Determinación del coeficiente de temperatura de una resistencia

El Tribunal que actuó en el concurso para la provisión de la Ayudantía Honoraria de Física 2.° ha creído de utilidad la publicación, en la sección docente de pR, del trabajo presentado por el Sr. Juan A. Coch, considerando que el esmerado y eficaz tratamiento que hiciera del tema propuesto, constituye un ejemplo de alto valor educativo para los estudiantes que deseen realizar trabajos en nuestras aulas.

María A. Mesa de Romero — José Pedro Sáenz — Gonzalo Villavedra.

Informe sobre la prueba realizada para el concurso de ayudante honorario correspondiente al curso de Física de la Facultad de Química y Farmacia de Montevideo.

Aspirante *Juan Alberto Coch.*

Abril de 1952.

El carácter de este informe es el de una introducción teórica y experimental a la medida del coeficiente de temperatura de una resistencia.

El método fué elegido de acuerdo a la bibliografía consultada previamente a la realización de las determinaciones. Durante y posteriormente a dicha realización fué consultada la bibliografía sobre termómetros de resistencia, de cuya consulta surgieron nuevas directivas, tanto en lo que respecta al armado de la resistencia como a los circuitos de medida.

Por tanto, ni los resultados ni el método deben ser considerados definitivos, pues aun empleando el mismo método es posible obtener mejores resultados.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

A) Sobre medidas eléctricas:

1) Granier: "Mesures Electriques", págs. 73–79.
2) Smith: "Electrical Measurements", págs. 144 y siguientes.
3) Michels: "Advanced Electrical Meas.", págs. 24 y siguientes.
4) Allens: "Electrical Testing", págs. 100 y siguientes.

B) Sobre termómetro de resistencia:

5) Wood and Cork: "Pyrometry", págs. 88 y siguientes.
6) Am. Institute of Physics: "Temperature its measurements and control in Science and Industry", págs. 162 y siguientes. Este libro trae la bibliografía básica original y muchos trabajos del National Bureau of Standards.

A) TERMOSTATIZACION Y MEDIDA DE LA TEMPERATURA

Elegí como termostatos los siguientes sistemas en equilibrio:

1) $H_2O_{(s)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$ $\quad P = 1$ atm. $\quad t^{\circ} = 0{,}00$ °C

2) $Na_2SO_4 . 10H_2O \rightleftharpoons Na_2SO_4 +$ solución $\quad P = 1$ atm. $\quad t^{\circ} = 32{,}38$ °C

3) $H_2O_{\text{liq.}} \rightleftharpoons H_2O_{\text{vapor}}$ $\quad P = 1$ atm. $\quad t^{\circ} = 100{,}00$ °C

Estos termostatos son excelentes, simples de construir y eliminan el uso del termómetro, pues ellos son puntos fijos de la escala termométrica. La temperatura se conoce hasta la centésima de grado centígrado y la estabilidad es, cuando menos, de ese orden.

En los dos primeros casos usé como recipiente un vaso Dewar, de capacidad aproximada de medio litro, cerrado con tapón de corcho de 3 cms. de espesor, bihoradado. Una de las perforaciones llevaba el agitador de vidrio y la otra el tubo que contenía la resistencia problema.

La constancia de la temperatura es notable y se mantiene durante muchas horas, como pude comprobar con un termómetro Beckman.

En el tercer caso (punto de ebullición normal del agua), usé como recipiente el hipsómetro de Regnault. Este aparato es rudimentario y la constancia de temperatura no es tan perfecta como en los casos anteriores. Además presenta el inconveniente de tener en cuenta la presión externa.

En todos los casos el sistema medidor (ver. fig. 1) fué llevado previamente y en forma rápida a una temperatura muy próxima a la del termostato. Luego se introducía en él y se medía la resistencia a intervalos regulares de tiempo hasta obtener un valor fijo. Procediendo de esta manera, a los quince minutos se tenía estabilización de la temperatura.

