

# Práctica n°1: Medida de Resistencias

Laboratorio de Instrumentación Eléctrica  
4°B, I.E.M

Gonzalo Sánchez Contreras

Antonio Rubí Rodríguez

Ignacio Sanz Soriano

1 de noviembre de 2016

## Ensayo 1.1: Medida de una resistencia con voltímetro y amperímetro

### Medidas:

La intensidad medida en el amperímetro con alcance de 20 mA (el amperímetro en este alcance presenta 2 decimales) es:

$$I = 19.97 \text{ mA}$$

Las incertidumbres en la medida de la intensidad son:

$$\alpha(I) = \frac{0.8}{100} \cdot 19.97 + 0.01 = 0.16976 \text{ mA}$$
$$\varepsilon(I) = \frac{\alpha(I)}{I} \cdot 100 = 0.85 \%$$

La tensión medida en el voltímetro con alcance de 20 V (el voltímetro en este alcance presenta 3 decimales) es:

$$U = 7.501 \text{ V}$$

Las incertidumbres en la medida de la tensión son:

$$\alpha(U) = \frac{0.05}{100} \cdot 7.501 + 3 \cdot 0.001 = 6.7505 \text{ mV}$$
$$\varepsilon(U) = \frac{\alpha(U)}{U} \cdot 100 = 0.09 \%$$

### Resultados:

El valor de  $R_x$  es:

$$R_x = \frac{U}{I} = 375.61 \Omega$$

La incertidumbre de  $R_x$  tiene la forma:

$$\varepsilon(R_x) = \varepsilon(U) + \varepsilon(I) = 0.85 \% + 0.09 \% = 0.94 \%$$

Finalmente se tiene una medida de la resistencia como la que sigue:

$$R_x = 375.61 \pm 3.53 \Omega = 375.61 \Omega \pm 0.94 \%$$

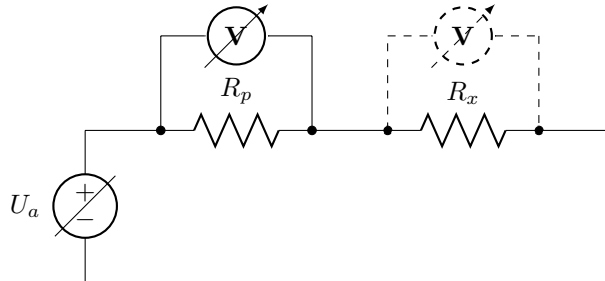
### Conclusiones:

La resistencia medida  $R_x$  en el ensayo tiene un valor de  $375.61 \Omega$  que resulta apreciablemente similar al valor teórico de  $380 \Omega$ . La incertidumbre de la medida de la resistencia es debida en gran parte a la incertidumbre del amperímetro (un 90 % de toda la incertidumbre  $\varepsilon(R_x)$ ). Se podría mejorar la incertidumbre de la medida si se utilizará un multímetro de mejor precisión (por ejemplo, de 20000 cuentas). El intervalo de valores posibles es  $[372.02 \Omega, 379.14 \Omega]$  y aunque el valor de  $380 \Omega$  no esta comprendido en el intervalo, la precisión de la medida es mejor que la dada por el fabricante.

## Ensayo 1.2: Método de comparación

**Enunciado:** Medida de una resistencia de un valor de aproximadamente  $380\ \Omega$ ,  $5\ \text{W}$ , por el método de comparación de tensiones.

**Esquema:**



**Preparación:**

*Selección del voltímetro.* En primer lugar se elige el voltímetro con mayor precisión de entre los disponibles. Los polímetros disponibles presentan las siguientes incertidumbres de medida funcionando como voltímetros:

Voltímetro	Incertidumbre
PROMAX FP-2b (2000 cuentas)	$0.5\% \text{lect.} + 1 \text{ dig. en CC.}$
PROMAX PD-183 (20000 cuentas)	$0.05\% \text{lect.} + 3 \text{ dig. en CC.}$

Se elegirá el voltímetro PROMAX PD-183 (20000 cuentas) por tener una incertidumbre menor en la medida en comparación con el voltímetro de 2000 cuentas.

