

# RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN REGIONAL SIM 3.9: Termopares tipo K en el intervalo de 100 °C a 1100 °C

K. M. Garrity<sup>1</sup>, D. C. Ripple<sup>1</sup>, M. Araya<sup>2</sup>, C. R. Cabrera<sup>3</sup>, L. Cordova Murillo<sup>4</sup>, M. E. de Vanegas<sup>5</sup>, D. J. Gee<sup>6</sup>, E. Guillén<sup>7</sup>, S. Martínez-Martínez<sup>8</sup>, E. Mendez-Lango<sup>8</sup>, L. Mussio<sup>9</sup>, S. G. Petkovic<sup>10</sup>, K. N. Quelhas<sup>10</sup>, G. Rangugni<sup>11</sup>, O. Robatto<sup>9</sup>, and E. von Borries Rocha<sup>4</sup>

<sup>1</sup>NIST, Estados Unidos (Laboratorio piloto), <sup>2</sup>LCPNT, Chile; <sup>3</sup>SENCAMER, Venezuela; <sup>4</sup>IBMETRO, Bolivia; <sup>5</sup>CONACYT, El Salvador; <sup>6</sup>NRC, Canada; <sup>7</sup>SNM-INDECOPI, Perú; <sup>8</sup>CENAM, Mexico; <sup>9</sup>LATU, Uruguay; <sup>10</sup>INMETRO, Brazil; <sup>11</sup>INTI, Argentina; [emendez@cenam.mx](mailto:emendez@cenam.mx), [smartine@cenam.mx](mailto:smartine@cenam.mx)

**Resumen:** Con el respaldo del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), el National Institute of Standards and Technology (NIST) organizó una comparación de termopares tipo K en el intervalo de 100 °C a 1100 °C, en la cual participaron once países del SIM. Se presentan los resultados de la comparación.

## 1. INTRODUCCION

Los termopares tipo K son los termómetros de uso más común en la industria. Además son usados como referencia para la calibración de otros termómetros. Por iniciativa del National Institute of Standards and Technology (NIST) se realizó una comparación regional de resultados de la calibración de termopares tipo K, en la cual participaron 11 países del SIM ( tabla 1).

Tabla 1. Lista de laboratorios participantes

Código	Nombre laboratorio	País
A	Centro Nacional de Metrología (CENAM)	México
B	Consejo de la Ciencia y Tecnología (CONACYT)	El Salvador
C	Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO)	Bolivia
D	Instituto Nacional de Metrología Normalización y Calidad Industrial de Río de Janeiro (INMETRO)	Brasil
E	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)	Argentina
F	Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU)	Uruguay
D	Laboratorio Custodio de los Patrones Nacionales de Temperatura (Red Nacional de Metrología)	Chile
*H	National Institute of Standards and Technology (NIST)	Estados Unidos
I	National Research Council of Canada (NRC)	Canadá
J	Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER)	Venezuela
K	Instituto Nacional de la Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Servicio Nacional de Metrología (SNM-INDECOPI)	Perú

\* Nota: Laboratorio Piloto

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA COMPARACIÓN.

Antes de iniciar la comparación el laboratorio piloto NIST, caracterizó un lote de alambre de termopar tipo K de 60 m de longitud y diámetro 1,63 mm, la caracterización del lote consistió en la calibración y realización de pruebas de repetibilidad y homogeneidad para tres muestras, los resultados de la caracterización indicaron que el lote es uniforme y la desviación estándar de los valores de la fuerza electromotriz (*fem*) no excedió de 2,7  $\mu$ V (equivalente a 0,1 °C) para las temperaturas de la prueba.

Para la comparación, cada laboratorio recibió dos muestras del alambre de longitud de 1,1 m, con las cuales se construyeron los termopares bajo prueba y se calibraron en los puntos de 100 °C, 200 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 800 °C, 1000 °C y 1100 °C.

Los resultados de las calibraciones obtenidos por los laboratorios participantes, se enviaron al laboratorio piloto para su análisis.

