

# Resultados de una Comparación en el valor de $1 \text{ G}\Omega$ empleando un puente de ramas activas

Felipe Hernández M., Benjamín Rodríguez M.  
Centro Nacional de Metrología,  
[fhernand@cenam.mx](mailto:fhernand@cenam.mx), [brodrigu@cenam.mx](mailto:brodrigu@cenam.mx)

## NOTAS QUE DEBEN AGREGARSE A LAS PRESENTACIONES DEL PERSONAL DEL CENAM

NOTA 1. Este trabajo ha sido desarrollado con recursos del gobierno federal de México. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

NOTA 2. En este documento pueden aparecer marcas comerciales únicamente con fines didácticos y a fin de lograr un entendimiento claro de las técnicas y procesos descritos. En ningún caso esta identificación implica recomendación o aval del CENAM o de alguna otra institución del gobierno federal de México, ni tampoco implica que los equipos o materiales identificados sean necesariamente los mejores para el propósito para el que son usados. El CENAM y las demás instituciones no tienen compromisos con ninguna marca comercial en particular.



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# Contenido

---

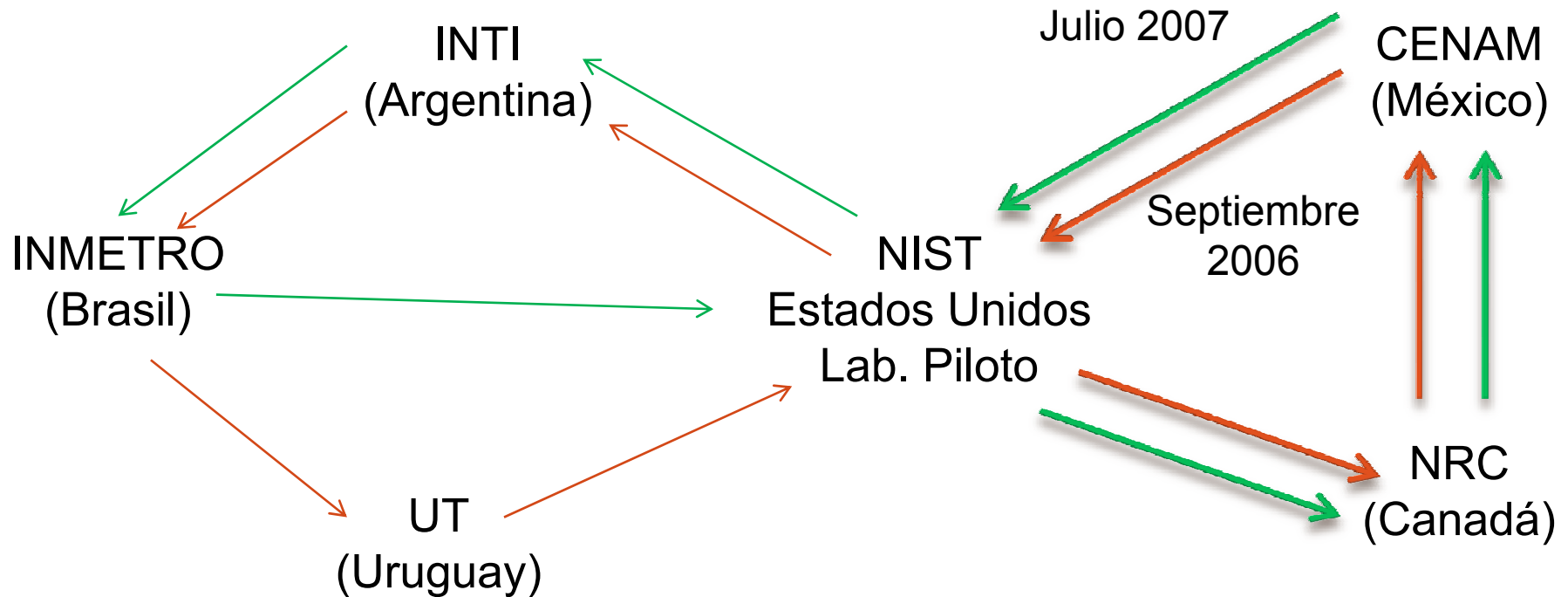
- Propósito
- Desarrollo de la Comparación
- Trazabilidad del CENAM
- Teoría de Operación
- Metodología de Medición
- Resultados
- Trabajo por realizar
- Conclusiones

# Propósito

---

- Mostrar las características técnicas que tiene un puente de ramas activas
- Describir el desempeño que se puede obtener mediante el uso de un puente de ramas activas
- Dar a conocer los resultados obtenidos en una comparación internacional, utilizando un puente de ramas activas
- Mediante este ejercicio mostrar la solides con la que se cuenta, desde la base de la trazabilidad a través del efecto Hall cuántico y las técnicas empleadas para establecer los valores de la escala de resistencia.

## Desarrollo de la Comparación





**2 Resistores  
de 1 GΩ**

**2 Resistores  
de 1 Ω**

**2 Resistores  
de 1 MΩ**

TCR for Serial Number HR9104

$$\alpha_{HR9104} = -22 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\beta_{HR9104} = 0.76 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

VCR for Serial Number HR9104

$$\delta_{HR9104} = -0.034 \times 10^{-6} \text{ per volt}$$

TCR for Serial Number HR9105

$$\alpha_{HR9105} = -30 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\beta_{HR9105} = 0.54 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

VCR for Serial Number HR9105

$$\delta_{HR9105} = -0.042 \times 10^{-6} \text{ per volt}$$

Condiciones de Medición:

Tensión de Prueba: 10 V a 100 V ( $V_0 = 100 \text{ V}$ )

Temperatura:  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 23.00 ^\circ\text{C}$ )

