



# Física Experimental 1



## Práctica 2 - Caracterización de dispositivos de medición de temperatura

### 1. Objetivos

Se busca comprender las principales características de funcionamiento de los dispositivos de medición de temperatura. Se estudiarán las características básicas de algunos termómetros usuales y realizar una calibración de alguno de ellos.

### 2. Fundamento teórico

#### Dispositivos de medición de temperatura

En muchos sistemas de física, química e ingeniería en general, la temperatura constituye una variable física importante que necesita ser monitoreada y controlada.

Los dispositivos de medición de temperatura se pueden clasificar (según la propiedad termométrica usada), como de funcionamiento mecánico (termómetro de mercurio, termómetro de alcohol y tira bimetalica) o de funcionamiento eléctrico (detector de temperatura de resistencia, termistor y termopar). En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados. En la Tabla 1 se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura más comúnmente usados junto a algunas de sus características más notables (Gil y Rodríguez, 2001).

Tipo de termómetro	Rango nominal (°C)	Linealidad	Dif. Características notables
de mercurio	-10 a 300	buena	simple, lento, de lectura manual
termoresistencia (RTD)	-150 a 600	alta	mayor exactitud
termocupla	-150 a 1500	alta	requiere referencia de temperatura
termistor	-15 a 115	no lineal	muy sensible

Tabla 1: Algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura usuales junto a algunas de sus características más notables.

En esta práctica, nos concentraremos en los sensores de temperatura de base eléctrica debido a su mayor precisión y facilidad para proporcionar mediciones para el procesamiento de señales. Estos sensores se basan en el principio de que la resistencia eléctrica del material del que están hechos presenta una dependencia con la temperatura.

En este punto es importante mencionar el proceso de calibración de un sensor. Los sensores a utilizar no brindan de manera directa el valor de la temperatura  $T$  a la que se encuentran, sino que lo hacen de manera indirecta, mediante el valor de la resistencia eléctrica  $R$ , siguiendo determinada relación entre dichas variables. Conocer completamente la relación  $R(T)$  es lo que se denomina calibrar el sensor, de manera de que si conocemos  $R$  entonces podemos encontrar  $T$ . Como instrumento patrón para calibrar utilizaremos un termómetro de alcohol, dispositivo en el que vamos a confiar que la temperatura medida es correcta.

## Sensores de temperatura resistivos, termo-resistencia - RTD

Los termómetros de resistencia o termómetros a resistencia son transductores de temperatura (“Resistance Temperature Detector”, RTD) que se basan en la dependencia de la resistencia eléctrica de un material con la temperatura. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.

La variación de la resistencia eléctrica  $R$  que presenta un sensor RTD con la temperatura  $T$  (para la mayoría de los materiales metálicos), puede ser expresada como se muestra en la Ec. (1):

$$R(T) = R_o(1 + \alpha_1(T - T_o) + \alpha_2(T - T_o)^2) \quad (1)$$

En la Ec. (1)  $T_o$  es la temperatura de referencia,  $R_o$  es la resistencia a la temperatura de referencia, y  $\alpha_i$  son coeficientes constantes positivos. El número de términos incluidos en la expresión de  $R(T)$  depende del material y de la exactitud. Típicamente, solo se incluye el coeficiente  $\alpha_1$  ya que se obtiene un comportamiento lineal para un gran intervalo de temperaturas. Por ejemplo, el Platino (Pt) presenta un comportamiento lineal de  $R$  vs.  $T$  para el rango de temperaturas que va desde  $-75$  °C a  $50$  °C. En esta práctica, para el caso del sensor RTD, vamos a incluir solo el primer coeficiente, por lo que el modelo de resistencia en función de la temperatura que se estudiará será el que muestra la Ec. (2).

