

# Consideraciones Prácticas en la Medición de valores altos de Resistencia Eléctrica

Benjamín Rodríguez M. y  
Aleph H. Pacheco E.  
Laboratorio del Ohm

Centro Nacional de Metrología

# Contenido

1. Motivación
2. Introducción
3. Implicaciones en la medición de valores altos de Resistencia ( $>1\text{M}\Omega$ )
4. Conclusiones

# Motivación

- Contribuir en la solución de problemas de medición de valores altos de resistencia eléctrica .
- Contribuir en aclarar los puntos de confusión en la medición de valores altos de resistencia.
- Contribuir en la uniformidad de conceptos técnicos necesarios en un proceso de evaluación de laboratorios de calibración.

# Introducción

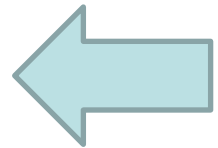
¿Qué valor de resistencia mido?  
¿Qué incertidumbre quiero obtener?



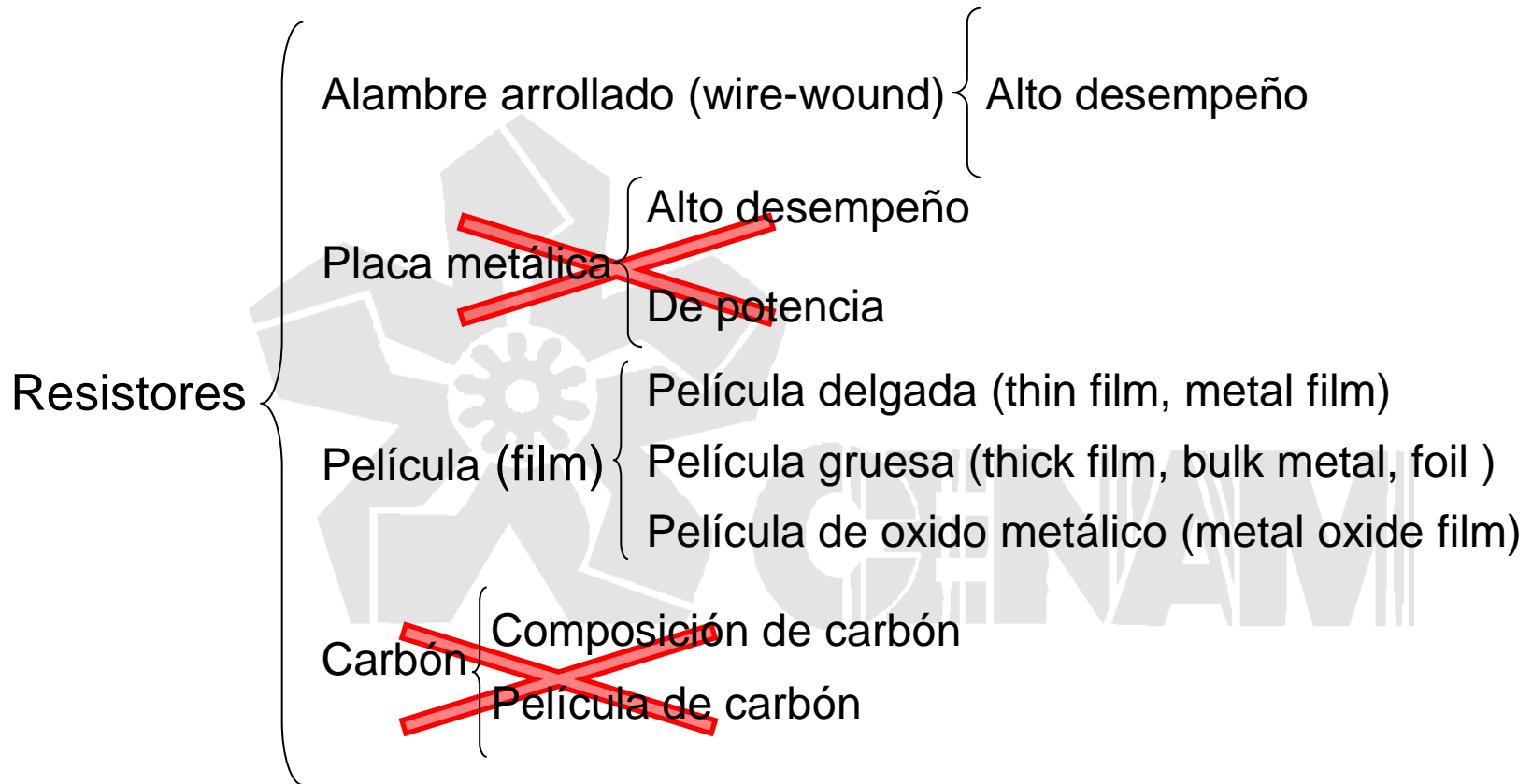
Bajos valores de resistencia ( $< 1 \Omega$ )

Valores intermedios ( $1 \Omega$  a  $1 \text{ M}\Omega$ )

Altos valores de resistencia ( $> 1 \text{ M}\Omega$ )



# Tipos de Resistores de valores altos



# Características de los Resistores de valor alto ( $> 1 \text{ M}\Omega$ )

- **Resistores de alambre arrollado**
  - ✓ Excelente estabilidad
  - ✓ Muy bajo coeficiente de temperatura
  - ✓ Muy bajo Ruido
  - ✗ Alta componente inductiva
  - ✗ Bajo intervalo de valores ( $< 100 \text{ M}\Omega$ )

# Características de los Resistores de valor alto ( $> 1 \text{ M}\Omega$ )

- **Resistores de película**

- ✓ Buena estabilidad
- ✓ Bajo coeficiente de temperatura
- ✓ Baja componente inductiva
- ✓ Amplio intervalo de valores
- ✓ Bajo costo
- ✗ Mas ruidosos que los de alambre arrollado
- ✗ Baja potencia

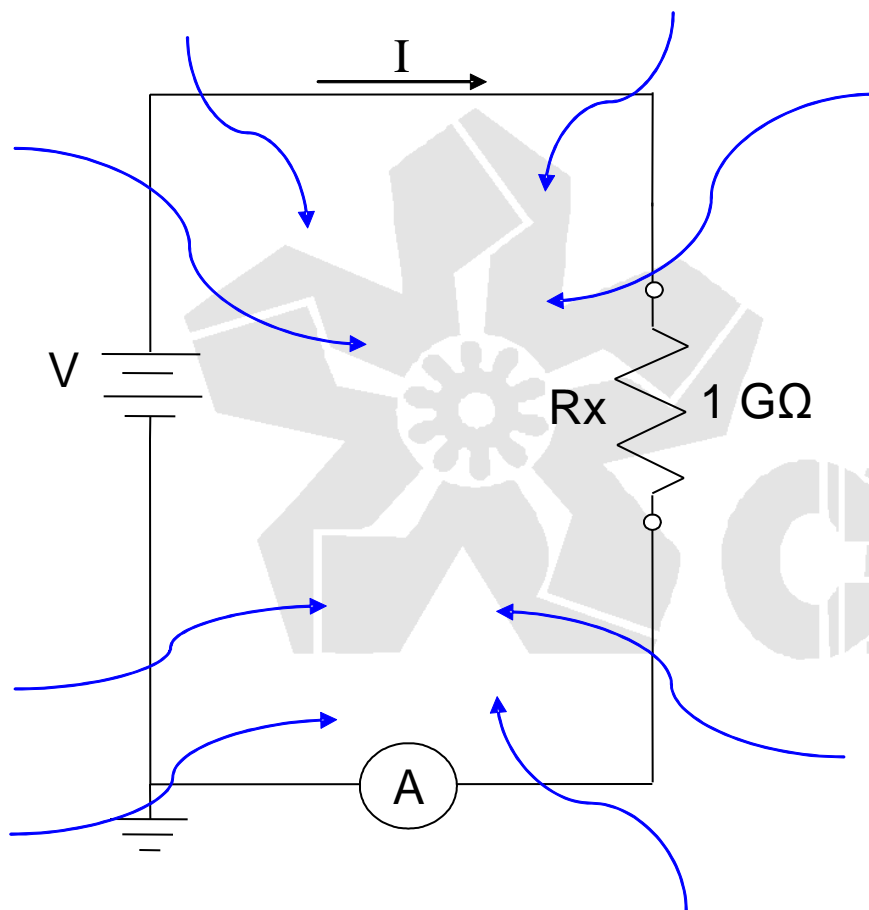
Tipo	Intervalo de Valores típico	Tolerancia mínima	Coeficiente de temperatura mínimo	Potencia Máxima
Alambre arrollado (wirewound)	0,1Ω a 10 MΩ	0 . 0 0 0 1 %	0 . 0 0 0 0 1 % / ° C	1 0 W
Película metálica o película delgada (metal film o thin film)	1 Ω a 10 TΩ	0 . 0 0 1 %	0 . 0 0 0 0 5 % / ° C	1 W
✗ Película de Carbón Carbon film	1 Ω a 100 MΩ	0 . 5 %	0 . 0 1 % / ° C	2 W
✗ Carbón Carbon composition	1 Ω a 100 MΩ	0 . 5 %	0 . 1 % / ° C	2 W



