

# Consideraciones Prácticas en las Mediciones de Baja Resistencia Eléctrica

Ben-Hur Morales Soto

Felipe León Hernández Márquez

Laboratorio del Ohm

Centro Nacional de Metrología

# Contenido

1. Motivación
2. Introducción
3. Problemas y fuentes de error en mediciones de baja resistencia eléctrica
4. Conclusiones

# Motivación

- Contribuir en la solución de problemas de medición de baja resistencia eléctrica.
- Contribuir en aclarar los puntos de confusión en la medición de baja resistencia eléctrica.

# Introducción

- Resistencia Eléctrica: es la propiedad que presentan todos los materiales de oponerse a la circulación de la corriente eléctrica a través de ellos.
- Unidad: Ohm
- Símbolo:  $\Omega$  (V/A)
- En unidades de base del SI:  $\frac{(kg)(m^2)}{(s^3)(A^2)}$

- Ley de Ohm:  $I = \frac{V}{R}$

Entonces:

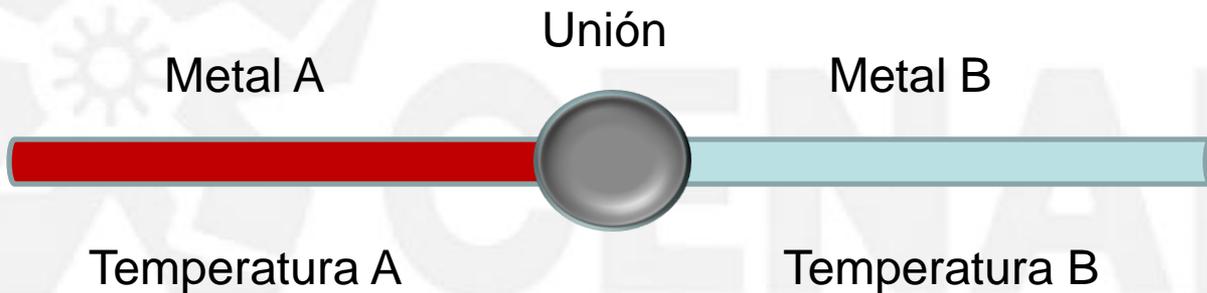
$$R = \frac{V}{I}$$

# Problemas y fuentes de error en mediciones de baja resistencia

- FEMs térmicas
- Resistencia de cables
- Resistencia de contacto
- Autocalentamiento (Joule)

# FEMs térmicas

## Fuerza Electromotriz Térmica



# FEMs térmicas

Materiales Unidos	Coefficiente Seebeck
Cu – Cu	$\leq 0.2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu – Ag	$0.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu – Au	$0.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu – Pb/Sn	$(1 - 3) \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - CuO	$\sim 1000 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

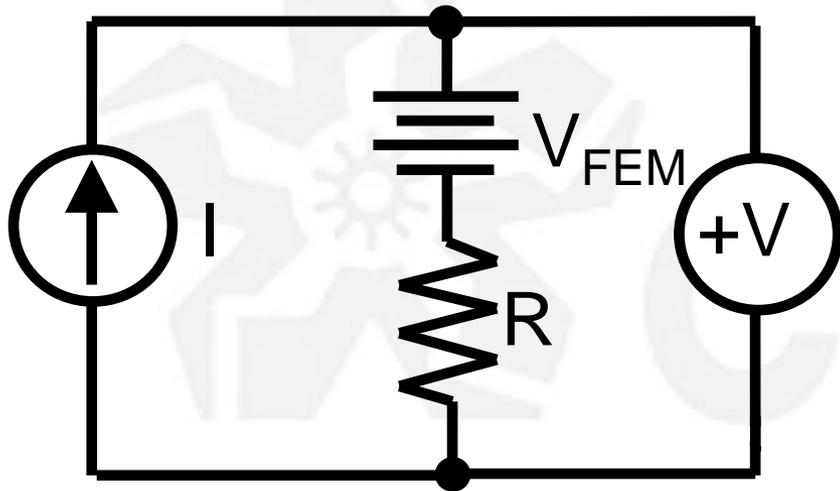
Algunos coeficientes Seebeck entre el cobre y otros materiales.

Entre mayor es el coeficiente, mayores serán las FEMs térmicas.

# FEMs térmicas

¿Cómo se eliminan?

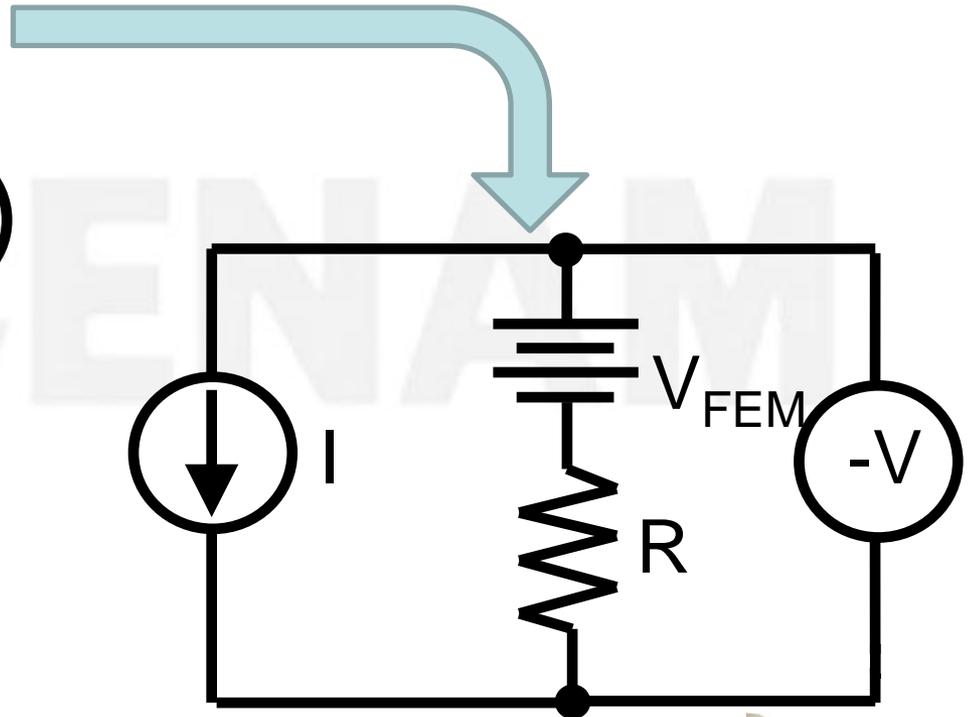
Inversión del sentido de la corriente



$$1.- V_+ = RI + V_{FEM}$$

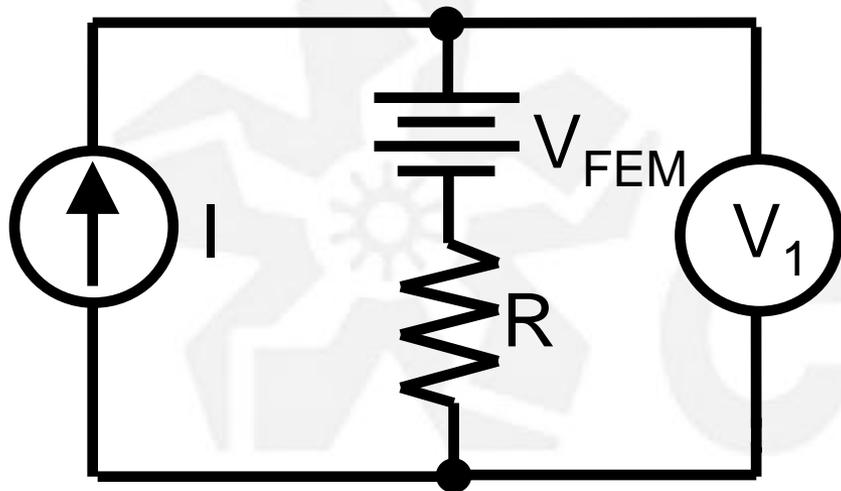
$$2.- V_- = -RI + V_{FEM}$$

$$V = \frac{V_+ - V_-}{2} = R \cdot I$$



# FEMs térmicas

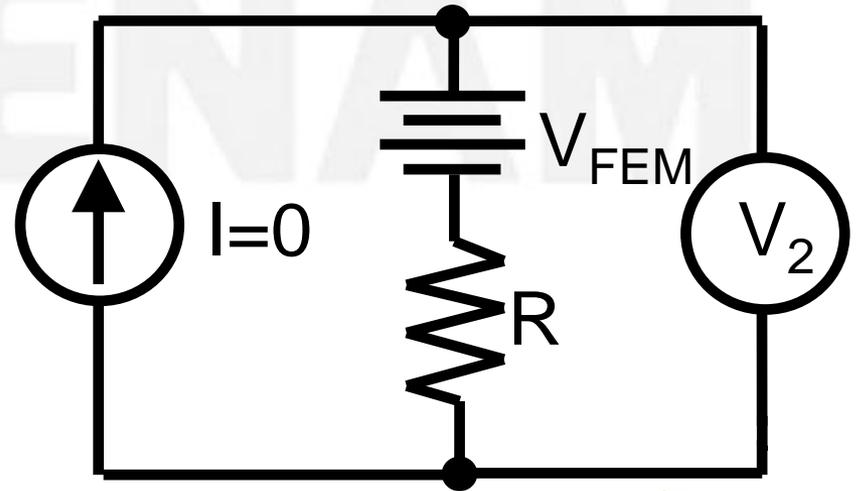
Otro método para cancelar FEMs térmicas:  
Compensación de offset