*Selección de la resistencia patrón ( $R_p$ ).* Esta resistencia habrá de ser lo más parecida posible a la resistencia que se desea medir para minimizar el error sistemático frente a la incertidumbre de medida. De entre las posibles resistencias para diseñar  $R_p$  se utilizarán las 2 cajas de resistencias de clase 0.1,  $0.25\ \text{W}$ , por ser las que mayor precisión presentan. Respecto a la magnitud de  $R_p$ , se analizarán las dos opciones siguientes:

$$R_p = 100\ \Omega$$

$$R_p = 500\ \Omega$$

La resistencia de  $500\ \Omega$  se obtendrá del paralelo de dos resistencias de valor  $1000\ \Omega$ , clase 0.1,  $0.25\ \text{W}$ . Ahora se compararán el valor de las dos resistencias posibles con el valor de la que se desea medir ( $R_x$ ):

$$R_p = 100 \rightarrow \frac{380\ \Omega}{100\ \Omega} = 3.8$$

$$R_p = 500 \rightarrow \frac{500\ \Omega}{380\ \Omega} = 1.32$$

La resistencia de  $500\ \Omega$  es 1.32 veces la  $R_x$ , frente a las 3.8 veces de la resistencia de  $100\ \Omega$ , por lo que se seleccionará como resistencia patrón la de  $500\ \Omega$ . Se calculan los límites de corriente y de tensión de la resistencia patrón:

$$I_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.25}{500}} = 31.62\ \text{mA}$$

$$U_{\text{máx}} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0.25 \cdot 500} = 15.81\ \text{V}$$

Con una tensión máxima de  $15.81\ \text{V}$ , se descarta fijar una tensión coincidente con el límite de alcance del voltímetro de  $20\ \text{V}$  en  $R_p$  (o superiores alcances) en dicha resistencia, por lo que se

fijará una tensión coincidente con el límite de alcance de 2 V para no dañarla. Teniendo 2 V en  $R_p$ , en  $R_x$  se tienen:

$$U_x = \frac{R_x}{R_p} \cdot U_p = \frac{380}{500} \cdot 2 = 1.52 \text{ V}$$

El error teórico cometido en la medida será:

$$\varepsilon(R_x) = \varepsilon(R_p) + \varepsilon(U_x) + \varepsilon(U_p)$$

a)  $\varepsilon(\mathbf{R_p})$ . La incertidumbre relativa de dos resistencias del mismo valor y clase en paralelo es la misma que la incertidumbre relativa de la resistencia de una de ellas.

$$\varepsilon(R_p) = 0.1 \%$$

b)  $\varepsilon(\mathbf{U_x})$ . La incertidumbre relativa en la medida de la tensión en  $U_x$  es:

$$\begin{aligned} \alpha(U_x) &= 1.52 \cdot \frac{0.05}{100} + 3 \cdot 0.0001 = 0.00106 \text{ V} \\ \varepsilon(U_x) &= \frac{\alpha(U_x)}{U_x} \cdot 100 = \frac{0.00106}{1.52} \cdot 100 = 0.0697 \% \end{aligned}$$

b)  $\varepsilon(\mathbf{U_p})$ . La incertidumbre relativa en la medida de la tensión en  $U_p$  es:

$$\begin{aligned} \alpha(U_p) &= 1.9999 \cdot \frac{0.05}{100} + 3 \cdot 0.0001 = 1.29995 \cdot 10^{-3} \text{ V} \\ \varepsilon(U_p) &= \frac{\alpha(U_p)}{U_p} \cdot 100 = \frac{1.29995 \cdot 10^{-3}}{1.9999} \cdot 100 = 0.065 \% \end{aligned}$$

La incertidumbre en  $R_x$  será:

$$\begin{aligned} \varepsilon(R_x) &= \varepsilon(R_p) + \varepsilon(U_x) + \varepsilon(U_p) = \\ &= 0.1 \% + 0.0697 \% + 0.065 \% = \\ &= 0.2347 \% \end{aligned}$$

La corriente que circulará por ambas resistencias es:

$$I = \frac{U_p}{R_p} = \frac{U_x}{R_x} = 4 \text{ mA}$$

Se comprueban los límites de potencia de ambas resistencias:

$$\begin{aligned} P_{R_p} &= I^2 \cdot R_p = 8 \text{ mW} \leq 0.25 \text{ W} \\ P_{R_x} &= I^2 \cdot R_x = 6.08 \text{ mW} \leq 0.5 \text{ W} \end{aligned}$$

*Selección de las fuentes.* De las distintas fuentes disponibles en el laboratorio, se procede a analizar la más adecuada para el ensayo:

- Se descarta la fuente de tensión fija de 5 V, por la necesidad de ir regulando la tensión en la resistencia patrón  $R_p$ .
- La fuente de intensidad de 7-11 mA también se descarta por ser inferior la intensidad requerida.
- Se utilizará la fuente de tensión regulable de 2x30 V,  $I_{máx}=3 \text{ A}$ ,  $\Delta U=0.2 \text{ V}$ , concretamente, solo una de ellas.

