

## Calibrado de termómetros

### Objetivos

- Preparación de un termistor para la medida de su resistencia.
- Calibrado de sondas de temperatura en el rango de temperaturas medioambientales.

### Material

- 2 termistores de 33 kΩ
- cables, vainas termorretráctiles
- 1 soldador
- 1 generador de termofusión
- Ultratermostato con bloque de aluminio
- Sonda de platino
- Termómetro digital
- 2 polímetros de 5 cifras
- 1 contactor de 4 circuitos independientes
- mazo de termistores preparados para el calibrado
- ordenador
- programa de simulación del calibrado
- Tabla resistencia-temperatura del termómetro de platino

### Fundamento

Calibrar una sonda de temperatura representa establecer una correspondencia biunívoca entre la variable termométrica de la sonda y la temperatura.

Las sondas a utilizar son termistores comerciales cuya variable termométrica es la resistencia eléctrica. Se trata de elementos semiconductores que cambian su resistencia con la temperatura según la expresión:

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}$$

donde A y B son constantes que hay que determinar a través del proceso de calibrado y T es la **temperatura absoluta** (K) a que se encuentra la sonda que presenta una resistencia eléctrica R. Si se hace un análisis dimensional podemos ver que las unidades de la constante A son unidades de resistencia mientras que las de la constante B son unidades de temperatura. Estas sondas presentan constantes de calibrado que varían de unas a otras y por lo tanto se escogerán, con el fin de tener respuestas parecidas, aquellas que tengan los calibrados mas parecidos posibles para su instalación en el lugar de experimentación. Esto induce a realizar un calibrado simultáneo de varias sondas y preparar éstas convenientemente.

El calibrado debería realizarse utilizando el ultratermostato que es, esencialmente, un baño constituido por un aceite sometido a la acción de unos mecanismos de enfriamiento y caldeo y un

circuito de regulación de temperatura. El ultratermostato sirve para someter a las sondas a calibrar a diferentes temperaturas. Para facilitar la conducción térmica en el seno del baño de aceite, hemos dispuesto un bloque de aluminio con unos orificios donde se insertan las sondas. Un termómetro de platino mide la temperatura en el bloque de aluminio y un termómetro digital de termopares mide la temperatura del baño de aceite que son ligeramente diferentes. Midiendo la resistencia eléctrica de las sondas y de la resistencia de platino mediante sendos polímetros podemos obtener (previo paso de las resistencias de la sonda de platino a temperaturas con la tabla correspondiente) una serie de pares de valores (resistencia eléctrica – temperatura). Estos pares los podemos ajustar a la exponencial que nos describe el comportamiento de los termistores y determinar las constantes de calibrado A y B.

La sonda de temperatura llamada resistencia de platino es una sonda formada por un hilo de platino. Cambia su resistencia con la temperatura según una ley conocida (por encima de 0 °C es un polinomio de grado dos de la temperatura). El estudiante dispondrá de una tabla de valores “Resistencia de la sonda de platino– Temperatura” que le permitirá conocer la temperatura del bloque de aluminio donde están los termistores midiendo la resistencia que presenta la sonda de platino.

Una de las características de los termómetros que es necesario conocer para una correcta utilización de los mismos es la llamada constante de tiempo. Para obtenerla, tenemos que considerar que el proceso de enfriamiento de un sensor con el tiempo,  $\tau$ , desde una temperatura inicial  $t_0$  hasta una temperatura final  $t_a$  (si la diferencia de temperaturas no es muy grande) puede representarse por la llamada ley de enfriamiento de Newton:

$$t - t_a = (t_0 - t_a) \exp(-\tau / k) \quad (1)$$

donde t es la temperatura del cuerpo al cabo de un tiempo  $\tau$  de comenzado el enfriamiento y la constante k recibe el nombre de constante de tiempo del sensor y depende de su forma, de su tamaño y del material de que esté construido.

El significado físico de la constante de tiempo se puede deducir de la siguiente forma: si consideramos que ha transcurrido un tiempo igual al valor de la constante de tiempo, es decir  $\tau = k$ , la ecuación que nos proporciona la temperatura del cuerpo se transforma en:

$$t - t_a = \frac{1}{e} (t_0 - t_a) = 0,368 (t_0 - t_a) \approx \frac{1}{3} (t_0 - t_a)$$

Es decir, cuando ha transcurrido un tiempo igual al valor de la constante de tiempo, la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la que pretende alcanzar es igual, aproximadamente, a la tercera parte de la diferencia inicial de temperaturas. Esto nos da una idea del tiempo que tenemos que esperar para que el sensor alcance el equilibrio con su entorno cuya temperatura queremos medir.