$$V_1 = V_R + V_{FEM}$$

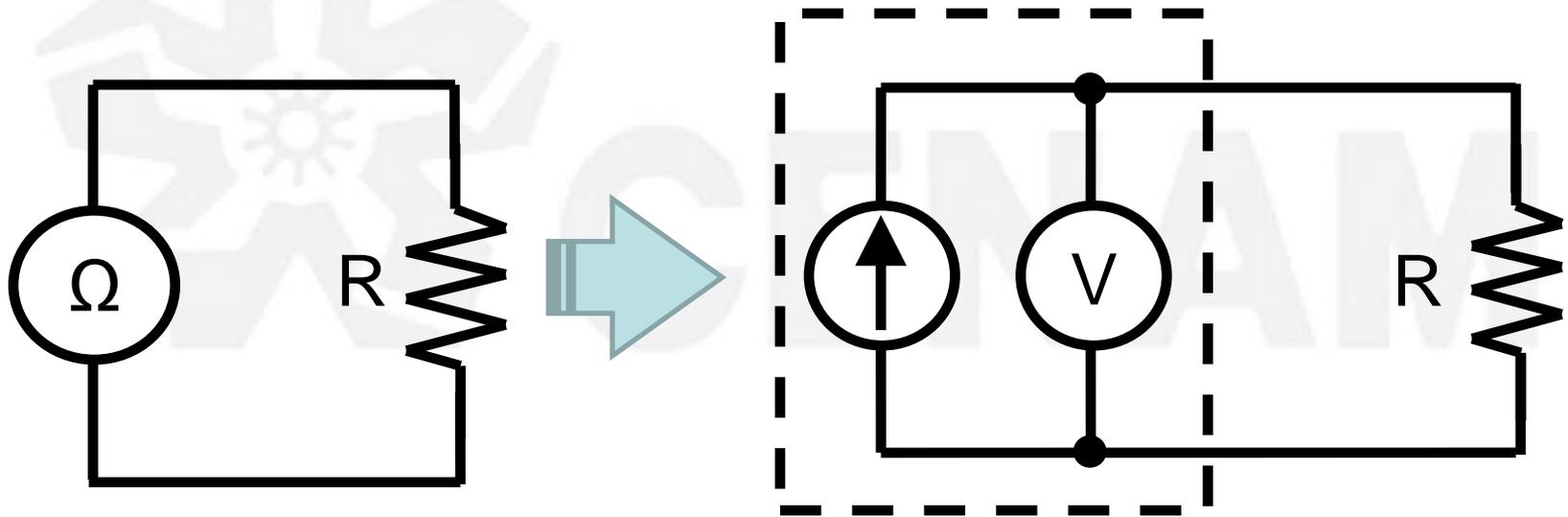
$$V_2 = V_{FEM}$$

$$V_R = V_1 - V_2 = IR$$



# Resistencia de cables

- Comúnmente se mide un resistor a dos terminales con un óhmetro.

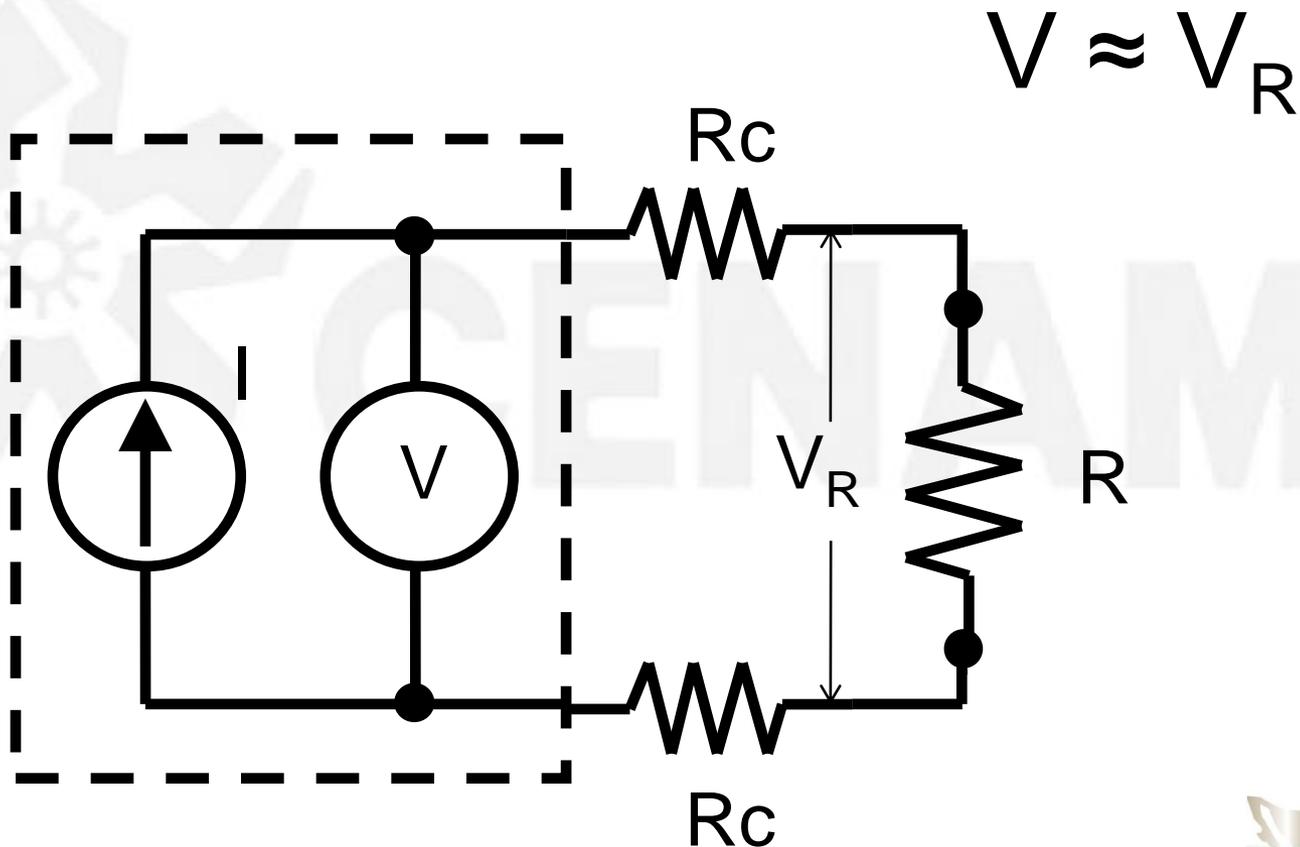


- Resistencia de cables ( $1 \text{ m}\Omega$  -  $100 \text{ m}\Omega$ )

