

# Construcción y desempeño de un dispositivo de transferencia de resistencia tipo Hamon de $1k\Omega$ /paso diseñado en el CENAM

Benjamín Rodríguez Medina  
Oscar de Jesús Merino Guevara  
Felipe L. Hernández Marquez

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.



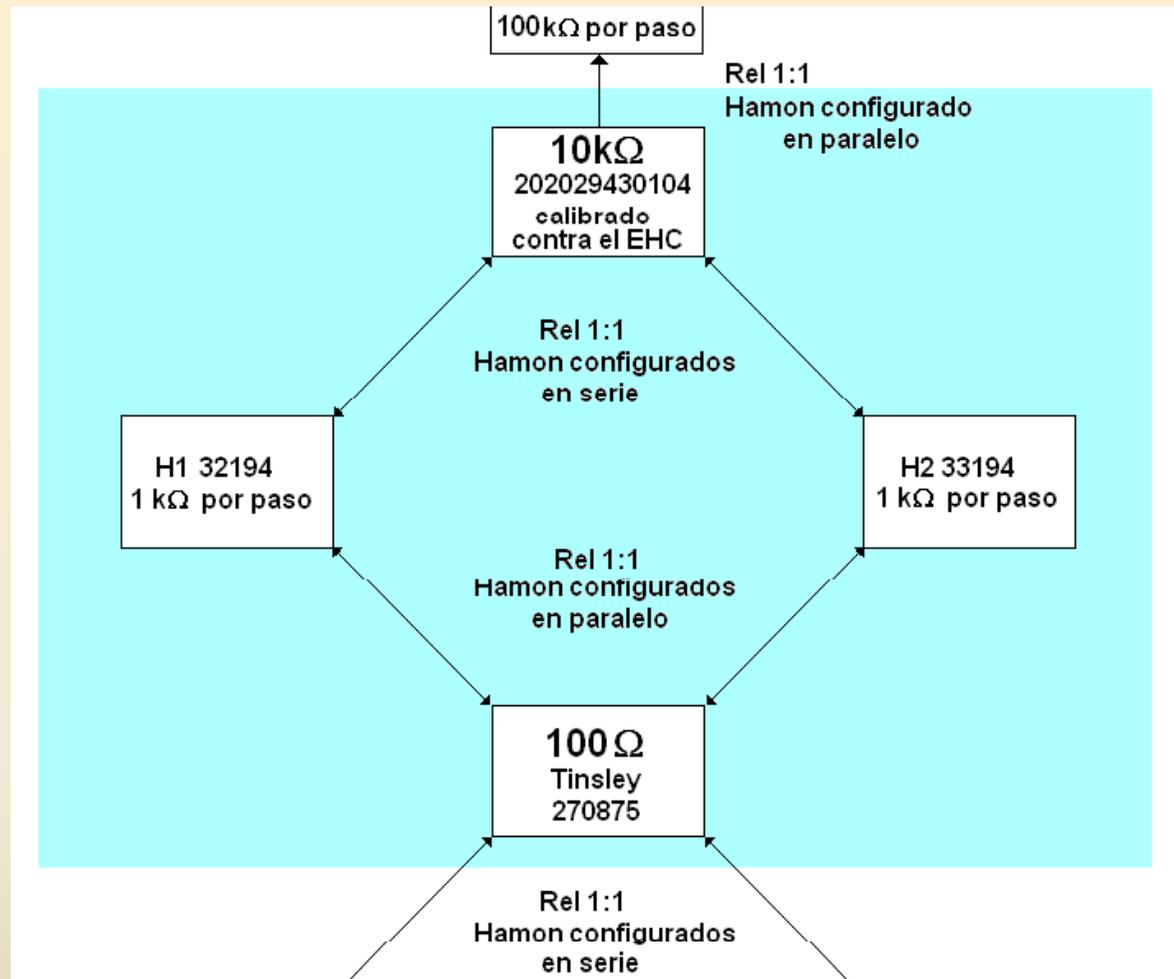
*Centro Nacional de Metrología – Derechos Reservados 2009*

# Propósitos:

1. Lograr independencia comercial en cuanto a la disposición de este tipo de equipos.
2. Contribuir al desarrollo de tecnología propia.
3. Mejorar las características técnicas de los dispositivos comerciales.



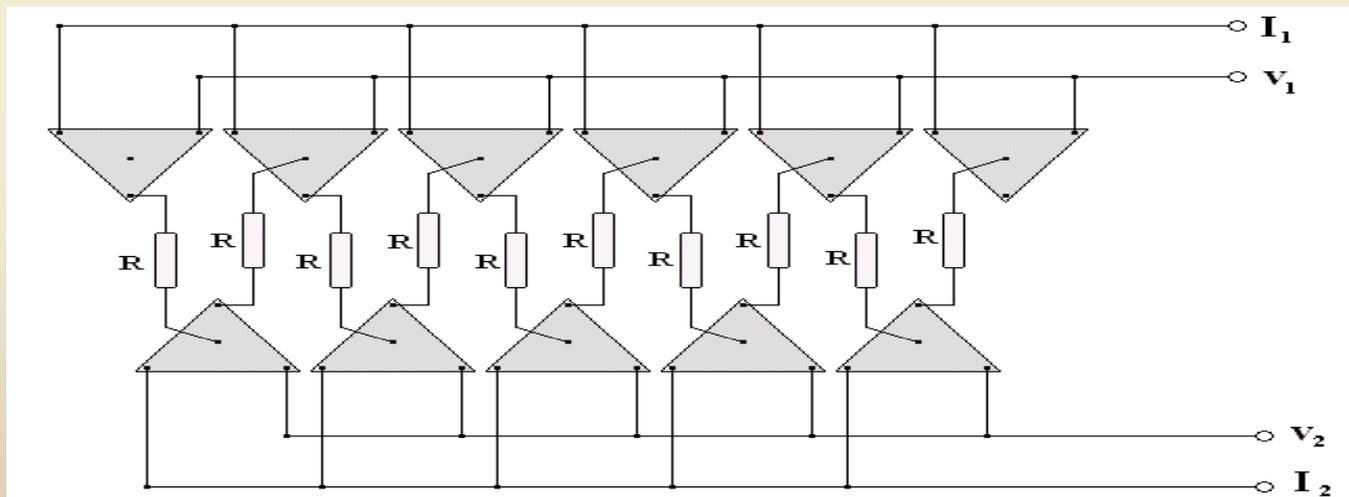
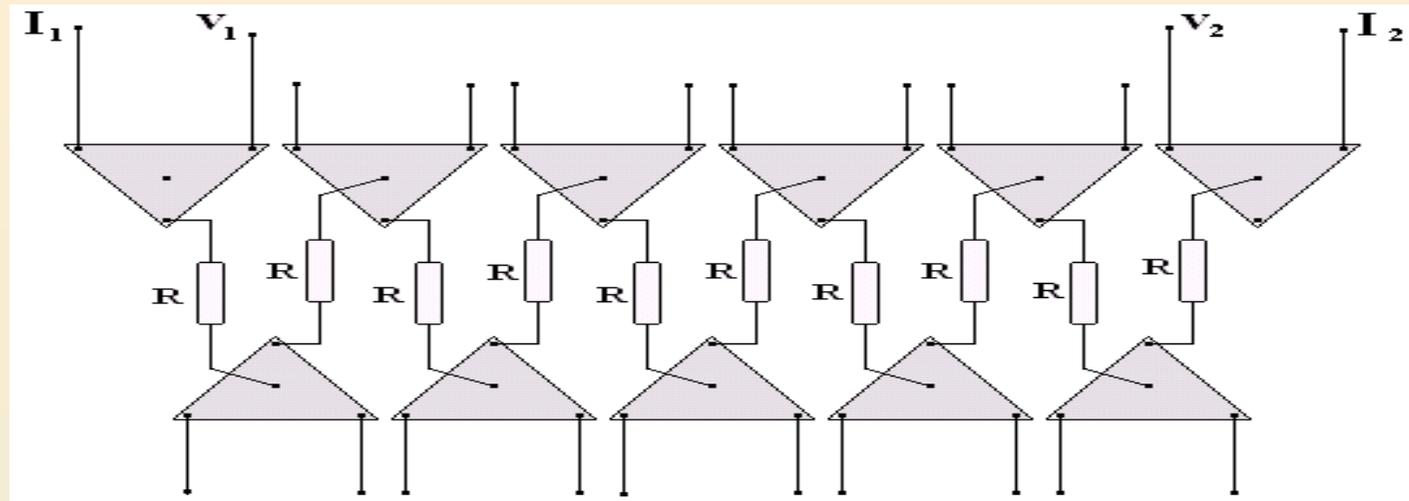
# ¿Dónde se usa?