$$R(T) = R_o(1 + \alpha_1(T - T_o)) \quad (2)$$

La Figura 1 muestra un esquema de la estructura de un sensor RTD comercial, así como una imagen del mismo. Un material muy utilizado en la fabricación de estos dispositivos es el Pt, pues tiene una gran estabilidad, alto coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura, alta reproductividad y puede usarse en un amplio rango de temperaturas (Gil y Rodríguez, 2001). Están protegidos externamente por una cápsula de alúmina. Cuando son de forma cilíndrica (se consiguen de distintos tamaños y formas), tienen un tamaño de unos 10 mm de largo y unos 2 mm de diámetro. Los más comunes se denominan Pt-100, lo que indica que está hecho con alambre de platino y presenta una resistencia de  $100 \Omega$  a  $0$  °C (Gil y Rodríguez, 2001).



Figura 1: Esquema de la estructura de un sensor de temperatura RTD e imagen digital de un dispositivo comercial.

## Termistores

El termistor está formado por un material semiconductor y su funcionamiento se basa en la variación de resistividad que presenta el semiconductor con la temperatura. Cuando la resistencia

del semiconductor disminuye con un aumento de la temperatura decimos que tenemos un termistor NTC “Negative Temperature Coefficient”. Por otro lado, si la resistencia aumenta cuando aumenta la resistencia tendremos un termistor PTC “Positive Temperature Coefficient”. Una ecuación que se puede utilizar para vincular la temperatura con la resistencia en los termistores NTC es la Ec. (3):

$$R(T) = R_o \exp \left( B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right) \tag{3}$$

En la Ec. (3)  $R_o$  es la resistencia del termistor a una determinada temperatura absoluta de referencia  $T_o$ ,  $B$  es un parámetro del material (expresado en K), y  $T$  es la temperatura, también absoluta, a la cual se encuentra el termistor, para la que presentará una resistencia eléctrica  $R$ . Generalmente, el parámetro  $B$  es posible encontrarlo en las correspondientes hojas de datos que el fabricante del termistor provee al usuario. Un ejemplo de dicha hoja se ve en la Figura 2.

General technical data				
Climatic category	(IEC 60068-1)		55/125/21	
Max. power	(at 25 °C)	$P_{25}$	450	mW
Resistance tolerance		$\Delta R_T/R_T$	$\pm 5, \pm 10$	%
Rated temperature		$T_R$	25	°C
Dissipation factor	(in air)	$\delta_{th}$	approx. 7.5	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	$\tau_c$	approx. 20	s
Heat capacity		$C_{th}$	approx. 150	mJ/K

Electrical specification and ordering codes			
$R_{25}$ Ω	No. of R/T characteristic	$B_{25/100}$ K	Ordering code
15	1203	2900 ±3%	B57164K0150+000
22	1203	2900 ±3%	B57164K0220+000
33	1203	2900 ±3%	B57164K0330+000
47	1302	3000 ±3%	B57164K0470+000
68	1303	3050 ±3%	B57164K0680+000
100	1305	3200 ±3%	B57164K0101+000
150	1305	3200 ±3%	B57164K0151+000
220	1305	3200 ±3%	B57164K0221+000

Figura 2: Ejemplo de hoja de datos de un termistor donde se ve tabulado el parámetro B.

La Figura 3 muestra diferentes tipos de termistores. Si bien su tamaño es variable, en general los mismos son del orden de algunos milímetros.



Figura 3: Ejemplo de diferentes termistores.

Finalmente, en la figura 4 pueden observarse las curvas típicas de comportamiento de la resistencia con la temperatura para un sensor RTD de Pt (curva negra) y termistores de distinto valor de  $R_o$  ( $R_{25}$  en la figura). Para el caso del RTD puede verse que el corte en  $T = 0$  coincide con el valor de  $R_o$ .