# Resistencia de cables

## Medición a dos terminales

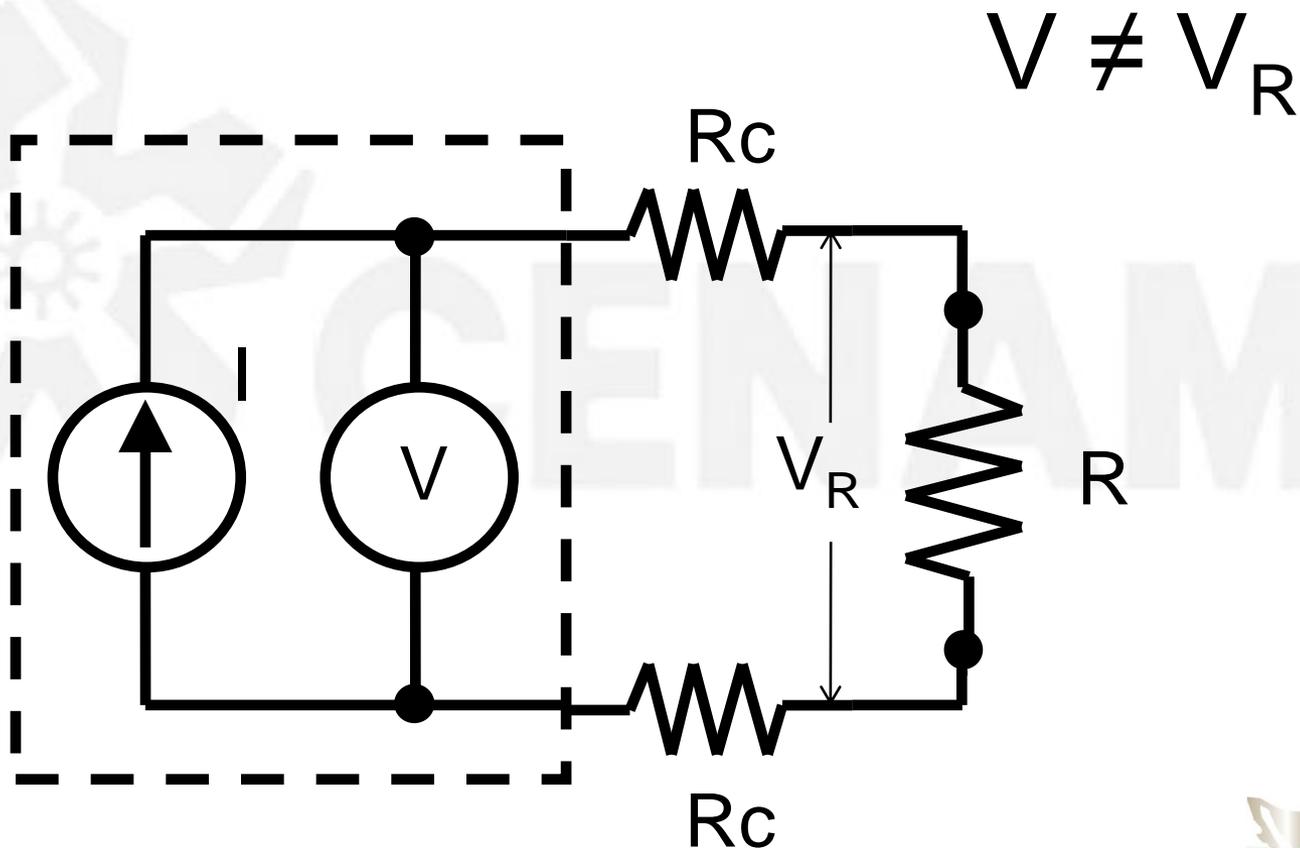
- Si  $R \geq 1 \text{ k}\Omega$



# Resistencia de cables

## Medición a dos terminales

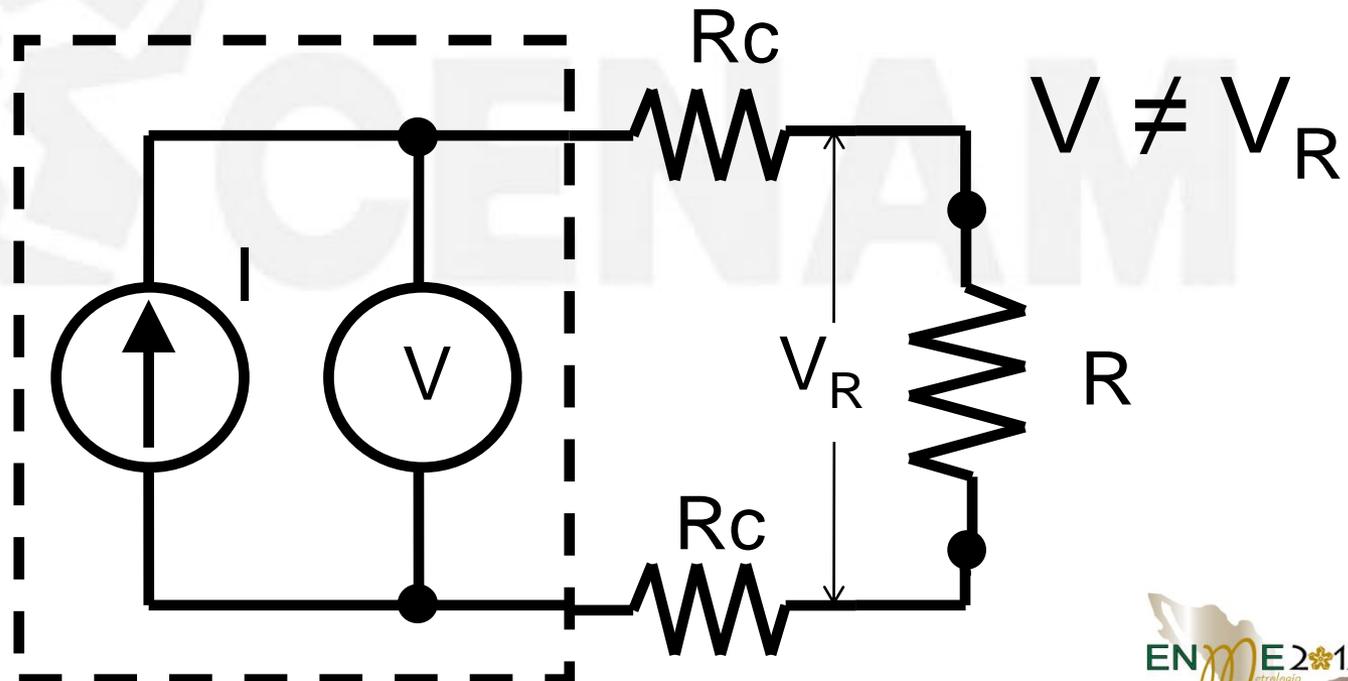
- Si  $R < 1 \text{ k}\Omega$



# Resistencia de cables

## Medición a dos terminales

- $R < 1 \text{ k}\Omega$
- Resistencia de cables ( $1 \text{ m}\Omega - 100 \text{ m}\Omega$ )
- Si  $R = 100 \Omega$  y  $R_c = 100 \text{ m}\Omega$ , entonces error = 0.1 % o  $1000 \mu\Omega/\Omega$

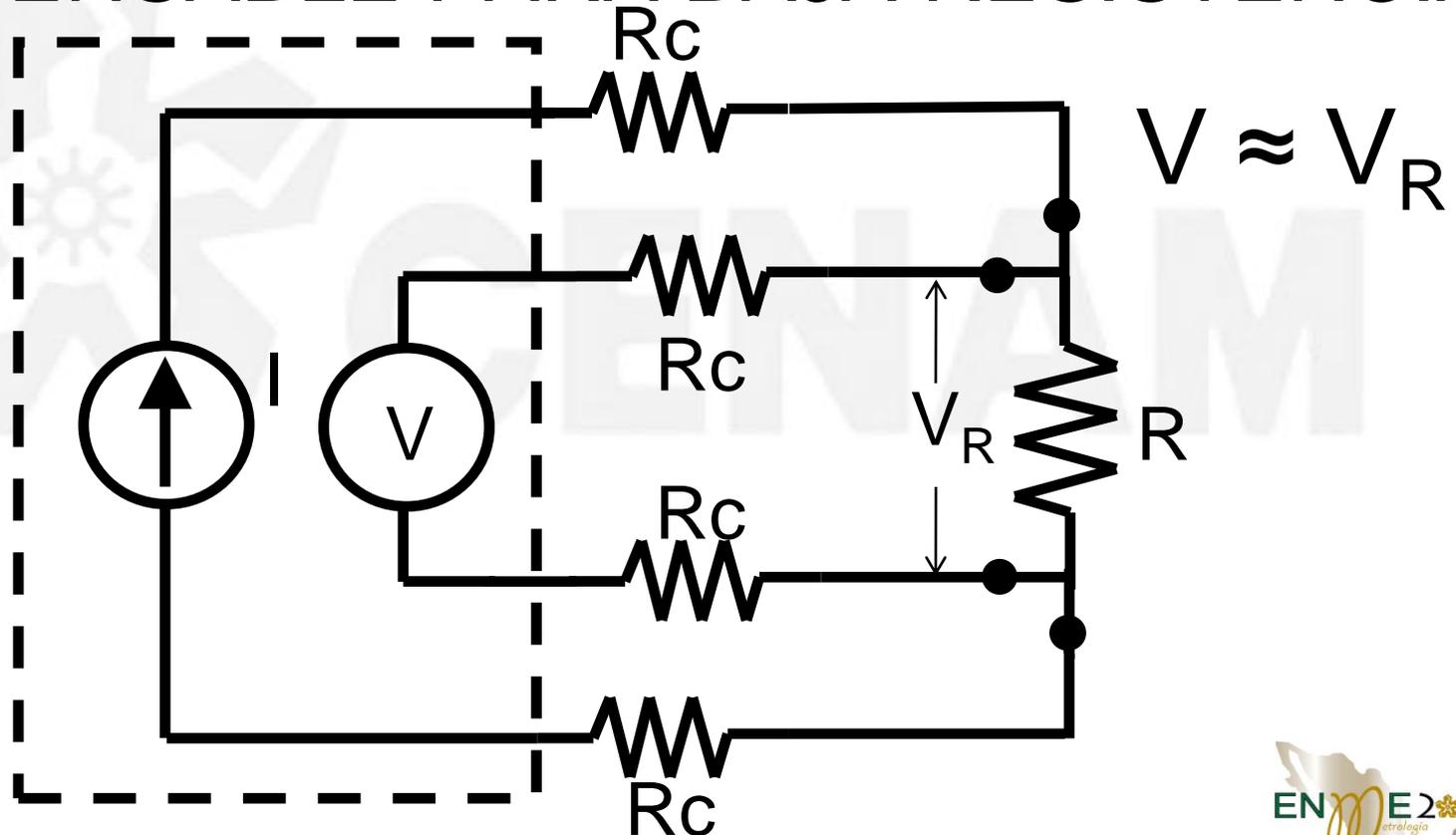


# Resistencia de cables

## Medición a cuatro terminales

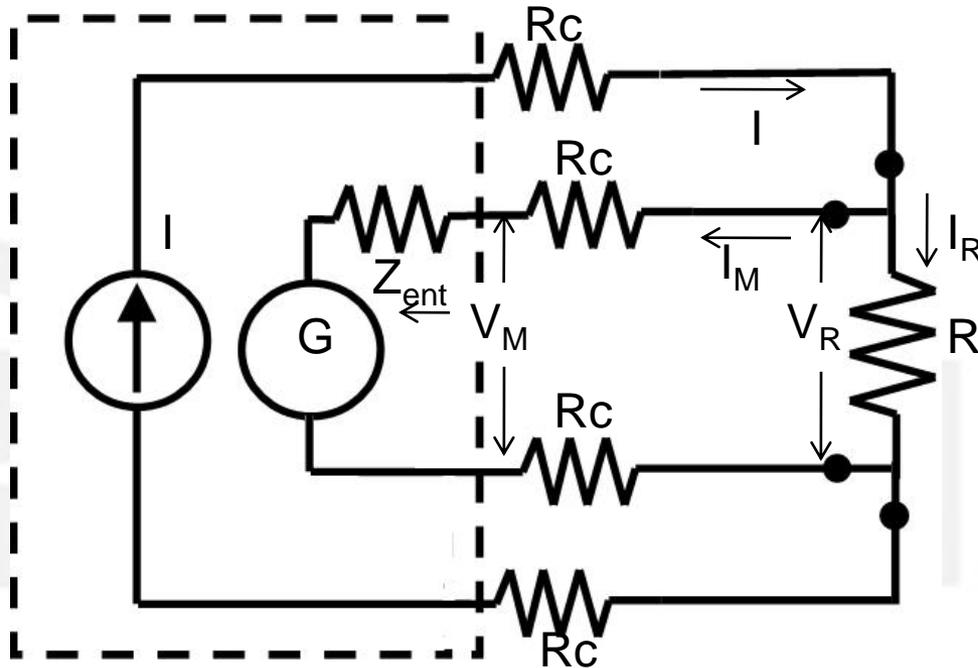
Para  $R \leq 100 \Omega$

¡INDISPENSABLE PARA BAJA RESISTENCIA!