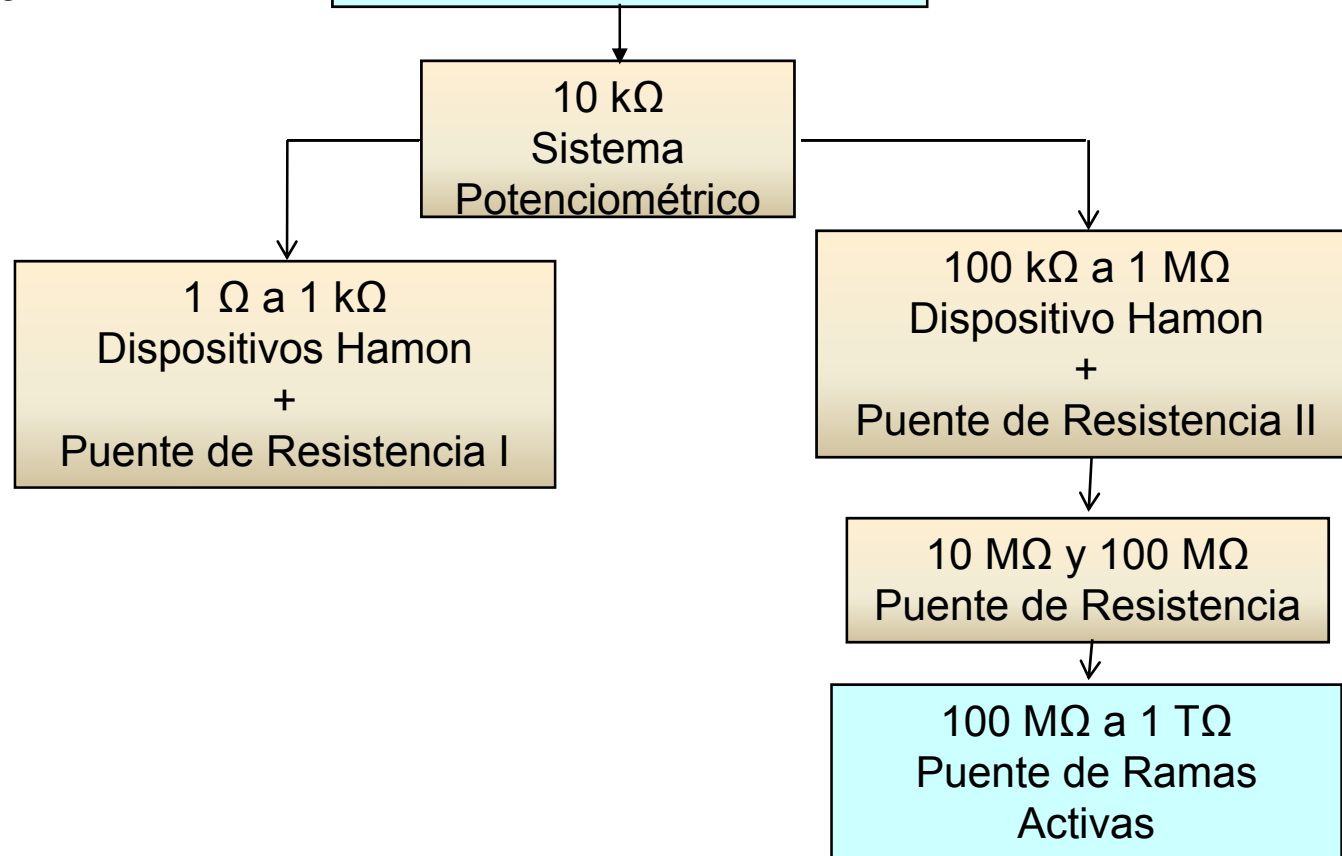
Humedad Relativa:  $(35 \pm 20) \%$

$$R_{Lix}(T_0, P_0, V_0) = R_{ix} \cdot \left( 1 - \alpha_i(T_{ix} - T_0) - \beta_i(T_{ix} - T_0)^2 - \delta_i(V_{ix} - V_0) \right)$$

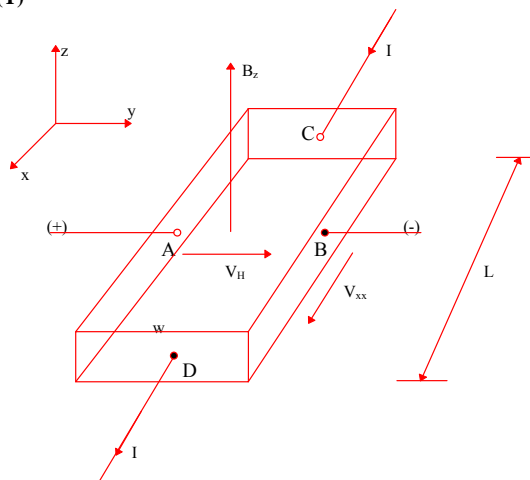
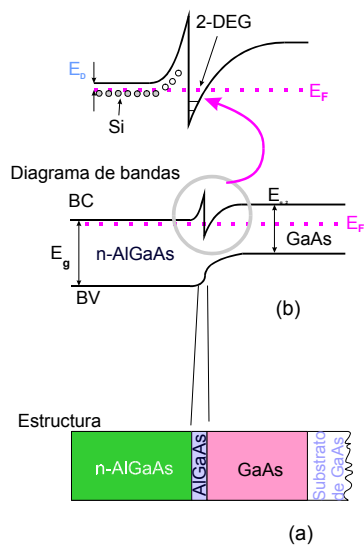
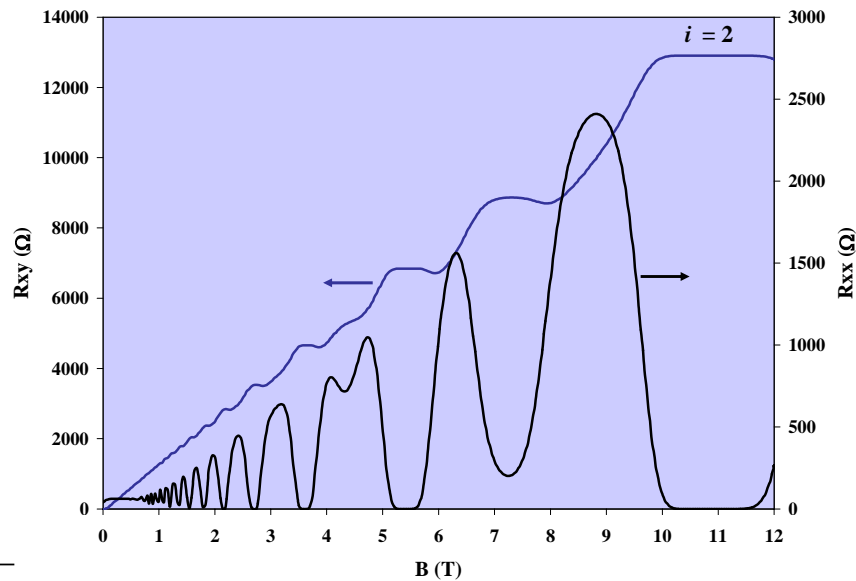
# Trazabilidad del CENAM