Por último, la resolución en ambas resistencias tendrá la forma:

$$\begin{aligned} \Delta U_p &= \frac{R_p}{R_x + R_p} \cdot \Delta U = \frac{500}{380 + 500} \cdot 0.2 = 0.1136 \text{ V} \\ \Delta U_x &= \frac{R_x}{R_x + R_p} \cdot \Delta U = \frac{380}{380 + 500} \cdot 0.2 = 0.0863 \text{ V} \end{aligned}$$

**Lista de aparatos:**

Auxiliares:

- $U_a$ : Fuente doble regulable 2x30V. Para cada fuente:  $I_{m\acute{a}x}=3A$ ; Resolución: 0.2 V.

Precisión:

- V: Multímetro digital PROMAX PD-183 (20000 cuentas).  
Como voltímetro: 200mV, 2, 20, 200, 1000V. Resistencia interna: 10 M $\Omega$ .  
Precisión: 0.05 %lect. + 3díg. en CC.
- $R_p$ : 2 cajas de resistencias (sólo se puede utilizar una de las resistencias de cada caja): 100 $\Omega$ , 1k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 100k $\Omega$ ; clase 0.1, 0.25W.

**Medidas:**

Tensión medida en la resistencia patrón ( $R_p$ ),  $U_p = 1.9945$  V (el voltímetro en un alcance 2 V presenta 4 decimales). La incertidumbre en la medida es:

$$\alpha(U_p) = \frac{0.05}{100} \cdot U_p + 3 \cdot 0.0001 = \frac{0.05}{100} \cdot 1.9945 + 3 \cdot 0.0001 = 0.001297 \text{ V}$$

$$\varepsilon(U_p) = \frac{\alpha(U_p)}{U_p} \cdot 100 = \frac{0.001297}{1.9945} \cdot 100 = 0.0650 \%$$

Por tanto:

$$U_p = 1.9945 \pm 0.00129 \text{ V} = 1.9945 \text{ V} \pm 0.065 \%$$

Tensión medida en la resistencia a medir ( $R_x$ ),  $U_x = 1.5115$  V (el voltímetro en un alcance 2 V presenta 4 decimales). La incertidumbre en la medida es:

$$\alpha(U_x) = \frac{0.05}{100} \cdot U_x + 3 \cdot 0.0001 = \frac{0.05}{100} \cdot 1.5115 + 3 \cdot 0.0001 = 0.001055 \text{ V}$$

$$\varepsilon(U_x) = \frac{\alpha(U_x)}{U_x} \cdot 100 = \frac{0.001055}{1.5115} \cdot 100 = 0.0698 \%$$

Por tanto:

$$U_x = 1.5115 \pm 0.00106 \text{ V} = 1.5115 \text{ V} \pm 0.0698 \%$$

Resumiendo, queda:

	$X_i$	$\alpha(X_i)$	$\varepsilon(X_i)$
$R_p$	500 $\Omega$	0.500 $\Omega$	0.1 %
$U_p$	1.9945 V	0.001297 V	0.065 %
$U_x$	1.5115 V	0.001055 V	0.0698 %

**Resultados:**La resistencia medida  $R_x$  será:

$$R_x = \frac{U_x}{U_p} \cdot R_p = \frac{1.5115}{1.9945} \cdot 500 = 378.92 \Omega$$

La incertidumbre en  $R_x$  será:

$$\begin{aligned} \varepsilon(R_x) &= \varepsilon(R_p) + \varepsilon(U_x) + \varepsilon(U_p) = \\ &= 0.1 \% + 0.0698 \% + 0.065 \% = \\ &= 0.2348 \% \end{aligned}$$

La resistencia medida  $R_x$  será:

$$R_x = 378.92 \pm 0.50 \Omega = 378.92 \Omega \pm 0.235 \%$$

**Conclusiones:**

Con este método se ha tratado de medir haciendo uso de un voltímetro en paralelo con una resistencia para evitar el uso del amperímetro. El valor obtenido en la medida de la resistencia ha sido de  $378.92 \Omega$ , que es bastante similar a  $380 \Omega$ . Siendo el valor de la resistencia a medir de  $380 \Omega \pm 5 \%$ , se observa que el valor medido esta dentro del rango de posibles valores proporcionados por el fabricante.