# Resistencia de cables

## Medición a cuatro terminales



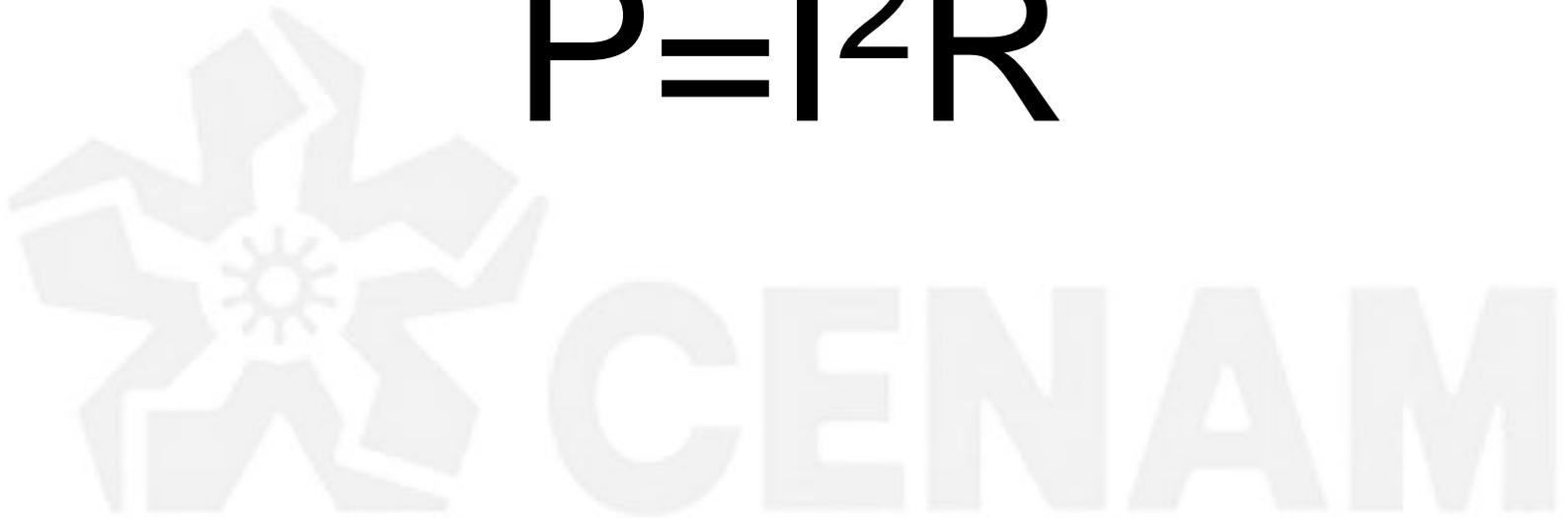
Como  $Z_{ENT}$  es grande ( $>10 \text{ M}\Omega$ ),  $I_M \approx 0$ ,  $I \approx I_R$ .  
La caída de tensión  $V_M \approx V_R$ .  
Entonces  $R \approx V_M/I$

# Resistencia de Contacto

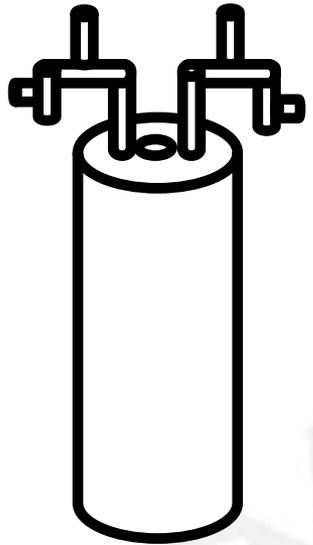
- Una elevada resistencia de contacto puede deberse a capas de óxido en los contactos.
- Las capas de óxido se forman más rápidamente con el calor.
- Limpieza a cables y conectores de cobre con fibra abrasiva.
- Utilizar alcohol isopropílico o con bajo contenido de agua para limpieza.
- Tener cuidado con los cables que tienen una capa de plata o de oro, sólo limpieza superficial.