# ¿Por qué construirlos?

# Definición

10 resistores del mismo valor nominal conectados en SERIE

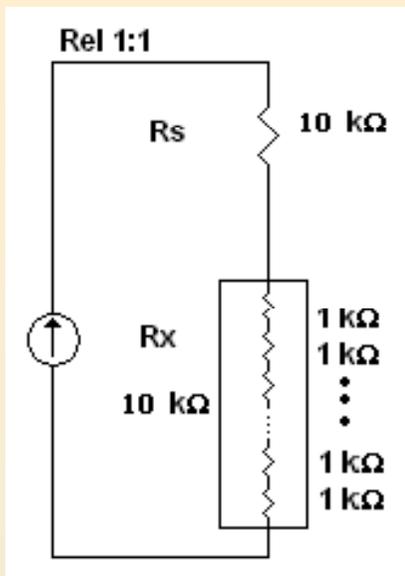


Los mismos 10 resistores del mismo valor nominal conectados en PARALELO

# La técnica Hamon

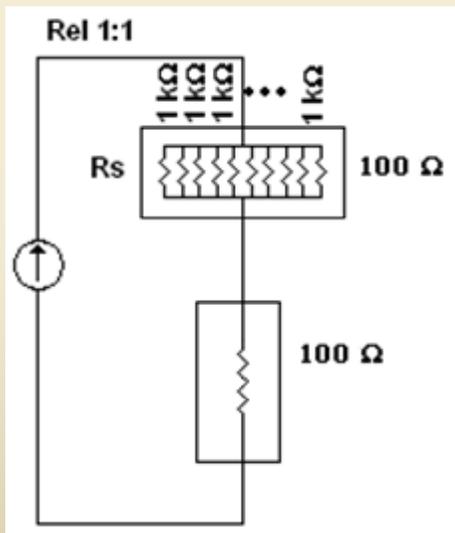
El valor de resistencia que resulta de conectar en serie un conjunto de resistores del mismo valor nominal tiene una equivalencia con respecto al valor de resistencia que se obtiene conectando en paralelo los mismos resistores de la forma:

$$R_p = R_s / n^2$$



Si se tiene  $R_s = 10 \text{ k}\Omega$   
 y se compone  $R_x$  Hamon serie  $= 10 \text{ k}\Omega$   
 ( $R_s$  se conoce a 1mA)

$$P_s = P_x = 10 \text{ mW}$$



Ahora, se puede componer  $R_s = 100 \Omega$   
 y calibrar  $R_x = 100 \Omega$

$$P_s = P_x = 10 \text{ mW}$$

Por lo tanto, la condición de potencia se conserva en la medición y la incertidumbre no se altera de manera importante

# Selección de resistores

Para conocer mejor la operación de un dispositivo de transferencia de resistencia eléctrica tipo Hamon se pueden revisar detalladamente las configuraciones no ideales serie y paralelo, cuando los resistores que se conectan son del mismo valor nominal.

Se sabe que la configuración de resistores conectados en serie se puede describir como:

$$R_s = \sum_{n=1}^m R_n$$

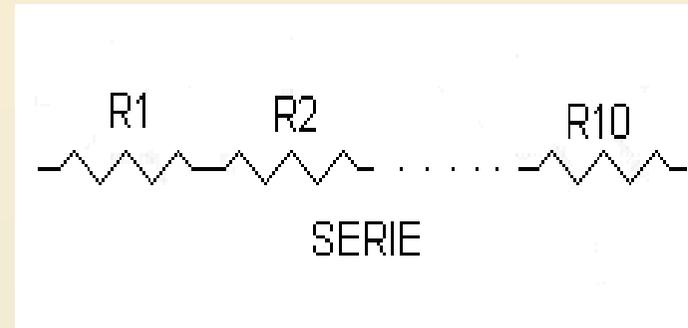
Donde:

$$R_n = R(1 + \Delta_n)$$

Entonces:

$$R_s = mR \left( 1 + \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m R_n \right)$$

Finalmente:   $R_s = mR(1 + \Delta_{av})$



La configuración de resistores conectados en paralelo se puede describir como:

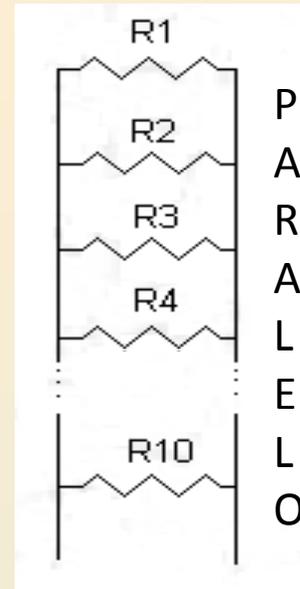
$$R_p = \frac{1}{\sum_{n=1}^m \frac{1}{R_n}}$$

Donde:

$$R_n = R(1 + \Delta n)$$

Entonces:

$$R_p = \frac{R}{m} (1 + \Delta_{av}) + \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \Delta n^2 - \Delta^2_{av} + \left( \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \Delta n^2 - 2\Delta_{av} \left( \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \Delta n^2 \right) + \Delta_{av} \right)$$



Es posible notar que conforme crece la red de resistores en la serie, tanto en configuración serie como paralelo, los términos que la componen refieren contribuciones al **error** en la resistencia del conjunto cada vez menores, y que para propósitos metrológicos resultan ser despreciables

EJEMPLO:

Si se tiene un conjunto de 10 resistores del mismo valor nominal conectados en paralelo, 5 de estos con una desviación con respecto al valor nominal de 0,1% excediendo y los restantes con 0,1% por abajo del valor nominal:

Observando el término al cuadrado: 
$$\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \Delta n^2 - av = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^m (0 - \Delta_n)^2$$

Se tiene que: 
$$= \frac{1}{10} \sum_{n=1}^m \left( (10)(10^{-3})^2 \right) = 10^{-6}$$

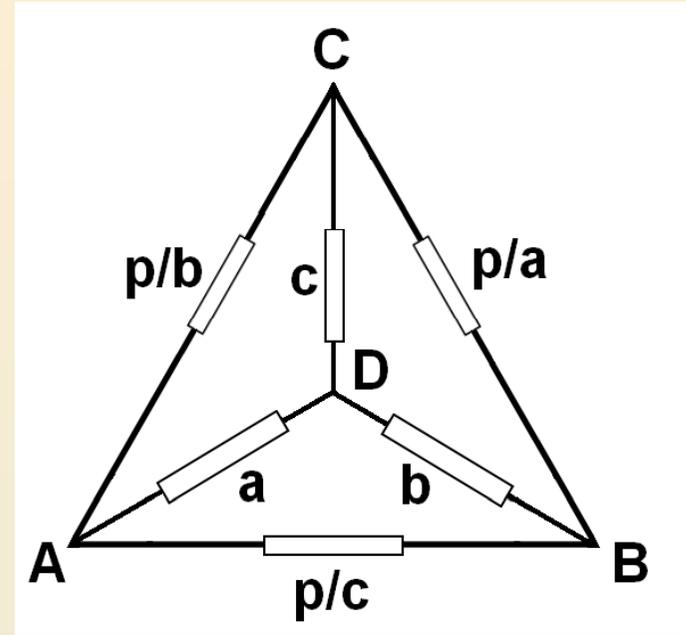
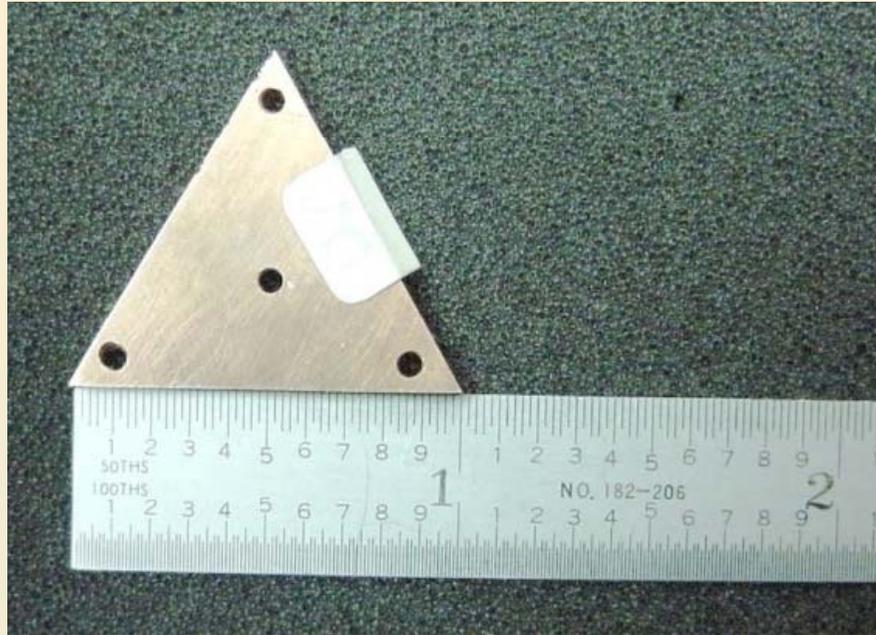
Observando el término al cubo 
$$\frac{1}{10} \sum_{n=1}^m \Delta_n^3 = \frac{1}{10} \left( (5)(10^{-3})^3 - (5)(10^{-3})^3 \right) = 0$$