Dentro de la incertidumbre de  $R_x$ , el  $42.6 \%$  de la misma se debe a incertidumbre de la resistencia patrón ( $R_p$ ), el  $27.7 \%$  a la incertidumbre de la tensión en la resistencia patrón ( $U_p$ ), y un  $29.7 \%$  a la incertidumbre de la tensión en la resistencia a medir ( $U_x$ ).

La incertidumbre en la medida de  $R_x$  es menor que la del fabricante.

## Ensayo 1.3: Medida de una resistencia con puente de Wheatstone

**Enunciado:** Medida de una resistencia de un valor de aproximadamente  $380\ \Omega$ ,  $5\ \text{W}$  con puente de Wheatstone.

**Medidas:**

Polímetro digital de 2000 cuentas:

$$R_2 = [3780, 3868]\ \Omega$$

Polímetro digital de 20000 cuentas:

$$R_2 = [3790, 3791]\ \Omega$$

**Resultados:**

- Polímetro de 2000 cuentas como amperímetro. Se modifica la resistencia  $R_2$  hasta conseguir una intensidad medida en el amperímetro de valor  $0\ \text{A}$ . Se comprueba que existe un rango de valores de  $R_2, [3780, 3868]\ \Omega$  para los que la medida del amperímetro permanece en  $0$ . Esto se debe a un error de insensibilidad ( $\varepsilon_{ins}$ ) del aparato digital. El valor de  $R_2$  a tener en cuenta será el valor medio del intervalo en el que la intensidad permanece a  $0$ , por lo que:

$$R_2 = \frac{R_{2,máx} - R_{2,mín}}{2} = \frac{3868 - 3780}{2} = 3824\ \Omega$$

La incertidumbre asociada a la medida de  $R_2$  tiene la forma:

$$\alpha(R_2) = \frac{0.1}{100} \cdot 3000 + \frac{0.1}{100} \cdot 800 + \frac{1}{100} \cdot 20 + \frac{1}{100} \cdot 4 = 4.04\ \Omega$$
$$\varepsilon(R_2) = \frac{\alpha(R_2)}{R_2} = 0.106\ \%$$

Ahora se calcula el error de insensibilidad del aparato ( $\varepsilon_{ins}$ ):

$$\varepsilon_{ins} = \frac{R_{2,máx} - R_{2,mín}}{2} = \frac{3868 - 3780}{2 \cdot 3824} = 1.151\ \%$$

Finalmente, la incertidumbre relativa total en la medida de  $R_x$  es:

$$\varepsilon(R_x) = \varepsilon(R_1) + \varepsilon(R_2) + \varepsilon(R_3) + \varepsilon_{ins} = 0.1\ \% + 0.106\ \% + 0.1 + 1.151\ \% = 0.457\ \%$$

Teniendo en cuenta que  $R_x$  es :

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3 = \frac{100}{1000} \cdot 3824 = 382.4\ \Omega$$

La medida de  $R_x$  es:

$$R_x = 382.40 \pm 1.75\ \Omega = 382.40\ \Omega \pm 0.457\ \%$$

- Polímetro de 20000 cuentas. Se modifica la resistencia  $R_2$  para que la lectura de la intensidad en el amperímetro sea nula. Sin embargo, esto no se logra conseguir ya que para el intervalo de  $[3790, 3791]\ \Omega$ , la intensidad cambia de valor y de signo y no llega a hacerse  $0$ , por lo que se tiene un problema de resolución en el aparato digital. El valor de  $R_2$  a tener en cuenta será el valor medio del intervalo:

$$R_2 = \frac{R_{2,máx} - R_{2,mín}}{2} = \frac{3791 - 3790}{2} = 3790.5\ \Omega$$

La incertidumbre asociada a la medida de  $R_2$  tiene la forma:

$$\alpha(R_2) = \frac{0.1}{100} \cdot 3000 + \frac{0.1}{100} \cdot 700 + \frac{1}{100} \cdot 90 + \frac{1}{100} \cdot 0 = 4.6 \, \Omega$$
$$\varepsilon(R_2) = \frac{\alpha(R_2)}{R_2} = 0.121 \, \%$$