# Autocalentamiento

$$P=I^2R$$

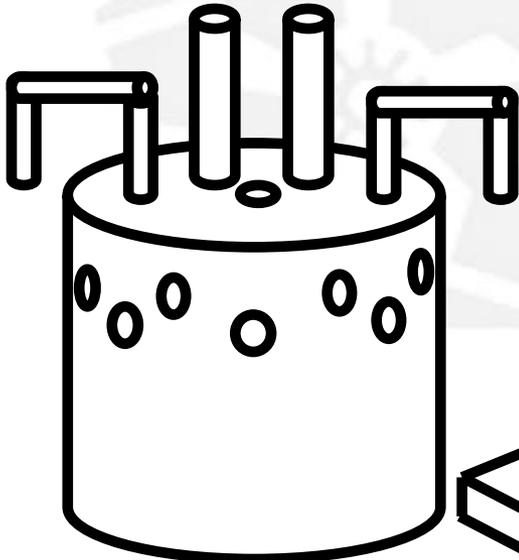


# Autocalentamiento



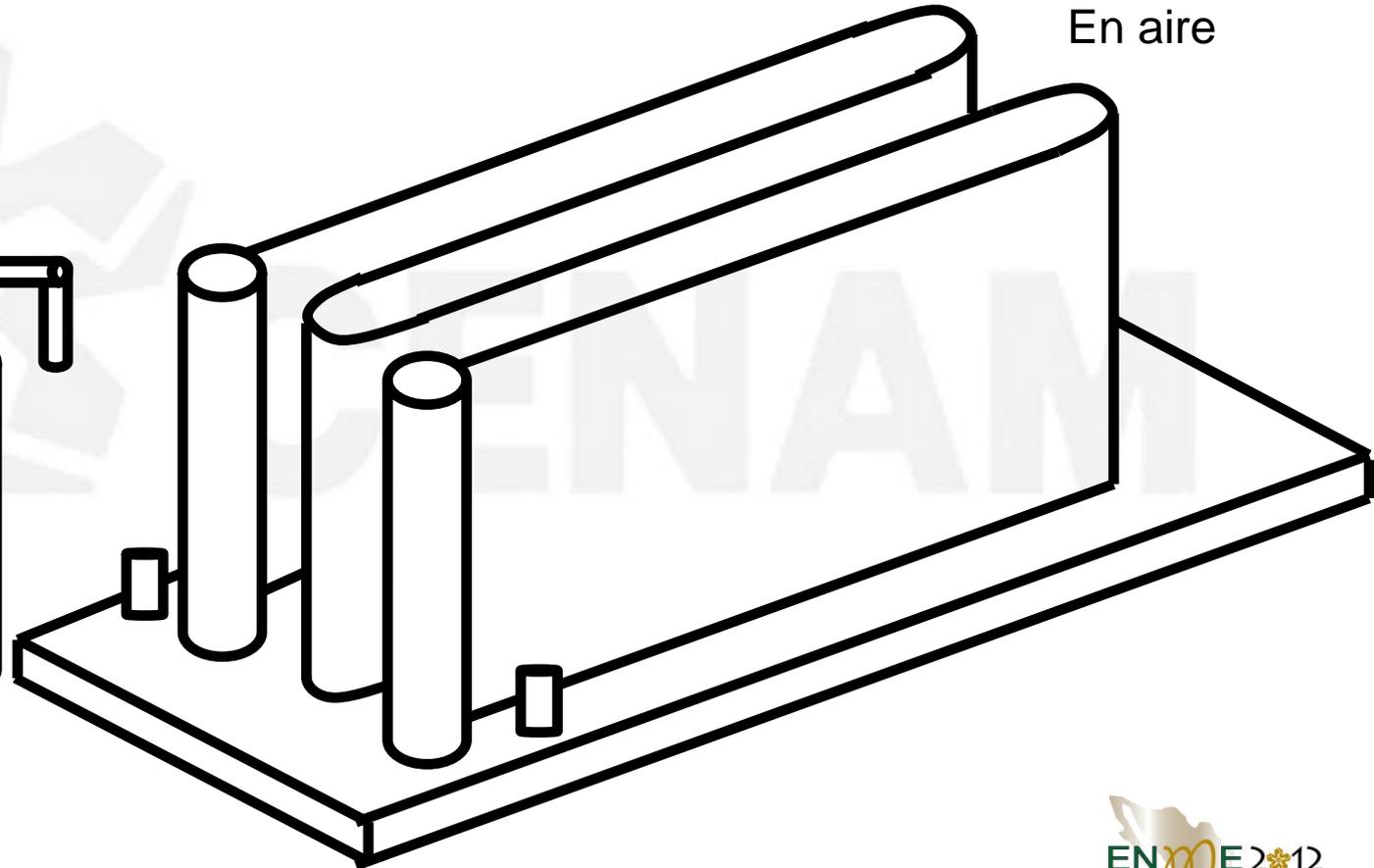
$P_{MAX}=1\text{ W}$

En aceite



$P_{MAX}=10\text{ W}$

En aceite

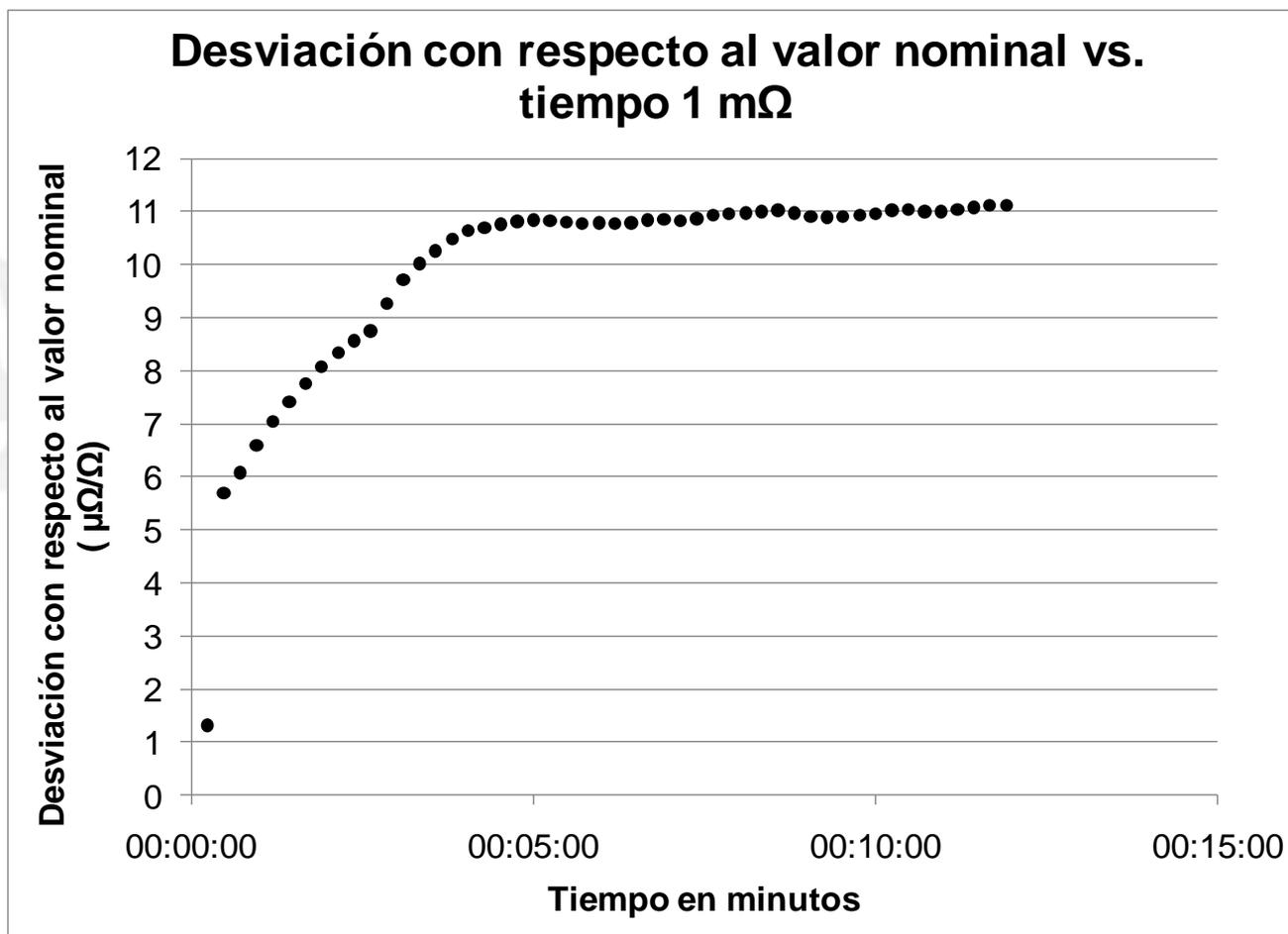


$P_{MAX}>10\text{ W}$

En aire

# Tiempo de estabilización

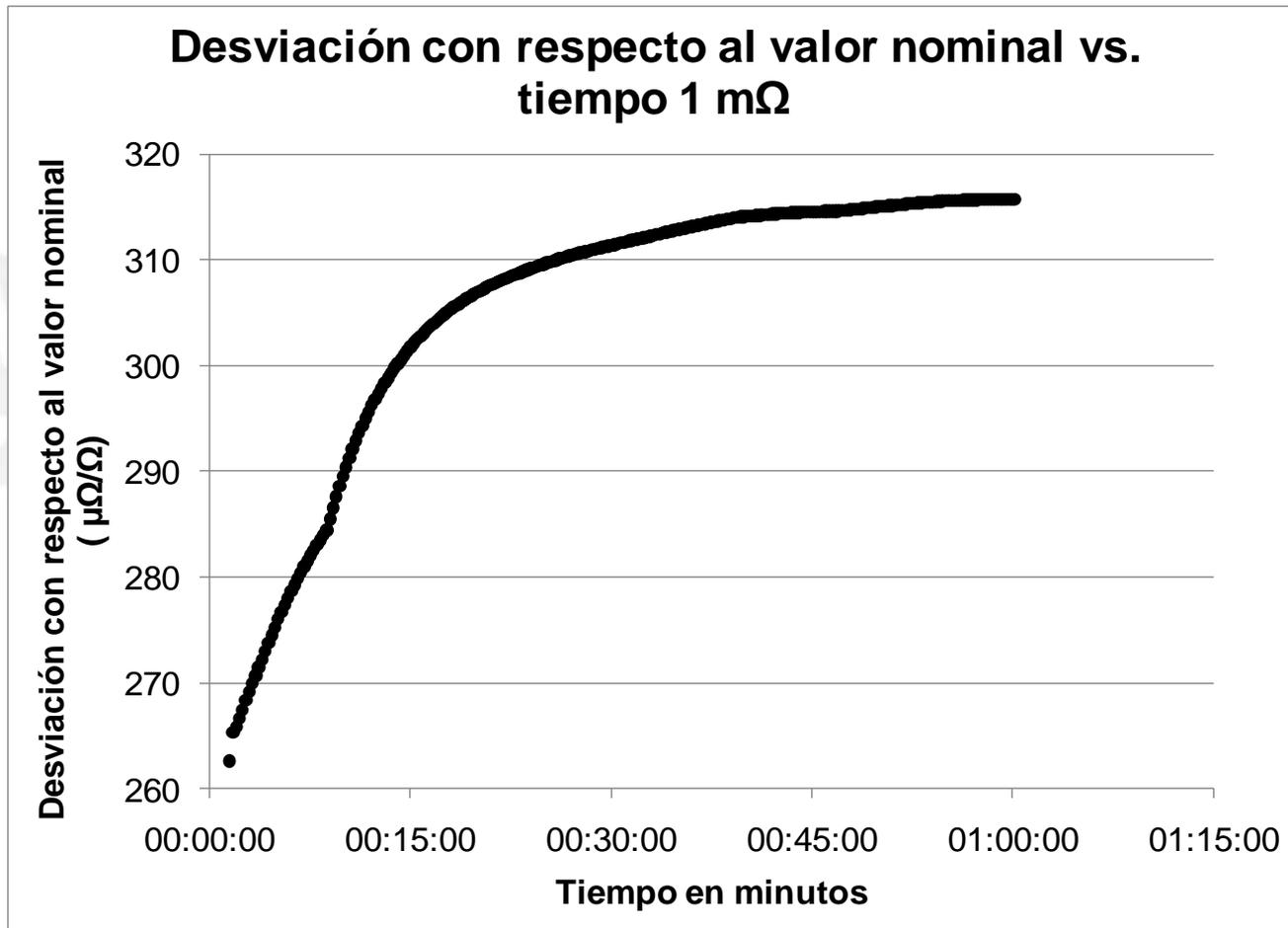
**$I_x=100$  A**



Resistor inmerso en baño de aceite mineral a  $25\text{ }^\circ\text{C}$

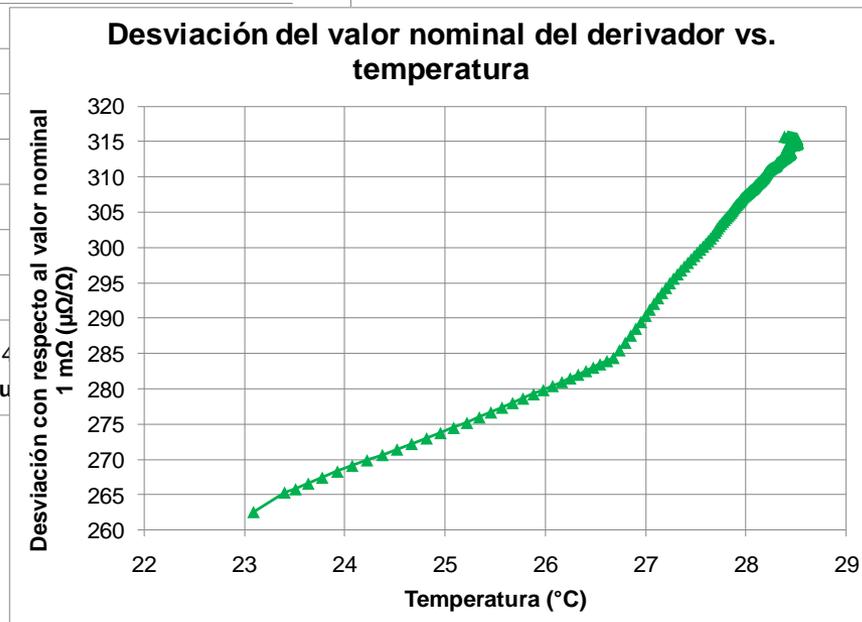
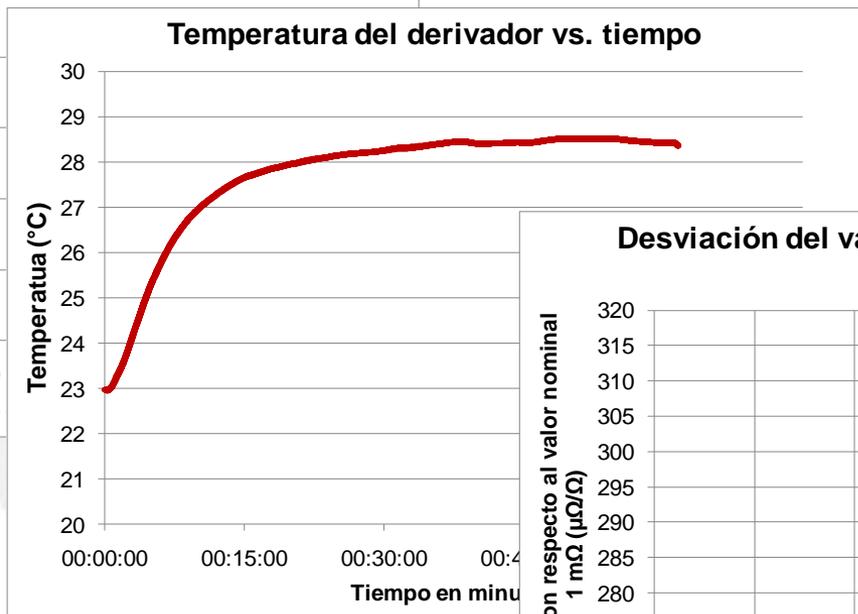
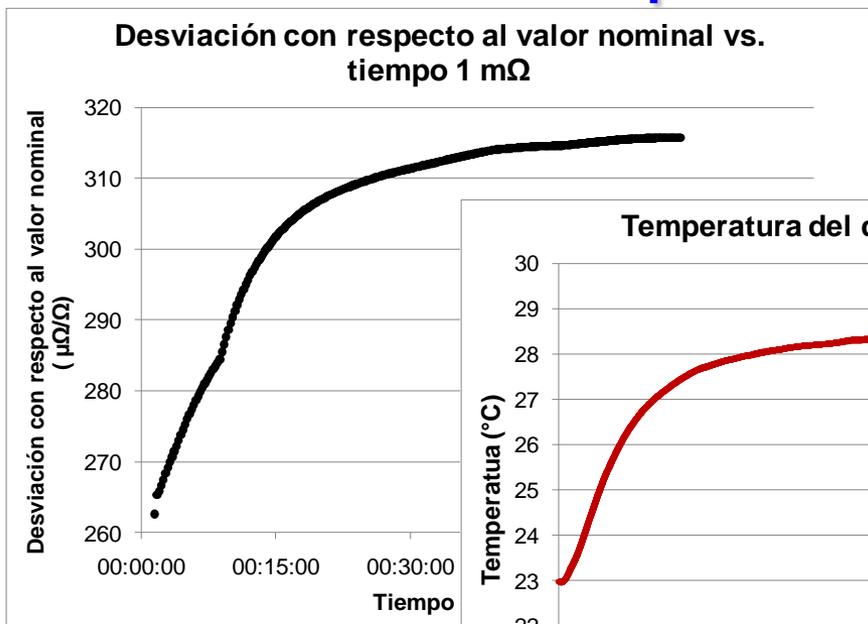
# Tiempo de estabilización