Resistencia Hall  
Cuantizada

$$R_H = \frac{R_{K-90}}{i} = \frac{h}{ie^2} = 12\,906,403\,5\ \Omega$$



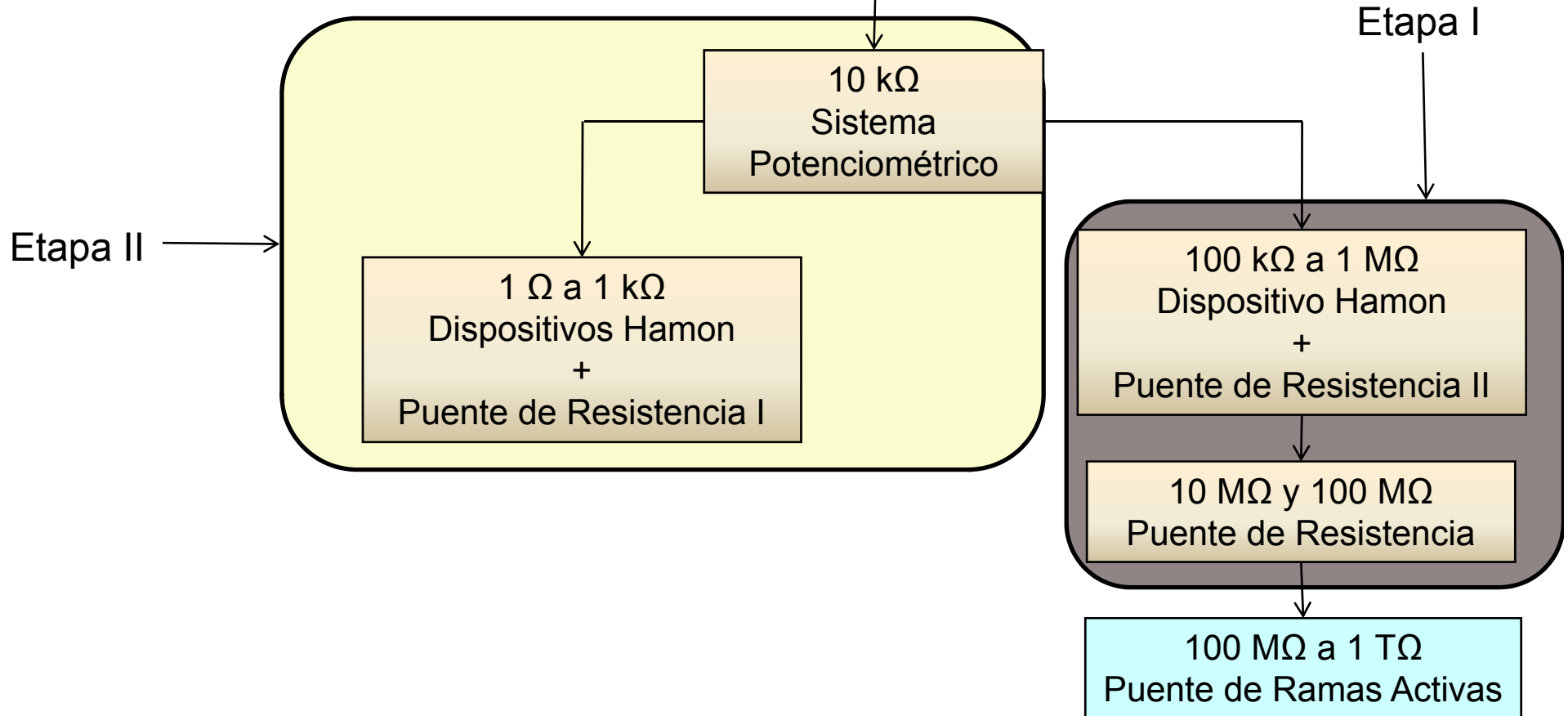






Resistencia Hall  
Cuantizada

$$R_H = \frac{R_{K-90}}{i} = \frac{h}{ie^2} = 12\,906,403\,5\ \Omega$$



Resistencia Hall  
Cuantizada

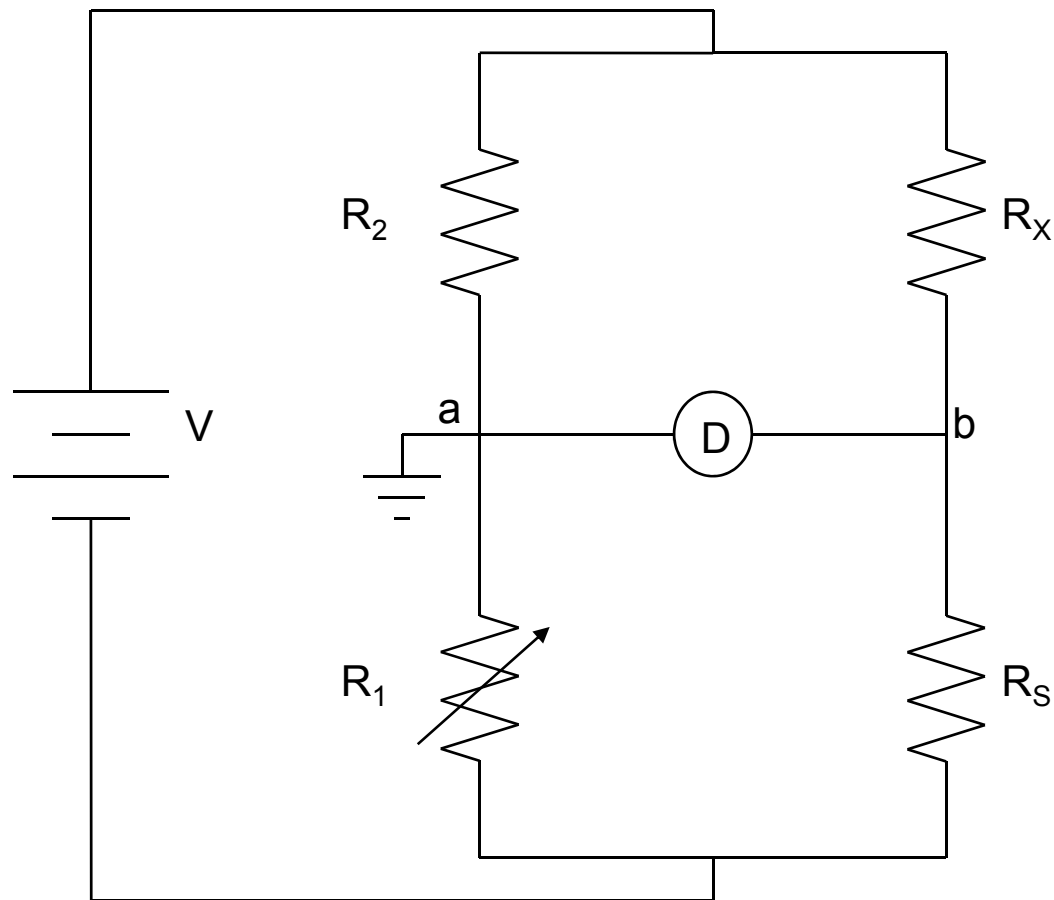
$$R_H = \frac{R_{K-90}}{i} = \frac{h}{ie^2} = 12\,906,403\,5\ \Omega$$

1  $\Omega$  a 10 k $\Omega$   
Comparador de  
Corrientes Criogénico

100 k $\Omega$  a 1 G $\Omega$   
Comparador de  
Corrientes Criogénico  
para Alta Resistencia