Ahora se calcula el error de resolución del aparato ( $\varepsilon_{res}$ ):

$$\varepsilon_{res} = \frac{\Delta R_2}{2 \cdot R_2} = \frac{1}{2 \cdot 3824} = 0.0131 \, \%$$

Finalmente, la incertidumbre relativa total en la medida de  $R_x$  es:

$$\varepsilon(R_x) = \varepsilon(R_1) + \varepsilon(R_2) + \varepsilon(R_3) + \varepsilon_{ins} = 0.1 \, \% + 0.121 \, \% + 0.1 \, \% + 0.0131 \, \% = 0.334 \, \%$$

Teniendo en cuenta que  $R_x$  es :

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_2 = \frac{100}{1000} \cdot 3790.5 = 379.05 \, \Omega$$

La medida de  $R_x$  es:

$$R_x = 379.05 \pm 1.27 \, \Omega = 379.05 \, \Omega \pm 0.334 \, \%$$

### Conclusiones:

Con el método del puente de Wheatstone se presentan dos problemas relacionados con la incertidumbre de la medida. La incertidumbre debida a insensibilidad ( $\varepsilon_{ins}$ ) es mucho mayor que la debida a la de resolución ( $\varepsilon_{res}$ ), por lo que se podría incluso despreciar esta última debido a su pequeño valor frente a las incertidumbres de las otras dos resistencias  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

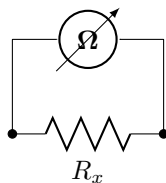
De esta forma, es preferible para esta configuración, una medida con un multímetro de buena precisión (20000 cuentas), ya que la precisión de la medida es mejor. El intervalo de valores de la resistencia es  $[380.32, 377.78] \, \Omega$ , por lo que el valor de  $380 \, \Omega$  está comprendida en el intervalo siendo la precisión de la medida mejor que la del fabricante.



## Ensayo 1.4: Aparato de medida directa

**Enunciado:** Medida de una resistencia de un valor de aproximadamente  $380\ \Omega$ , 5 W con aparato digital.

**Esquema de conexión:**



### Preparación:

Se dispone de dos ohmímetros en el laboratorio, por lo que se seleccionará aquel que posea mayor precisión en la medida.

- Polímetro digital PROMAX FP-2b (2000 cuentas):

$$\alpha(R_x) = \frac{0.8}{100} \cdot 380 + 1 = 4.04\ \Omega$$
$$\varepsilon(R_x) = \frac{\alpha(R_x)}{R_x} \cdot 100 = 1.06\ \%$$

- Multímetro digital PROMAX PD-183 (20000 cuentas):

$$\alpha(R_x) = \frac{0.15}{100} \cdot 380 + 3 \cdot 0.1 = 0.87\ \Omega$$
$$\varepsilon(R_x) = \frac{\alpha(R_x)}{R_x} \cdot 100 = 0.22\ \%$$

Se medirá con el multímetro digital PROMAX PD-183.

**Lista de Aparatos:** Precisión:

- Multímetro digital PROMAX PD-183 (20000 cuentas): 200  $\Omega$ , 2, 20, 200 k $\Omega$ , 2, 20 M $\Omega$ .  
Precisión:  $0.15\ \%_{\text{lect.}} + 3\text{dígs.}$

### Medidas:

La medida de  $R_x$  resulta:

$$R_x = 379.4\ \Omega$$

La incertidumbre en la medida tiene la forma:

$$\alpha(R_x) = \frac{0.15}{100} \cdot 379.4 + 3 \cdot 0.11 = 0.8691\ \Omega$$
$$\varepsilon(R_x) = \frac{\alpha(R_x)}{R_x} \cdot 100 = 0.23\ \%$$