# Implicaciones de la medición de valores altos de Resistencia ( $>1\text{M}\Omega$ )

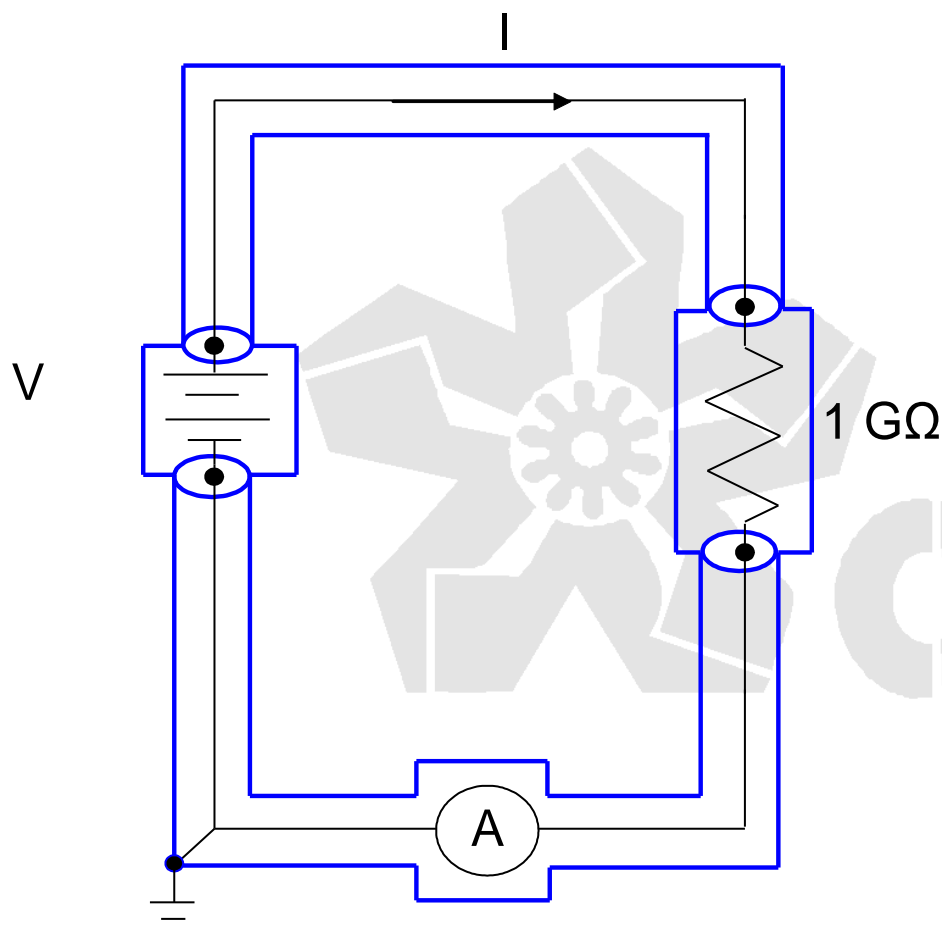
- Aspectos Importantes que NO se deben olvidar
  - *Ruido*
  - *Uso adecuado del blindaje y guarda*
  - *Corrientes de Fuga*
  - *Coeficientes de Temperatura*
  - *Coeficiente de Tensión*
  - *Humedad*
  - *Efectos Capacitivos*

# Impacto del Ruido Electromagnético



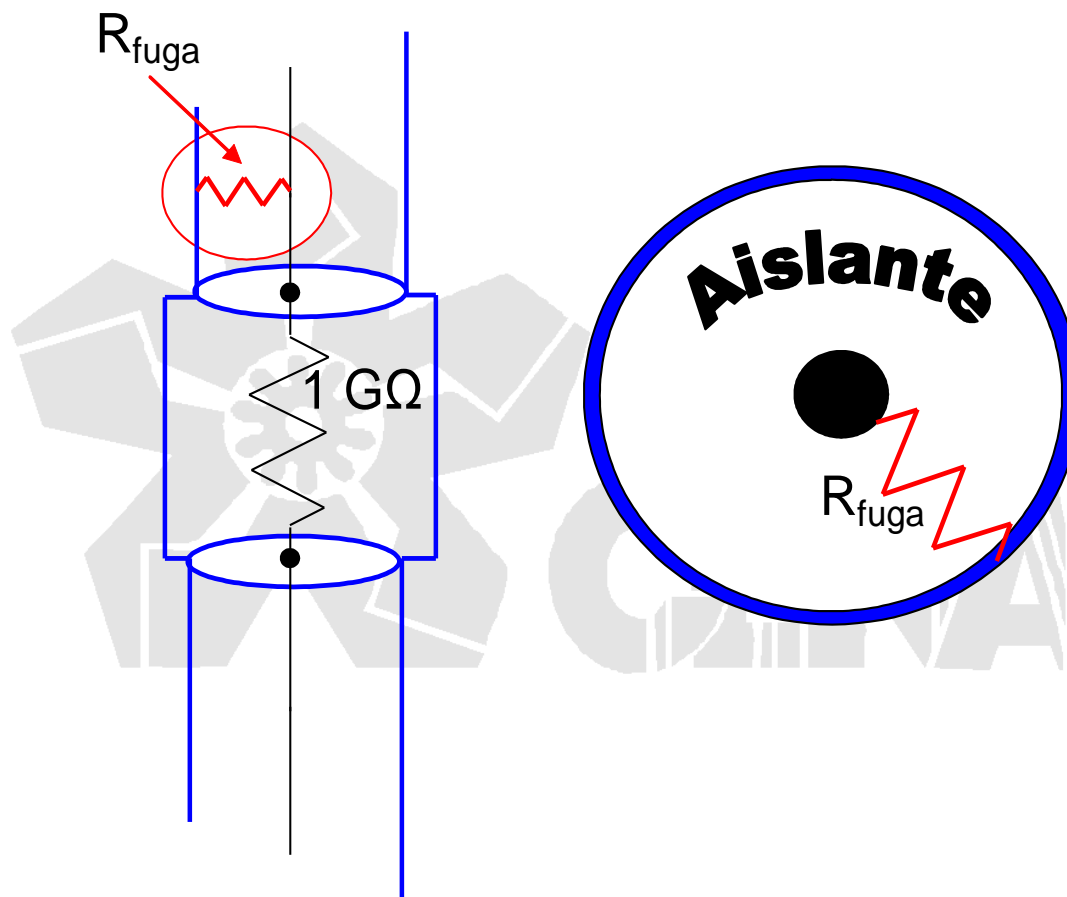
$$I \leq \mu\text{A}$$

# Uso adecuado del blindaje

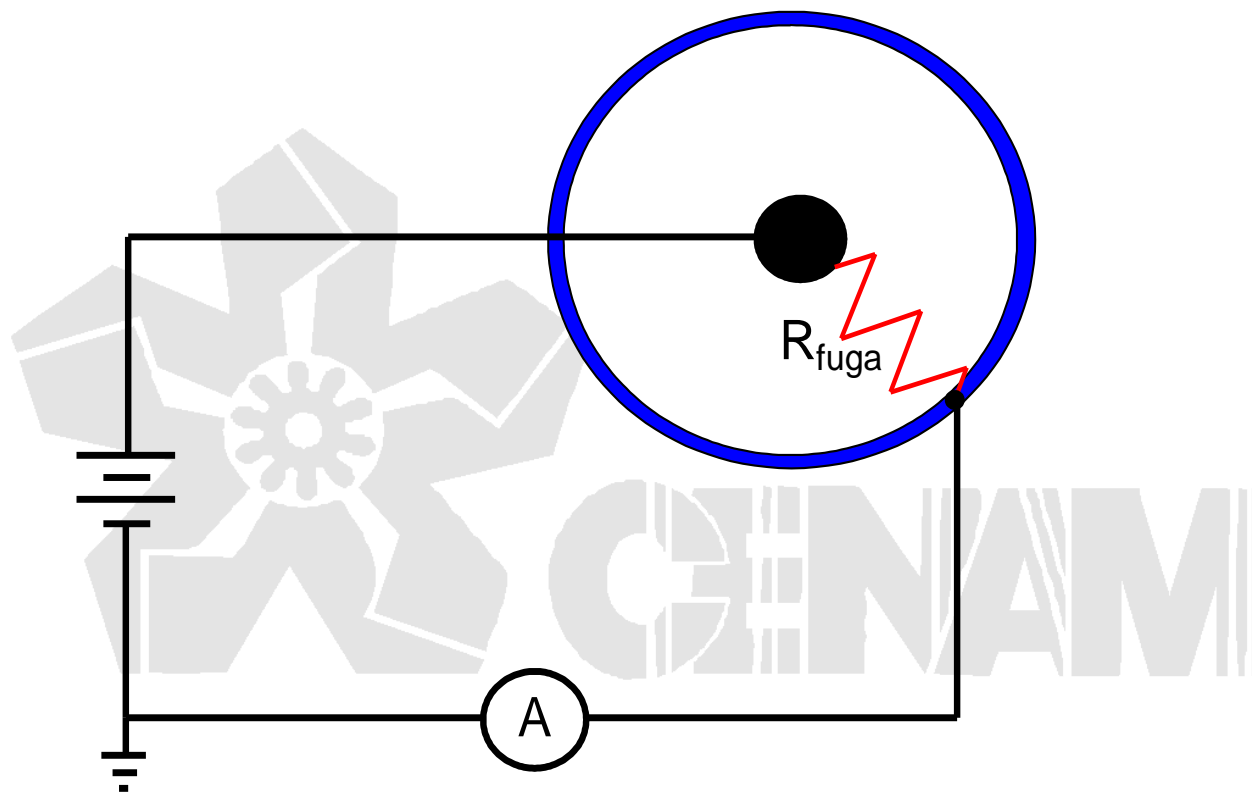


El blindaje del sistema de medición tiene el efecto de una jaula de Faraday, en la que los campos electromagnéticos externos no interfieren con los presentes dentro del sistema de medición.

