



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

- Electromagnetismo
- Temperatura y Propiedades Termofísicas
- Tiempo y Frecuencia



# El punto de solidificación del cadmio en la calibración de termómetros de resistencia de platino industrial

David Licea Panduro

Eléctrica / División Termometría

18 / noviembre / 2009

# El punto de solidificación del cadmio en la calibración de TRP tipo Industrial

## Contenido

- Calibración de Termómetros de Resistencia de Platino (TRP)
- Intervalos de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)
- Desviación de TRP respecto a la función de referencia de la EIT-90
- Inconsistencia en sub-intervalos
- El punto de solidificación del cadmio (PS Cd)
- Resultados de calibración en TRP tipo industrial
- Conclusiones

# Calibración de Termómetros de Resistencia de Platino (TRP)

## Métodos de calibración

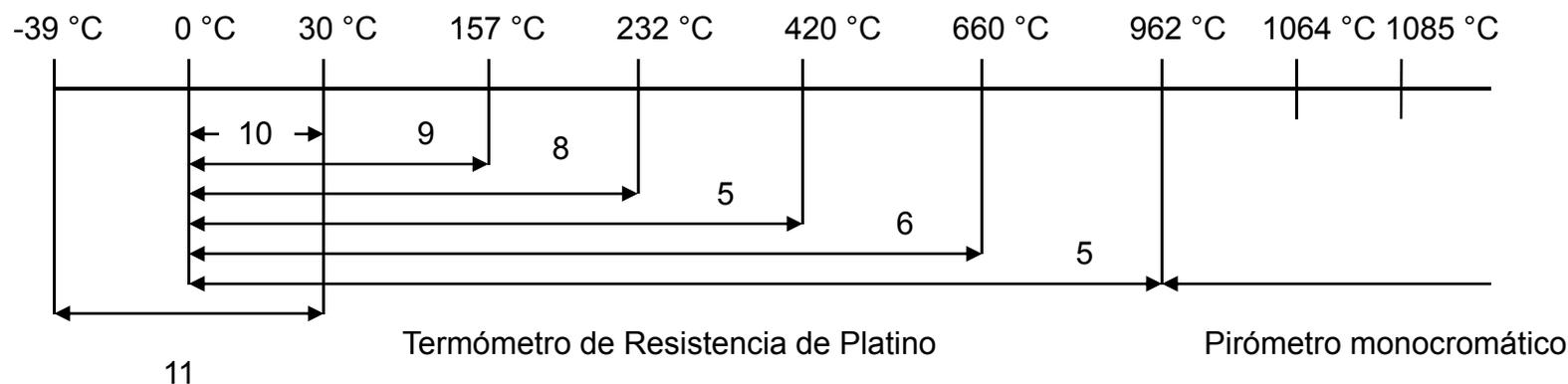
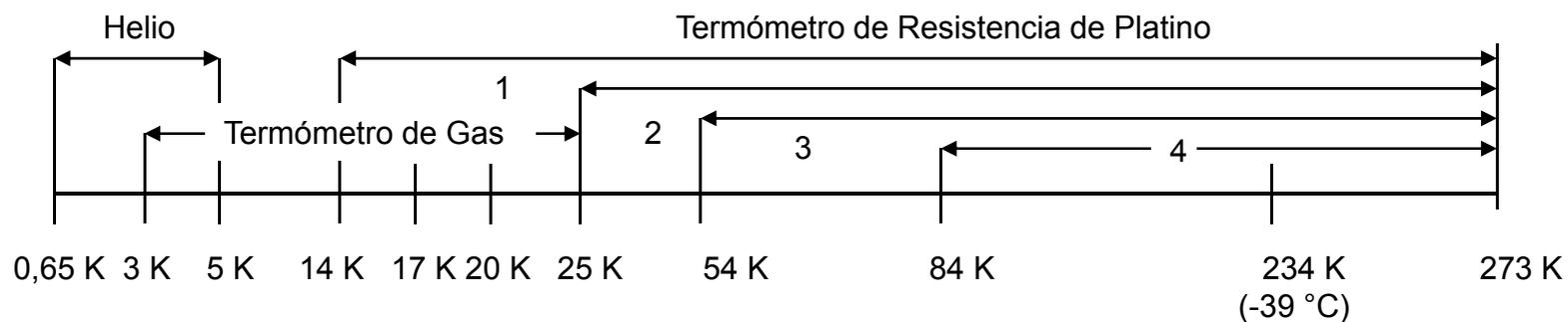
- Por Comparación (izquierda)
- Por Puntos fijos (derecha)