La determinación de la constante de tiempo se realiza midiendo la temperatura del mismo cada determinado intervalo de tiempo. Los pares de valores (t,  $\tau$ ) permiten ajustar la ecuación (1) o bien considerar la relación lineal derivada de la ecuación (1):

$$\ln(t - t_a) = \ln(t_0 - t_a) - \frac{1}{\tau} t$$

identificando términos con la ecuación de la recta  $y = m x + n$ :

## Laboratorio de Física del Medio Ambiente

$$y = \ln(t - t_a) ; \quad x = \tau ; \quad n = \ln(t - t_0) ; \quad m = -\frac{1}{k}$$

podemos realizar un ajuste por mínimos cuadrados, donde la pendiente del ajuste nos dará el valor de la constante de tiempo,  $k = -\frac{1}{m}$ .

### Realización

#### Preparación de un termistor

Para la preparación de un termistor, cada estudiante deberá soldar un cable a cada terminal de su termistor de 33 kΩ (resistencia que presenta a temperatura ambiente). A continuación se deberá tapar la mitad inferior de la cabeza del termistor con una vaina termorretráctil y aplicar el generador de termofusión con el fin de que la vaina quede pegada a la cabeza sensible del termistor. Con esto el termistor queda preparado para conectarlo al dispositivo de calibrado.

#### Calibrado de una serie de termistores

Para la obtención de cada punto de calibrado, es necesario que las sondas estén inmersas en el baño termostático un cierto tiempo (del orden de tres horas) con el fin de asegurarnos de que se aproximen lo más posible al equilibrio térmico a la temperatura que hemos fijado en el ultratermostato. Esto introduce una dificultad a la realización de la práctica en el tiempo de que disponemos y por ello se ha emulado, mediante un programa informático, el funcionamiento de dicho ultratermostato multiplicando los puestos de trabajo.

El programa está instalado en el ordenador de que dispone cada grupo de trabajo y nos proporciona, en un tiempo mucho menor que el que se requeriría utilizando el ultratermostato real, las resistencias que presentan cada uno de los termistores de la serie que queremos calibrar hasta alcanzar el equilibrio térmico a la temperatura que hemos establecido.

Al abrir el programa aparece una pantalla como la que se muestra en la figura 1. Las casillas bajo el epígrafe “segundos” nos indican el tiempo transcurrido desde que hemos puesto en marcha el proceso.). El termómetro de referencia que se utiliza es una resistencia de platino y su resistencia se muestra bajo el epígrafe “Resistencia de platino”. Como vemos en la figura, el programa está preparado para darnos la respuesta de una serie de seis termistores (casillas bajo los epígrafes “termistor 1”, termistor 2”,... etc). Las dos filas de ocho casillas en la parte superior de la pantalla tienen las siguientes características:

La fila superior nos muestra la respuesta del termómetro de platino y los seis termistores cada segundo y por tanto cambia los valores rápidamente. La fila inferior fija una medida cada 30 segundos para que el estudiante tenga tiempo de trasladar los valores a papel. Los valores de la resistencia de los termistores se dan en kΩ, y los del termómetro de platino en Ω.

Para obtener el primer punto del calibrado fijaremos la temperatura del baño a 0 °C, (temperatura inicial = temperatura ambiente, temperatura final= 0°C) y pondremos en marcha el proceso pulsando en la casilla “Empezar”, situada en la parte inferior derecha de la pantalla.