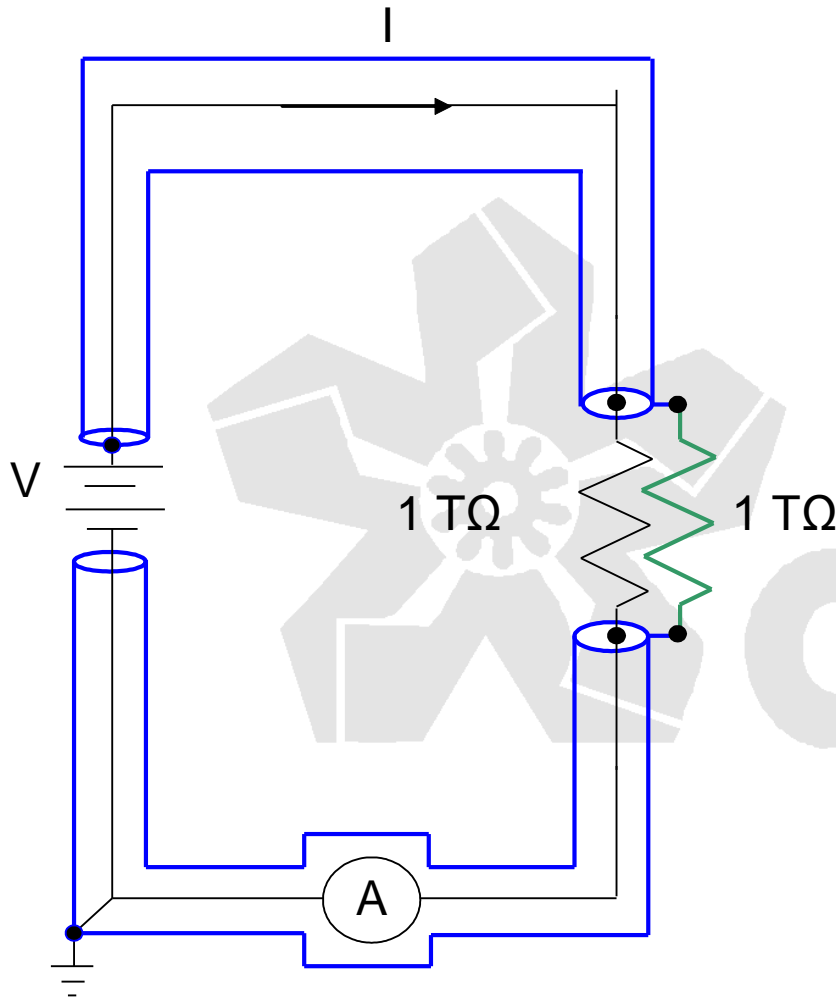
# ¿Qué es la resistencia de fuga?



# Resistencia de fuga



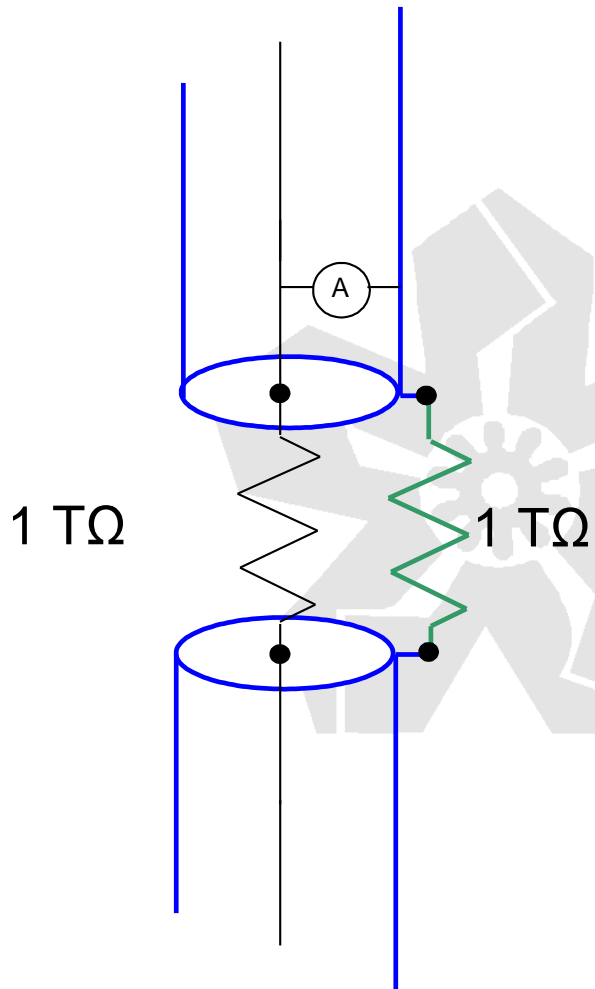
# Guarda activa



## GUARDA ACTIVA:

CONSISTE EN CONECTAR EL BLINDAJE AL MISMO POTENCIAL QUE EL CONDUCTOR PRINCIPAL PARA LOGRAR QUE ENTRE ELLOS LA DIFERENCIA DE POTENCIAL SEA PRÁCTICAMENTE CERO EN TODO EL CIRCUITO DE MEDICIÓN.

# Guarda activa



PARA LOGRAR EL MISMO POTENCIAL A LO LARGO DE TODO EL CIRCUITO, SE PUEDE INTRODUCIR UN RESISTOR AUXILIAR DEL MISMO VALOR NOMINAL QUE EL RESISTOR DE PRUEBA

# Aislantes eléctricos

- La resistencia de Fuga ( $R_{\text{fuga}}$ ) esta en función de la resistividad ( $\rho$ ) del material aislante y de las dimensiones del cable o conector en donde esta instalado.
- Un buen aislante eléctrico tiene una resistividad alta.
- Por ejemplo, los cables de conexión para medir Alta Resistencia usados en el CENAM son cables coaxiales con TEFLÓN (PTFE) como material aislante

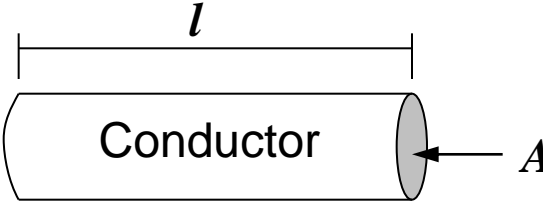


# Diferencia entre Resistividad y Resistencia

- **Resistividad y Resistencia**

La resistividad es una propiedad de cualquier material.

La resistencia depende de la geometría y de la resistividad.



The diagram shows a horizontal cylinder labeled "Conductor". Above the cylinder, a dimension line indicates its length as  $l$ . To the right of the cylinder, an arrow points to its circular end face, which is labeled  $A$ , representing the cross-sectional area.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

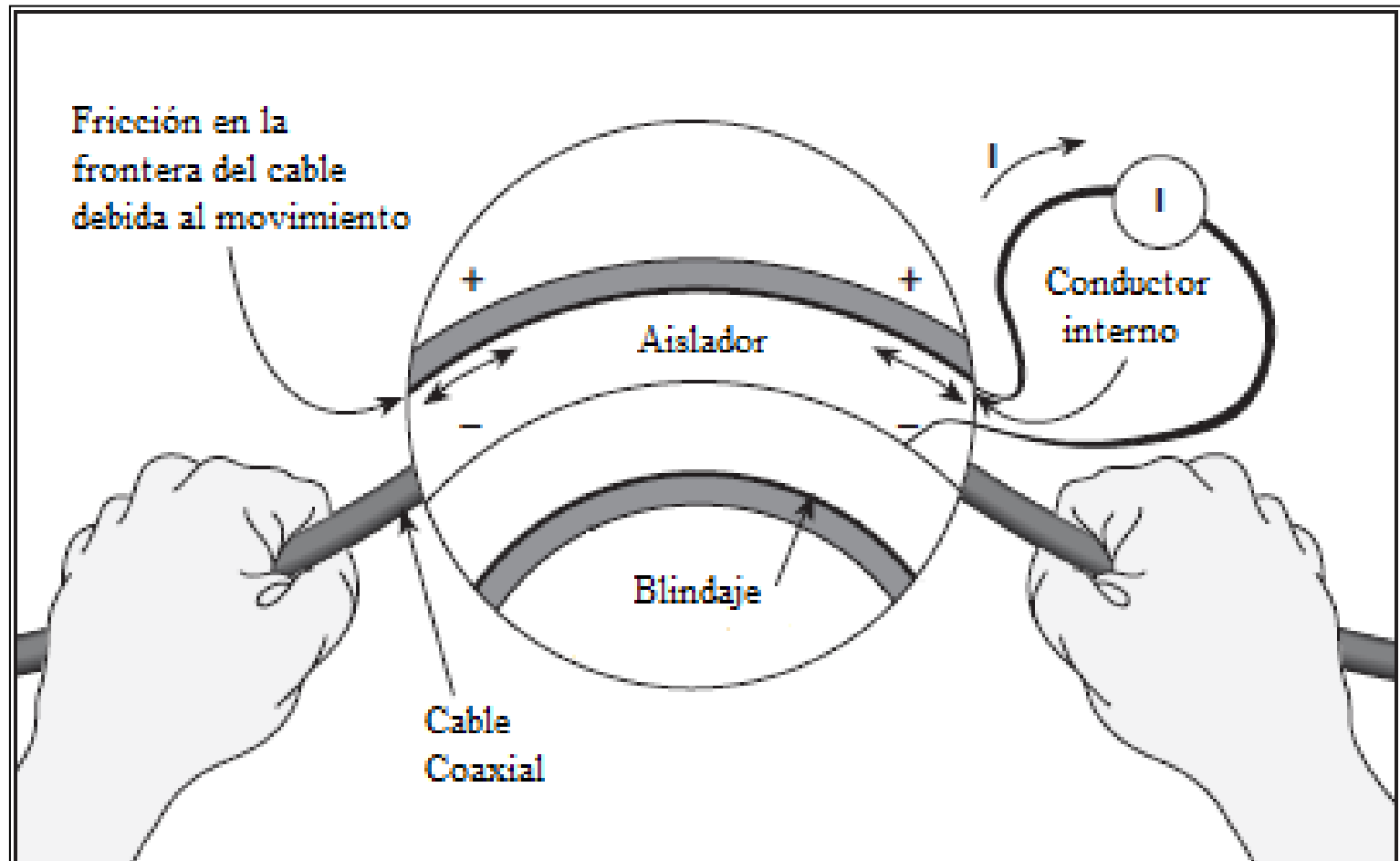
Donde  $R$  es la resistencia eléctrica ( $\Omega$ )