# Comparación de métodos de calibración

	Comparación	Puntos fijos
Intervalo requerido	Usuario	EIT-90
Modelo de Interpolación	Callendar, EIT-90, otro	EIT-90
Condiciones del vástago	Casi ninguna	Celdas de Punto Fijo
Tiempo de estabilización	Largo ( 30 a 60 min)	Corto (5 a 10 min)
Incertidumbre	5mK a 20 mK	< 5 mK

# Intervalos, sub-intervalos e instrumentos de definición de la EIT-90



Definición en el intervalo: -190 °C a 962 °C

- 9 puntos fijos
- Termómetro de resistencia de platino
- Funciones de referencia

$$W_r = W_r(t)$$

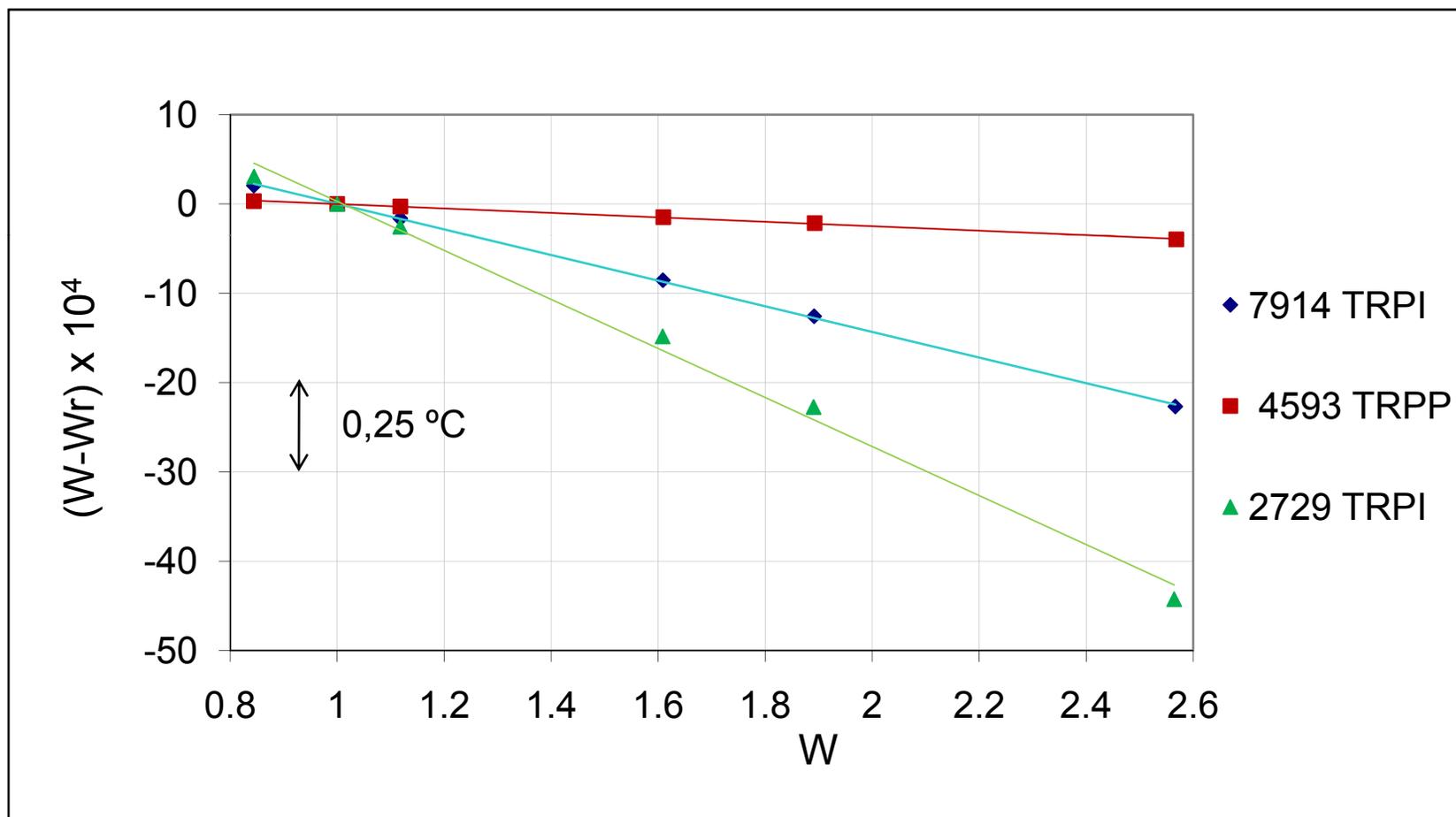
Las temperaturas son determinadas mediante una razón de resistencias, definiendo así la función  $W$ :