**$I_x=100$  A**

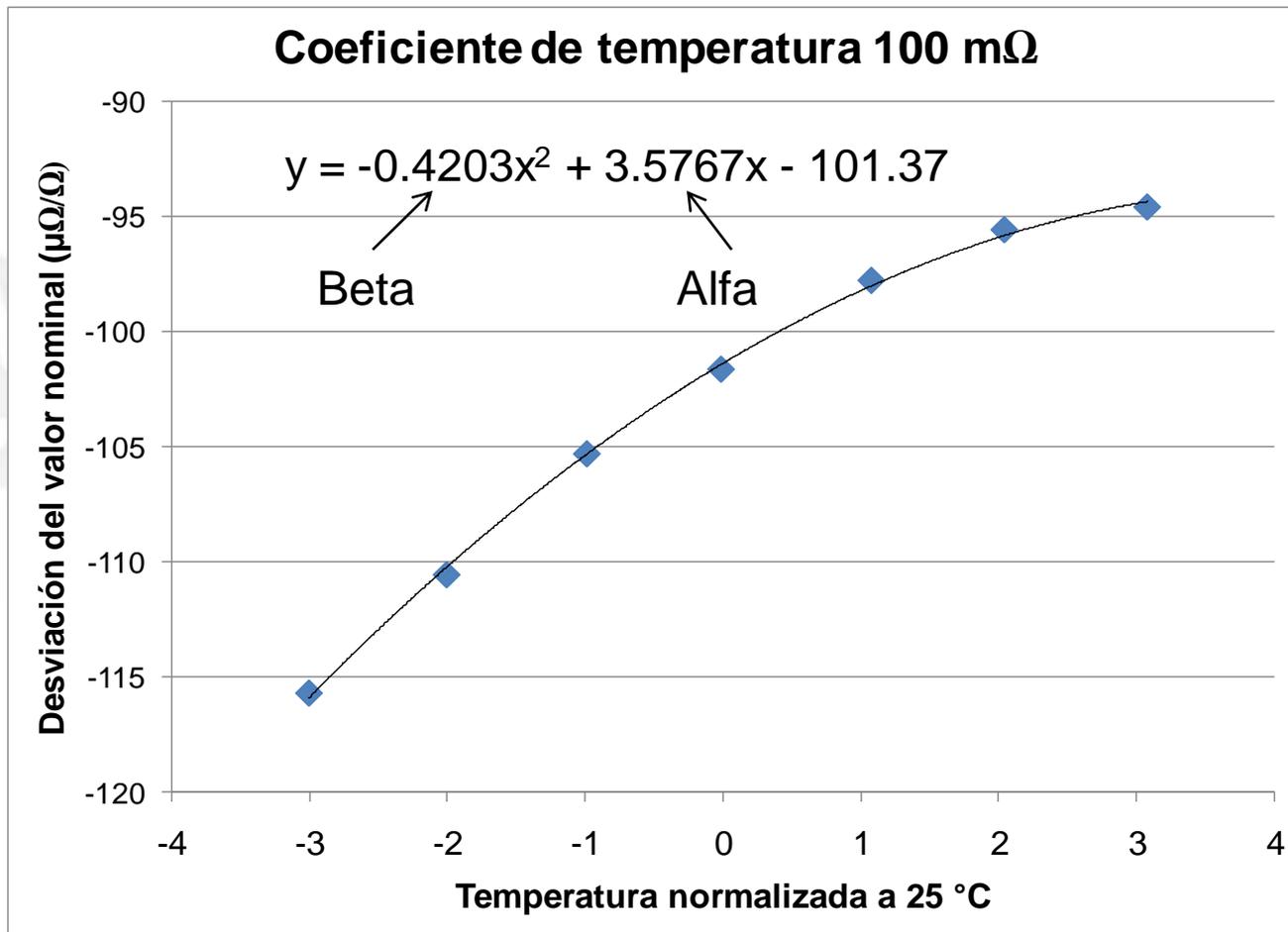


**Resistor expuesto al medio ambiente a 23 °C**

# Tiempo de estabilización

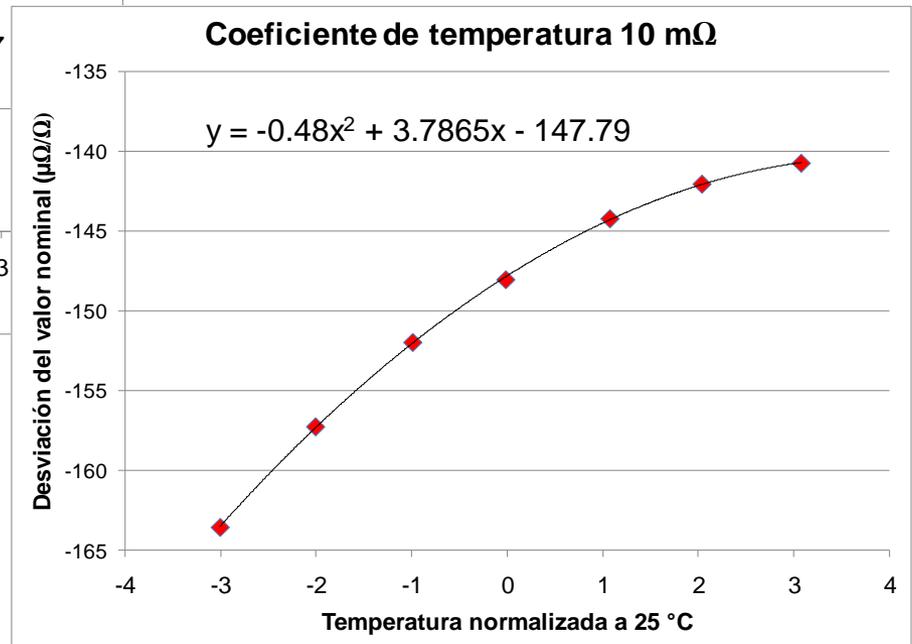
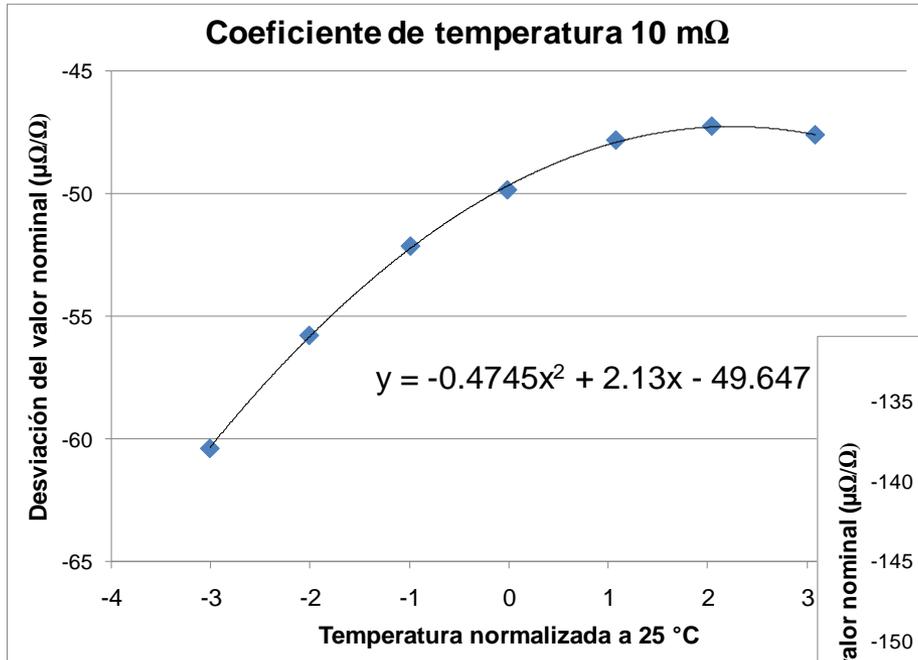