## 3. ANALISIS DE DATOS DE LA COMPARACIÓN.

Para el análisis de los resultados, se tomó como valor representativo de cada laboratorio (*i*) el valor promedio ( $E_{ai}$ ) de las *fem* medidas en cada una de las muestras para cada temperatura (*a*) bajo prueba.

Las diferencias entre los laboratorios *i* y *j* se determinaron con la siguiente expresión:

$$D_{ij} = \frac{E_{ai} - E_{aj}}{S(t)} \quad (1)$$

Donde  $S(t)$  es el coeficiente Seebeck y los  $E_{ai}$  y  $E_{aj}$  son los valores promedio de las muestras enviadas a los laboratorios  $i, j$  a la temperatura ( $a$ ) nominal.

La incertidumbre combinada para la comparación de dos laboratorios  $i$  y  $j$  con:

$$u_c = \sqrt{u_{S,A}^2 + (u_{I,A}^2 + u_{R,A}^2) / n_A + u_{S,B}^2 + (u_{I,B}^2 + u_{R,B}^2) / n_B} \quad (2)$$

donde  $n_A$  y  $n_B$  son el número de corridas de calibración por el laboratorio A y B;  $u_{I,A}$  y  $u_{I,B}$  representa la incertidumbre por inhomogeneidad,  $u_{R,A}$  y  $u_{R,B}$  son las desviaciones estándar por efectos aleatorios de una corrida a otra,  $u_{S,A}$  y  $u_{S,B}$  son las incertidumbres por efectos sistemáticos. Los términos  $u_{I,A}$  y  $u_{I,B}$  se toman como los que determinó el NIST, para las inhomogeneidades del lote si el laboratorio participante no incluyó la incertidumbre por inhomogeneidad.

#### 4. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN.

Se consideraron tres valores para usarse como referencia: la media ponderada, la mediana y la media. En la figura 1, se muestran los tres candidatos.

A temperaturas de 500 °C e inferiores, los valores de mayor peso son los de LCPNT y CONACYT, estos valores influyen en el valor de la media ponderada, por tal motivo se descartó como valor de referencia.

Entre los otros dos candidatos, se tomó la mediana como valor de referencia, ya que este valor se encuentra libre de la influencia de los valores más desviados (outliers).