100 M $\Omega$  a 1 T $\Omega$   
Puente de Ramas Activas

# Teoría de Operación



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_s}$$

$$I_X + I_S = I_D \quad \text{Ley de corrientes de Kirchhoff}$$

$$V_X - V_B - R_X I_X = 0 \quad \text{Ley de tensiones de Kirchhoff}$$

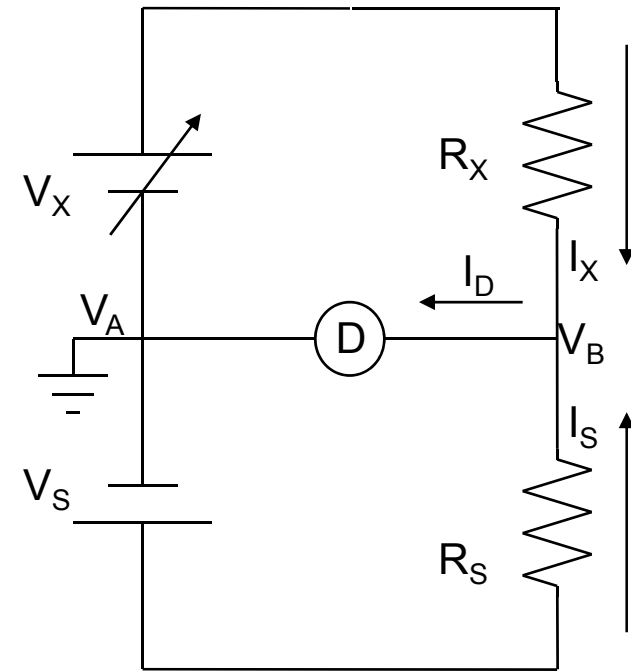
$$I_X = \frac{V_X - V_B}{R_X}$$

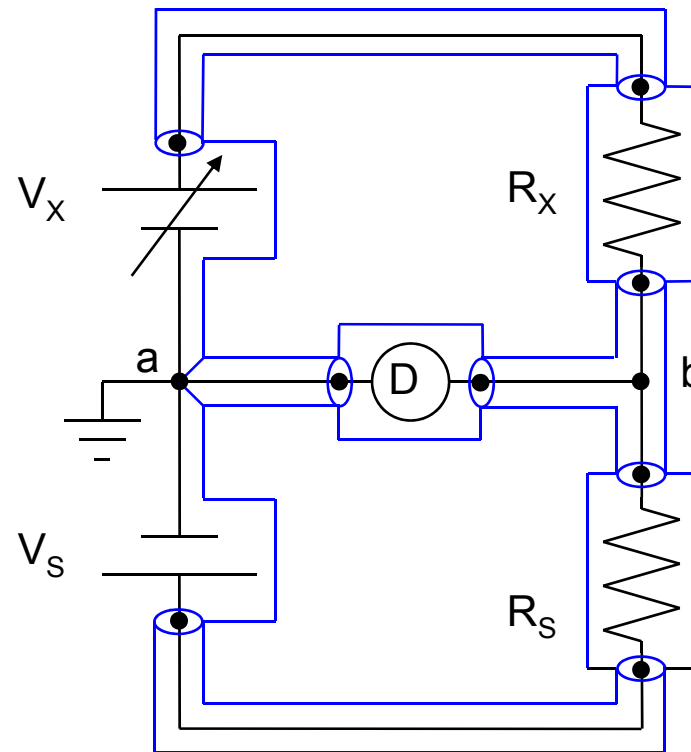
$$V_S + V_B + R_S I_S = 0 \quad \text{Ley de tensiones de Kirchhoff}$$