Por último, si se observan los términos de orden mayor:

$$\frac{1}{10} \sum_{n=1}^m \Delta_n^4 + \left( \frac{1}{10} \sum_{n=1}^m \Delta_n^2 \right)^2 = \frac{1}{10} \left( (10)(10^{-3})^4 \right) + 10^{-12} = 10^{-12}$$

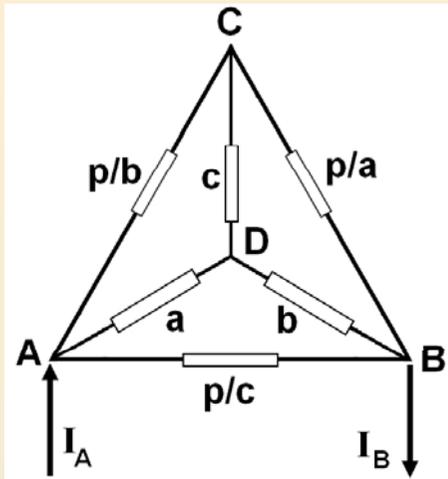
Por lo tanto, para conjuntos de resistores con desviaciones menores a la del ejemplo, con respecto a su valor nominal, presentarán una contribución al error de transferencia cada vez menor.

# Uniones de cobre de 4 terminales



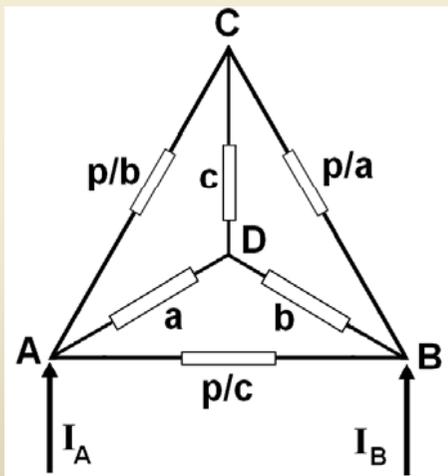
Las uniones equilibradas (Geométricas, maquinado de alta calidad) introducen el mismo término adicional en la evaluación de la resistencia, ya sea en conexión serie o paralelo.

# Resistencia adicional debida a las uniones



## Conexión en serie

$$R_{\text{adicional}} = \frac{a}{1 + \frac{ab + bc + ca}{p}}$$



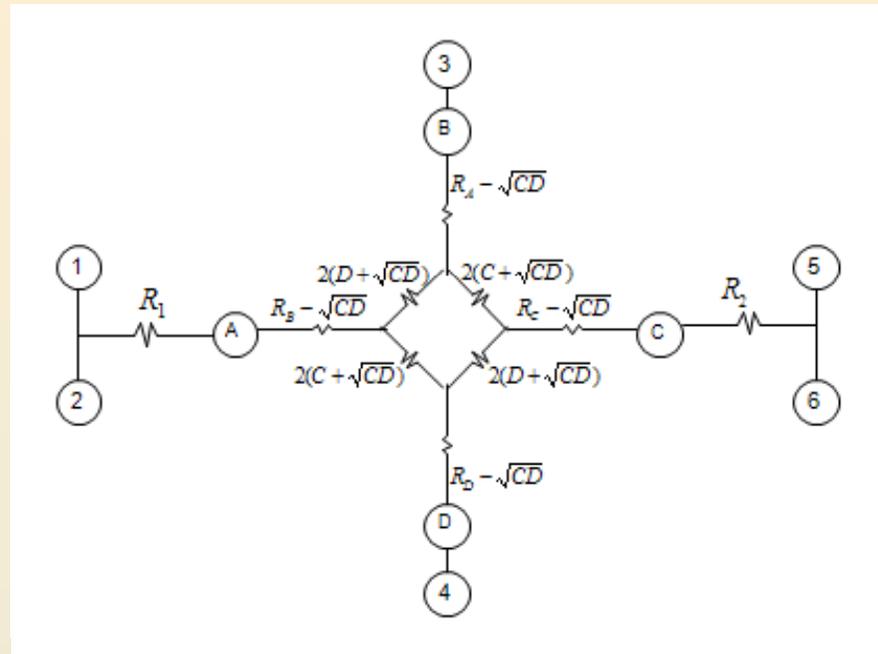
## Conexión en paralelo

$$R_{\text{adicional}} = \frac{a}{1 + \frac{ab + bc + ca}{p}}$$

Donde, para ambos casos:

$$P = ab + ca + bc \quad [\Omega^2] \quad \text{y} \quad R_{AC} = \frac{P}{b}, \quad R_{CB} = \frac{P}{a} \quad \text{ambos} \quad [\Omega]$$

# Determinación de la resistencia adicional debida a las uniones de cobre de 4 terminales



El análisis requerido para conocer el valor de la resistencia adicional consiste en considerar el valor de resistencia total de dos resistores conectados en serie unidos mediante una unión de 4 terminales representada por el circuito de Searle conseguido de manera individual y considerando el valor de la unión entre estos.

La diferencia entre la suma de los valores individuales de los resistores y la medición en serie (considerando la unión de 4 terminales) del circuito se expresa mediante la siguiente relación:

$$mR \left[ 1 + \Delta_{av} \pm 2 \frac{M(m-1)}{Rm} \right]$$

El tercer término de la ecuación ubicada dentro de los paréntesis ofrecerá el valor, que añadirá la unión mediante la cual se ligan los resistores

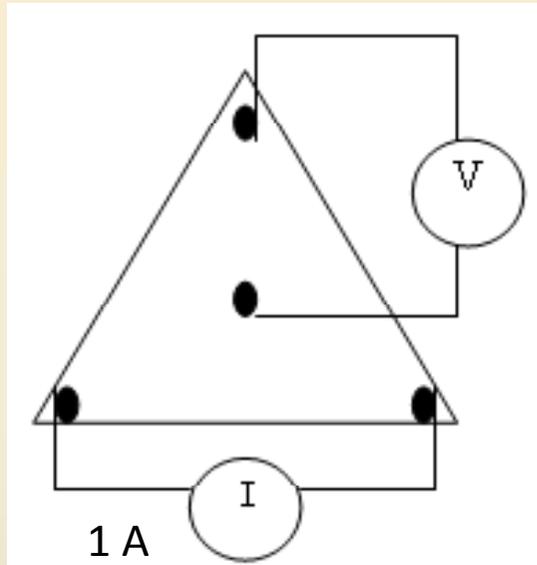
Nota:

*M = suma de resistencia interior y exterior*

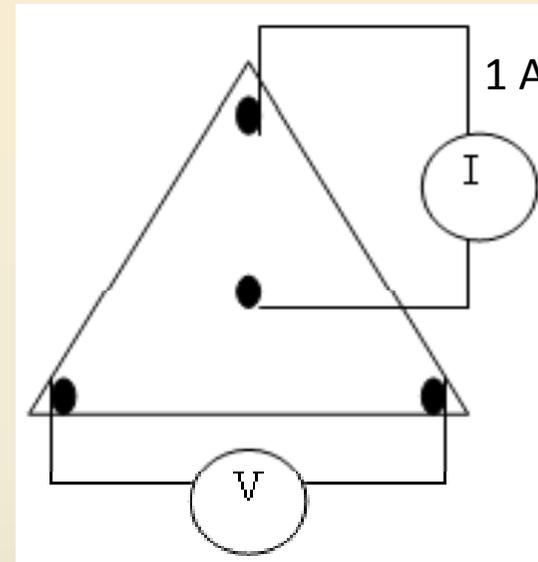
*m = numero de resistores*

*R = valor nominal de los resistores*

# Medición de la resistencia interior y exterior de las uniones de cobre



Configuración 1:  
Resistencia interior



Configuración 2:  
Resistencia exterior

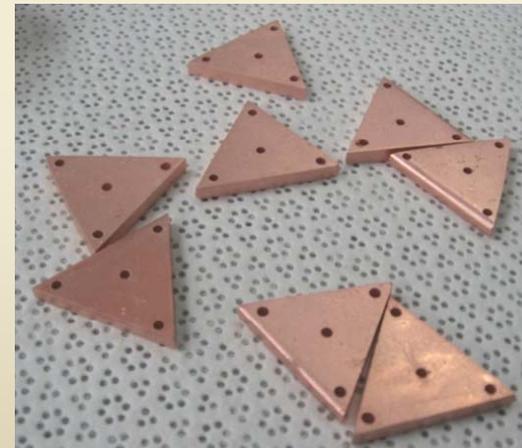
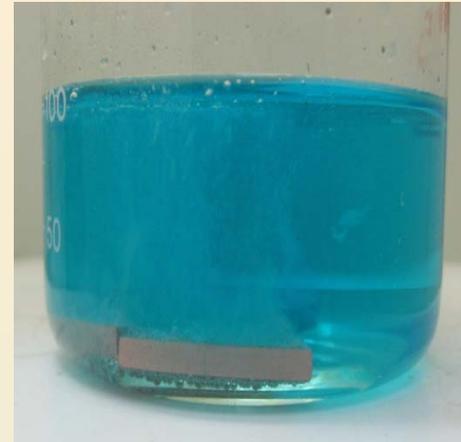
Se sumaron los valores medidos de resistencia interior y exterior de cada unión para obtener el valor de  $M$  de cada triangulo.