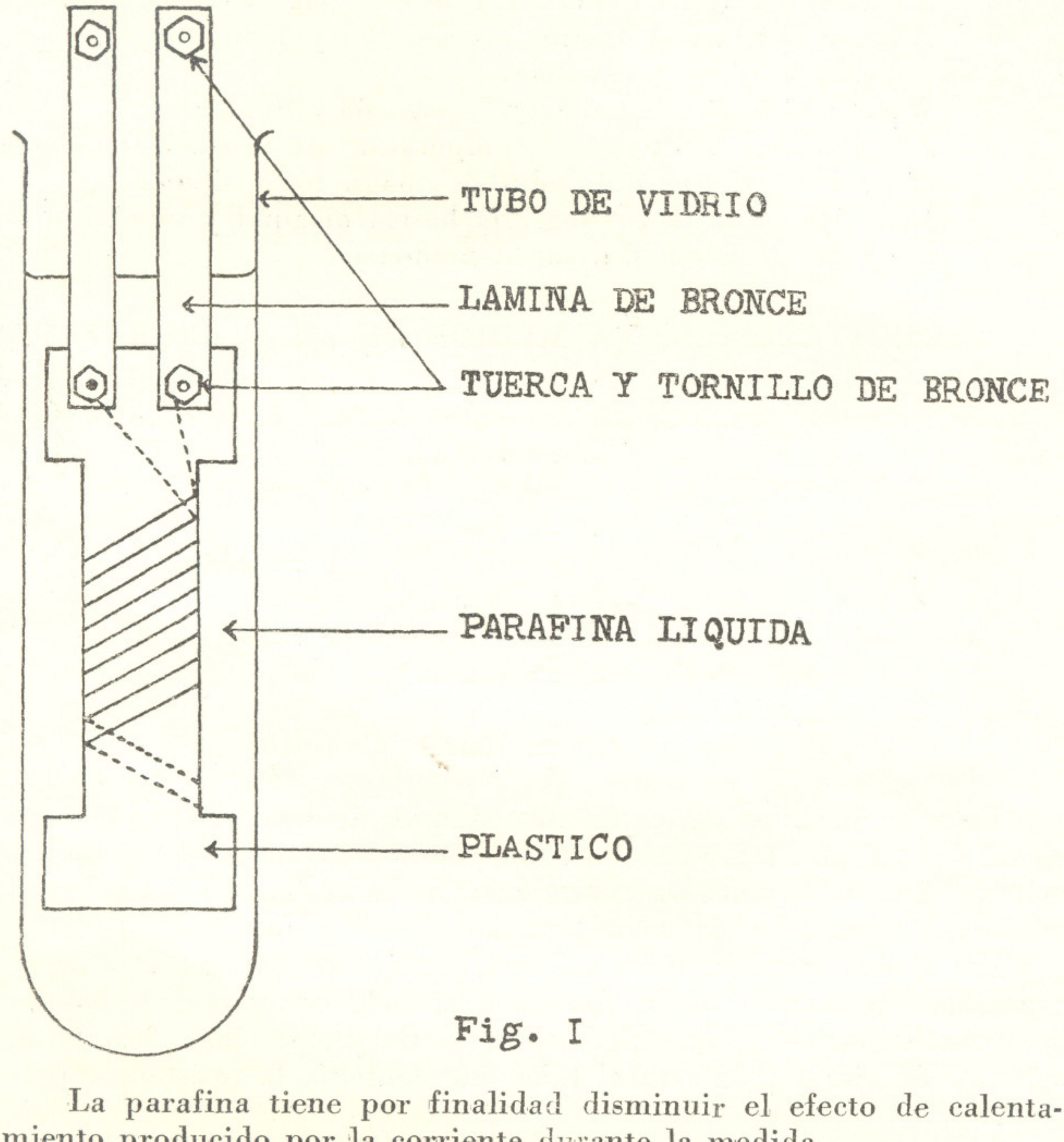


Fig. I

La parafina tiene por finalidad disminuir el efecto de calentamiento producido por la corriente durante la medida.

B) MEDIDA DE LA RESISTENCIA

(Valor aprox.: 1,8 ohmios)

Entre los métodos propuestos los más aceptados son:

a) Métodos derivados del puente de Wheastone.

b) Método potenciométrico.

Cualquiera de estos métodos, razonablemente adaptado, era suficiente para resolver el problema en primera aproximación. Por ejemplo, el potenciométrico puede usarse para termómetro de resistencia con ventajas y limitaciones; ver B, 6, 167 y B, 5, 98.

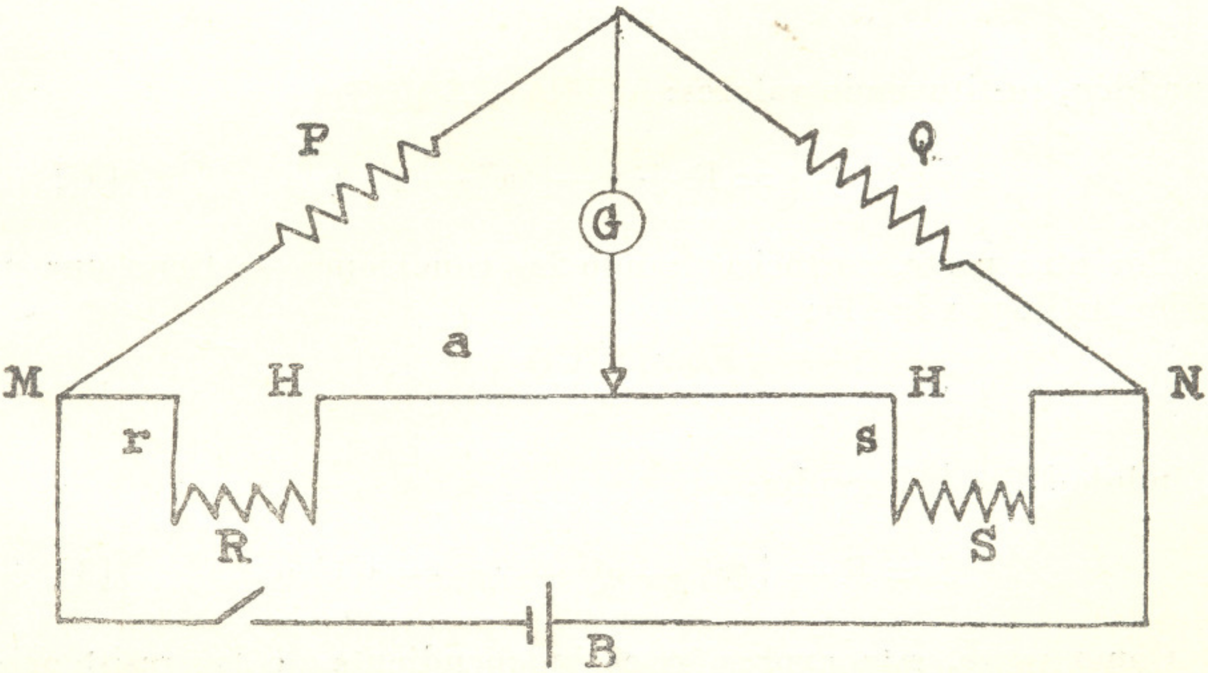
Yo elegí un puente derivado del Wheastone, el Carey Foster, pues es indicado para resistencias bajas y medias, de modo que abarcaba nuestro problema. B, 3, 23.