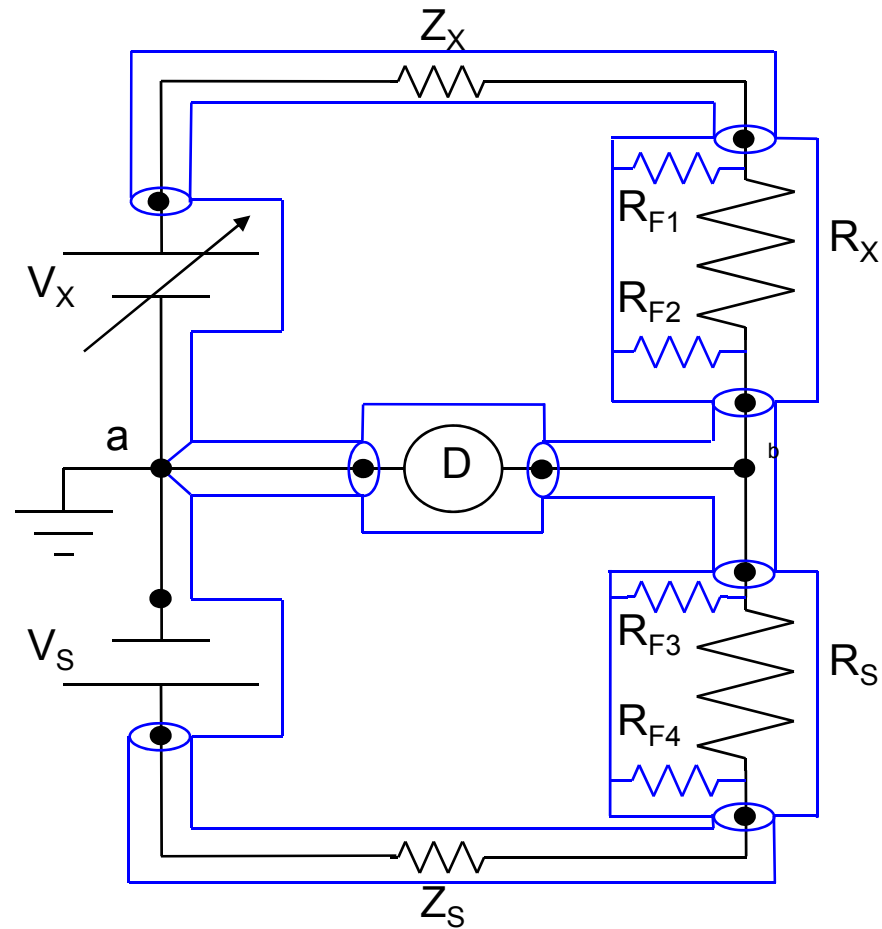
$$I_S = \frac{-V_S - V_B}{R_S}$$

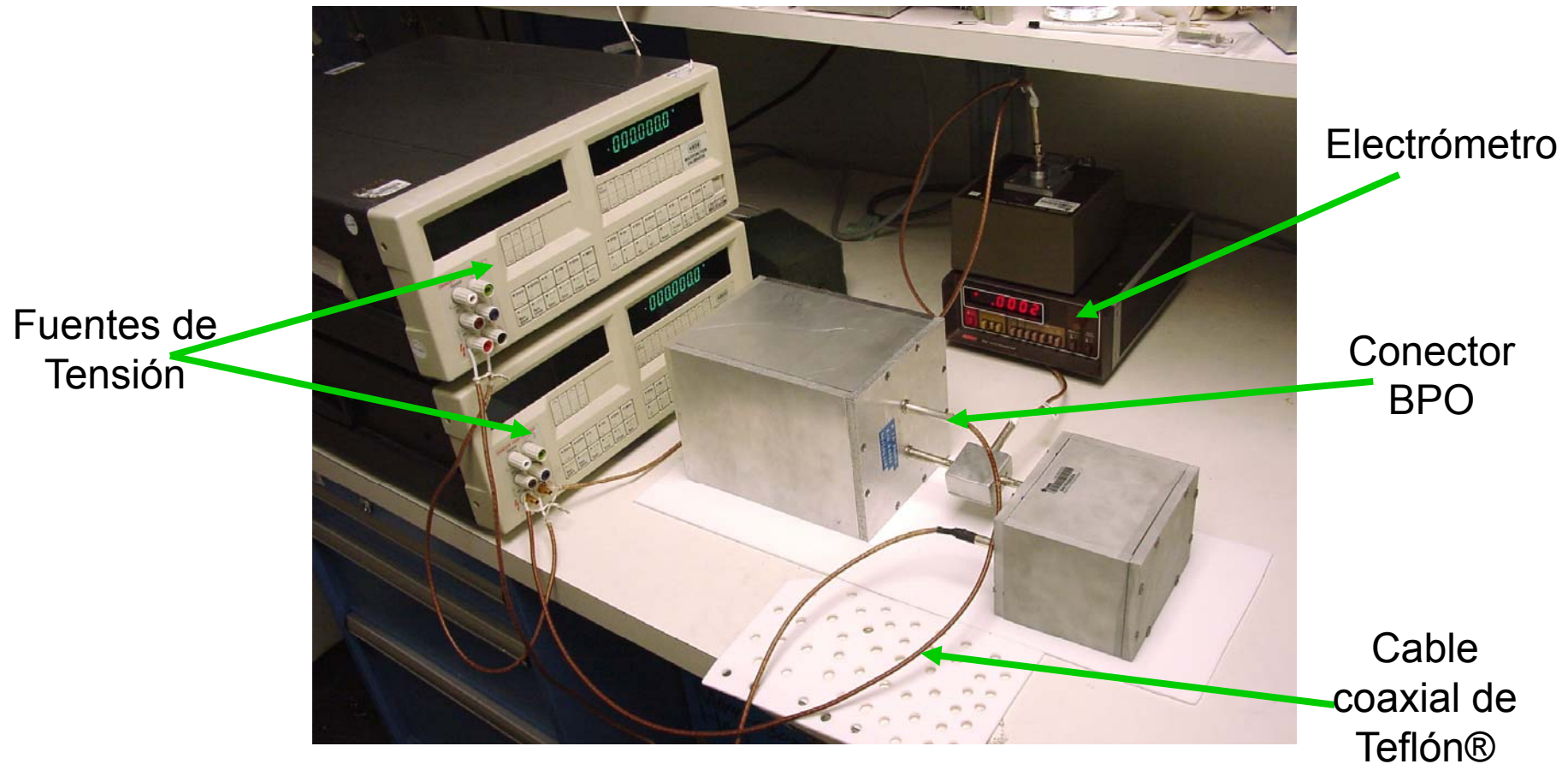
$$I_X = -I_S \quad \frac{V_X - V_B}{R_X} = \frac{V_S + V_B}{R_S}$$