# Coeficientes de temperatura

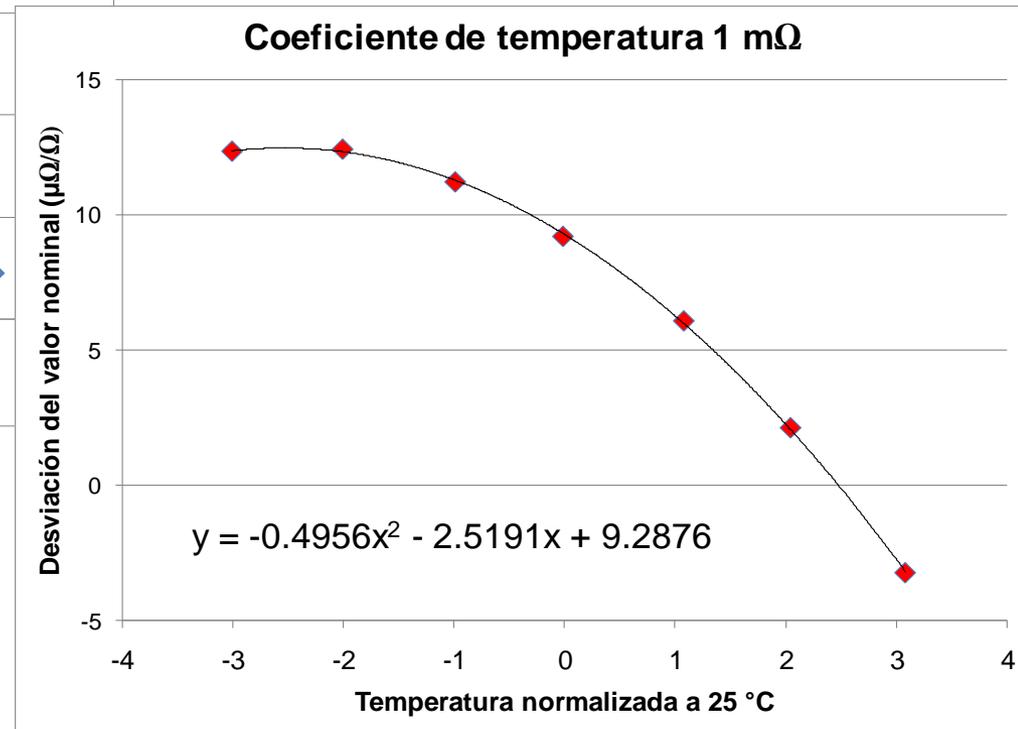
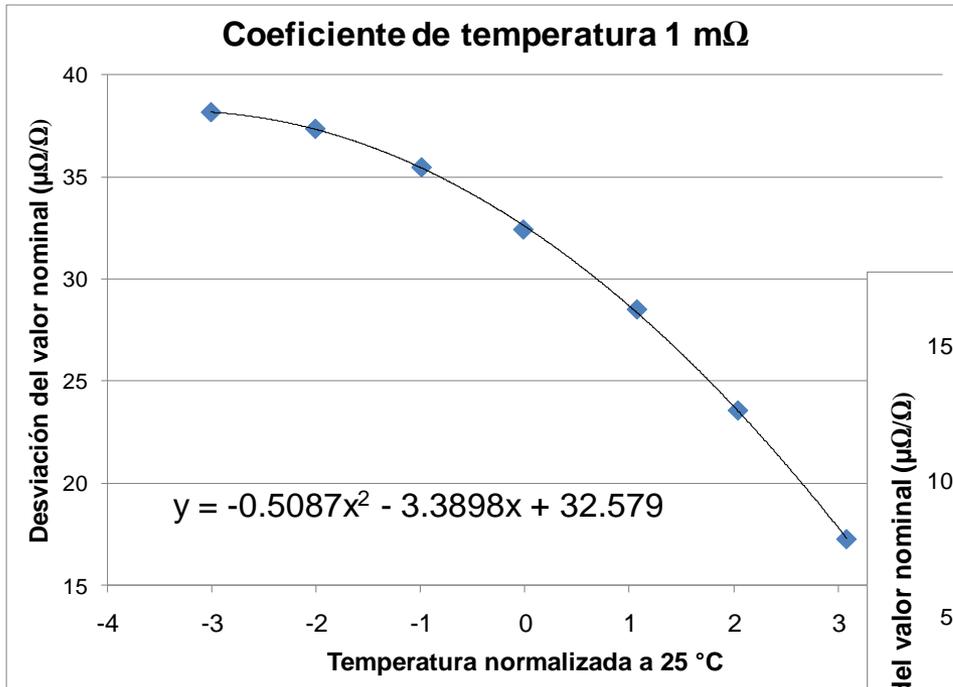