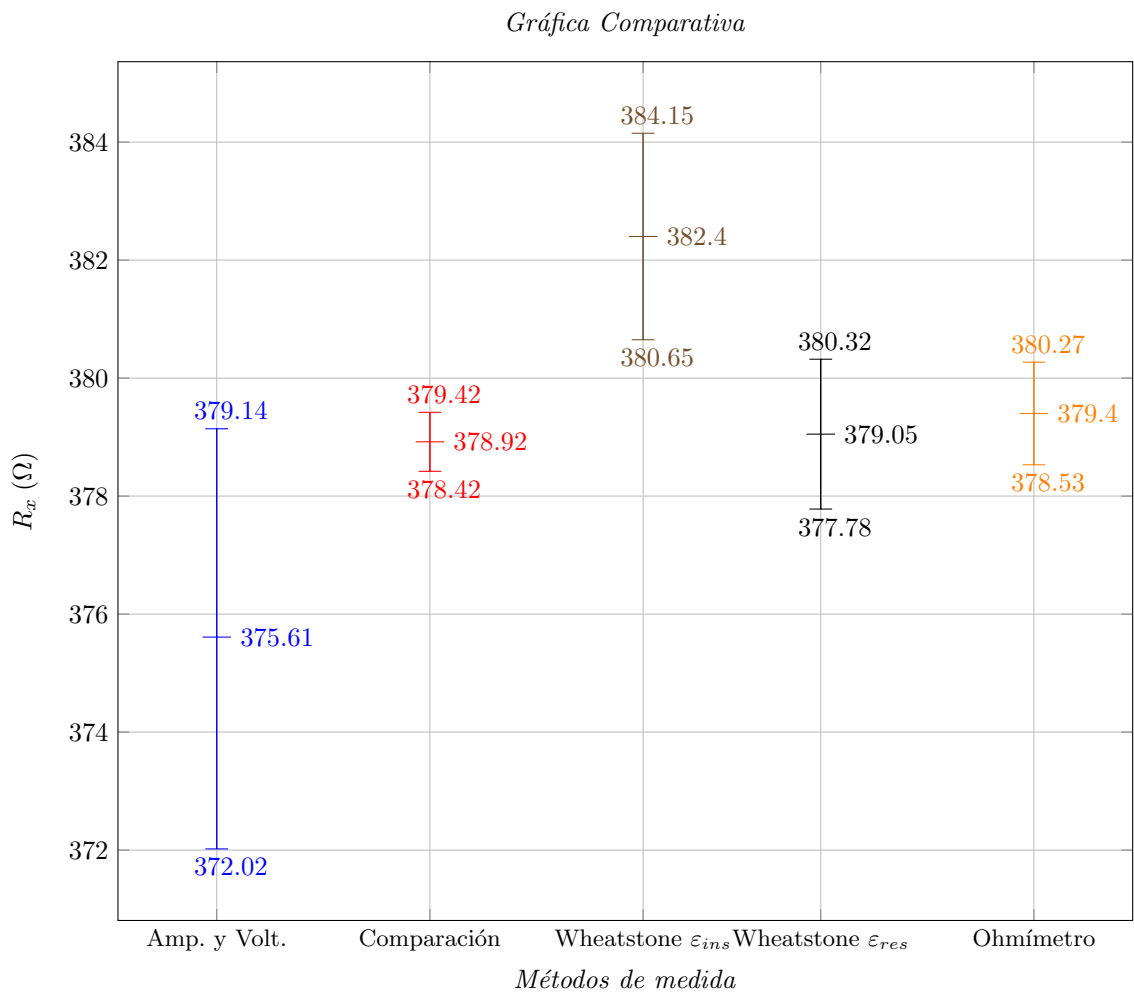
### Resultados:

$$R_x = 0.3794 \pm 8.691 \cdot 10^{-4}\ \text{k}\Omega$$
$$R_x = 379.40 \pm 0.87\ \Omega = 379.40\ \Omega \pm 0.23\ \%$$

### Conclusiones:

Se comprueba que efectivamente la medida con el multímetro de 20000 cuentas como ohmímetro tiene muy buena precisión. el intervalo de valores es  $[378.53, 380.27]\ \Omega$ , por lo que el valor de  $380\ \Omega$  se encuentra comprendido en el intervalo de posibles valores, pero la medida realizada resenta una precisión bastante buena.

# Gráfica Comparativa de Resultados:



De la gráfica se deduce que el método que mejor precisión arroja con los aparatos disponibles en el laboratorio, es el método de comparación de tensiones. Aunque no se encuentre entre el rango de valores los  $380\ \Omega$  de valor inicial aproximado de la  $R_x$ , dato proporcionado por el fabricante, la precisión es la mejor de entre todos los métodos.

También proporciona una buena precisión la medida directa con multímetro, y el que peor precisión tiene es el método de voltímetro y amperímetro, cuyo intervalo de posibles valores es considerablemente mayor a todos los demás. Es posible que con otros aparatos, la precisión de los métodos varíe, pudiendo ser más precisos métodos de medida que con los aparatos disponibles no lo son tanto.