$$\frac{V_X}{R_X} = \frac{V_S}{R_S}$$









Fuentes de Tensión

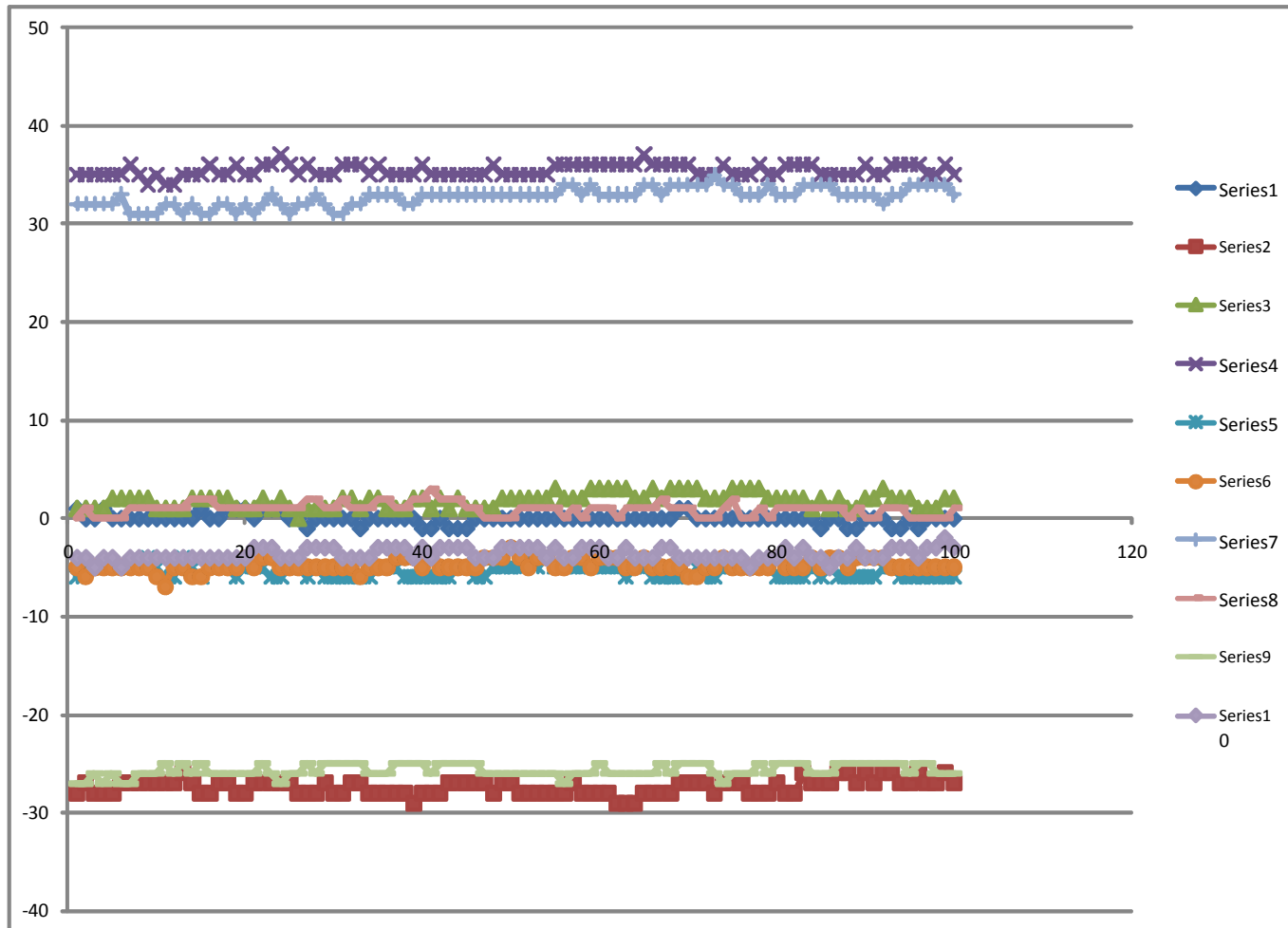
Electrómetro

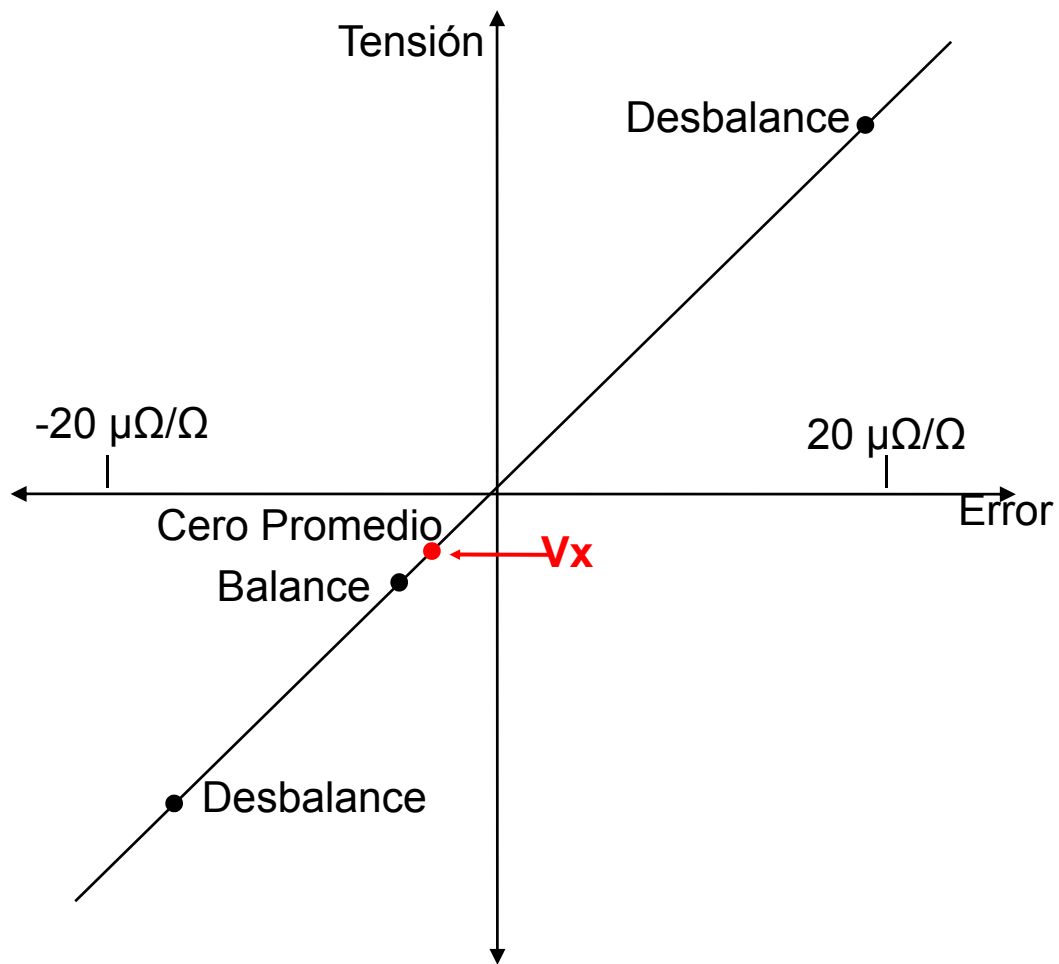
Conector BPO

Cable coaxial de Teflón®

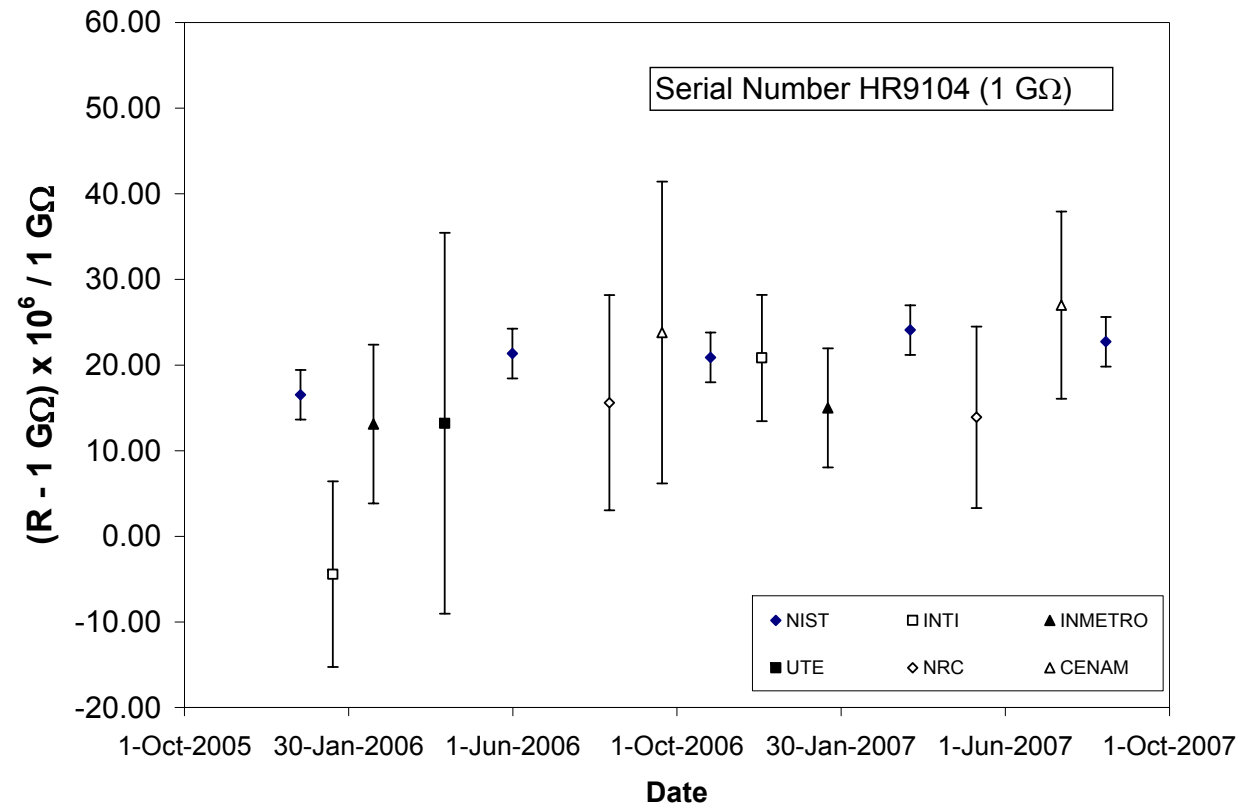


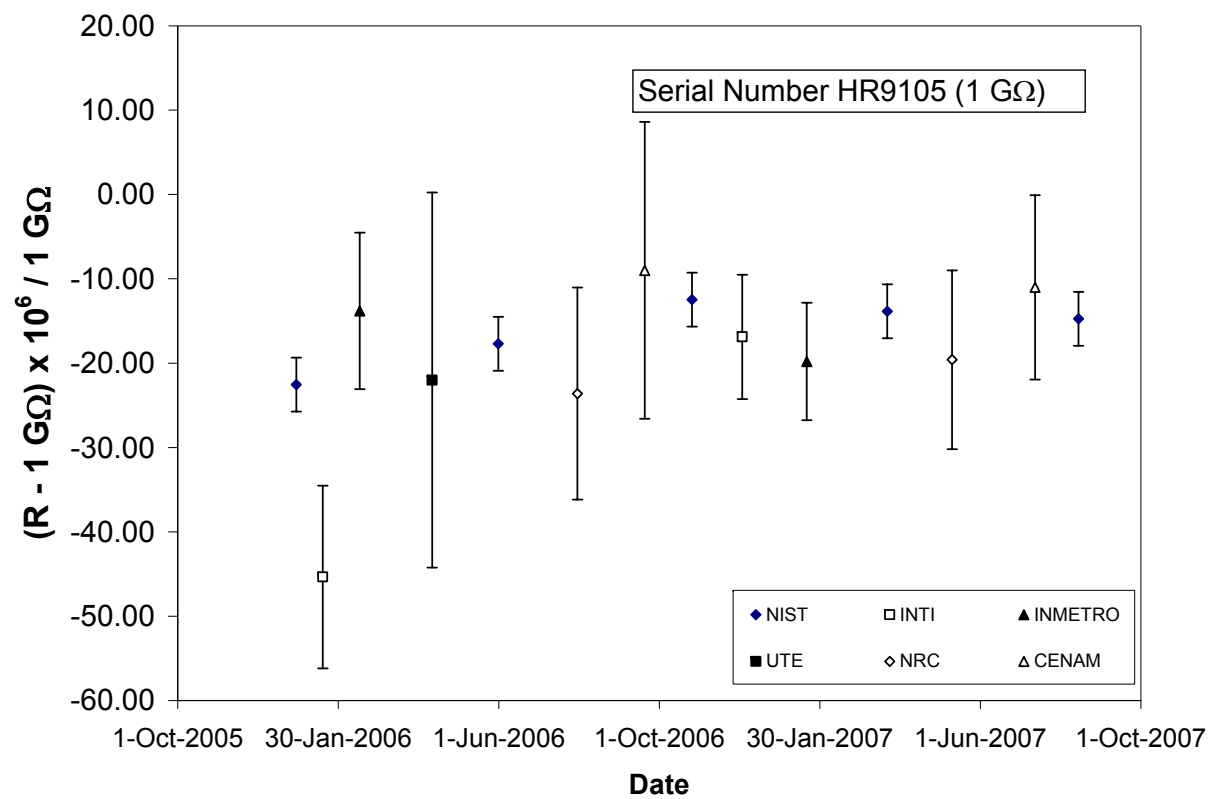
# Metodología de Medición



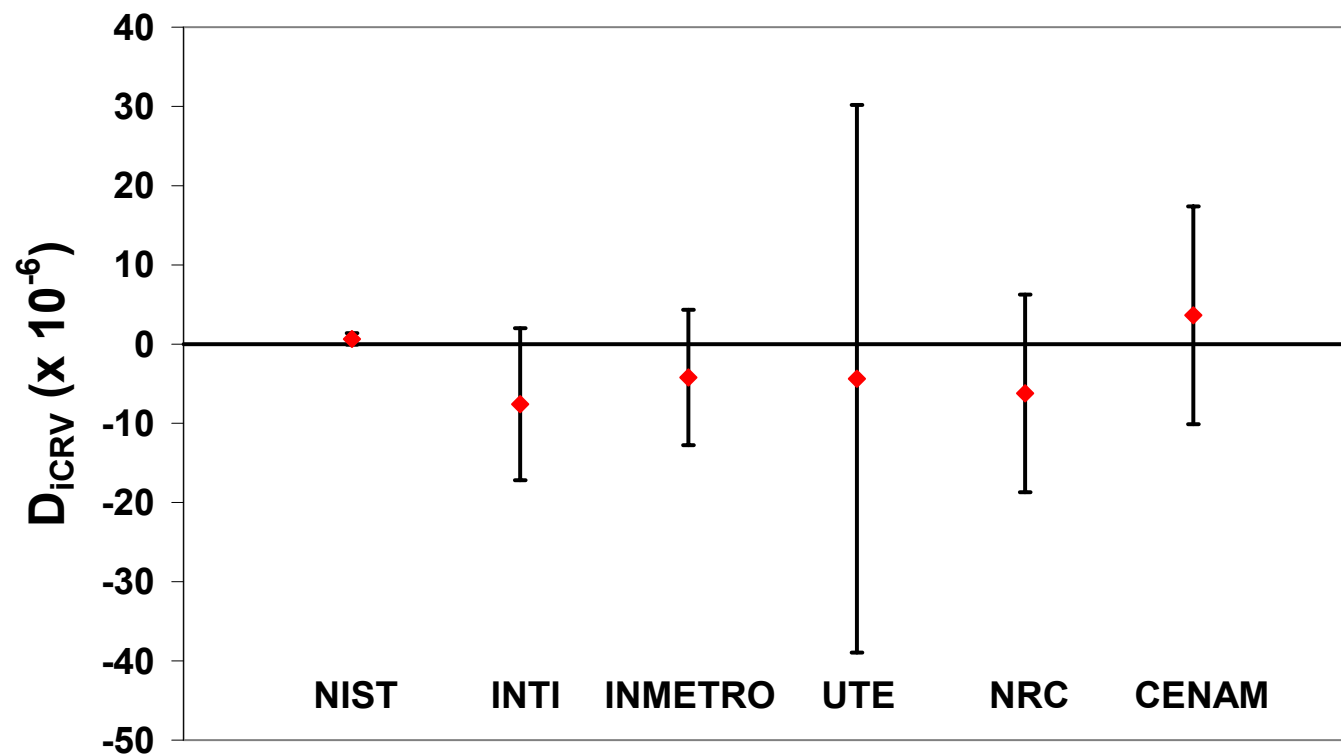


# Resultados

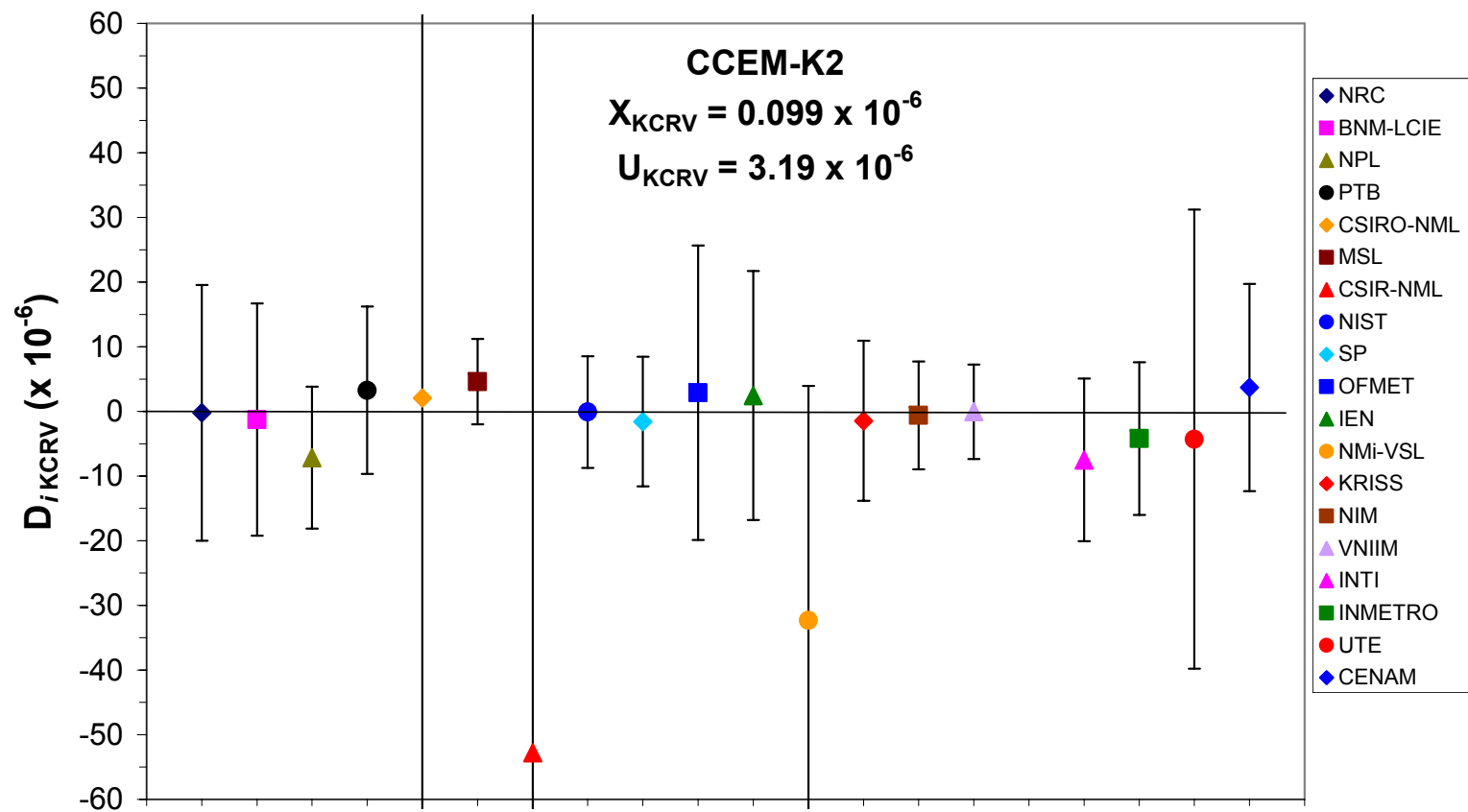




Factor de Influencia ( $y_i$ )	Contribución de Incertidumbre $u(R_i)$ (G $\Omega$ )
1) Proceso de Escalamiento	8.0E-06
2) Patron utilizado como referencia	1.0E-06
3) Sistema de Medición	
Fuentes de Tensión	4.0E-06
Detector	3.0E-06
Efectos de fugas	2.0E-06
5) Condiciones de Medición	
Temperature R(NIST)	1.1E-06
Temperature R(CENAM)	1.0E-06
6) Desviación Estandar Experimental	7.8E-07
Incertidumbre tipo A	7.8E-07
Incertidumbre tipo B	9.8E-06
Incertidumbre Combinada	9.9E-06
Incertidumbre Expandida (factor de cobertura k=2)	2.0E-05



Graph of Equivalence: SIM.EM-K2  
Differences from the Comparison Reference Value at 1 GΩ, (k = 2)



**Graph of Equivalence: Linking SIM.EM-K2 to CCEM-K2**  
**Differences from CCEM-K2 Key Comparison Reference Value at 1 GΩ ( $k = 2$ )**



Lab i ↓	Lab j →		NIST		NRC		LCIE		NPL	
	$D_{iKCRV}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	$U_{iCOMB}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$
INTI	-7.5	12.6	link	link	link	link	6.2	21.9	0.3	16.7