Resistor en baño de aceite mineral a 25 °C

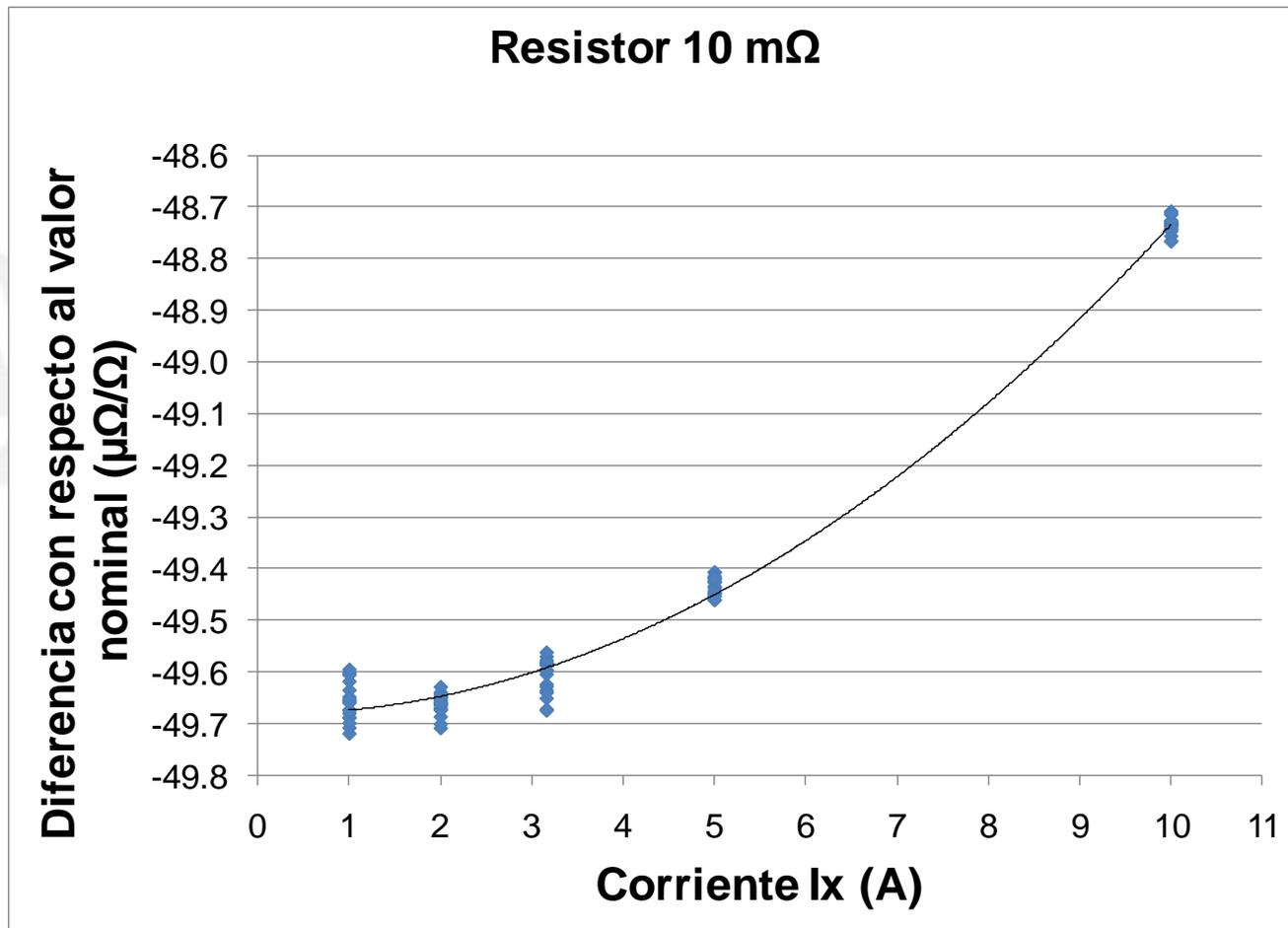
# Coeficientes de temperatura



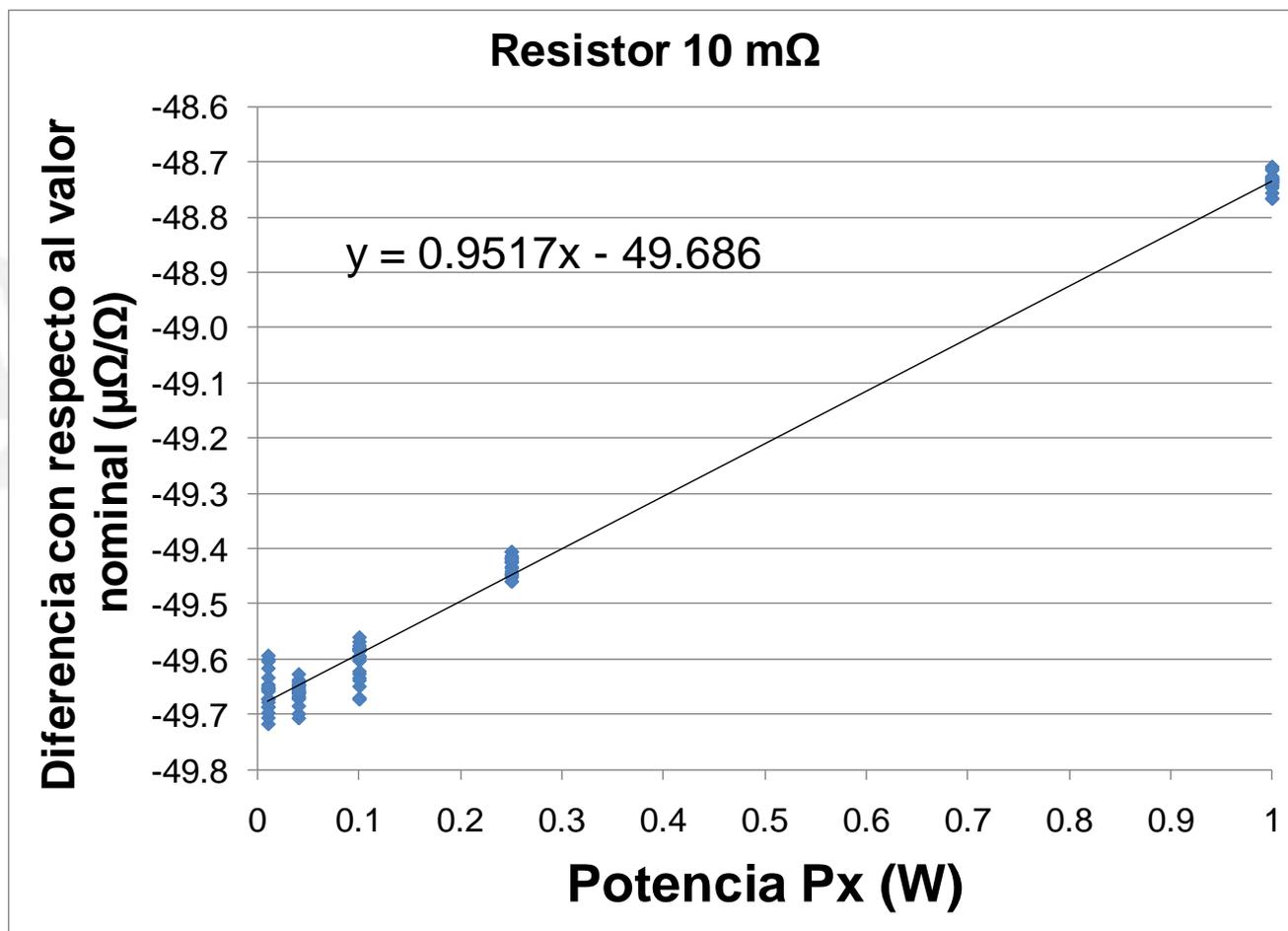
# Coeficientes de temperatura



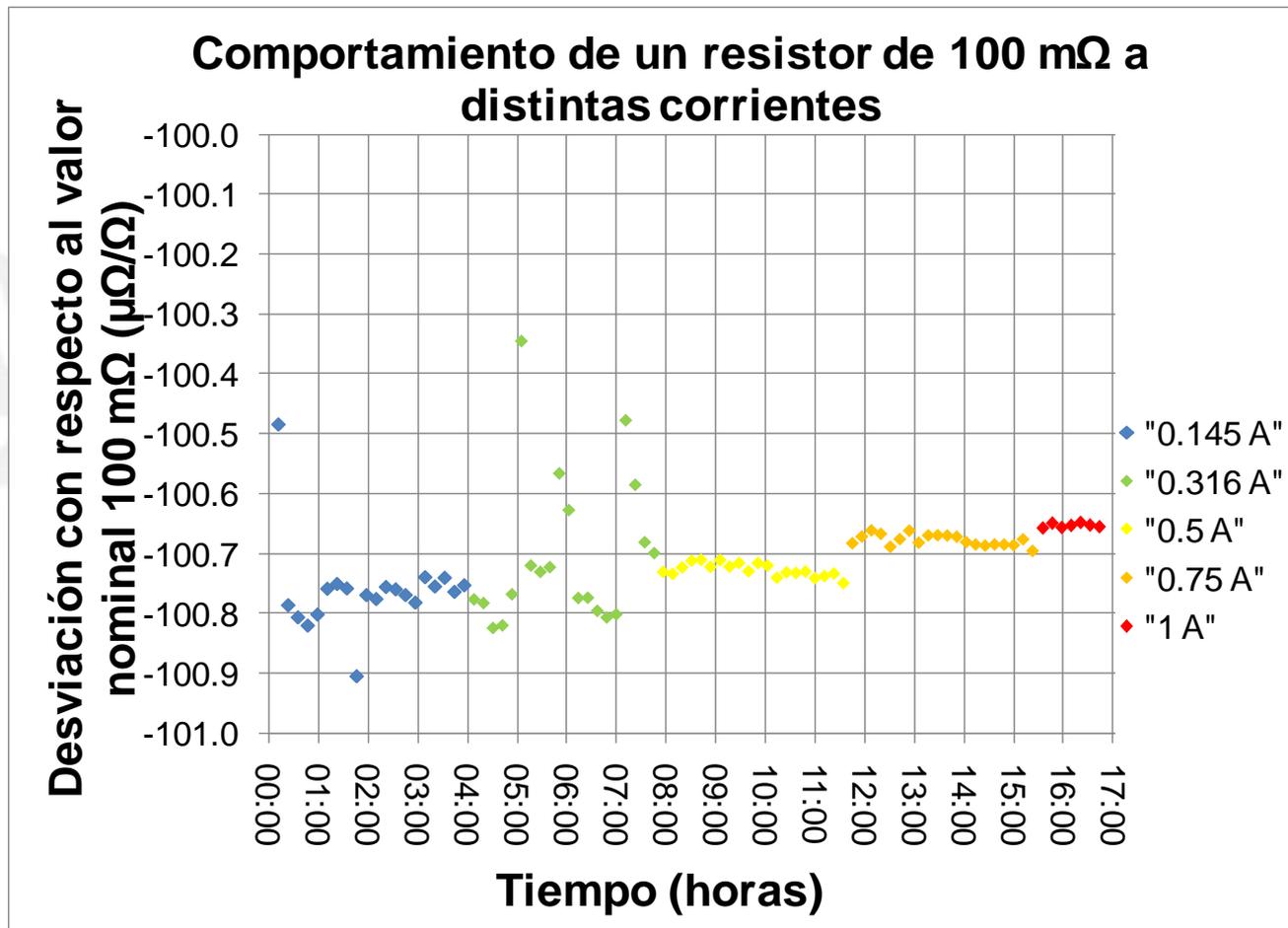
# Coeficiente de potencia



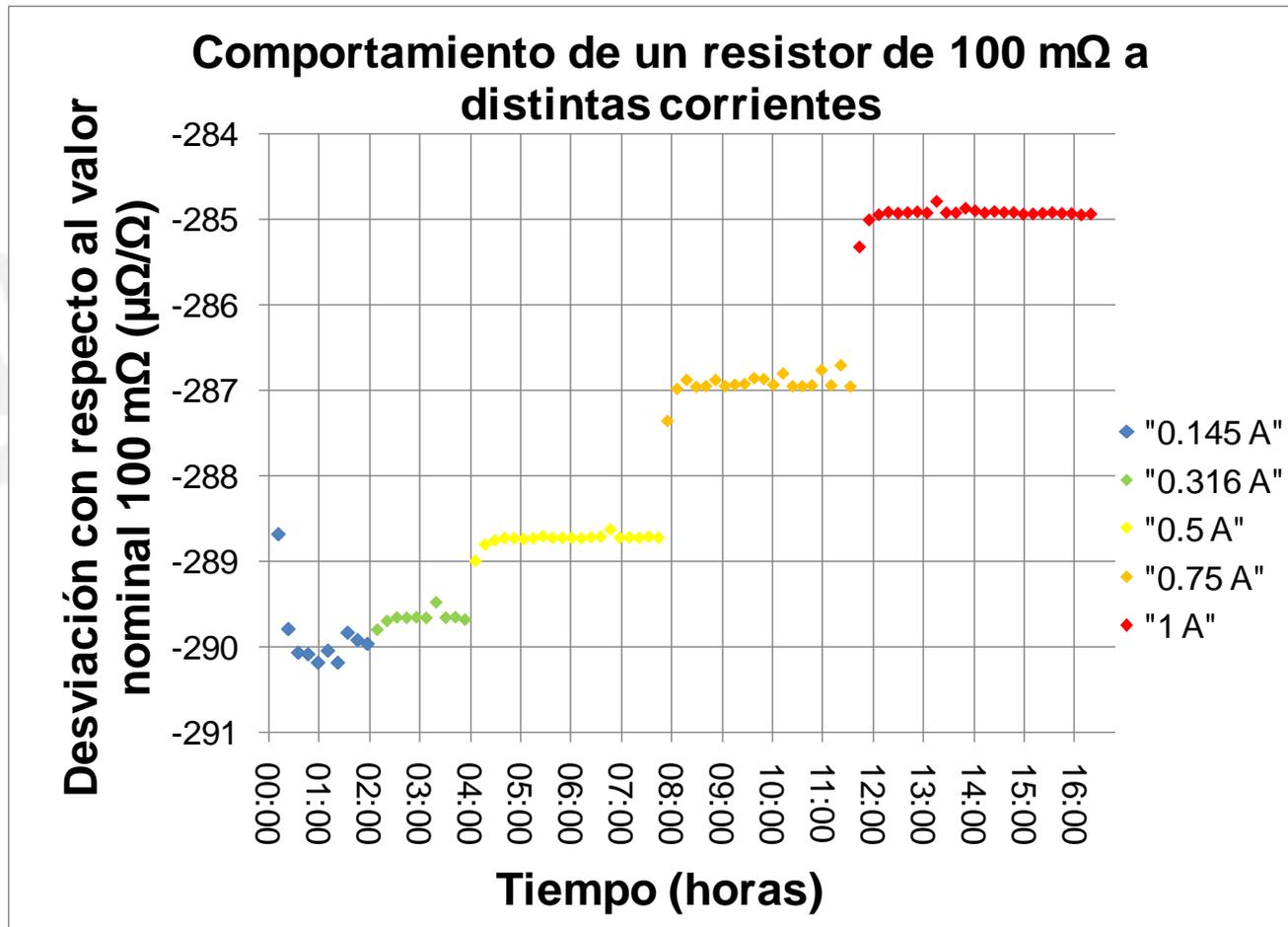
# Coeficiente de potencia



# Coeficiente de potencia



# Coeficiente de potencia



# Medidas para reducir errores en mediciones de baja resistencia eléctrica

- Minimizar el efecto de FEMs térmicas.
- Utilizar la configuración a cuatro terminales.
- Cuidar limpieza de cables para mantener resistencias de contacto en valores mínimos.
- Utilizar cables adecuados para corriente elevada y cables adecuados para medición de tensiones bajas.
- Considerar coeficientes de temperatura y de potencia de resistores.
- Considerar tiempo de estabilización de cada resistor.
- Acoplar al derivador de corriente un termopar o termistor para ver su comportamiento contra temperatura.

# Conclusiones

- La medición de baja resistencia implica tomar en cuenta algunos detalles que resultan importantes para una buena práctica de medición.
- Saber qué se quiere medir y la incertidumbre que se quiere obtener nos marcan el grado de detalle con el que se debe analizar un sistema de medición

Gracias por su atención.