Se evaluó el promedio de las sumas en la ecuación Sustituyendo el valor promedio de las sumas de 9 uniones seleccionadas

$$\left[ \pm 2 \frac{M(m-1)}{Rm} \right]$$

La contribución de resistencia debida a las uniones en este caso, fue de: **1.5682E-09**, esto es una contribución en **0,002  $\mu\Omega/\Omega$** .

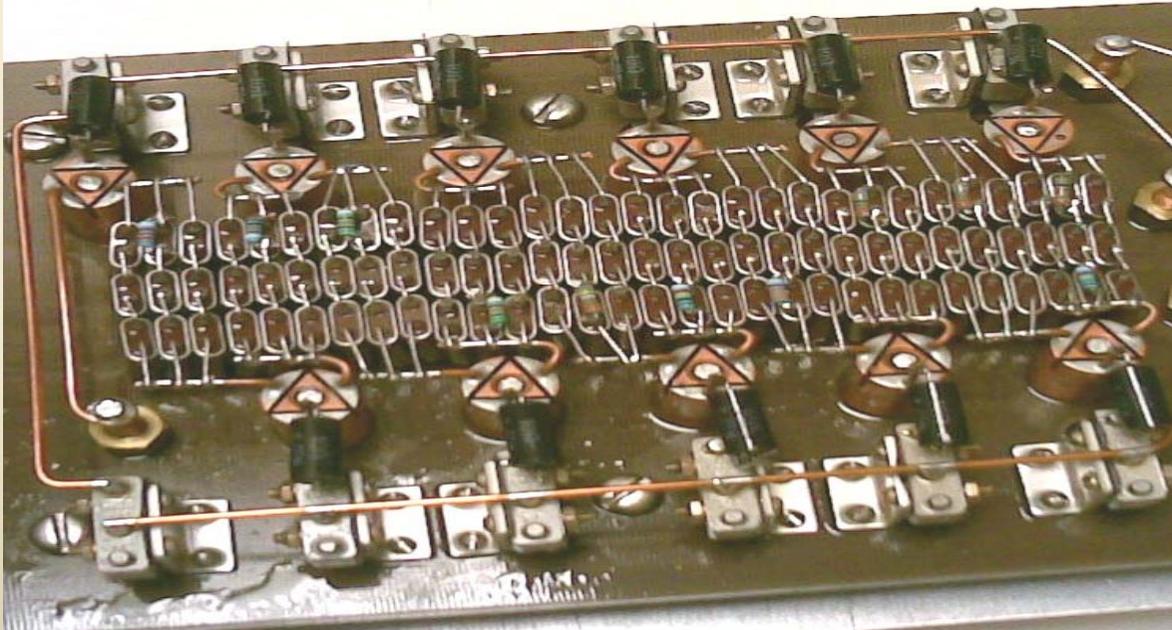
