando una cuba de mercurio, donde está conectado un extremo de una fuente de corriente alterna de unos 125 Va., con tensiones de vacío de 12,5 V, y limitada en corriente a unos 10 A. El arco se produce en el mercurio, como se indica en la Fig. 5.

Un poco más compleja es la soldadura por fusión, utilizando la temperatura producida por la combustión de gases en atmósfera reductora.

Finalmente, en la soldadura por forja, se unen los conductores por la presión producida a través de otro material duro.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alegre, M. R., Ancy, M y otros - 1959

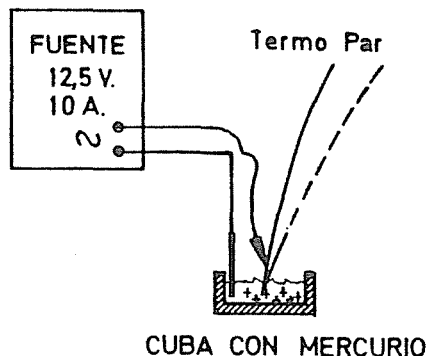


Figura 5: Esquema de la soldadura por descarga eléctrica.

- Etude de Pyrometrie Pratique - Ed. Eyrolles - Paris.
2. Benedict. R.P.- 1977 - *Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements* - Ed. J. Wiley & Sons - U.S.A.
  3. Dahl, A. I. - 1962 - *Applied Methods & Instruments, Vol. III* - Ed. Reinhold Publ. - New York.
  4. Dean Baker, H. - 1950 - *Manual on Thermometry with Emphasis on Thermocouple Techniques* - East Hartford, Conn. - U.S.A.
  5. E. H. Paul. - 1960 - *Thermoelectricity* - Ed. J. Wiley & Sons - U.S.A.