En efecto, para una resistencia de este valor (1,8 Ω), unida por un cable como el que yo usé en la medida cuya resistencia es aproximadamente de 0,06 ohmios, el error relativo es de 3 % si se procede con el Wheastone, pues lo que se mide es el problema más la resistencia de las conexiones. Como veremos operando con el Carey Foster, este error es eliminado.

TEORIA DE LA MEDIDA

B, 2, 114 y sig. B, 3, 24 y sig. B, 4, 100 y sig.

ESQUEMA DEL PUENTE DE CAREY FOSTER



R	resistencia patrón
r	resistencia de la conexión correspondiente
S	resistencia problema
s	resistencia de la conexión correspondiente
P y Q	dos resistencias fijas
H,H	puente hilo de ρ ohmios por unidad de la escala
G	galvanómetro
B	batería de 2 v.

Llamemos R' y S' a los conjuntos $R + r$ y $S + s$.

Llamaremos $R_{M,N}$ la resistencia del trayecto M,N conteniendo la resistencia problema.

Se tiene la conocida relación:

$$\frac{P}{P + Q} = \frac{R' + a' \varrho}{R_{MN}}$$

Intercambiemos R' con S', se tiene:

$$\frac{P}{P + Q} = \frac{S' + a'' \varrho}{R_{MN}}$$

de donde se deduce que:

$$R' + a' \varrho = S' + a'' \varrho$$

o

$$S' = R' - (a'' - a') \varrho \qquad [1]$$

y también, sustituyendo valores:

$$S + s = R + r - (a'' - a') \varrho \qquad [1']$$

Por otra parte, cortocircuitando las conexiones, se tiene una expresión análoga a la [1]:

$$s = r - (a_2 - a_1) \varrho \qquad [2]$$

restándole [2] a [1] resulta:

$$S = R - [(a'' - a') - (a_2 - a_1)] \varrho \qquad [3]$$

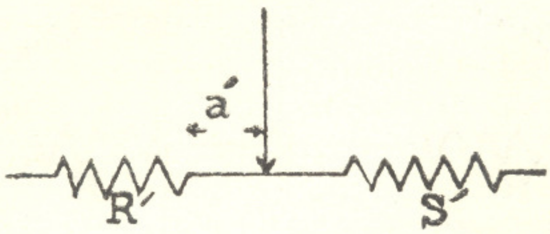
Como se ve, esta expresión es independiente de las resistencias *s* y *r* de las conexiones.

$(a_2 - a_1) \varrho$ mide la diferencia de la resistencia de los conectores; en nuestro caso, $a_2 - a_1$ era de aproximadamente 20 y como ϱ era 3×10^{-3} ohmios por división, resultó un valor de 0,06 ohmios.

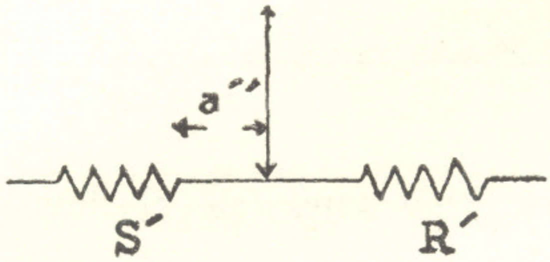
Si *s* es igual a *r*, p. ej.: si ambos son nulos o si su diferencia es menor que el error del método, entonces $a_2 - a_1$ es igual a 0 y la [3] se convierte en:

$$S = R - (a'' - a') \varrho \qquad [3']$$

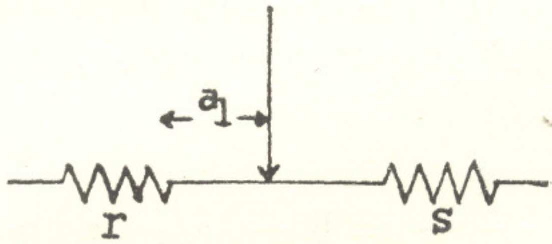
ESQUEMA DE LA MEDIDA DE Ŝ



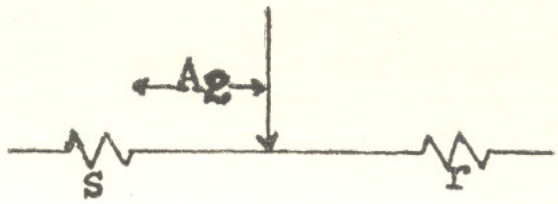
I



II



III

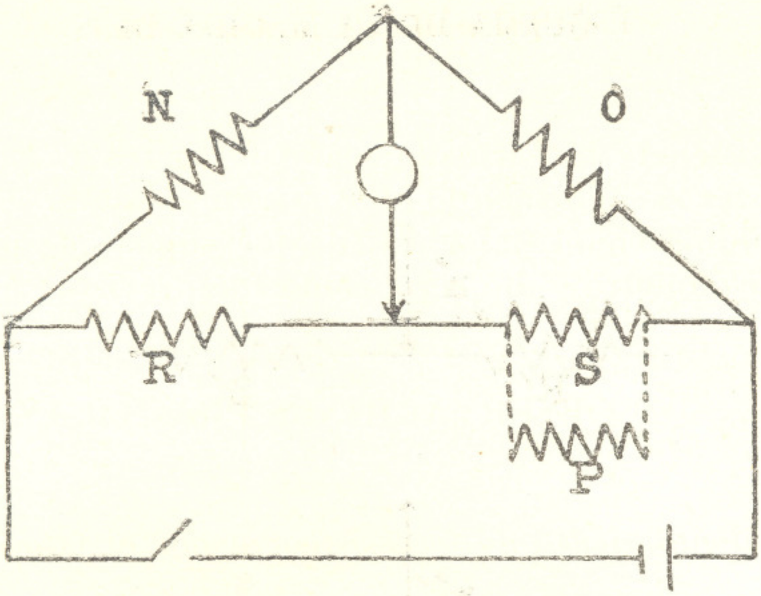


IV

Si hacemos s — r suficientemente pequeño, la medida consta sólo de las dos primeras operaciones.

Medida de ϱ

1) *Método del shunt.* B, 2, 114 y sig. B, 3, 24 y sig.



Primero se opera como antes (sin el shunt) y se tiene según la [1]:

$$S = R - (a'' - a')\,\varrho \qquad [4]$$

Se shunta *S* con *P* aproximadamente 100 S y se tiene en vez de *S* una resistencia S.P/S+P, que se mide según el mismo procedimiento, teniéndose:

$$S\frac{P}{S + P} = R - (a_2 - a_1)\,\varrho \qquad [5]$$

restando y despejando ϱ, se tiene:

$$\varrho = \frac{S^2}{(S + P)[(a_2 - a_1) - (a'' - a')]} \qquad [6]$$

2) *Método directo.* B, 4, 100 y sig.

Tomando dos resistencias cuya diferencia sea aproximadamente la resistencia del hilo, se tiene operando como siempre:

$$S = R - (a'' - a')\,\varrho$$

$$\varrho = \frac{R - S}{a'' - a'} \qquad [7]$$

Este método es más simple que el anterior y puede hacerse más exacto (ver más adelante discusión).

Armado de la resistencia

La resistencia fué armada según la figura 1. El plástico fué probado para ver si soportaba los 100 °C sin ablandarse.

La conductividad del plástico, que supuse despreciable, fué controlada por óhmetro y dió cero, como fué previsto.

OBSERVACIONES PRACTICAS

1) *Calentamiento de la resistencia por el pasaje de la corriente.*

Estando el puente alimentado directamente por los 2 volts de la batería, resulta que dada la baja capacidad calorífica del conductor problema y su baja resistencia, la corriente que lo atraviesa lo calienta en forma apreciable como para que el galvanómetro desvíe progresivamente hacia un lado. Pude verificar:

a) Calentando la resistencia con la mano o con una lámpara eléctrica, la desviación aumenta en el mismo sentido y rápidamente.

b) Si sustituimos la resistencia problema por una caja de resistencia, el galvanómetro indica una posición fija; luego, el calentamiento por la corriente sólo afecta a la resistencia problema.

c) Si aumentamos el valor de la resistencia de la caja, la desviación del galvanómetro se produce en el mismo sentido que en a).

Luego el pasaje de la corriente calienta la resistencia problema y ésta aumenta. La solución es evidentemente bajar la tensión aplicada al puente hasta un valor en el cual el calentamiento sea despreciable. Esto lo logramos alimentando el puente con un potenciómetro al que adicioné un voltímetro con la finalidad de controlar la tensión aplicada (ver fig. 2).

La tensión eficaz (en el momento de la lectura) era de aprox. 0,3 volt y la corriente que pasaba por la rama problema era de 100 miliamperes (cuando el calentamiento era despreciable).

Estos resultados fueron obtenidos operando con la resistencia problema en el aire. Las mismas operaciones fueron repetidas con la resistencia sumergida en parafina y se observó el mismo efecto aunque algo atenuado.