# Preparación de las uniones de cobre



# Conexión de los resistores y las uniones

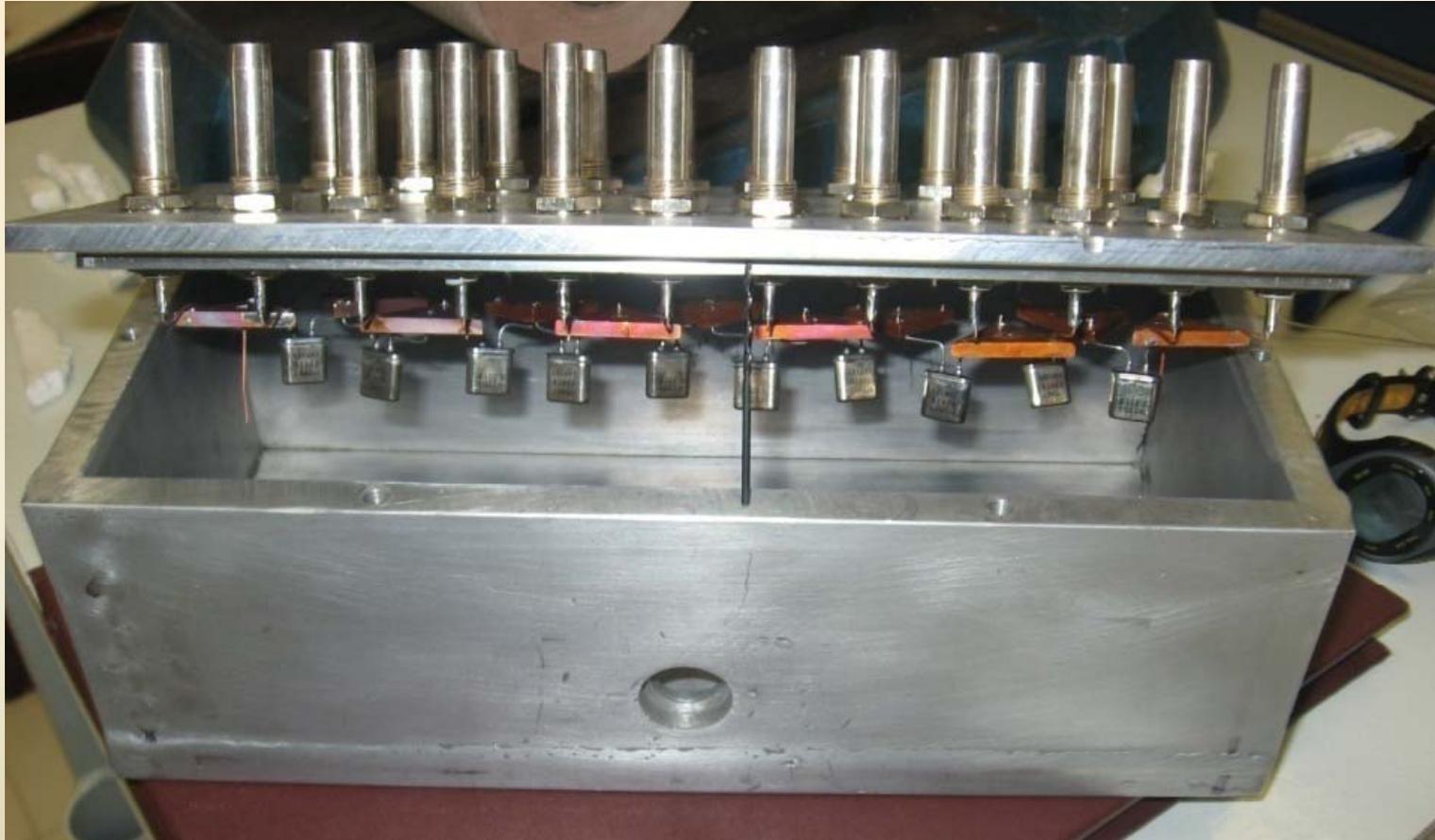


Hamon CENAM

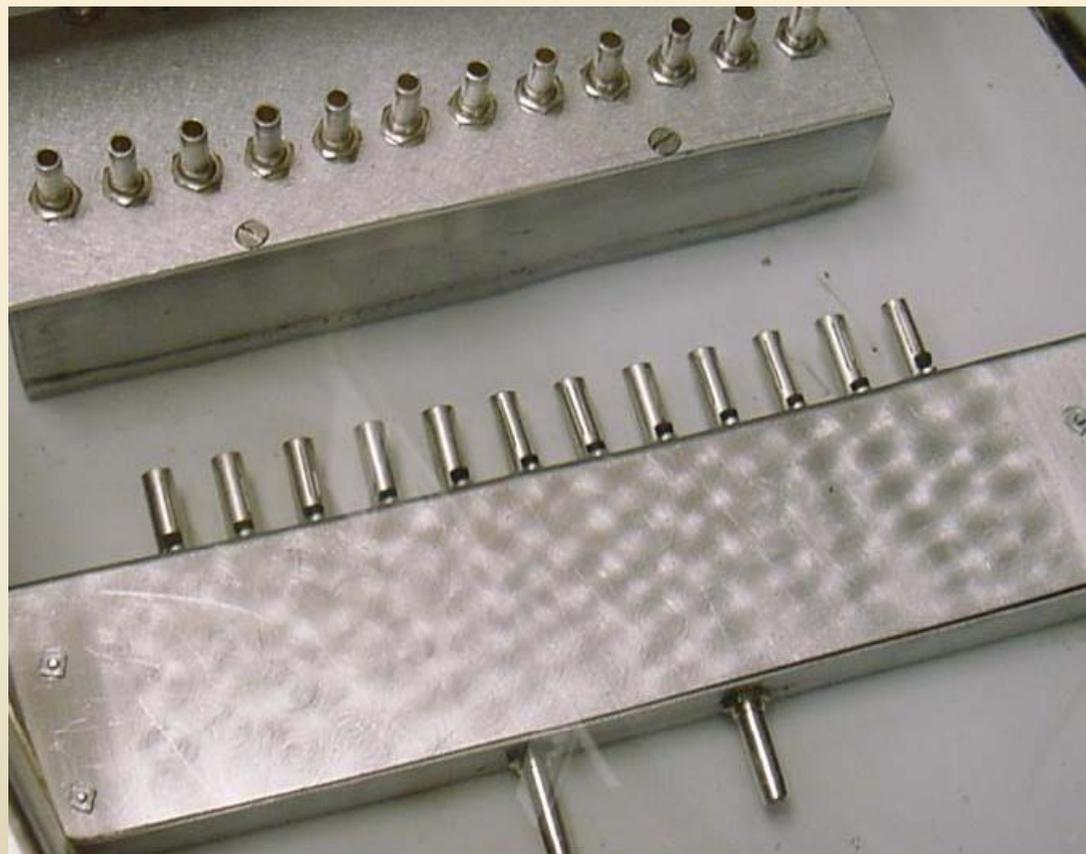


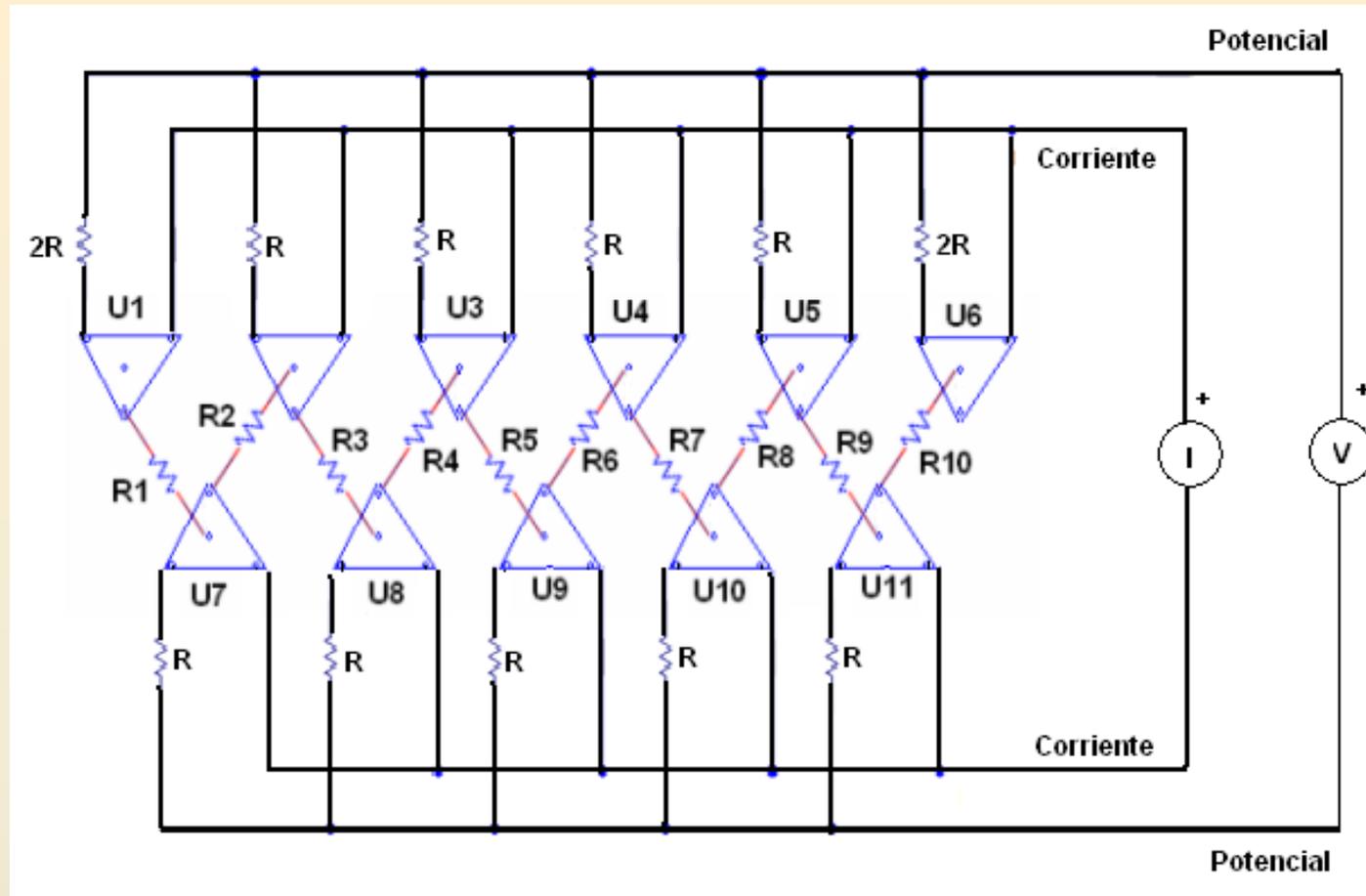
Hamon Comercial

# Ensamble del arreglo en serie



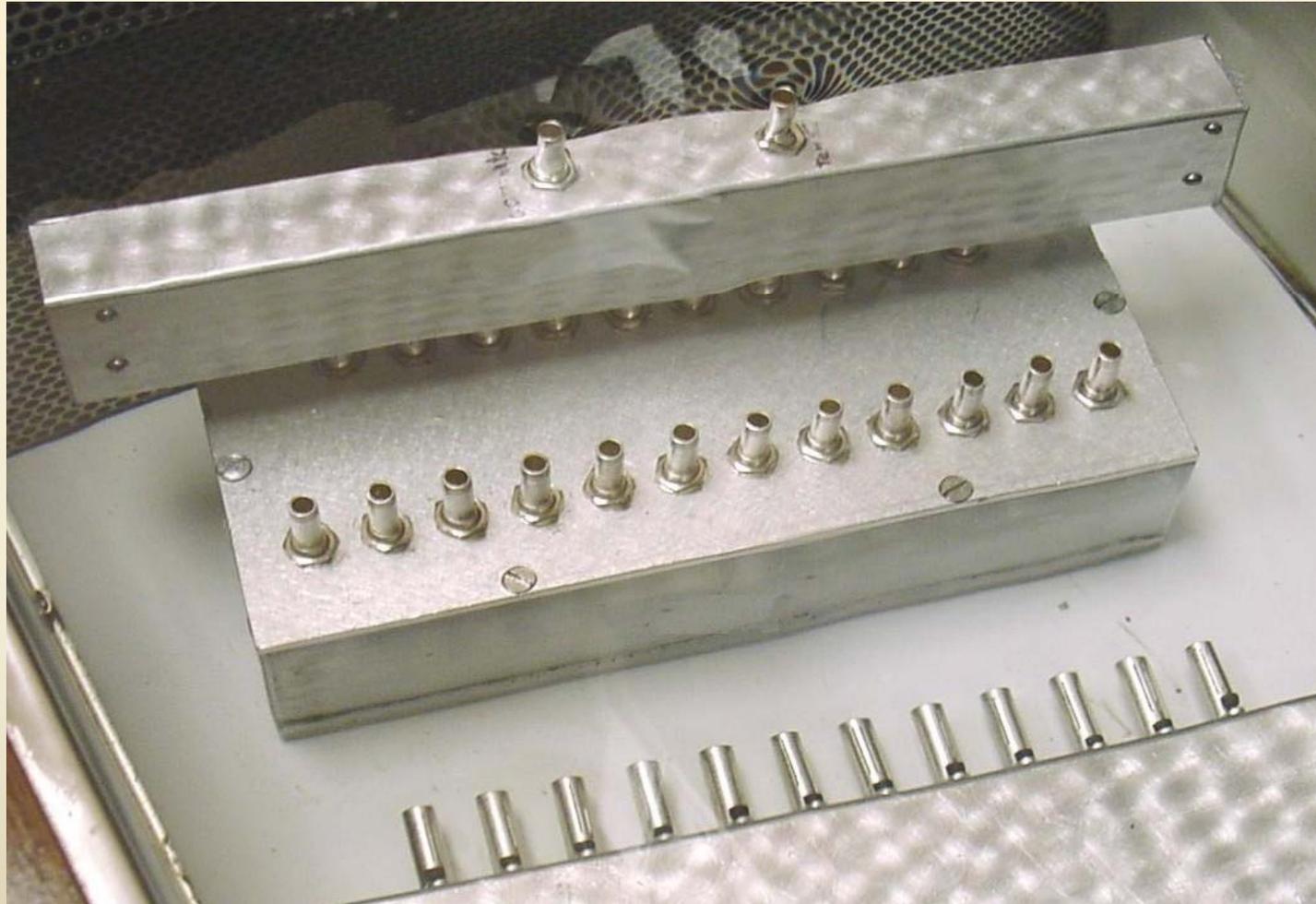
# Arreglos de compensación para la configuración en paralelo



