**LABORATORIO DE FÍSICA**

| **GRUPO N° 2** | **CURSO: Z2574** |
|---|---|

**PROFESOR: Maximiliano Riveyro**

**JTP: Carlos Elizalde**

**ATP: Santiago Berazategui, Eduardo Orgeira, Javier Pisani Díaz**

**ASISTE LOS DÍAS: Martes y Viernes**

**EN EL TURNO: Noche**

**TRABAJO PRÁCTICO N°: 6**

**TÍTULO: Puente de Hilo**

| **INTEGRANTES PRESENTES EL DÍA QUE SE REALIZÓ** | |
|---|---|
| Lopez Camila | Rodriguez Leandro |
| Magarzo Matias | Tamborini Agustin |
| Molina Francisco | |

| | **FECHAS** | **FIRMA Y ACLARACIÓN DEL DOCENTE** |
|---|---|---|
| **REALIZADO EL** | 25/10/2022 | |
| **CORREGIDO** | | |
| **APROBADO** | | |

**INDICACIONES PARA LAS CORRECCIONES:**

# ÍNDICE

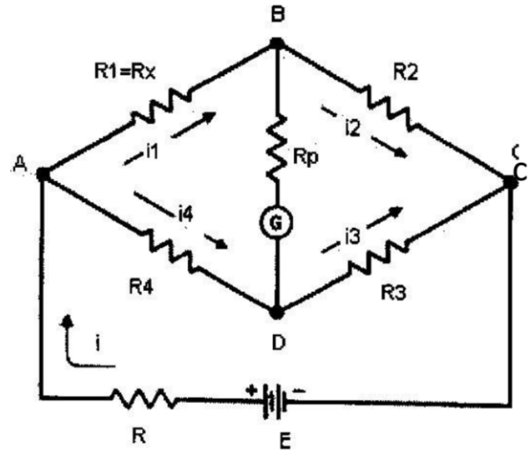
# Objetivos

Determinar el valor de diferentes resistencias mediante el circuito conocido como "PUENTE DE HILO", con el fin de:

- Calcular la resistividad de una muestra.
- Verificar las leyes de asociación de resistencias.
- Analizar en cada caso los errores cometidos.

# Introducción Teórica

Para la comprensión de este informe es necesario comprender los siguientes conceptos y las expresiones matemáticas que se desprenden de los mismos:
En esta experiencia utilizamos una simplificación del Puente de Wheatstone, un procedimiento muy común y preciso para determinar el valor de una resistencia por el método de cero.
El esquema del circuito del Puente de Wheatstone es el siguiente:

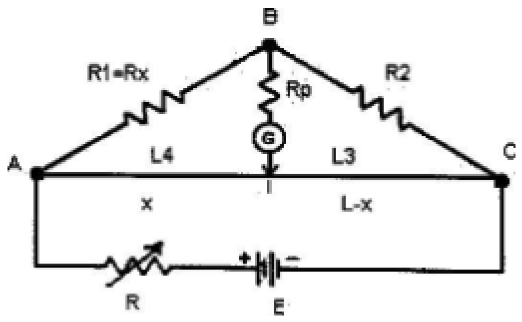



Consta de cuatro resistencias dispuestas según los lados de un cuadrilátero ABCD, en una de cuyas diagonales (BD) se ubica el detector de cero (galvanómetro), y en la (AC) la fuente de alimentación. Al conectar la resistencia de valor desconocido entre los vértices A y B (Rx=Rl), las otras resistencias pueden ajustarse de manera tal que la intensidad de la corriente por la rama BD se anule (Ig= 0)

En estas condiciones decimos que el puente está equilibrado y se cumple que los productos de las resistencias ubicadas en las ramas opuestas o paralelas son iguales.

$$R_x.R_3 = R_2.R_4$$

En la simplificación que utilizaremos en lugar del puente de Wheatstone, llamada puente de hilo, se han sustituido las resistencias R3 y R4 por un hilo conductor homogéneo de sección constante. El esquema del circuito es el siguiente:




$R_3$ y $R_4$ se calculan de la siguiente manera:

$R_3 = \rho\frac{l_3}{S}$ y $R_4 = \rho\frac{l_4}{S}$

Por lo cual:

$R_x = \frac{l_4}{l_3}R_c$

En este caso para lograr el equilibrio se varía la razón entre las longitudes desplazando el cursor sobre el hilo. La lectura $l_4 = x$ se hace sobre una regla milimetrada resultando $l_3 = l - x$, entonces: $R_x = \frac{x}{l-x}R_c$

Con esta expresión podemos calcular $R_x$ mediante la lectura de x y $R_c$.