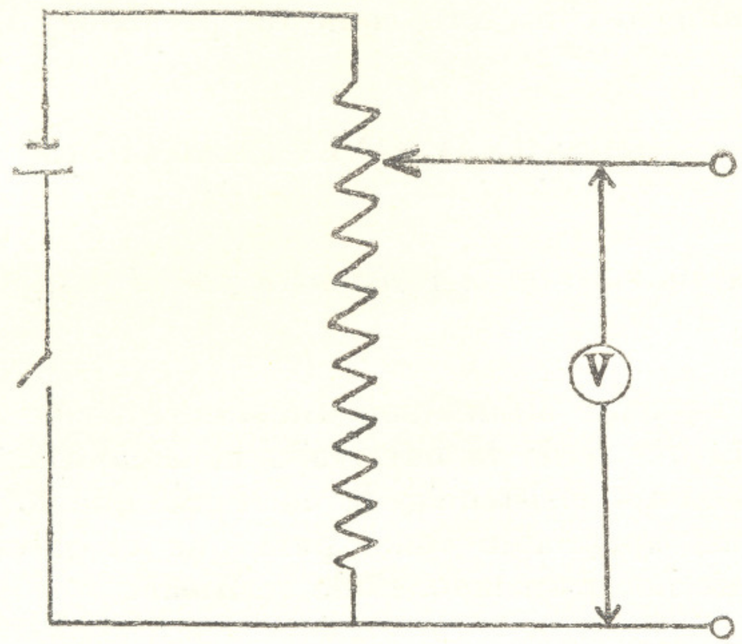


Fig. 2

2) *Sensibilidad.*

Usando una buena lupa para observar mejor la desviación de la aguja del galvanómetro se observó durante toda la medida:

a) Un umbral de sensibilidad de aproximadamente de 0,2 de división del puente o sea aproximadamente 0,66 miliohms.

b) Una sensibilidad de 0,5 div. de galvanómetro por 0,5 división del puente hilo, o sea ⅓ de div. por miliohm. El puente es pues sensible al miliohm.

3) *Precisión.*

En un control de precisión obtuve las siguientes lecturas:

253,6	div.	253,8	div.	254,0	div.
254,0	”	253,8	”	254,0	”
253,8	”	253,8	”	253,8	”
253,8	”	253,8	”	253,8	”
253,8	”				

R	a″	a′	a″—a′	a_2	a_1	a_2—a_1	d	dϱ	S=R—dϱ Punto 100°00 °C
2.500	204.6	139.75		161.6	180.5				
”	204.6	139.7		161.6	180.5				
”	204.7	139.75		161.5	180.5				
”	204.75	139.75		161.6	180.6				
”	204.75	139.75		161.6	180.6				
”	204.75	139.6		161.5	180.6				
”	204.8	139.6		161.6	180.6				
”	204.75	139.75							
”	204.75	139.7							
			65				84.00		$\boxed{2{,}250\ \Omega}$

$h_1 = 764.0$

$t_b = 21.5$

$h_{corr.} = 761.5$

$P.E_{761.5} = 100.05$

$\cong 100.00$

con $\varepsilon \sim 5$ en 10 000

Los valores que están recuadrados son los promedios.

$R = 2{,}500\ \Omega$ L. N clavijas

$$S = R - \frac{[(a''-a')-(a_2-a_1)]}{d}\varrho$$

Punto 0°00 °C

R	a″	a′	a″—a′	a_2	a_1	a_2-a_1	d	dϱ	R—dϱ Ω
2,500	319	26.6		161.6	180.6	—19.6			
”	”	26.6		161.6	180.5	—18.9			
”	”	26.6		161.6	180.6	—19.0			
”	”	26.6		161.6	180.6	—19.0			
”	”	26.8	292.4	161.6	180.6	—19.6	331.45	0.925	$\boxed{1.575\ \Omega}$

Punto 32°38 C°

R	a″	a′	a″—a′	a_2	a_1	a_2-a_1	d	dϱ	R—dϱ Ω
2,500	283	62.5	220.5	161.6	180.5				
”	283	62.6	220.4	”	”				
”	282.8	62.4	220.4	”	180.6				
”	282.8	62.4	220.4	”	”				
”	283	62.5	220.5	”	180.5				
”	282.8	62.3	220.5	”	”		239.45	0.7110	$\boxed{1{,}789\ \Omega}$

Hilo shuntado a 1 Ω.

$$\varrho = \frac{S^2}{(S+P)(d-d')}$$

S	S^2	S+P	a″	a′	d′	a_2	a_1	d	d—d′	$\frac{(S+P)}{(d-d')}$	ϱ mΩ/div
9	81	909	172	176.5	—4.5	187.4	162	25.4	30	2727	2.97
”	”	”	173	176.5	—3.5	188.4	162.2		29.7	2699	3.00
”	”	”	175.5	176.45	0	191.3	161.3		30	2727	2.97
”	”	”	176.6	172.8	3.8	191.3	157.7	33.6	29.8		2.99
”	”	”	173	176	—3	188	161	27	30	2727	2.97
”	”	”	173.4	176	—2.6	188.4	161	27.4	30	2727	2.97
”	”	”	173.4	175.6	—2.2	188.5	161	27.5	30	2727	2.97
”	”	”	173.6	176	—2.4	188.6	161	27.6	30	2727	2.97
”	”	”									$\boxed{2.97}$

Resistencia de 9 Ω de la caja L. N. de cursor.
” ” 900 Ω ” ” ” ” ” clavijas.

Resultados

Dado el carácter de medida preliminar expreso el resultado simplemente por los coeficientes cero medios en los intervalos correspondientes.

La expresión es

$$a = \frac{S - S_0}{S_0} \cdot \frac{1}{t} \quad °C^{-1}$$

Resultados de acuerdo a las planillas: :

$$a_{(0-32,38)} = \frac{6{,}6 \, . \, 10^{-3}}{1{,}575} = 4{,}19 \, . \, 10^{-3} \quad °C^{-1}$$

$$a_{(0-100)} = \frac{6{,}8 \, . \, 10^{-3}}{1{,}575} = 4{,}31 \, . \, 10^{-3} \quad °C^{-1}$$

Como se ve la función S(t) no es lineal, de modo que hay que introducir por lo menos un segundo coeficiente b .