## Laboratorio de Física del Medio Ambiente

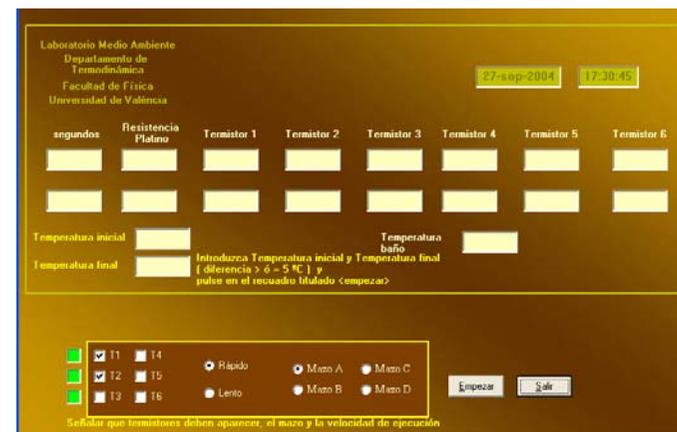


Figura 1. Pantalla del programa de calibrado

El estudiante deberá tomar nota de los valores fijados en la segunda fila de casillas (descritas anteriormente) cada treinta segundos hasta que los valores no cambien apreciablemente durante unos cinco minutos, en cuyo caso supondremos que se ha alcanzado el equilibrio térmico. El valor medio para cada termistor de estas medidas finales, en las que no hay apenas variación de la resistencia de cada sensor, junto al valor medio correspondiente a la resistencia de platino constituyen el primer punto de calibrado de cada una de las sondas. Como error de la resistencia del termistor en cada punto de calibrado se tomará la diferencia entre el valor máximo y el mínimo (medidos en los últimos minutos cuando la resistencia ya no cambia apreciablemente) dividido por dos.

Para obtener otros puntos de calibrado se irá subiendo la temperatura a intervalos mayores de 5 °C (por ejemplo temperatura inicial = 0°C y temperatura final = 7°C), repitiendo el proceso hasta alcanzar una temperatura alrededor de los 35 °C.

En la figura 2 vemos, como ejemplo del funcionamiento del programa, la pantalla que aparecería en un momento dado de una de las medidas de calibrado. Como vemos en las casillas inferiores de la pantalla, estamos en un proceso de enfriamiento donde los termistores van a cambiar su temperatura desde la temperatura inicial de 20 °C hasta una temperatura de 1 °C. La primera fila de casillas indica que hace 45 segundos que ha comenzado el proceso y cual es la resistencia que presentan tanto la sonda de platino como los termistores en ese momento. La fila siguiente indica los valores medidos a los 30 segundos de comenzado el proceso y son los que el estudiante deberá anotar.

## Laboratorio de Física del Medio Ambiente



Figura 2. Pantalla del programa de calibrado

Con los resultados experimentales, tomando las precauciones necesarias para conseguir la estabilización de la temperatura se calibrarán las sondas mediante una función exponencial ( $R = f(\text{temperatura})$ ) y mediante una función polinómica de 5º grado ( $(R = f(\text{temperatura}), e T = f(\text{intensidad}))$  que se utilizará en el datalogger utilizando un programa de gráficos como el Kaleidagraph que estará instalado en el ordenador u otros que el estudiante sepa utilizar.

### Resultados:

**Todas las medidas y resultados deben ir acompañados con su correspondiente error.**

- Termistor preparado para su calibrado
- Tabla con las medidas realizadas en la primera experiencia.
- Tabla de los valores correspondientes de la resistencia del termistor y de la temperatura del termómetro de platino.
- Curva de enfriamiento del termistor y del termómetro de platino desde temperatura ambiente hasta el primer punto de calibrado.
- Valor de la constante de tiempo de un termistor y del termómetro de platino.
- Gráfica de la respuesta resistencia – temperatura del termistor.
- Tabla de los coeficientes de calibrado de cada termistor (A y B de la función exponencial y  $m_0, m_1, m_2, m_3, m_4$  y  $m_5$  de la polinómica).
- Conclusiones.

## Laboratorio de Física del Medio Ambiente

### Medida de temperaturas en medio ambiente

#### Material:

- Paquete de sondas a termistor y sus constantes de calibrado
- Data logger
- Contenedor terrario
- Sonda de medida instalada
- Regla , azada etc

#### Objetivo:

El objetivo de la práctica es la medida de la temperatura del aire y en el suelo, a diferentes profundidades.

#### Realización experimental:

Se instalarán las sondas en el datalogger y se introducirán los datos de calibrado de cada una comprobando su funcionamiento. Seguidamente se instalarán estas sondas en el contenedor (terrario) para la medida de temperatura a tres profundidades diferentes y en el aire, y se procederá a estudiar las diferentes medidas a lo largo del periodo de realización de la práctica.

Mediante un fichero de datos proporcionado por el profesor, se estudiara la evolución de las diferentes temperaturas para varios días de medidas.