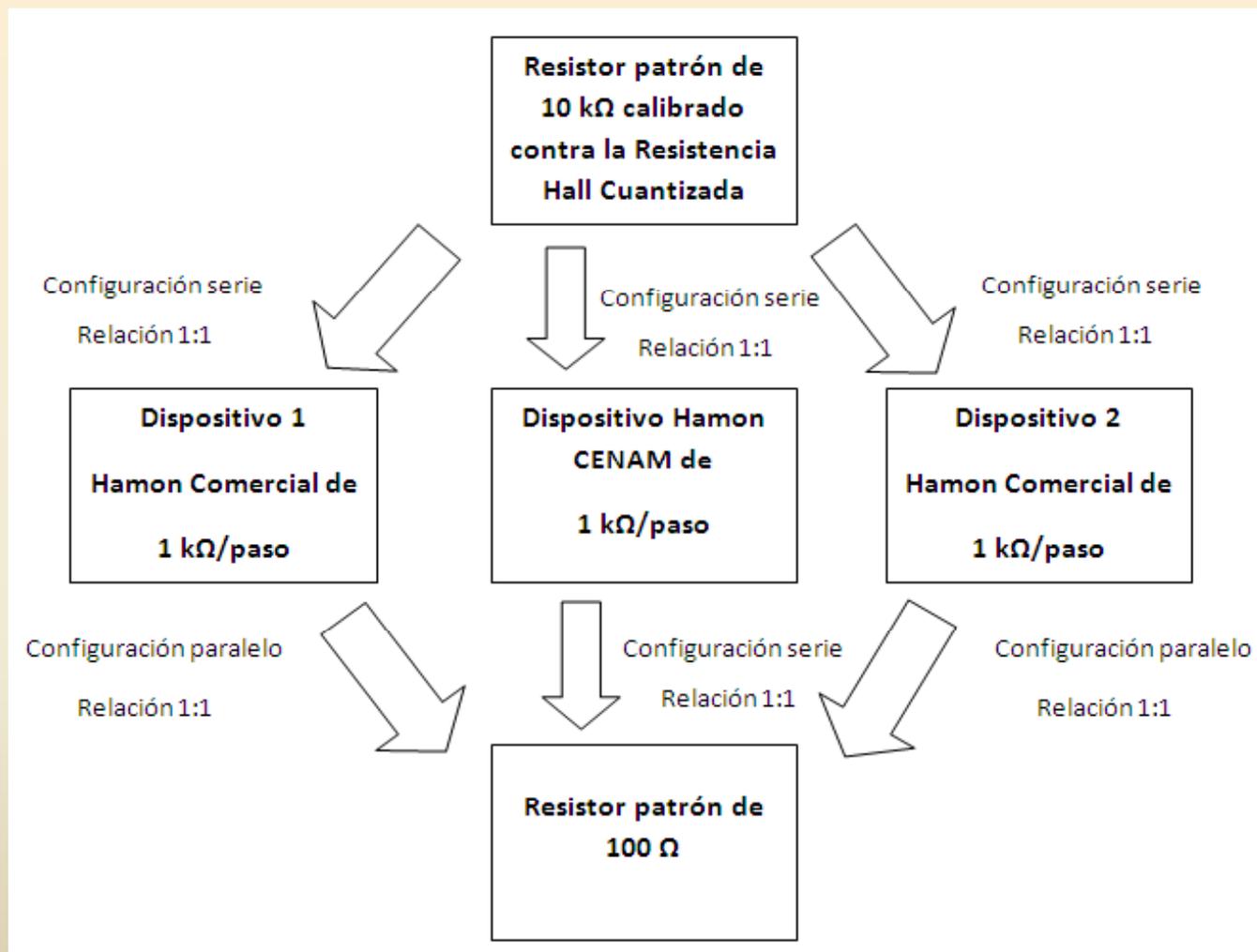


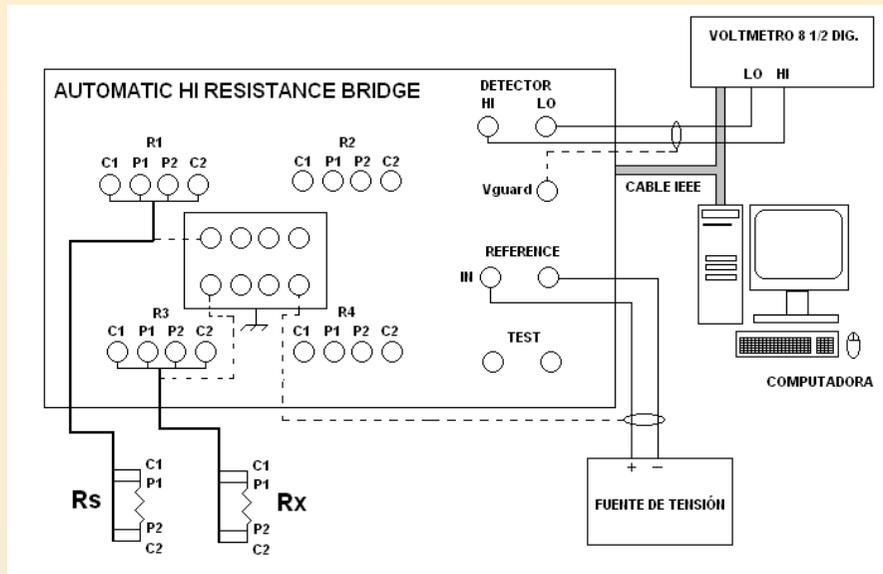
**Dispositivo Hamon conectado en paralelo mediante las barras de compensación.**