Antes de ir a ello, habría lógicamente que hacer algunas modificaciones en la técnica, como se señalan a lo largo del trabajo.

Con respecto al dato numérico quiero agregar que el valor cae dentro de los valores normales, pues según B 5,89 el coeficiente medio de los metales es de $3{,}9 \, . \, 10^{-3}$ $°C^{-1}$ y el apartamiento de $\pm$ $0{,}5 \, . \, 10^{-3}$ $°C^{-1}$. Nuestro valor cae pues, dentro del intervalo.

NOTA. *Todas las medidas son totalmente independientes.*
La medida de la resistencia en el punto 100,00 °C fué repetida dos días despueś y dió concordante en la cuarta cifra.

Ajuste de la medida en las condiciones de trabajo

1) *Termostatización necesaria.*

Siendo el coeficiente de la resistencia 6,6 mΩ/°C y la sensibilidad de 0,75 mΩ resulta que:

6,6 mΩ .... 1 °C
0,75 mΩ .... X ”

$$X \sim 0{,}1 \text{ °C}$$

de modo que la termostatización debe ser al décimo de grado centígrado, por lo menos.

2) *Exactitud, aproximaciones.*

Siendo

$$S = R - (a'' - a') \, \varrho$$

o más brevemente

$$S = R - (a'' - a')\,\varrho = R - \Delta\varrho$$

resulta para la cota de error

$$dS = dR + \Delta d\varrho + \varrho d\Delta$$

y también

$$dS = \Delta d\varrho + \varrho d\Delta$$

suponiendo despreciable el error de la caja.

De acuerdo a las medidas puede ponerse:

ϱ	Δ	$d\varrho$	$d\Delta$
3.10^{-3} Ω/d	200 d	2.10^{-5}	0.25

de donde

$$dS \sim 5.10^{-3} \text{ ohm.}$$

o sea un error relativo de 2,5 por mil.

Veamos la influencia de este error en el dato del coeficiente.

Poniendo brevemente

$$S = S_0\ (1 + at) \qquad [8]$$

se tiene

$$\frac{S - S_0}{S_0} = at \qquad [8']$$

y

$$a = \frac{1}{t}\,\frac{(S - S_0)}{S_0} \qquad [8'']$$

De la [8″] se desprende la siguiente cota de error

$$\frac{da}{a} \cong \frac{d(S - S_0)}{S - S_0} + \frac{dS_0}{S_0} + \frac{dt}{t} \qquad [9]$$

que en nuestro caso se convierte groseramente en

$$\frac{da}{a} \cong \frac{d(S - S_0)}{S - S_0} = \frac{2\ dS}{S - S_0} = \frac{2.5.10^{-3}}{0.7} \sim 1\ \%$$

DISCUSION POSTERIOR

Según la [9] se ve que conviene disminuir dS y aumentar $S - S_0$. Por la [8′] vemos que manteniendo fijo el intervalo t (p. ej. entre 0° y 100°), podemos aumentar $S - S_0$, pues en este caso

$$\frac{S - S_0}{S_0} = \text{cte.}$$

Entonces una consideración fundamental es la de trabajar con S_0 grande, por ej. 20 ohms en lugar de 1,5 como la resistencia problema.

En los termómetros de resistencia se usan valores de ese orden precisamente (ver B. 5 y B. 6). Por otra parte, los valores grandes de S_0 hacen pequeño también el valor del segundo término del miembro derecho de la ec. 9.

Veamos ahora el término dS.

$$dS = \Delta d\varrho + \varrho d\Delta$$

Para disminuir dS tenemos que disminuir cada uno de los sumandos y, a su vez, los términos Δ, ϱ, $d\Delta$ y $d\varrho$.

1) Según expresión general $S = R - \Delta\varrho$ o sea $R - S = \Delta\varrho$, vemos que nos conviene hacer la patrón (R) lo más próxima posible a la problema (S), pues entonces el producto $\Delta\varrho$ disminuye. Precisamente (B. 3 p. 23) el método de Carey–Foster es muy usado para comparar resistencias muy semejantes, por ej. patrones primarios con secundarios.

Esto implica dos cosas:

a) Una medida previa de la resistencia problema.

b) Una caja de resistencias adecuada, por ej. en 0,1 ohm.

2) En lo que respecta a d hay que tener en cuenta fundamentalmente la bondad de la escala.

3) Para el término d volvamos a las [6] y [7]:

$$\frac{d\varrho}{\varrho} \cong \frac{d[(a_2 - a_1) - (a'' - a')]}{[(a_2 - a_1) - (a'' - a')]} \qquad [6']$$

$$\frac{d\varrho}{\varrho} \cong \frac{d(a'' - a')}{(a'' - a')} \qquad [7']$$

a) Comparando los numeradores, vemos que la [7′] es la más conveniente, pues las cotas máximas son:

4.da .... 6″

2.da .... 7″

b) En los denominadores también el [7′] aventaja al [6′], pues (ver planilla):

$$(a_2 - a_1) - (a'' - a') \cong 30 \qquad 6'''$$

$$(a'' - a') \cong 340 \qquad 7'''$$

pues $a'' - a'$ puede hacerse aproximadamente igual a la longitud del hilo. Con estos datos resulta para el [7′] un valor de aprox. 0,6 % en lugar del 1 % hallado en la práctica por el método del shunt.