#### Presentación de resultados:

- Análisis de los datos obtenidos en el laboratorio para el intervalo de medidas.
- Análisis de los datos reales. Comparación de los distintos tipos de suelos. Ajuste a una serie de Fourier.
- Conclusiones.

### Laboratorio de Física del Medio Ambiente

**Tabla resistencia - temperatura de una sonda de platino PT - 100**

T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)														
0.0	100.000	5.10	101.992	10.2	103.980	15.3	105.966	20.4	107.949	25.5	109.929	30.6	111.905	35.7	113.879		
0.1	100.039	5.20	102.031	10.3	104.019	15.4	106.005	20.5	107.988	25.6	109.967	30.7	111.944	35.8	113.918		
0.2	100.078	5.30	102.070	10.4	104.058	15.5	106.044	20.6	108.027	25.7	110.006	30.8	111.983	35.9	113.956		
0.3	100.117	5.40	102.109	10.5	104.097	15.6	106.083	20.7	108.065	25.8	110.045	30.9	112.022	36.0	113.995		
0.4	100.156	5.50	102.148	10.6	104.136	15.7	106.122	20.8	108.104	25.9	110.084	31.0	112.060	36.1	114.034		
0.5	100.195	5.60	102.187	10.7	104.175	15.8	106.161	20.9	108.143	26.0	110.123	31.1	112.099	36.2	114.072		
0.6	100.234	5.70	102.226	10.8	104.214	15.9	106.200	21.0	108.182	26.1	110.161	31.2	112.138	36.3	114.111		
0.7	100.274	5.80	102.265	10.9	104.253	16.0	106.238	21.1	108.221	26.2	110.200	31.3	112.176	36.4	114.150		
0.8	100.313	5.90	102.304	11.0	104.292	16.1	106.277	21.2	108.260	26.3	110.239	31.4	112.215	36.5	114.188		
0.9	100.352	6.00	102.343	11.1	104.331	16.2	106.316	21.3	108.298	26.4	110.278	31.5	112.254	36.6	114.227		
1.0	100.391	6.10	102.382	11.2	104.370	16.3	106.355	21.4	108.337	26.5	110.316	31.6	112.293	36.7	114.266		
1.1	100.430	6.20	102.421	11.3	104.409	16.4	106.394	21.5	108.376	26.6	110.355	31.7	112.331	36.8	114.304		
1.2	100.469	6.30	102.460	11.4	104.448	16.5	106.433	21.6	108.415	26.7	110.394	31.8	112.370	36.9	114.343		
1.3	100.508	6.40	102.499	11.5	104.487	16.6	106.472	21.7	108.454	26.8	110.433	31.9	112.409	37.0	114.382		
1.4	100.547	6.50	102.538	11.6	104.526	16.7	106.511	21.8	108.493	26.9	110.472	32.0	112.447	37.1	114.420		
1.5	100.586	6.60	102.577	11.7	104.565	16.8	106.550	21.9	108.531	27.0	110.510	32.1	112.486	37.2	114.459		
1.6	100.625	6.70	102.616	11.8	104.604	16.9	106.589	22.0	108.570	27.1	110.549	32.2	112.525	37.3	114.498		
1.7	100.664	6.80	102.655	11.9	104.643	17.0	106.627	22.1	108.609	27.2	110.588	32.3	112.564	37.4	114.536		
1.8	100.703	6.90	102.694	12.0	104.682	17.1	106.666	22.2	108.648	27.3	110.627	32.4	112.602	37.5	114.575		
1.9	100.742	7.00	102.733	12.1	104.721	17.2	106.705	22.3	108.687	27.4	110.665	32.5	112.641	37.6	114.614		
2.0	100.781	7.10	102.772	12.2	104.760	17.3	106.744	22.4	108.726	27.5	110.704	32.6	112.680	37.7	114.652		
2.1	100.820	7.20	102.811	12.3	104.798	17.4	106.783	22.5	108.764	27.6	110.743	32.7	112.718	37.8	114.691		
2.2	100.860	7.30	102.850	12.4	104.837	17.5	106.822	22.6	108.803	27.7	110.782	32.8	112.757	37.9	114.730		