Para el cálculo de resistividad de una muestra utilizamos la expresión: $R_x = \rho\frac{L}{a}$ donde "$L$" es la longitud de la muestra y "$a$" la sección que se expresa como $a = \frac{\pi.D^2}{4L}$. Resulta:

$\rho_x = R_x\frac{\pi.D^2}{4L}$

# Cálculo de errores:

Para determinar el error relativo de $R_x$ utilizaremos la siguiente expresión:

$\varepsilon_{R_x} = \frac{l}{l-x}.\frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta R_c}{R_c}$

$\frac{\Delta R_c}{R_c}$ es el error relativo de construcción de la caja $R_c$ suministrada por el fabricante, en nuestro caso el valor es: 0,005.

$\Delta X$ es la indeterminación en la posición del cursor al alcanzar el equilibrio, que depende de dos causas.

1) De la indeterminación en la lectura sobre la regla, debido a su menor división, y al grosor del cursor, que será $\Delta X_1 = 1mm$.
2) De la sensibilidad del puente al desplazamiento máximo del cursor sin que se detecte deflección en la aguja $\Delta X_2$. $S(sensibilidad) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X}$ donde $\Delta\alpha$ es la cantidad de divisiones que se movió la aguja en el galvanómetro y $\Delta X$ la variación en la posición del cursor que lo provocó.

Para obtener la sensibilidad evaluamos el desplazamiento de X hacia la derecha hasta que se mueva 5 divisiones el galvanómetro, y lo mismo hacia la izquierda, siendo la sensibilidad total el promedio de la sensibilidad a derecha y a izquierda. Conociendo la sensibilidad S, para una determinada posición del cursor, se podrá determinar $\Delta X_2$, que es la indeterminación en la posición del cursor debida a la sensibilidad del puente cuya cota máxima será la máxima variación en la posición del cursor que no produzca una variación apreciable en la posición de la aguja. Consideramos la mínima variación apreciable en la posición de la aguja como 0,5 divisiones, lo llamamos $\Delta\alpha_2$, por lo tanto nos queda que:

$\Delta X_2 = \frac{0,5div}{S}$

Entonces:

$\Delta X = 1mm + \frac{0,5div}{S}$

Luego tenemos el $\varepsilon\rho_x$, que se calcula como $\varepsilon\rho_x = \varepsilon_\pi + \varepsilon_{R_x} + \varepsilon_L + 2\varepsilon_D$ siendo $\Delta L = 1mm \Rightarrow \varepsilon_L = 0,001 \; y \; \Delta D = 0,01mm \Rightarrow 2\varepsilon_D = 0,1$

$\varepsilon_\pi$ puede ser despreciado si tomamos un valor de $\pi$ que cumpla la siguiente expresión:

$\varepsilon_\pi \leq \frac{1}{10}(\varepsilon_{R_x} + \varepsilon_L + 2\varepsilon_D)$

# Mediciones

E

**6.- CUADRO DE VALORES**

a) Valores medidos

| | $R_c$ | x | Δα | $\Delta x_{izq}$ | $\Delta x_{der}$ | $\Delta x_1$ | d | Δd | D | ΔD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ω | mm | div | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| $R_A$ | 48 | 490 | 5 | 10 | 13 | 1 | 0,2 | 0,01 | 1000 | 1 |
| $R_1$ | 591 | 483 | 5 | 1 | 2 | 1 | | | | |
| $R_2$ | 799 | 504 | 5 | 2 | 3 | 1 | | | | |
| $R_s$ | 1499 | 510 | 5 | 4 | 3 | 1 | | | | |
| $R_p$ | 329 | 519 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |

GRUPO 2
PISANI LAUER
Raf. MAXI RIVERO
25/10/22

b) Valores calculados

44

| | $R_X$ | $S_{izq}$ | $S_{der}$ | S | $\Delta x_2$ | $\Delta x$ | $\frac{\Delta R_x}{R_x}$ | $2\left\lvert\frac{\Delta D}{D}\right\rvert$ | $\left\lvert\frac{\Delta d}{d}\right\rvert$ | $\left\lvert\frac{\Delta \rho_x}{\rho_x}\right\rvert$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ω | Div/mm | Div/mm | Div/mm | mm | mm | ------ | ----- | ----- | ----- |
| $R_A$ | 17,29 | | | | | | | | | |
| $R_1$ | 552,13 | | | | | | | | | |
| $R_2$ | 1015,1 | | | | | | | | | |
| $R_s$ | 1560,13 | | | | | | | | | |
| $R_p$ | 354,99 | | | | | | | | | |