# Equipo terminado

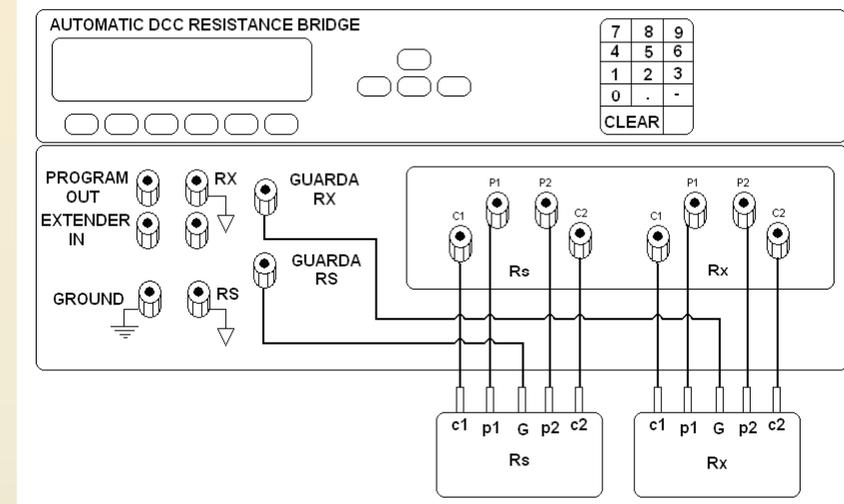


# Prueba de desempeño

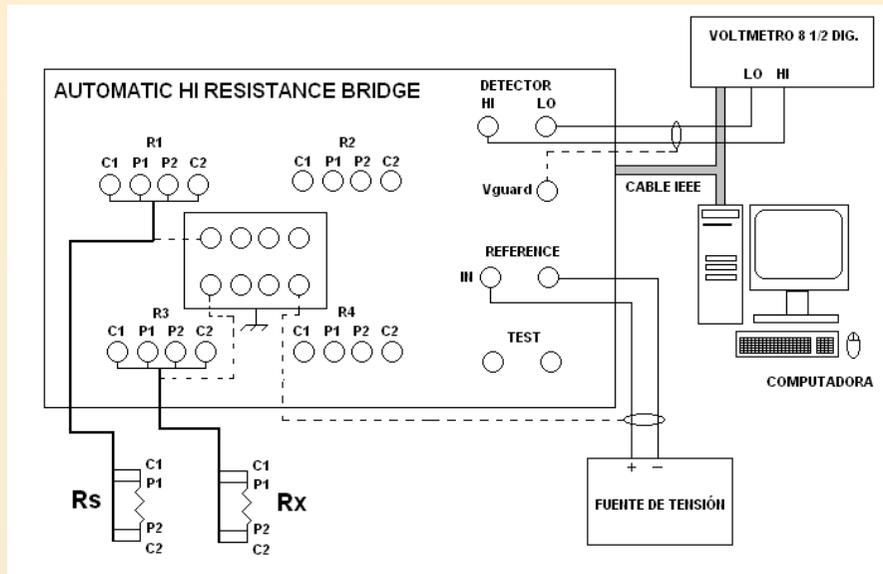




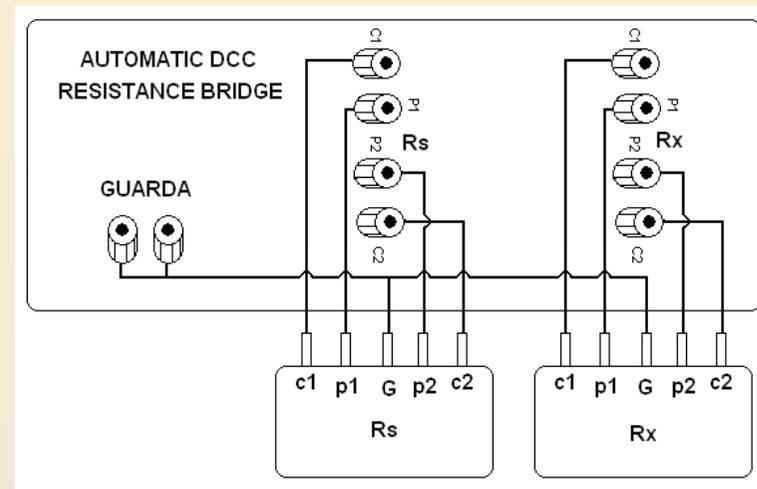
## Sistema de medición de resistencia potenciométrico



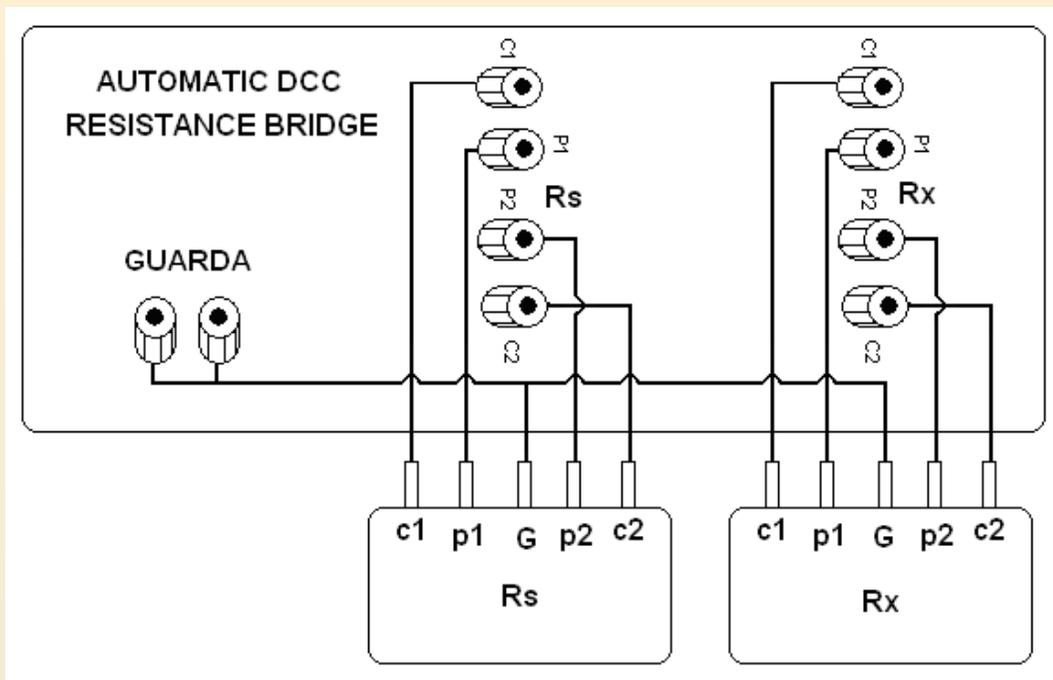
## Sistema de medición de resistencia comparador de corrientes