$\rho$  es la resistividad del material ( $\Omega\cdot\text{m}$ )

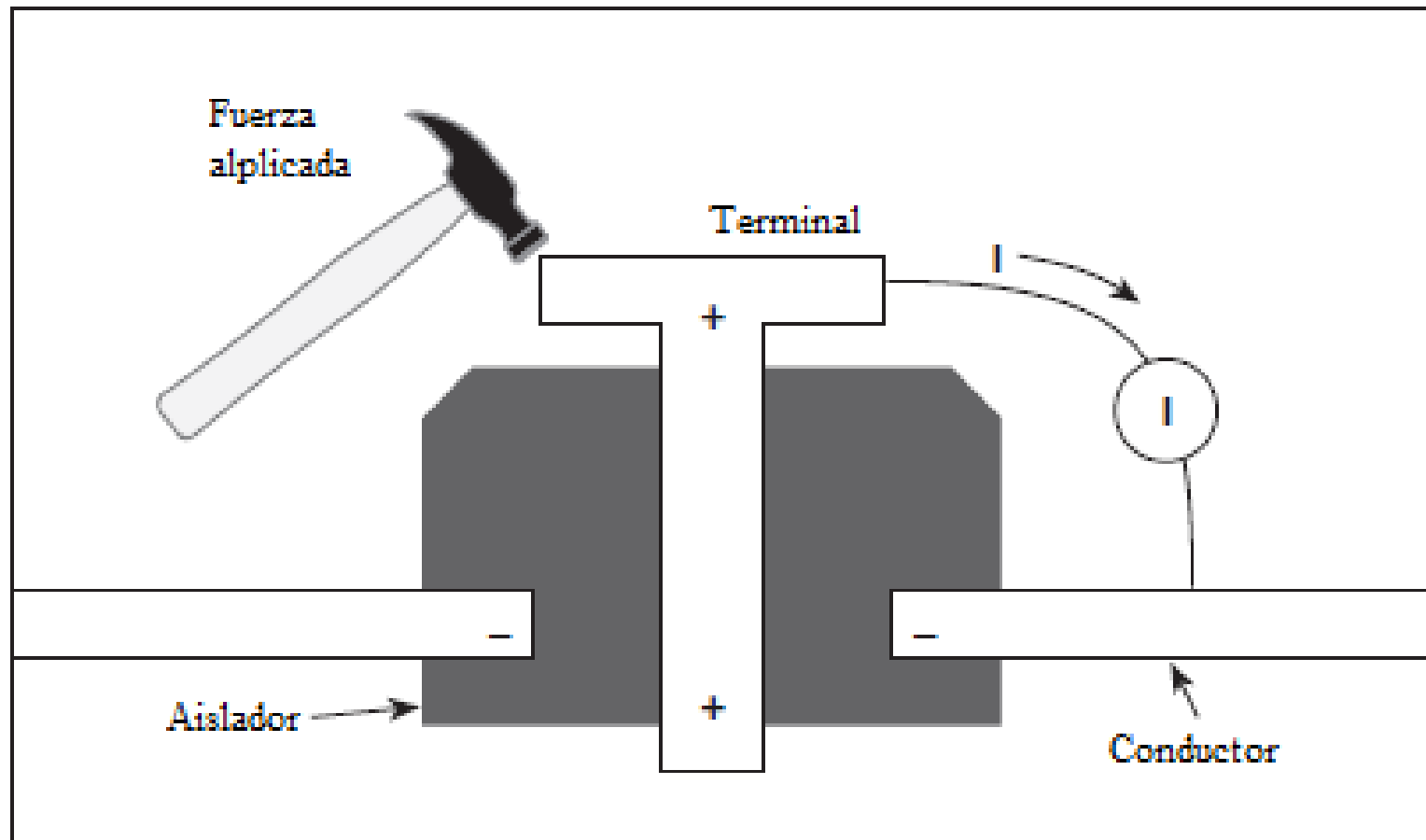
$l$  es la longitud (m)

$A$  es el área transversal ( $\text{m}^2$ )