$R_A \pm \Delta R_A =$

GRUPO N°2
MAXI RIVERO
25/10/22
PISANI LAUER

$\rho \pm \Delta\rho =$

$R_1 \pm \Delta R_1 =$

$R_2 \pm \Delta R_2 =$

$R_s \pm \Delta R_s =$ $\qquad$ $R_{s'} \pm \Delta R_{s'} =$

$R_p \pm \Delta R_p =$ $\qquad$ $R_{p'} \pm \Delta R_{p'} =$

# Resultados y Análisis

## ALAMBRE DE CONSTANTAN

$R_A = \frac{R_C \times X}{L - X} = \frac{18\ \Omega \times 490\ mm}{(1000 - 490)mm} = \mathbf{17.29\ \Omega}$

$S_{IZQ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{IZQ}} = \frac{5\ div}{10\ mm} = \mathbf{0.5\ \frac{div}{mm}}$

$S_{DER} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{DER}} = \frac{5\ div}{13\ mm} = \mathbf{0.3846\ \frac{div}{mm}}$

$S = \frac{S_{IZQ} + S_{DER}}{2} = \frac{(0.5 + 0.3846)\ div/\ mm}{2} = \mathbf{0.4423\ \frac{div}{mm}}$

$\Delta X2 = \frac{\Delta\alpha'}{S} = \frac{0.5\ div}{0.4423\ div/mm} = \mathbf{1.13\ mm}$

$\Delta X = \frac{0.5\ div}{S} + 1\ mm = \frac{0.5\ div}{0.4423\ div/mm} + 1\ mm = \mathbf{2.13\ mm}$

$\varepsilon_{RA} = \frac{\Delta R_A}{R_A} = \frac{1000}{1000 - X} \times \frac{\Delta X}{X} + 0.005 = \frac{1000\ mm}{(1000 - 490)mm} \times \frac{2.13\ mm}{490\ mm} + 0.005 = \mathbf{0.0013}$

$\Delta R_A = \varepsilon_{RA} \times R_A = 0.0013 \times 17.29\ \Omega = \mathbf{0.0224\ \Omega}$

$$\varepsilon_{\rho x} = \varepsilon_{Rx} + 2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta d}{d}$$

$\frac{2\Delta D}{D} = \frac{2 \times 0.01\ mm}{0.2\ mm} = \mathbf{0.1}$

$\frac{\Delta d}{d} = \frac{1\ mm}{1000\ mm} = \mathbf{0.001}$

$\rho_A = R_A \times \frac{\pi D^2}{4d} = 17.29\ \Omega \times \frac{3.14\ (0.2\ mm)^2}{4 \times 1000\ mm} = \mathbf{5.429 \times 10^{-4}\ \Omega\ .mm}$

$\varepsilon_{\rho x} = \varepsilon_{RA} + \frac{2\Delta D}{D} + \frac{\Delta d}{d} = 0.0013 + 0.1 + 0.001 = \mathbf{0.1023}$

$\Delta\rho x = \rho x \times \varepsilon_{\rho x} = 0.1023 \times 5.429 \times 10^{-4}\ \Omega\ .mm = \mathbf{5.55 \times 10^{-5}\ \Omega\ .mm}$

## RESISTENCIA N°1

$R_1 = \frac{R_C \times X}{L - X} = \frac{591\ \Omega \times 483\ mm}{(1000 - 483)\ mm} = \mathbf{552.13\ \Omega}$

$S_{IZQ} = \frac{\Delta\alpha}{} = \frac{5\ div}{} = \mathbf{5\ \frac{div}{}}$

$\Delta X_{IZQ}$ 1 mm **mm**

$$S_{DER} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{DER}} = \frac{5\ div}{2\ mm} = \mathbf{2.5}\ \frac{\mathbf{div}}{\mathbf{mm}}$$

$$S = \frac{S_{IZQ} + S_{DER}}{2} = \frac{(5 + 2.5)\ div/\ mm}{2} = \mathbf{3.75}\ \frac{\mathbf{div}}{\mathbf{mm}}$$

$$\Delta X2 = \frac{\Delta\alpha'}{S} = \frac{0.5\ div}{3.75/mm} = \mathbf{0.13\ mm}$$

$$\Delta X = \frac{0.5\ div}{S} + 1\ mm = \frac{0.5\ div}{3.75\ div/mm} + 1\ mm = \mathbf{1.13\ mm}$$

$$\varepsilon_{R1} = \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{1000}{1000 - X} \times \frac{\Delta X}{X} + 0.005 = \frac{1000\ mm}{(1000 - 483)mm} \times \frac{1.13\ mm}{483\ mm} + 0.005 = \mathbf{0.0095}$$

$$\Delta R_1 = \varepsilon_{R1} \times R_1 = 0.0095 \times 552.13\ \Omega = \mathbf{5.245\ \Omega}$$