## Sistema de medición de resistencia potenciométrico

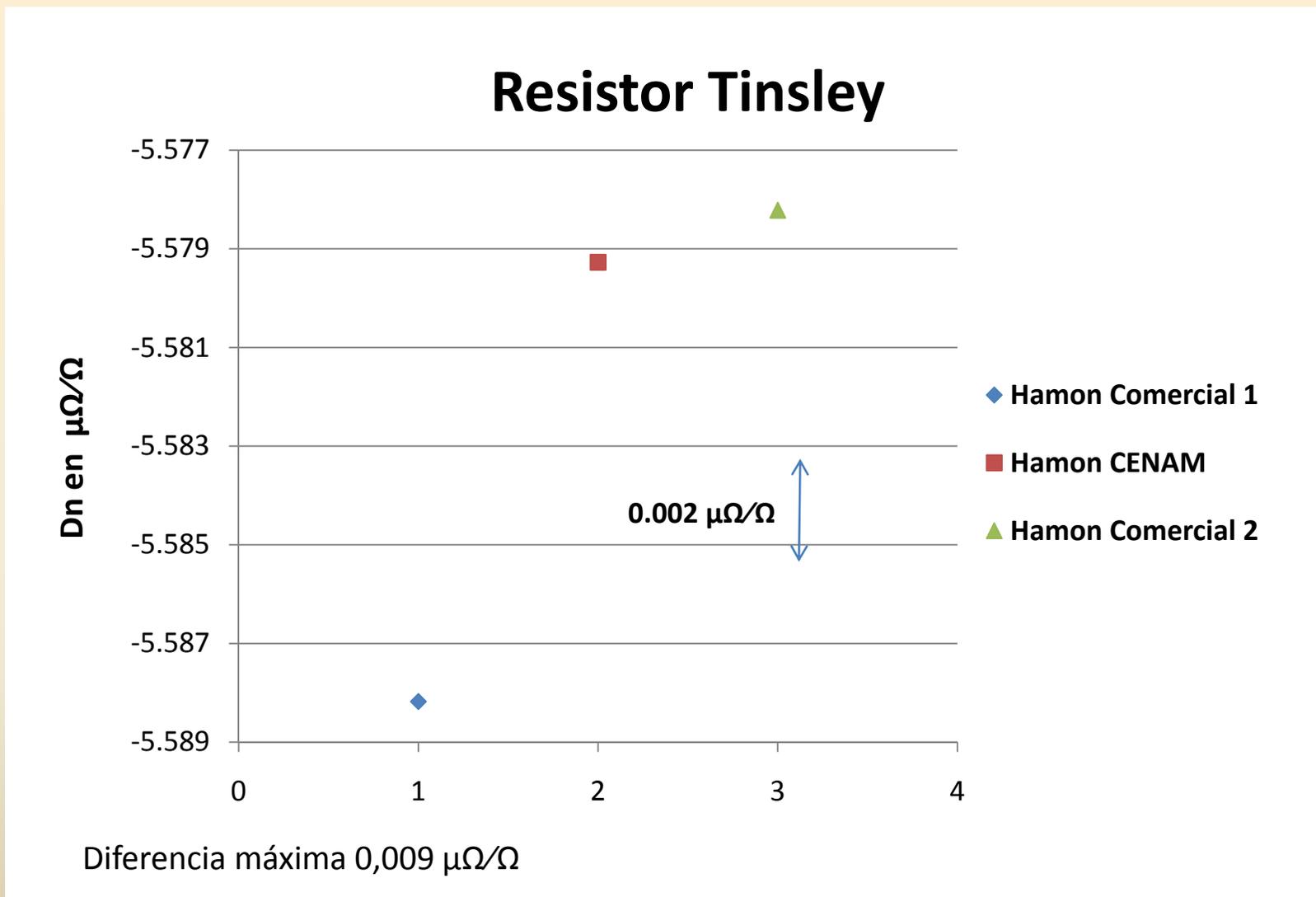


## Sistema de medición de resistencia comparador de corrientes

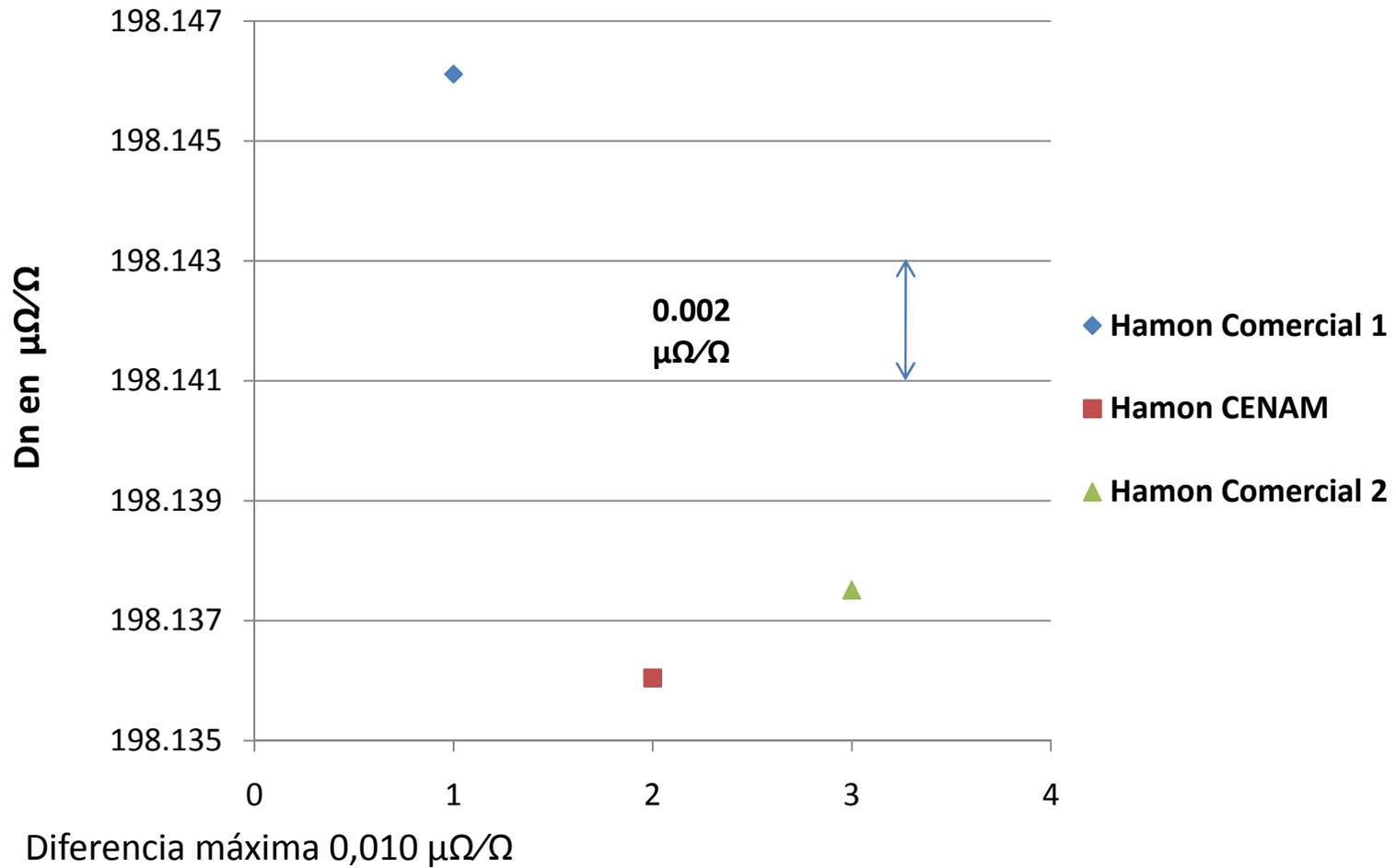


## Sistema de medición de resistencia comparador de corrientes

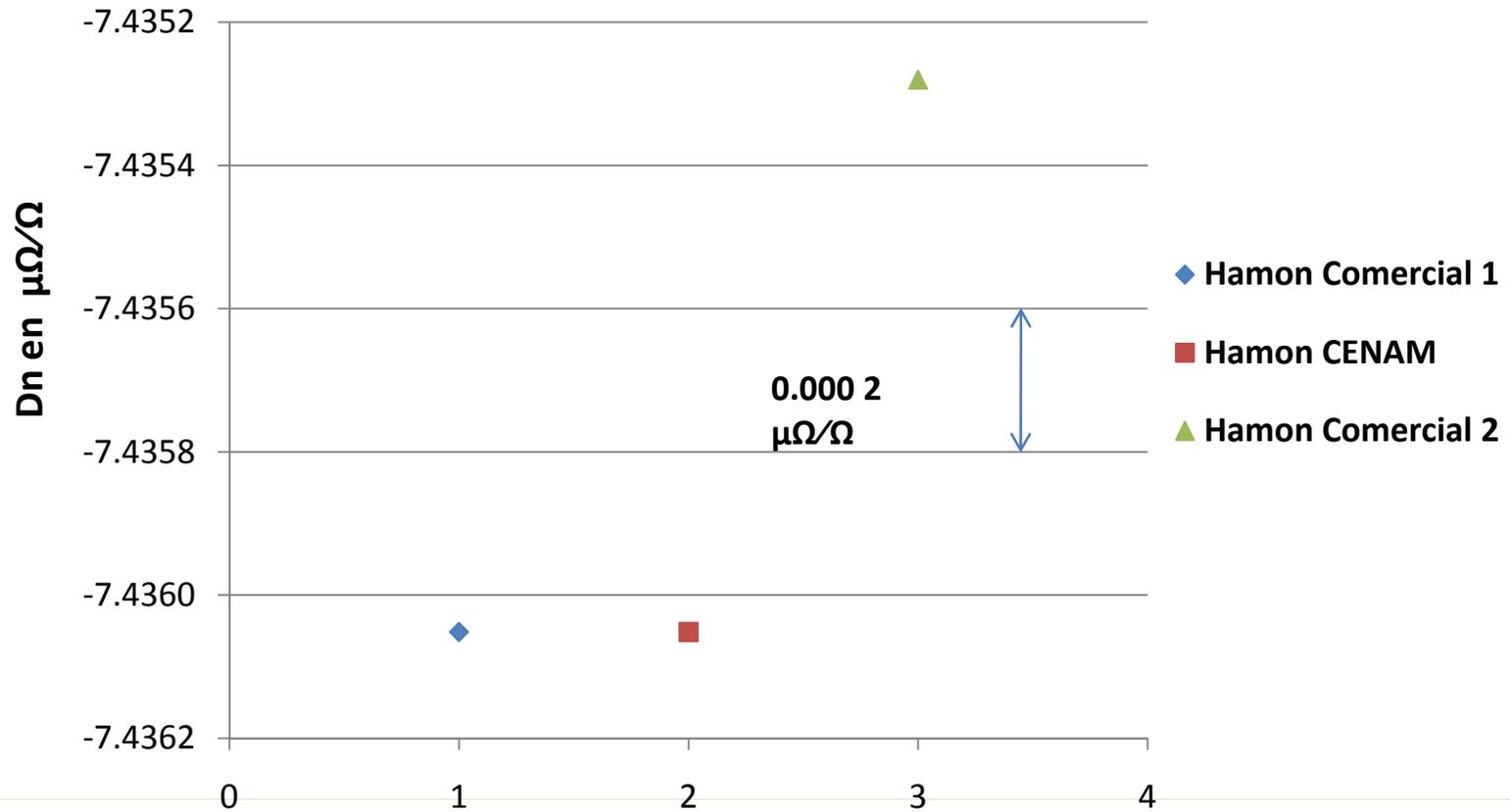
# Desempeño



# Resistor Guildline



# Resistor Leads & Northrup



Diferencia máxima 0,001  $\mu\Omega/\Omega$



Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

- ⊕ Electromagnetismo
- ⊕ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ⊕ Tiempo y Frecuencia



# Conclusiones

1. Habiendo evaluado el desempeño del dispositivo Hamon de 1 k $\Omega$ /paso, de acuerdo a los niveles de concordancia mostrados, es posible terminar con la dependencia a los dispositivos comerciales.
2. Se han mejorado algunas de las características técnicas de los dispositivos comerciales, permitiendo realizar las configuraciones serie y paralelo de manera más rápida y fácil y eliminando problemas de contactos durante los procesos de calibración.

# Referencias:

[1] B. V. HAMON, “A 1-100  $\Omega$  build-up resistor for the calibration of standard resistors”, Journal of Scientific Instruments, Vol. 31, December 1954.

[2] JACK C. RILEY, “The Accuracy of Series and Parallel Connections of Four-Terminal Resistors” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 1M-16, no. 3 September 1967 pp. 258-268

[3] N. ELNÉKAVE, “Note de métrologie électrique: couplage en série et en parallèle de deux résistances à l’aide de jonctions équilibrées” Laboratoire Central des industries Électriques, Bulletin BNM, Avril 1976 pp.19-20

[4] BENJAMÍN RODRIGUEZ, FELIPE HERNÁNDEZ, “Construcción de un dispositivo de transferencia de resistencia eléctrica tipo Hamon de 1 k $\Omega$ /paso” Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica, 2007. CENAM. Mexico.