# Efectos Triboeléctricos



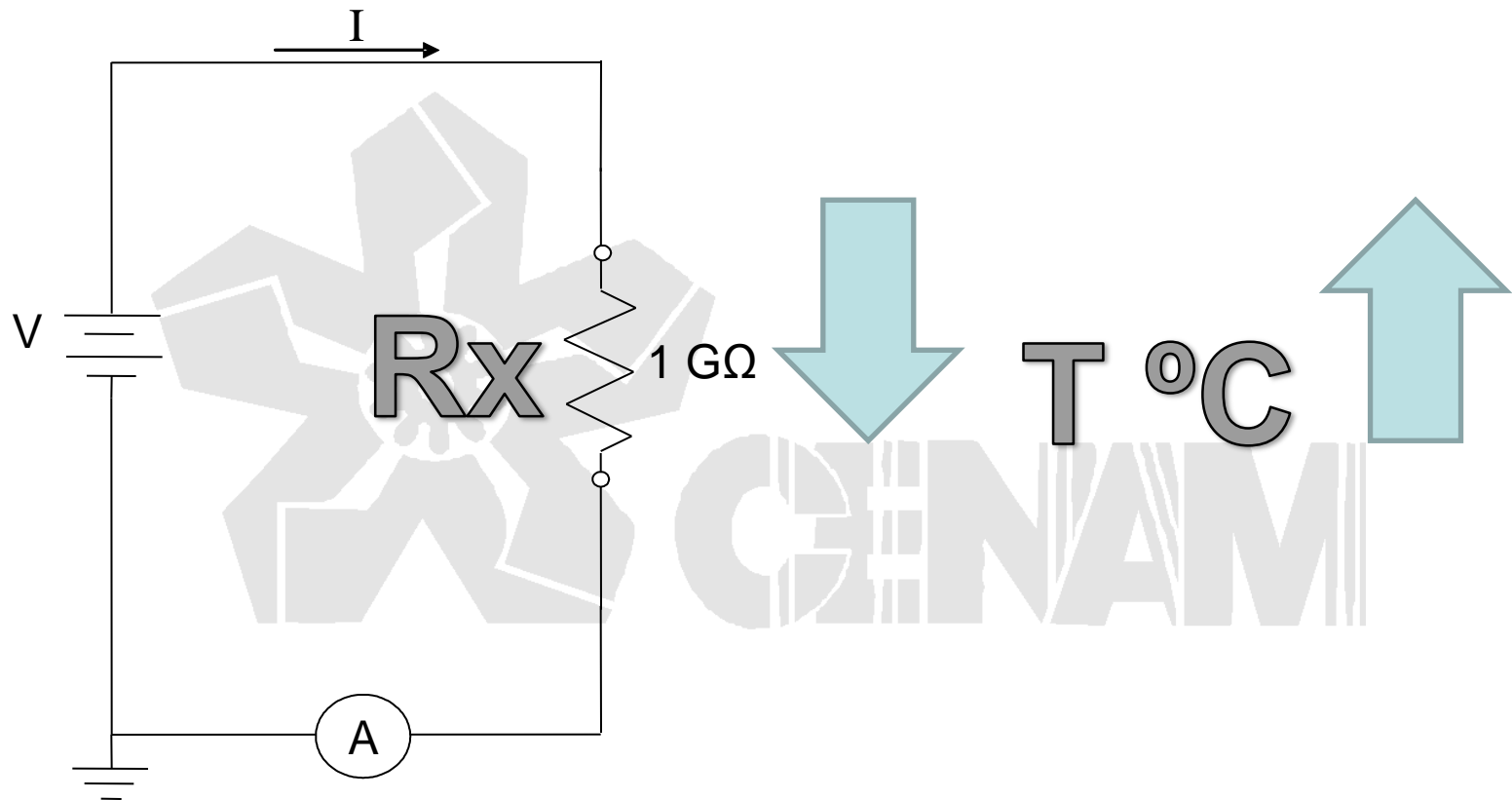
# Efectos Piezoeléctricos



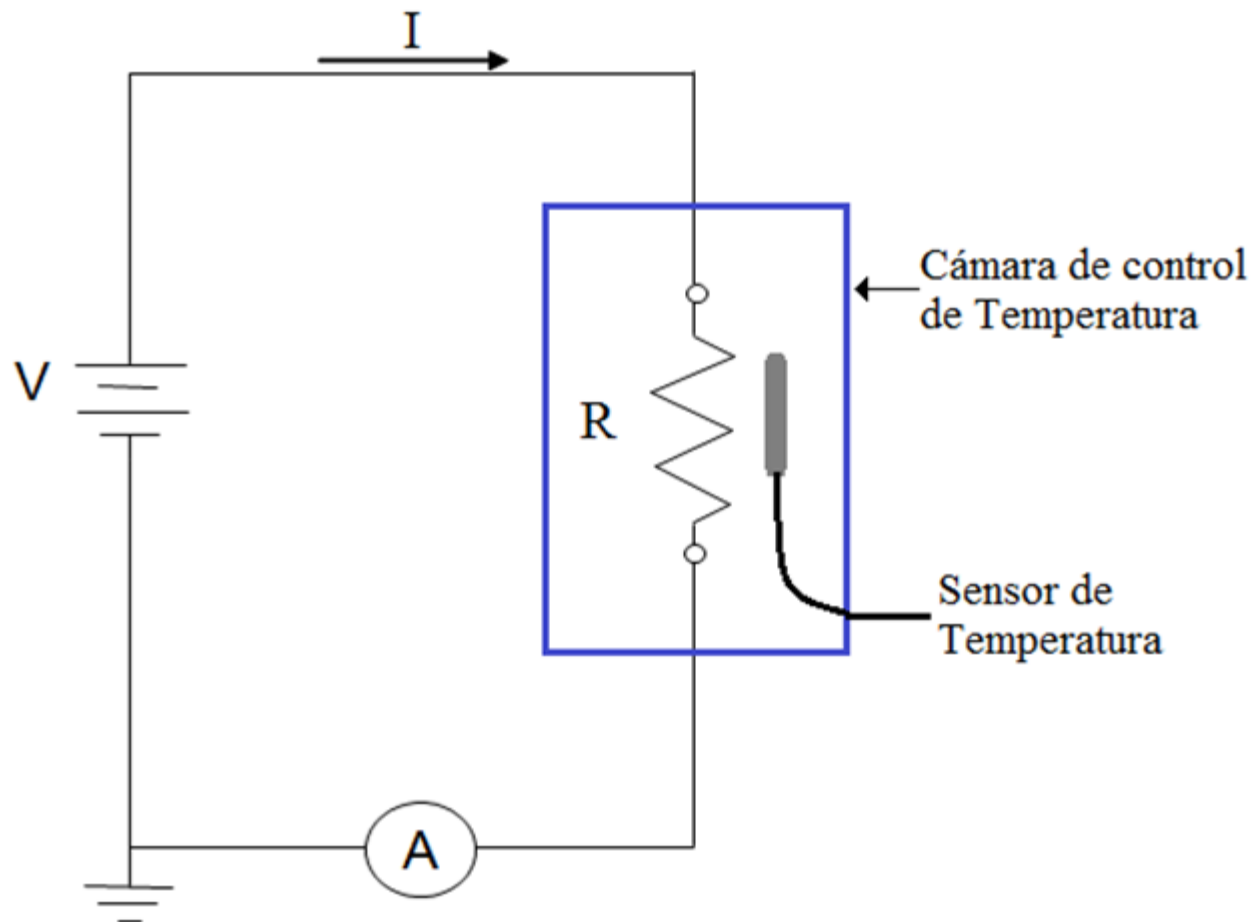
# Características de los buenos aisladores

Material	Resistividad ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Resistencia a la absorción de agua	Mínimos efectos Piezoeléctricos	Mínimos efectos Triboeléctricos
Zafiro	$>10^{18}$	Bueno	Bueno	Regular
Teflón (PTFE)	$>10^{18}$	Bueno	Malo	Malo
Polietileno	$10^{16}$	Regular	Bueno	Regular
Cerámicos	$10^{14}-10^{15}$	Malo	Regular	Bueno
Nylon	$10^{13}-10^{14}$	Malo	Regular	Malo
Kel-F (PCTFE)	$>10^{18}$	Bueno	Regular	Malo
Glass epoxy	$10^{13}$	Malo	Regular	Malo
PVC	$5 \times 10^{13}$	Bueno	Regular	Regular

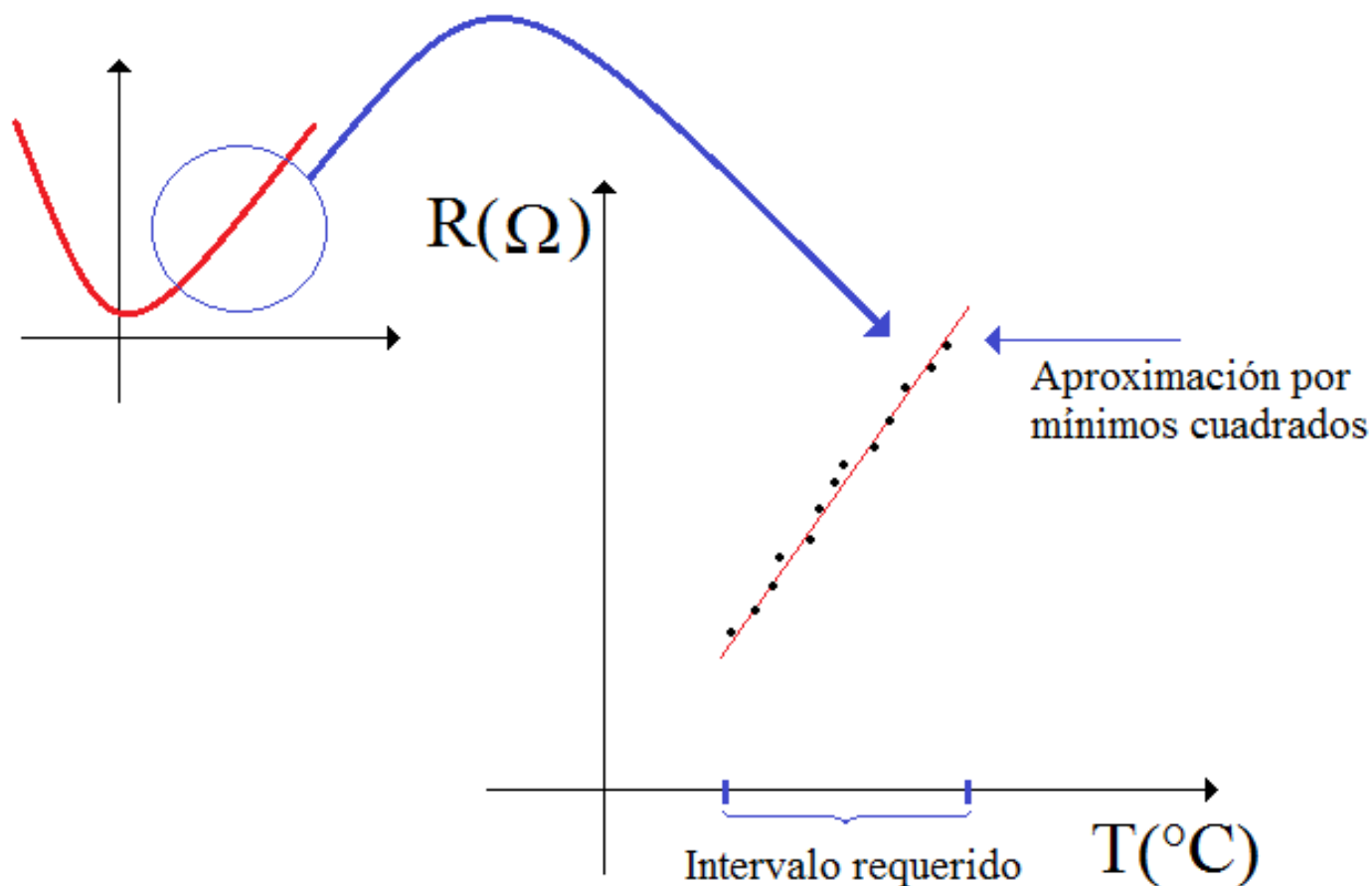
# Impacto de la temperatura en las mediciones (coeficiente de temperatura)