# RESISTENCIA N°2

$$R_2 = \frac{R_C \times X}{L - X} = \frac{999\ \Omega \times 504\ mm}{(1000 - 504)\ mm} = \mathbf{1015{,}11\ \Omega}$$

$$S_{IZQ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{IZQ}} = \frac{5\ div}{2\ mm} = \mathbf{2.5}\ \frac{\mathbf{div}}{\mathbf{mm}}$$

$$S_{DER} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{DER}} = \frac{5\ div}{3\ mm} = \mathbf{1.66}\ \frac{\mathbf{div}}{\mathbf{mm}}$$

$$S = \frac{S_{IZQ} + S_{DER}}{2} = \frac{(2.5 + 1.66)\ div/\ mm}{2} = \mathbf{2.08}\ \frac{\mathbf{div}}{\mathbf{mm}}$$

$$\Delta X' = \frac{\Delta\alpha'}{S} = \frac{0.5\ div}{2.08\ div/mm} = \mathbf{0.24\ mm}$$

$$\Delta X = \frac{0.5\ div}{S} + 1\ mm = \frac{0.5\ div}{2.08\ div/mm} + 1\ mm = \mathbf{1.24\ mm}$$

$$\varepsilon_{R2} = \frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{1000}{1000 - X} \times \frac{\Delta X}{X} + 0.005 = \frac{1000\ mm}{(1000 - 504)mm} \times \frac{1.24\ mm}{504\ mm} + 0.005 = \mathbf{0.0099}$$

$$\Delta R_2 = \varepsilon_{R2} \times R_2 = 0.0099 \times 1015.11\ \Omega = \mathbf{10.049\ \Omega}$$

## RESISTENCIA EN SERIE

$$R_S = \frac{R_C \times X}{L - X} = \frac{1499\ \Omega \times 510\ mm}{(1000 - 510)\ mm} = \mathbf{1560{,}18\ \Omega}$$

$$S_{IZQ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{IZQ}} = \frac{5\ div}{4\ mm} = \mathbf{1.25\ \frac{div}{mm}}$$

$$S_{DER} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{DER}} = \frac{5\ div}{3\ mm} = \mathbf{1.66\ \frac{div}{mm}}$$

$$S = \frac{S_{IZQ} + S_{DER}}{2} = \frac{(1.25 + 1.66)\ div/\ mm}{2} = \mathbf{1.455\ \frac{div}{mm}}$$

$$\Delta X' = \frac{\Delta\alpha'}{S} = \frac{0.5\ div}{1.455\ div/mm} = \mathbf{0.343\ mm}$$

$$\Delta X = \frac{0.5\ div}{S} + 1\ mm = \frac{0.5\ div}{1.455\ div/mm} + 1\ mm = \mathbf{1.343\ mm}$$

$$\varepsilon_{RS} = \frac{\Delta R_S}{R_S} = \frac{1000}{1000 - X} \times \frac{\Delta X}{X} + 0.005 = \frac{1000\ mm}{(1000 - 510)mm} \times \frac{1.343\ mm}{510\ mm} + 0.005 = \mathbf{0.01}$$

$$\Delta R_S = \varepsilon_{RS} \times R_S = 0.01 \times 1560.18\ \Omega = \mathbf{15.6\ \Omega}$$

## RESISTENCIA EN PARALELO

$$R_P = \frac{R_C \times X}{L - X} = \frac{329\ \Omega \times 519\ mm}{(1000 - 519)\ mm} = \mathbf{354.99\ \Omega}$$

$$S_{IZQ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{IZQ}} = \frac{5\ div}{2\ mm} = \mathbf{2.5\ \frac{div}{mm}}$$

$$S_{DER} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X_{DER}} = \frac{5\ div}{1\ mm} = \mathbf{5\ \frac{div}{mm}}$$

$$S = \frac{S_{IZQ} + S_{DER}}{2} = \frac{(2.5 + 5)\ div/\ mm}{2} = \mathbf{3.75\ \frac{div}{mm}}$$

$$\Delta X' = \frac{\Delta\alpha'}{S} = \frac{0.5\ div}{3.75\ div/mm} = \mathbf{0.13\ mm}$$

$$\Delta X = \frac{0.5\ div}{S} + 1\ mm = \frac{0.5\ div}{3.75\ div/mm} + 1\ mm = \mathbf{1.13\ mm}$$

$$\varepsilon_{RP} = \frac{\Delta R_P}{R_P} = \frac{1000}{1000 - X} \times \frac{\Delta X}{X} + 0.005 = \frac{1000\ mm}{(1000 - 519)mm} \times \frac{1.13\ mm}{519\ mm} + 0.005 = \mathbf{0.0095}$$

$$\Delta R_P = \varepsilon_{RP} \times R_P = 0.0095 \times 354.99\ \Omega = \mathbf{3.37\ \Omega}$$