INMETRO	-4.2	11.8	link	link	link	link	2.9	21.5	-3.0	16.1
UTE	-4.3	35.5	link	link	link	link	3.0	39.8	-2.9	37.2
CENAM	3.7	16.0	link	link	link	link	-5.0	24.1	-10.9	19.4
Lab i ↓	Lab j →		PTB		CSIRO-NML		MSL		CSIR-NML	
	$D_{iKCRV}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	$U_{iCOMB}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$
INTI	-7.5	12.6	10.8	18.1	9.6	68.0	12.1	14.2	-45.5	581.1
INMETRO	-4.2	11.8	7.5	17.5	6.3	67.8	8.8	13.5	-48.8	581.1
UTE	-4.3	35.5	7.6	37.8	6.4	75.6	8.9	36.1	-48.7	582.1
CENAM	3.7	16.0	-0.4	20.6	-1.6	68.7	0.9	17.3	-56.7	581.2
Lab i ↓	Lab j →		SP		OFMET		IEN		NMI	
	$D_{iKCRV}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	$U_{iCOMB}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$
INTI	-7.5	12.6	5.9	16.1	10.4	26.0	10.0	23.0	-24.8	38.4
INMETRO	-4.2	11.8	2.6	15.4	7.1	25.7	6.7	22.6	-28.1	38.2
UTE	-4.3	35.5	2.7	36.9	7.2	42.2	6.8	40.4	-28.0	50.8
CENAM	3.7	16.0	-5.3	18.8	-0.8	27.8	-1.2	25.0	-36.0	39.7
Lab i ↓	Lab j →		KRISS		NIM		VNIIM			
	$D_{iKCRV}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	$U_{iCOMB}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$	$D_{ij}$	$U_{ij}$		
INTI	-7.5	12.6	6.0	17.7	6.9	15.1	7.5	14.5		
INMETRO	-4.2	11.8	2.7	17.1	3.6	14.4	4.2	13.8		
UTE	-4.3	35.5	2.8	37.6	3.7	36.5	4.3	36.2		
CENAM	3.7	16.0	-5.2	20.2	-4.3	18.0	-3.7	17.5		

## Actividades por Realizar

---