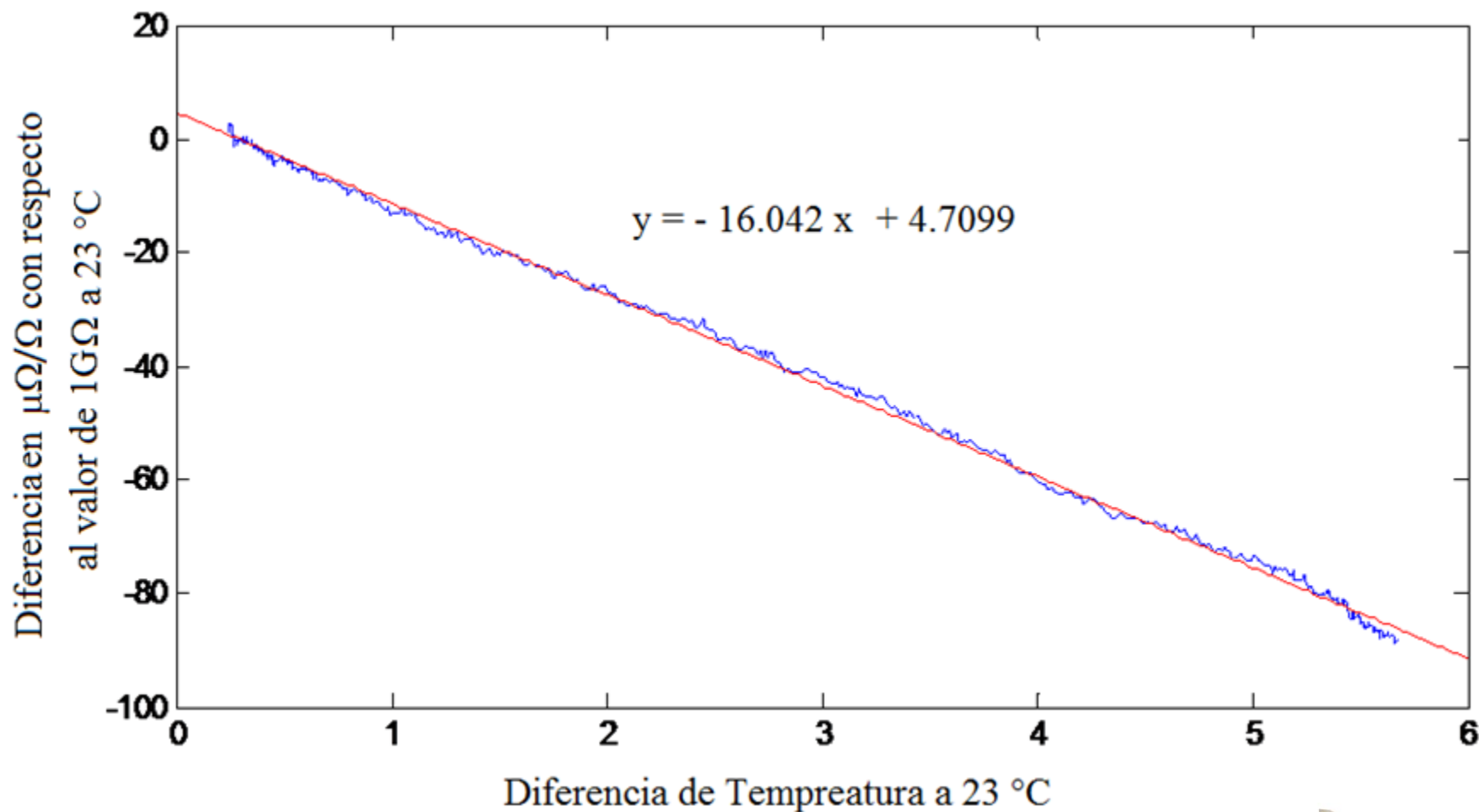
# Determinación del Coeficiente de Temperatura



# Determinación del Coeficiente de Temperatura



# Ejemplo de Coeficiente de Temperatura





# Ejemplo de Coeficiente de Temperatura

$$y = -16.042x + 4.71$$

$$R(T) = R(23\text{ °C}) - 16.042(T - 23\text{ °C}) + 4.71$$

$$\text{Si } R(23\text{ °C}) = 1.000072\text{ G}\Omega$$

$$\begin{aligned} R(T) &= 1000072000 - 16042(T - 23) + 4.71 \\ &= 1000072000 + 368966 - 16042(T) + 4.71 \end{aligned}$$

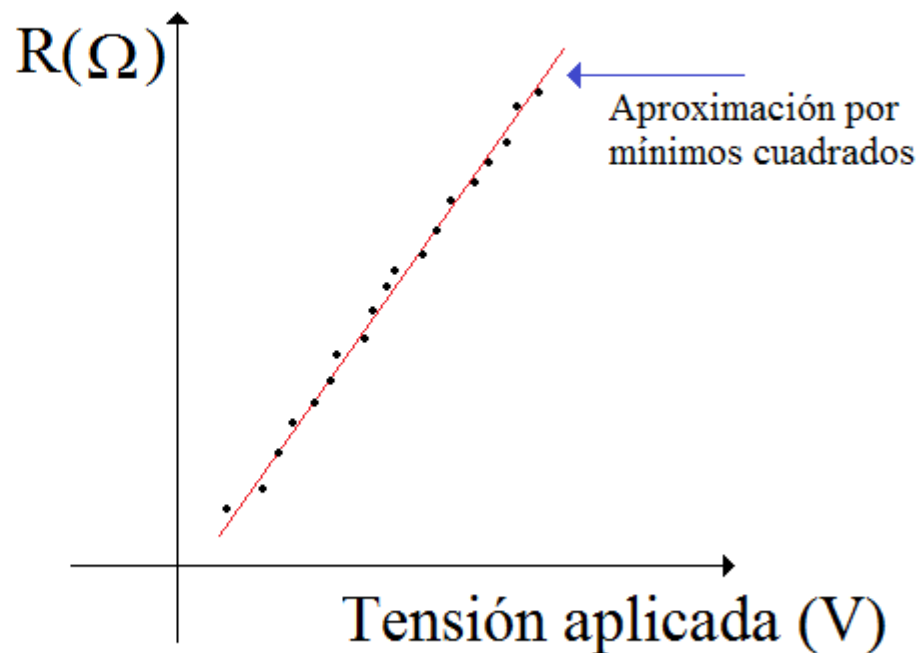
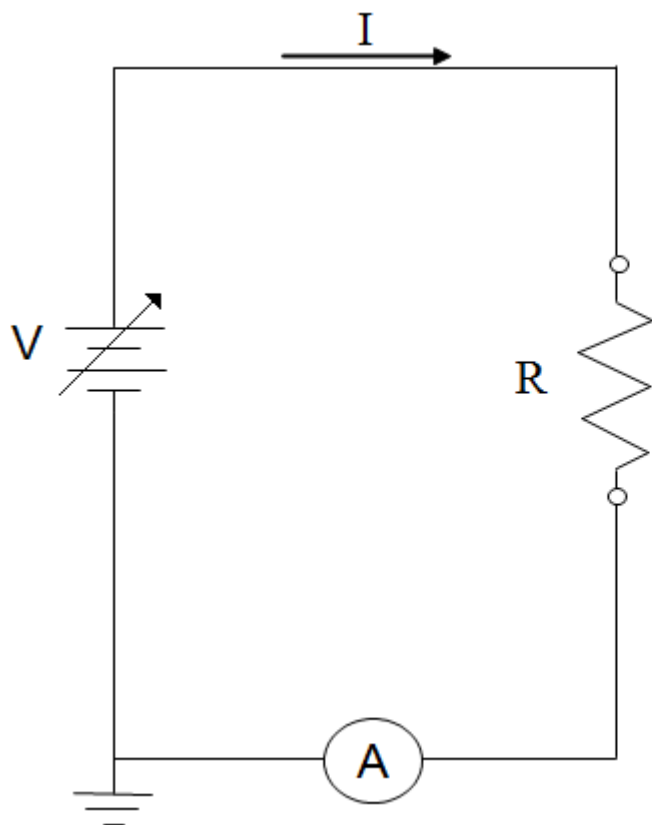
$$\mathbf{R(T) = - 16042(T) + 1000440970.71}$$

# Coeficiente de Tensión

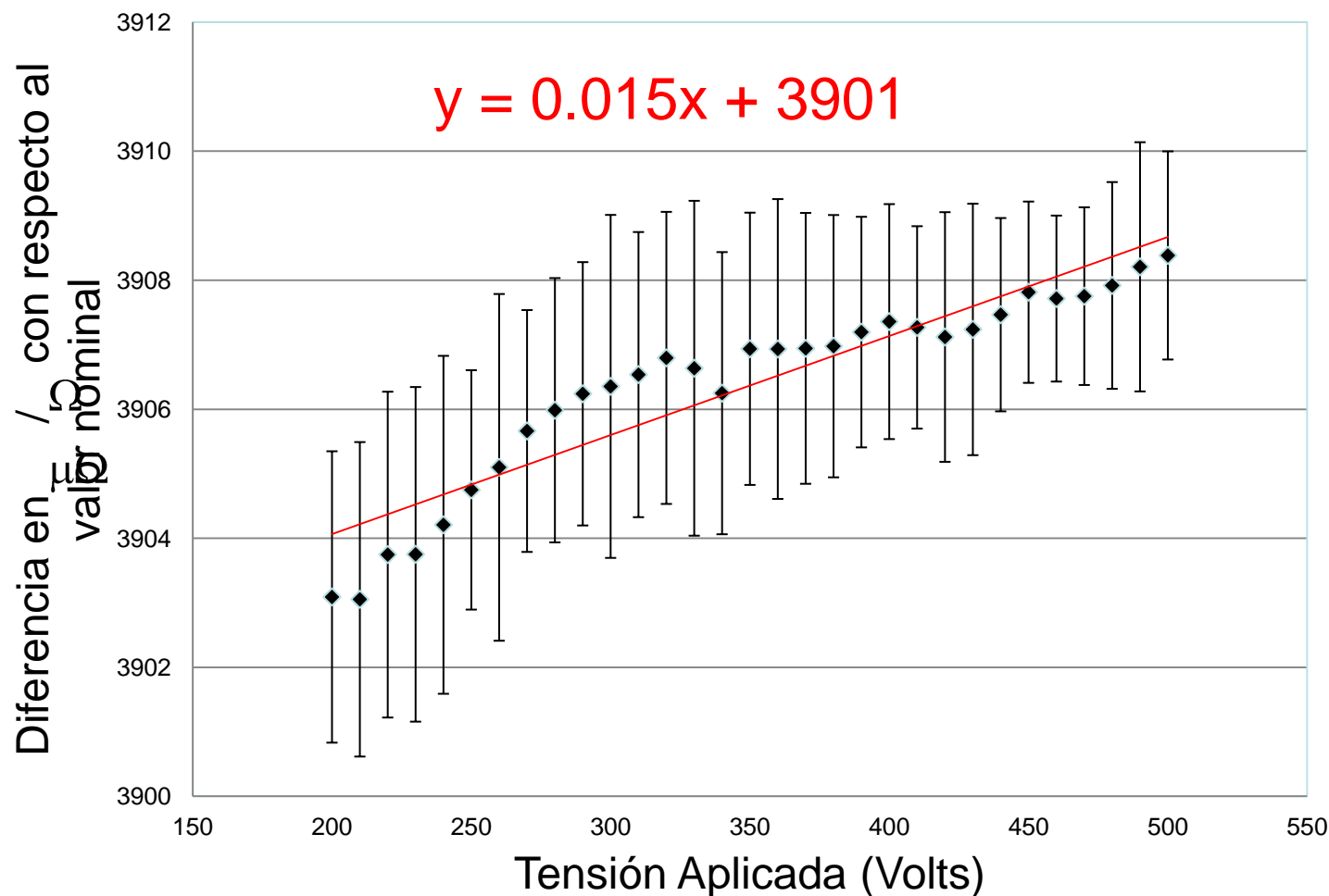
$$R @ 100 \text{ V} \neq R @ 1 \text{ kV}$$

- Se puede definir al Coeficiente de Tensión como el cambio de la resistencia con respecto al cambio de tensión aplicada.
- El Coeficiente de Tensión depende de los materiales con los que está construido el elemento resistivo, y es mayor en materiales compuestos de conglomerados granulares unidos mediante una cubierta aislante.