Volvamos a la expresión: $dS = \Delta d\varrho + \varrho d\Delta$.

$d\varrho$ y $d\Delta$ son constantes; llamémoslas a y b; x y z a las variables y. Tenemos:

$$dS = ax + bz \qquad [10]$$

Vamos a suponer que trabajamos con

$$R - S = \Delta\varrho = 0{,}05 \text{ ohm} = \text{cte}$$

por las razones vistas. Luego a la [10] se debe agregar la [11]

$$xz = \text{cte} = 0{,}05 \qquad [11]$$

Interesa saber si la función [10], [11] tiene un mínimo. Esto sucede efectivamente, pues

$$y = ax + b'/x \qquad (b' \cong 0{,}05\ b)$$

derivando:

$$y' = a - b'/x^2 \qquad \text{(dice menos)}$$
$$y'' = b'/x^3 > 0$$

El mínimo está dado por

$$a - b'/x^2 = 0 \qquad x = (b'/a)^{1/2}$$

Excluyéndose la solución negativa, puesto que x es siempre positiva.

El valor de x así hallado nos indica el hilo que debemos usar, pues se debe verificar la [11]. Por ejemplo, tomando

$$b = 0{,}2$$
$$b' = 0{,}2 . 0{,}05 = 10^{-2}$$
$$a = 2 . 10^{-5}$$
$$x = 22 \text{ divisiones}$$
$$\therefore \quad \varrho = 2 \text{ miliohm/división}$$

Calibración del hilo

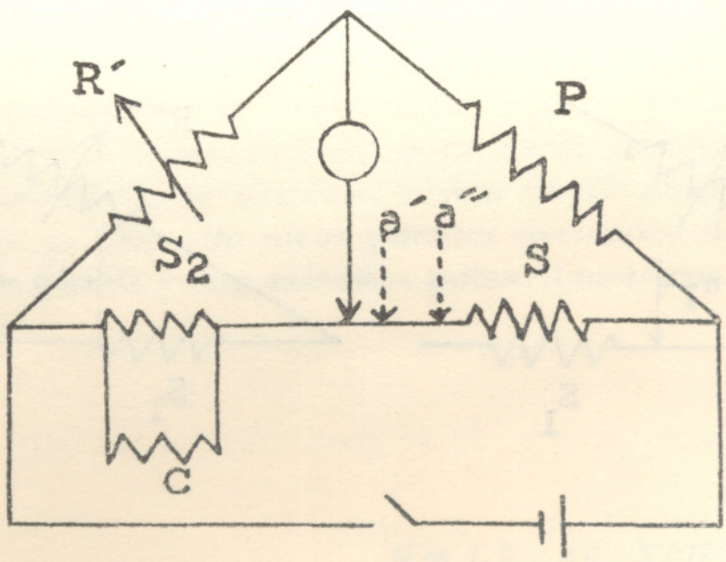
Hasta ahora hemos supuesto que ϱ es constante a lo largo del hilo. Corresponde:

1.°) Averiguar si esto ocurre.

2.°) En caso de que no ocurra calibrar el hilo.

1.°) Control de uniformidad. B. 3 p. 25.

Puente a usar:



P resistencia fija; R' resistencia variable; S_1 y S_2 dos resistencias exactamente iguales; C shunt (calculado más abajo); S' es la resistencia reducida de S_2 y C.

$$S_1 - S' = \varrho_{0-1} \, (a_0 - a_1)$$

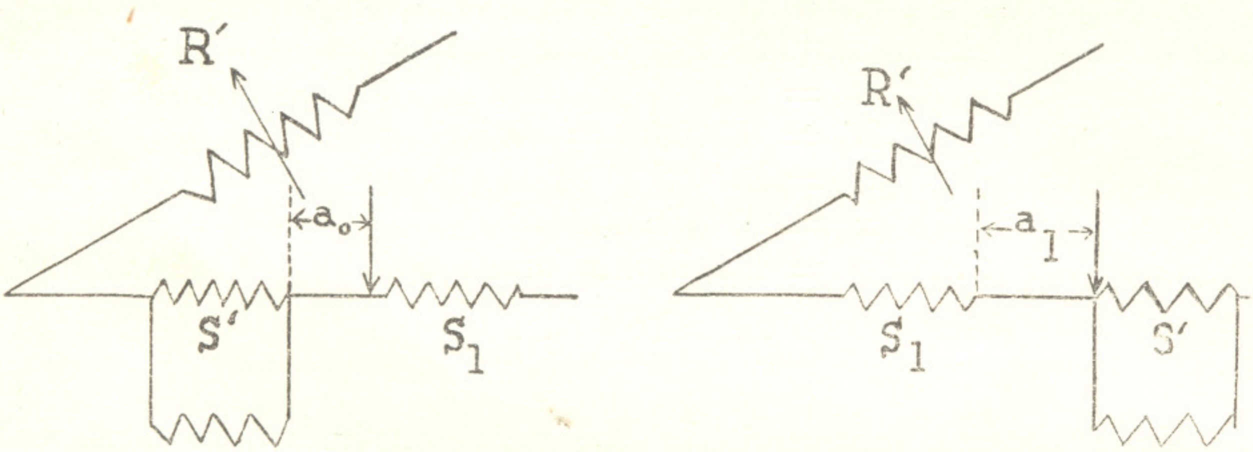
Variando R' se puede llevar el cursor a cualquier posición inicial, pero como muestra la fórmula anterior, dados S_1, S' y ϱ, $a_0 - a_1$ es corriente.