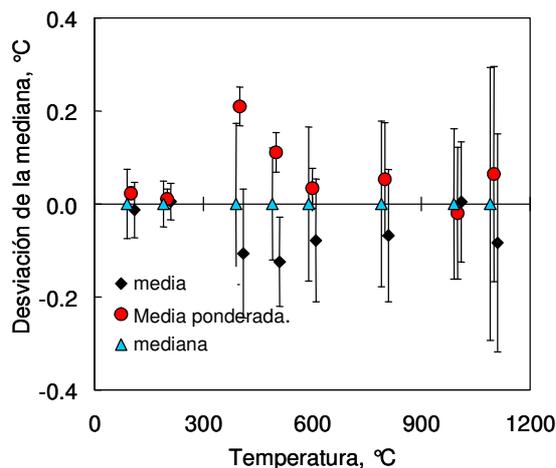
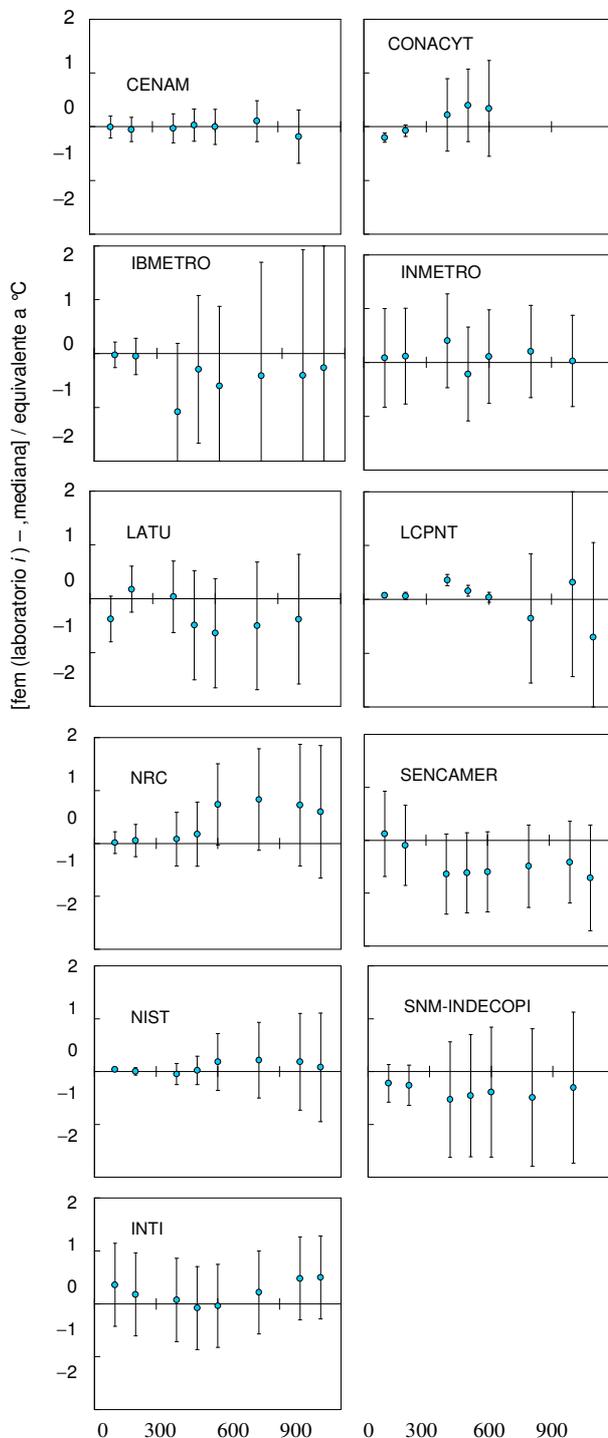


Figura 1. Candidatos a Valores de referencia como función de la temperatura con barras de incertidumbre con  $k=1$ .

Las siguientes gráficas presentan los resultados de la comparación para cada laboratorio; la línea de base es la mediana. Las barras de incertidumbre con factor de cobertura  $k=2$  para cada laboratorio  $i$  se calcularon en términos de la ecuación (2)



Adicionalmente se realizaron dos pruebas. La primera consistió en la determinación de la coherencia de las calibraciones entre laboratorios usando el método de diagramas de Youden. La segunda consistió en la comparación de residuales entre los laboratorios, los cuales se obtiene del ajuste de las desviaciones entre los valores de *fem* medidos y los de referencia del termopar tipo K a las temperaturas de prueba para cada laboratorio participante.

De los diagramas de Youden se obtuvo que diferencias entre laboratorios se deben a errores sistemáticos y no a la inrepetibilidad de los resultados.

Los residuales a la curva interpolada se usaron para identificar los puntos aberrantes (outliers), los cuales se excluyeron del cálculo de la mediana.

## 5. CONCLUSIONES

La uniformidad del lote permitió que los valores de *fem* obtenidos por cada laboratorio en las temperaturas de calibración, no se corrigieran por la variación de la concentración de los aleantes, lo que simplificó el análisis de los resultados.

De las 380 posibles combinaciones de diferencias bilaterales entre laboratorios solo 13 (es decir el 3,1% de todas) exceden el valor con  $K=2$  de la dispersión de los valores de *fem* de todos los datos obtenidos por todos los participantes y de estas 13, solo 3 exceden el límite de  $K=3$ .

De las graficas comparativas entre los resultados de los laboratorios y el valor de referencia se destaca, que el desempeño de CENAM, INMETRO y NIST son los mejores, en particular el de CENAM es excelente.

## REFERENCIAS

[1] G.W. Burns and M.G. Scroger, "The Calibration of Thermocouples and Thermocouples Materials" NIST Special Publication 250-35, U.S Govt Printing Office, Washington, D.C., 1989, 200 pp.