# Determinación del Coeficiente de Tensión



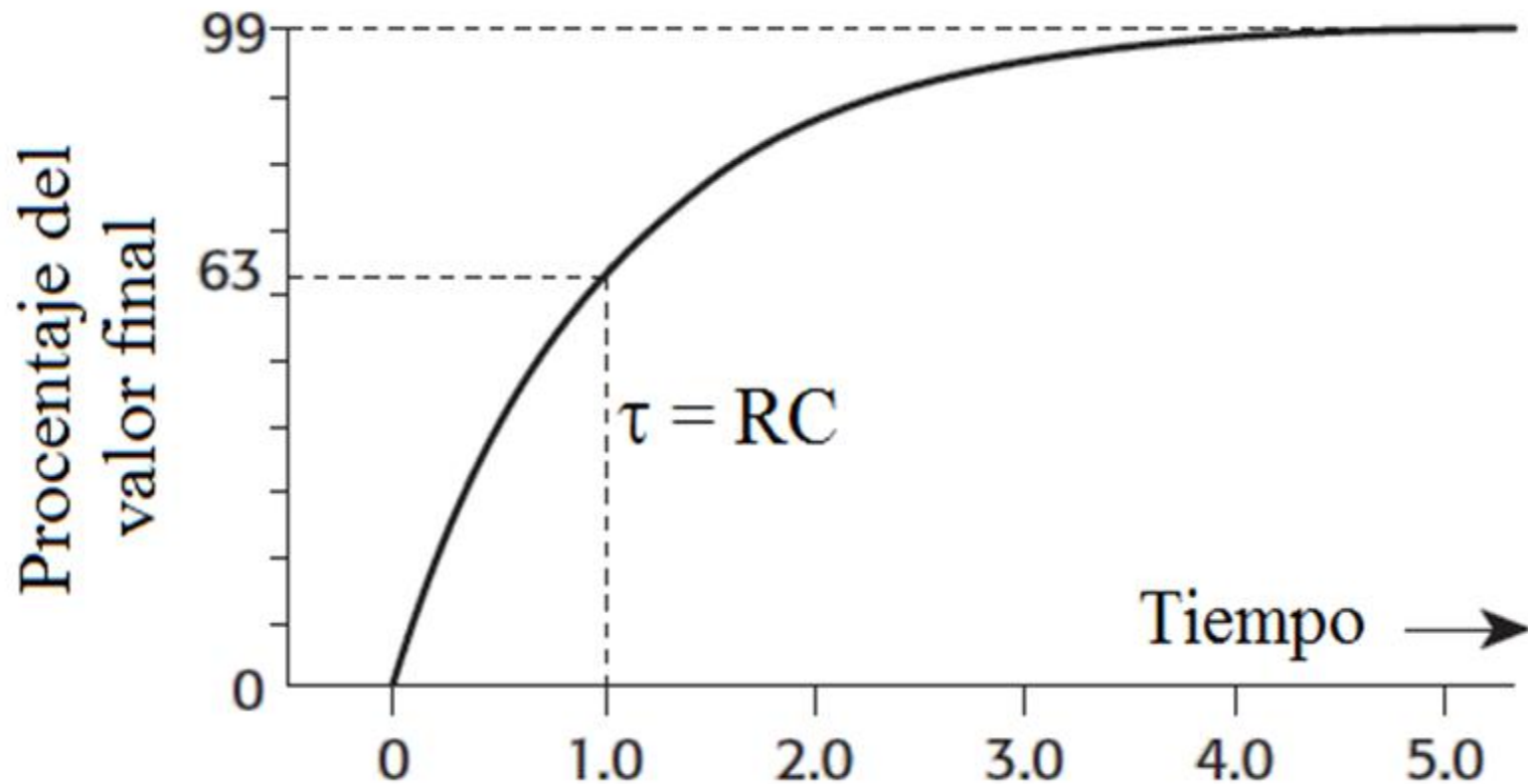
# Ejemplo de Coeficiente de Tensión



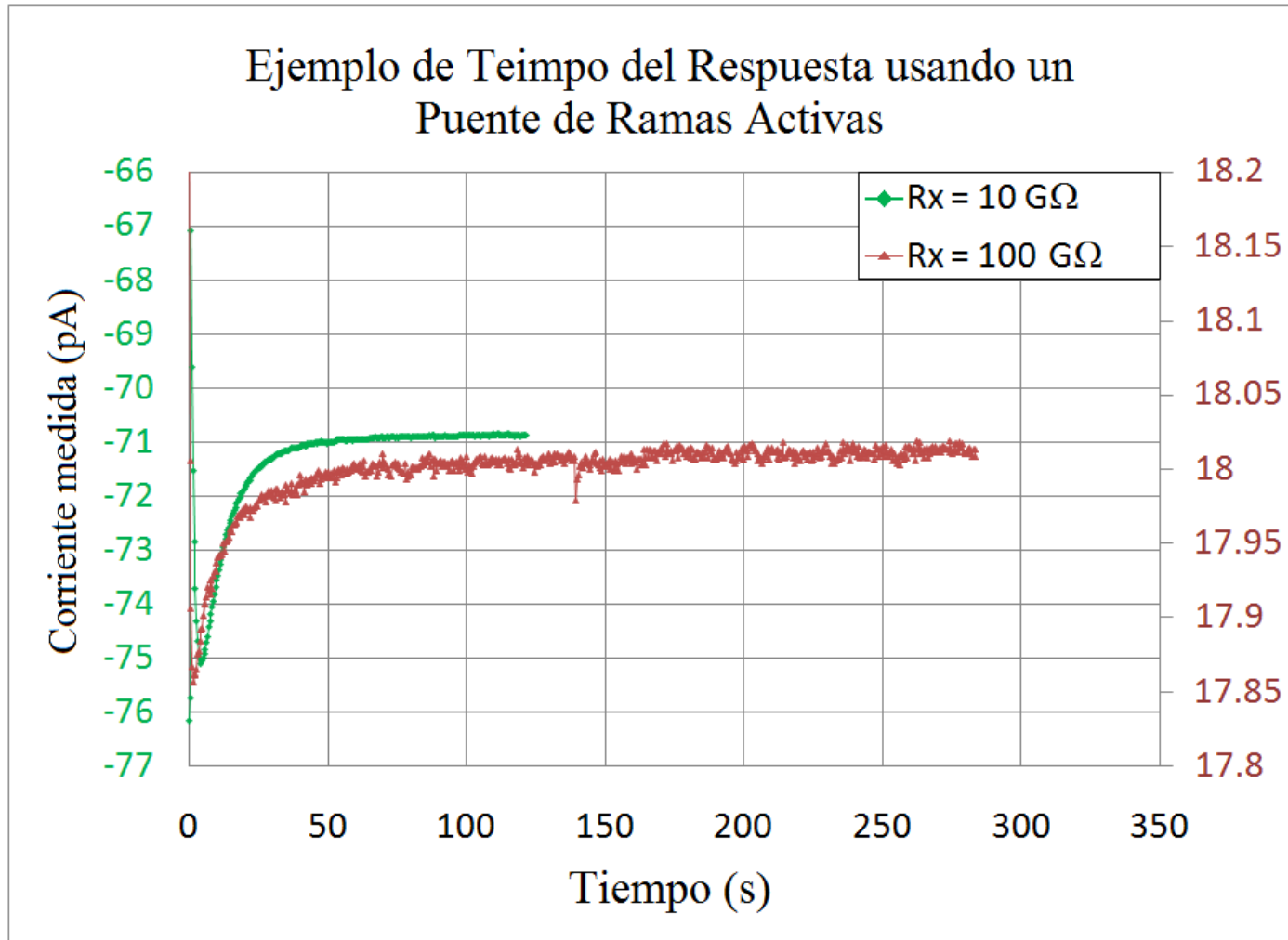
# Efectos Capacitivos (Tiempo de Estabilización)

- El tiempo de estabilización del sistema de medición es de particular importancia cuando se mide Alta Resistencia.
- Este tiempos de estabilización se debe a capacitancias presentes en el sistema de medición.
- El tiempo de carga de un capacitor esta determinado por la constante de tiempo  $RC$  ( $\tau$ ).