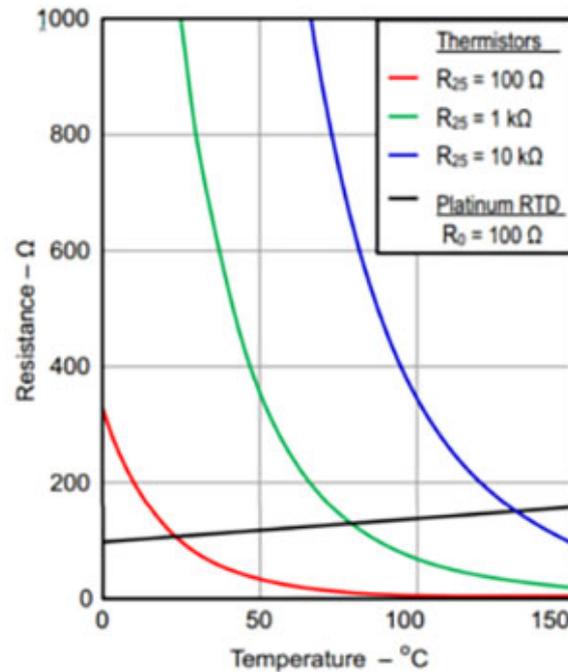


Figura 4: Curvas típicas de resistencia con la temperatura para un RTD de Pt y distintos termistores. Figura extraída de Texas Instruments

## 2.1. Ejercicio 1

1. De la Ec. (3), realizar un cambio de variables adecuado de manera que quede de la forma  $y = Mx + N$ .
2. De los coeficientes  $M$  y  $N$ , despejar los parámetros del termistor  $R_0$  y  $B$ , así como sus correspondientes incertidumbres.
3. Repetir los puntos 1 y 2, para el caso del RTD. Recordar que en esta práctica consideraremos para el RTD la siguiente relación:  $R(T) = R_0(1 + \alpha_1(T - T_0))$

## 2.2. Ejercicio 2

1. De la Ecs. (2) y (3), despejar explícitamente la temperatura en función de la resistencia, y los correspondientes parámetros, para ambos dispositivos ( $T = f(R)$ ).

## 3. Procedimiento experimental

### Calibración del RTD y/o termistor

Para obtener los datos para la calibración del RTD y/o el termistor, se utilizará un baño de agua cuya temperatura podrá ser modificada. A su vez se contará con un termómetro de alcohol y un multímetro digital (elemento para medir la resistencia eléctrica).

1. Discutir la preparación del dispositivo experimental de manera que se pueda medir en paralelo la resistencia del RTD y/o termistor junto a la temperatura del baño. Analizar qué cuidados se deben tener. Considerar que para que la calibración sea razonablemente buena, se deben medir al menos 10 puntos en un intervalo de temperaturas que va desde la temperatura ambiente a 70 °C (aproximadamente).

2. Armar el dispositivo experimental sumergiendo los elementos y sin encender el baño térmico. Tomar la primer medición con la temperatura ambiente.
3. Variar la temperatura del agua y esperar que el sistema llegue a un nuevo equilibrio térmico. En dicho momento, registrar nuevamente la temperatura del baño y la resistencia del RTD/termistor.
4. Repetir el paso 3 de manera de tener al menos 10 puntos para la calibración.

## 4. Tratamiento de datos

### Calibración del RTD y termistor

1. Graficar los datos experimentales obtenidos. ¿Siguen el comportamiento esperado? Si hay diferencias, explicar a qué pueden deberse.
2. Realizar los cambios de variable correspondiente de manera de linealizar los datos obtenidos.
3. Para el termistor, mediante el método de mínimos cuadrados, obtener los valores (junto a su incertidumbre) de los parámetros  $B$  y  $R_o$ . Verificar si existen valores de referencia para dichos parámetros y comparar en caso positivo.
4. En el caso de RTD, obtener los parámetros (junto a su incertidumbre) del modelo  $\alpha_1$  y  $R_o$ . Verificar si existen valores de referencia para dichos parámetros y comparar en caso positivo.
5. Graficar los datos linealizados y el ajuste realizado.
6. Graficar los datos experimentales junto al modelo original según sea el caso (termistor o RTD).

## Referencias

- Gil, S. y Rodríguez, E., “Física Re-creativa”, Prentice Hall, 2001.