## Cuadro de valores calculados

| | Rx | $S_{IZQ}$ | $S_{DER}$ | S | Δx2 | Δx | (ΔRx/Rx) | 2(ΔD/D) | (Δd/d) | (Δρx/ρx) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ω | div/mm | div/mm | div/mm | mm | mm | - | - | - | - |
| $R_A$ | 17,29 | 0,5 | 0,3846 | 0,4423 | 1,13 | 2,13 | 0,0013 | 0,1 | 0,001 | 0,101 |
| $R_1$ | 552,13 | 5 | 2,5 | 3,75 | 0,13 | 1,13 | 0.0095 | | | |
| $R_2$ | 1015,11 | 2,5 | 1,66 | 2,08 | 0,24 | 1,24 | 0,0099 | | | |
| $R_S$ | 1560,18 | 1,25 | 1,66 | 1,455 | 0,343 | 1,343 | 0,01 | | | |
| $R_P$ | 354,99 | 2,5 | 5 | 3,75 | 0,13 | 1,13 | 0,0095 | | | |

Por último con los valores de R1 y R2 se calcula:

$R'_S = R_1 + R_2 = 552{,}13\ \Omega + 1015{,}11\ \Omega = \mathbf{1567{,}24\ \Omega}$

$\Delta R'_S = \Delta R_1 + \Delta R_2 = 5{,}245\ \Omega + 10{,}049\ \Omega = \mathbf{15{,}294\ \Omega}$

$$R'_P = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{552{,}13\ \Omega \times 1015{,}11\ \Omega}{552{,}13\ \Omega + 1015{,}11\ \Omega} = \mathbf{357{,}61\ \Omega}$$

$$\Delta R'_P = (R'_P)^2 \times \left(\frac{\Delta R_1}{R_1^2} + \frac{\Delta R_2}{R_2^2}\right) = (357{,}61\ \Omega)^2 \times \frac{5{,}245\ \Omega}{(552{,}13\ \Omega)^2} + \frac{10{,}049\ \Omega}{(1015{,}11\ \Omega)^2} = \mathbf{3.447\ \Omega}$$

- **$R_A \pm \Delta R_A = (17{,}29 \pm 0{,}02)\ \Omega$**
- **$\rho_A \pm \Delta\rho_A = (5.429 \times 10^{-4} \pm 05.55 \times 10^{-5})\ \Omega$ .mm**
- **$R_1 \pm \Delta R_1 = (552 \pm 5)\ \Omega$**
- **$R_2 \pm \Delta R_2 = (1015 \pm 10)\ \Omega$**
- **$R_S \pm \Delta R_S = (1560 \pm 16)\ \Omega$**
- **$R_P \pm \Delta R_P = (354 \pm 3)\ \Omega$**
- **$R'_S \pm \Delta R'_S = (1567 \pm 15)\ \Omega$**
- **$R'_P \pm \Delta R'_P = (357 \pm 3)\ \Omega$**

# Conclusiones

Mediante la realización del trabajo práctico determinamos el valor de la resistencia de una muestra de alambre de constantan (además calculamos su resistividad) y la de otras resistencias, utilizando una simplificación del denominado puente de Wheatstone, mejor conocido como puente de hilo. Verificamos las leyes de asociación de resistencias tanto para conexión serie como paralelo.

La sensibilidad del puente, la cual depende de la posición del cursor y de la d.d.p. de la batería, y otros diversos factores provocan errores en las mediciones y por lo tanto también en los cálculos. Es conveniente conocer el valor aproximado de la resistencia la cual se quiere medir para colocar dicho valor en Rc, de forma tal que el equilibrio se logra en el centro del puente, donde el error en la medición es mínimo. Observamos también que obtuvimos un error levemente menor en el cálculo de las resistencias (R1 y R2) por separado y aplicación de las leyes de asociación de resistencias que calculando directamente las resistencias en paralelo y en serie.