- Actualmente el puente de ramas activas opera de una manera semiautomática, es necesario proceder a la automatización total del sistema de medición.
- Se está trabajando en el desarrollo de resistores de referencia en el intervalo de 10 MΩ a 1 TΩ con mejores características de estabilidad, coeficientes de temperatura y tensión.
- Se ha desarrollado un comparador de corrientes criogénico en colaboración con el NIST que mejorará las incertidumbres de medición en el intervalo de 100 kΩ a 100 MΩ, mediante esto se podrá mejorar la componente por trazabilidad en el puente de ramas activas.

## Conclusiones

---

- El proceso de escalamiento desde la reproducción de la unidad de resistencia mediante el efecto Hall cuántico hasta el valor de  $100\text{ M}\Omega$  tuvo resultados muy favorables.
- Los resultados obtenidos con el puente de ramas activas desarrollado en el CENAM, cuenta con una base sólida de operación.
- El desarrollo del procedimiento de medición del puente modificado tiene un impacto significativo en la reducción de la incertidumbre de medición. Se encuentra que la determinación del valor de cero volts para una condición de balance, es crítica para asegurar que se corrijen adecuadamente los errores sistemáticos que puedan afectar al resultado de medición.

---

# Gracias por su atención



**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,  
DERECHOS RESERVADOS 2009