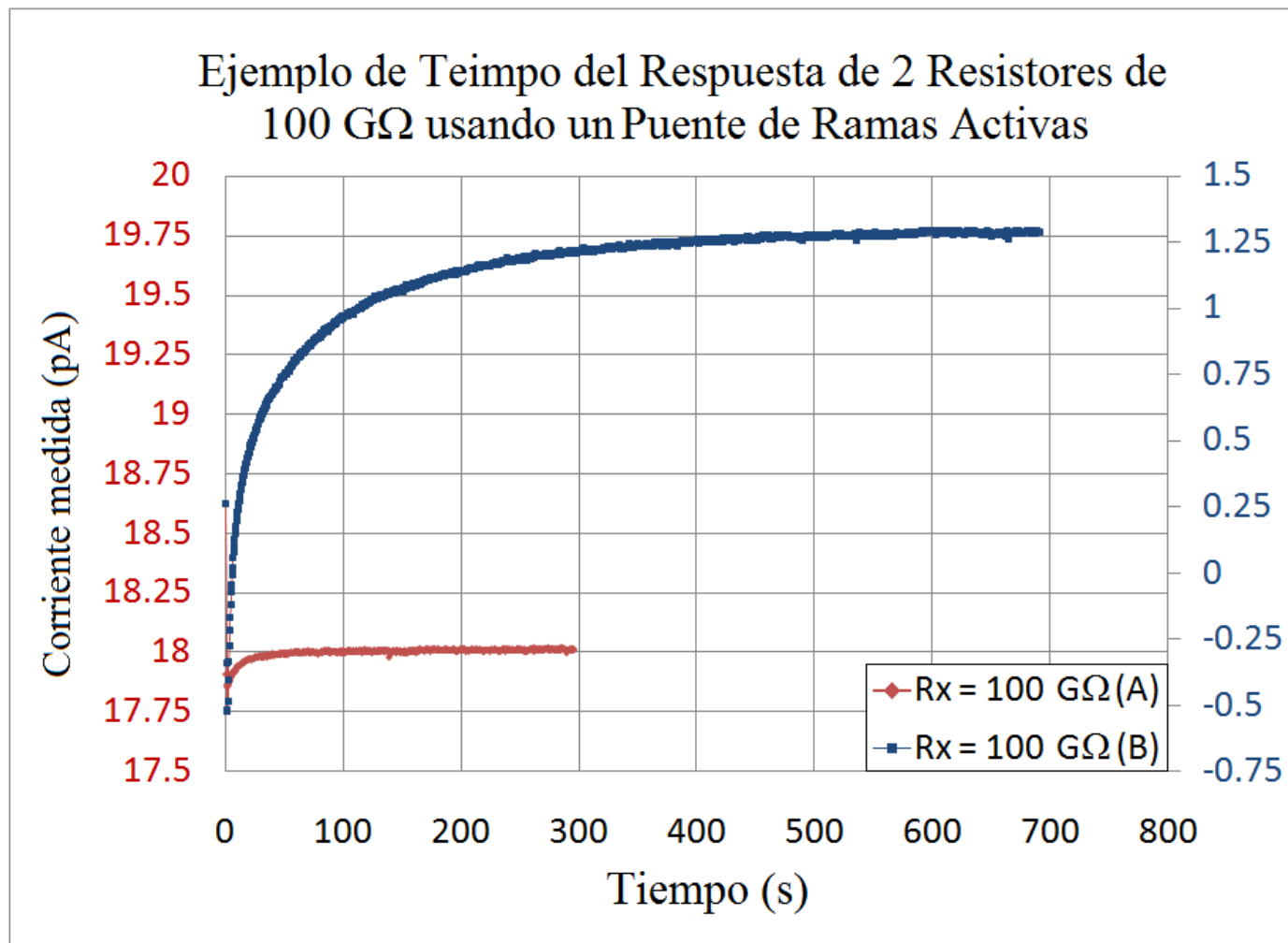
# Tiempo de Estabilización



# Tiempo de Estabilización



# Tiempo de Estabilización

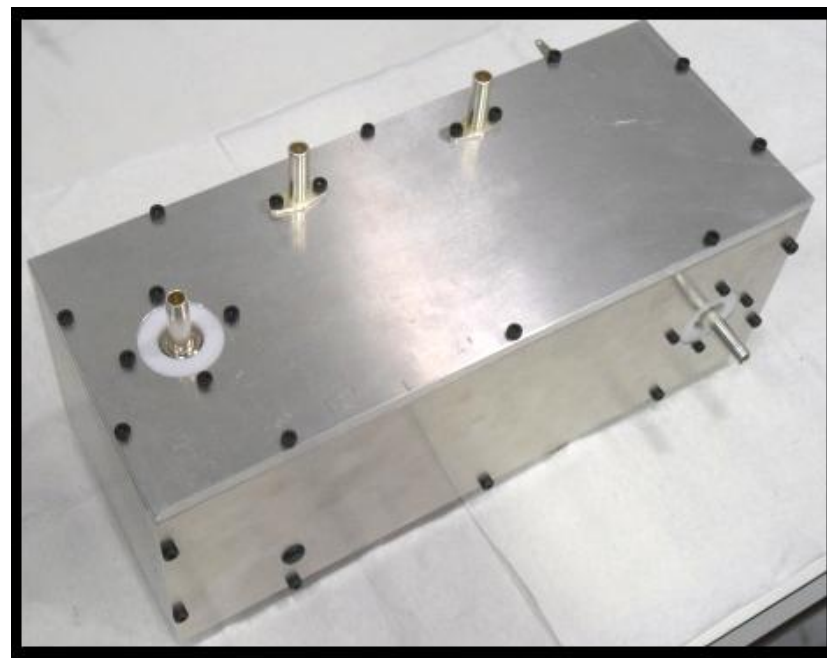
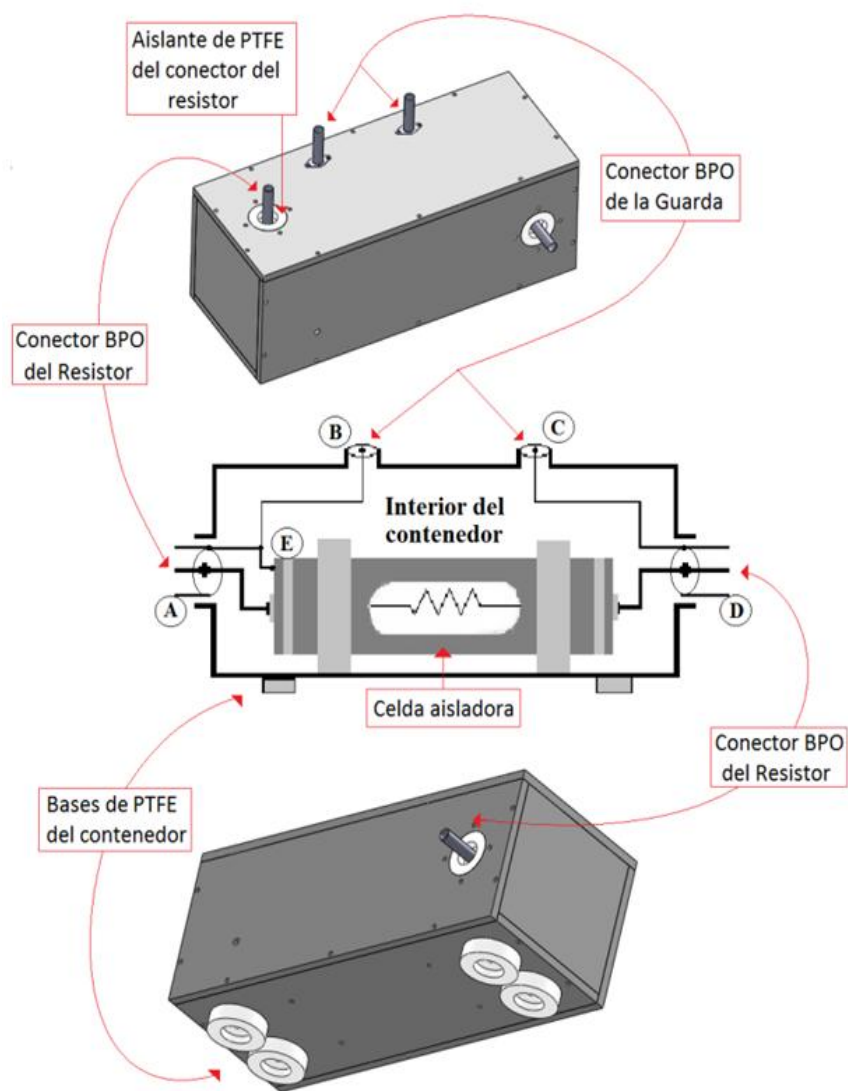




# \*Medir alta resistencia no es trivial\*

- ¿Qué se puede hacer?
  - Seleccionar cables, aislantes y conectores que satisfagan las exigencias de la medición de valores altos de resistencia.
  - Evitar las corrientes de fuga
  - Evitar condiciones de alta humedad >45% HR
  - Considerar el tiempo de estabilización del sistema de medición y los coeficientes de tensión y temperatura de resistores

# Resistores Patrón de Alto valor en CENAM



# Conclusiones

- La medición en los extremos de cualquier magnitud no es fácil.
- Es indispensable saber qué se quiere medir y la incertidumbre que se quiere obtener ya que a partir de esto, se conocerá el grado de detalle con el que se debe conformar un sistema de medición.
- Será aconsejable tomar en cuenta los detalles generales y específicos de un sistema de medición, ya que a partir de un análisis a este, se podrá medir mejor.