2.3	100.899	7.40	102.889	12.5	104.876	17.6	106.861	22.7	108.842	27.8	110.820	32.9	112.796	38.0	114.768		
2.4	100.938	7.50	102.928	12.6	104.915	17.7	106.900	22.8	108.881	27.9	110.859	33.0	112.835	38.1	114.807		
2.5	100.977	7.60	102.967	12.7	104.954	17.8	106.938	22.9	108.920	28.0	110.898	33.1	112.873	38.2	114.845		
2.6	101.016	7.70	103.006	12.8	104.993	17.9	106.977	23.0	108.959	28.1	110.937	33.2	112.912	38.3	114.884		
2.7	101.055	7.80	103.045	12.9	105.032	18.0	107.016	23.1	108.997	28.2	110.975	33.3	112.951	38.4	114.923		
2.8	101.094	7.90	103.084	13.0	105.071	18.1	107.055	23.2	109.036	28.3	111.014	33.4	112.989	38.5	114.961		
2.9	101.133	8.00	103.123	13.1	105.110	18.2	107.094	23.3	109.076	28.4	111.053	33.5	113.028	38.6	115.000		
3.0	101.172	8.10	103.162	13.2	105.149	18.3	107.133	23.4	109.114	28.5	111.092	33.6	113.067	38.7	115.039		
3.1	101.211	8.20	103.201	13.3	105.188	18.4	107.172	23.5	109.153	28.6	111.131	33.7	113.105	38.8	115.077		
3.2	101.250	8.30	103.240	13.4	105.227	18.5	107.211	23.6	109.191	28.7	111.169	33.8	113.144	38.9	115.116		
3.3	101.289	8.40	103.279	13.5	105.265	18.6	107.249	23.7	109.230	28.8	111.208	33.9	113.183	39.0	115.155		
3.4	101.328	8.50	103.318	13.6	105.305	18.7	107.288	23.8	109.269	28.9	111.247	34.0	113.221	39.1	115.193		
3.5	101.367	8.60	103.357	13.7	105.344	18.8	107.327	23.9	109.308	29.0	111.286	34.1	113.260	39.2	115.232		
3.6	101.406	8.70	103.396	13.8	105.382	18.9	107.366	24.0	109.347	29.1	111.324	34.2	113.299	39.3	115.270		
3.7	101.445	8.80	103.435	13.9	105.421	19.0	107.405	24.1	109.386	29.2	111.363	34.3	113.338	39.4	115.309		
3.8	101.484	8.90	103.474	14.0	105.460	19.1	107.444	24.2	109.424	29.3	111.402	34.4	113.378	39.5	115.348		
3.9	101.523	9.00	103.513	14.1	105.499	19.2	107.483	24.3	109.463	29.4	111.440	34.5	113.416	39.6	115.386		
4.0	101.562	9.10	103.552	14.2	105.538	19.3	107.522	24.4	109.502	29.5	111.479	34.6	113.454	39.7	115.425		
4.1	101.601	9.20	103.591	14.3	105.577	19.4	107.560	24.5	109.541	29.6	111.518	34.7	113.492	39.8	115.464		
4.2	101.640	9.30	103.630	14.4	105.616	19.5	107.599	24.6	109.579	29.7	111.557	34.8	113.531	39.9	115.502		
4.3	101.680	9.40	103.669	14.5	105.655	19.6	107.636	24.7	109.618	29.8	111.595	34.9	113.570				
4.4	101.719	9.50	103.708	14.6	105.694	19.7	107.677	24.8	109.657	29.9	111.634	35.0	113.608				
4.5	101.758	9.60	103.747	14.7	105.733	19.8	107.716	24.9	109.696	30.0	111.673	35.1	113.647				
4.6	101.797	9.70	103.786	14.8	105.772	19.9	107.755	25.0	109.735	30.1	111.712	35.2	113.686				
4.7	101.836	9.80	103.825	14.9	105.811	20.0	107.794	25.1	109.773	30.2	111.750	35.3	113.724				
4.8	101.875	9.90	103.864	15.0	105.849	20.1	107.832	25.2	109.812	30.3	111.789	35.4	113.763				
4.9	101.914	10.0	103.903	15.1	105.888	20.2	107.871	25.3	109.851	30.4	111.828	35.5	113.802				
5.0	101.953	10.1	103.941	15.2	105.927	20.3	107.910	25.4	109.890	30.5	111.867	35.6	113.840				

### Laboratorio de Física del Medio Ambiente