Cálculo del shunt: se quiere calibrar el hilo cada n divisiones. Debe verificarse

$$S_1 - S' = n\varrho$$

Siendo fijo ϱ, n determina la diferencia $S_1 - S'$ y, por lo tanto, el shunt.

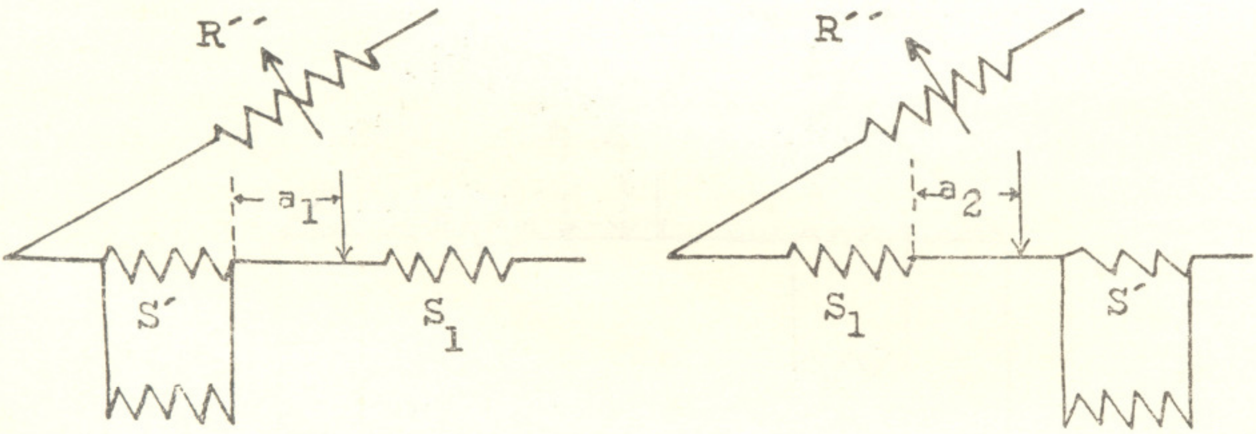
Esquema de las operaciones necesarias para controlar la uniformidad óhmica del hilo



$$S_1 - S' = \varrho_{0-1} \, (a_0 - a_1) \qquad [11]$$

Se ajusta el valor de R' hasta un nuevo valor R'', tal que el cursor se haya desplazado de a_0 hasta a_1.

$$S_1 - S' = \varrho_{1-2} \, (a_1 - a_2) \qquad [12]$$



De la misma manera se procede a lo largo de todo el hilo, obteniéndose una serie de expresiones análogas a las [11] y [12].

Como los primeros miembros son iguales, se tendrá necesariamente:

$$\varrho_{0-1}(a_0 - a_1) = \varrho_{1-2}(a_1 - a_2) = \varrho_{2-3}(a_2 - a_3) = cte \quad [13]$$

que si el hilo es uniforme se acompaña de la siguiente

$$\varrho_{0-1} = \varrho_{12} = \varrho_{23} = cte \quad [14]$$

De las [13] y [14] se deduce

$$(a_0 - a_1) = (a_1 - a_2) = (a_2 - a_3) = cte \quad [15]$$

que es el criterio de uniformidad del hilo.

Como se comprende fácilmente, el procedimiento nos permite dividir el hilo en trozos de igual resistencia o sea calibrarlo.

El problema del termómetro de resistencia

La aplicación inmediata del estudio realizado, supuesto terminado, es la construcción de un termómetro de resistencia. Como ello cae fuera de la prueba propuesta, haremos sólo una breve referencia.

La bibliografía citada, sobre todo B. 6, es suficiente para abordar el tema tanto en forma teórica como experimental.

Con respecto al alambre, diremos que es el elemento vital del termómetro de resistencia y entre los recomendados tenemos el platino, níquel y paladio, sobre todo el primero (B. 6, p. 163). Por lo tanto, lo más razonable es procurarse un alambre de los citados, p. ej., níquel y construirse el termómetro de acuerdo a las especificaciones señaladas en la bibliografía, y especialmente las contenidas en los papeles del N. B. of Sd.

El alambre que se nos entregó podría ser utilizado si se pudiera disponer de una muestra de por lo menos 4 m. de longitud (correspondiente a unos 15 ohms) y pudiera asegurarse su fidelidad en el intervalo de trabajo.

Con respecto al método de medida, debo agregar que el N. B. of Sd. (B. 6, p. 166 y sig) señala que el puente de Carey–Foster ya no se usa para termómetros de resistencia. Esto se justifica, pues este puente está diseñado especialmente para bajas resistencias, mientras que en los termómetros se usan del orden de 25 ohms. Los métodos indicados (B. 6, p. 168) son otros puentes derivados del Wheatstone, tales como el de Smith y aun métodos potenciométricos.