$$W = \frac{R_t}{R_0}$$

# Puntos fijos definidos por la EIT-90 en el intervalo de -190 °C a 962 °C

Punto Fijo	$T_{90}/K$	$t_{90}/^{\circ}C$	$W_r$
PT Ar	83,8058	-189,3442	0,215 859 75
PT Hg	<b>234,3156</b>	<b>-38,8344</b>	<b>0,844 142 11</b>
PT H <sub>2</sub> O	<b>273,16</b>	<b>0,01</b>	<b>1,000 000 00</b>
PF Ga	<b>302,9146</b>	<b>29,7646</b>	<b>1,118 138 89</b>
PS In	<b>429,7485</b>	<b>156,5985</b>	<b>1,609 801 85</b>
PS Sn	<b>505,078</b>	<b>231,928</b>	<b>1,892 797 68</b>
PS Zn	<b>692,677</b>	<b>419,527</b>	<b>2,568 917 30</b>
PS Al	933,473	660,323	3,376 008 60
PS Ag	1234,93	961,78	4,286 420 53

# Desviación de TRP's respecto a la Función de Referencia de la EIT-90 ( $W_r$ )



# Calibración de un TRP en el intervalo de 0 °C a 420 °C

- Ecuación de desviación

$$W - W_r = a(W - 1) + b(W - 1)^2$$

- Puntos de calibración
  - PT H<sub>2</sub>O: 0,01 °C
  - PS Sn: 231,928 °C
  - PS Zn: 419,527 °C

# Inconsistencia en sub-intervalos

- Descripción

Un intervalo contenido dentro de otro o un traslape entre estos, da lugar a una doble definición.

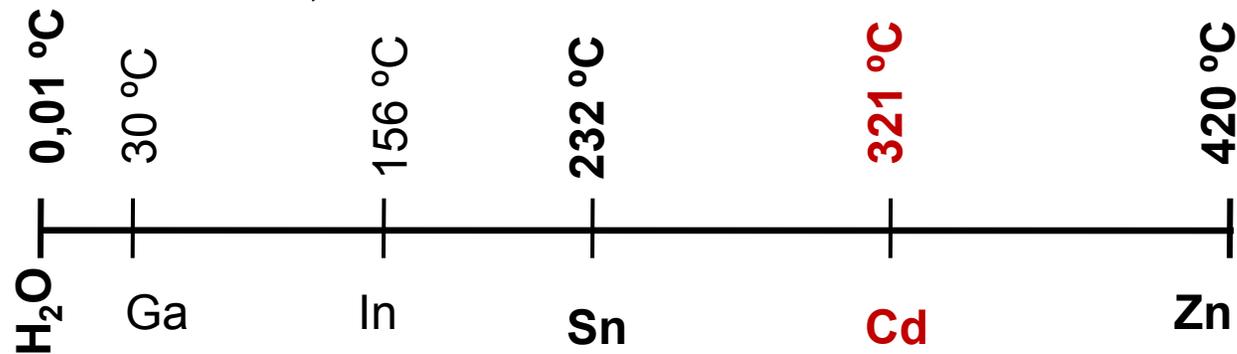
- Evaluación

Encontrar la diferencia entre ambas definiciones

# Medición en puntos fijos adicionales

Intervalo de calibración: 0 °C a 420 °C

- Puntos fijos de calibración:
  - PT H<sub>2</sub>O: 0,01 °C
  - PS Sn: 231,928 °C
  - PS Zn: 419,527 °C
- Puntos fijos adicionales
  - PF Ga: 29,7646 °C
  - PS In: 156,5985 °C



# Punto de Solidificación del Cadmio (PS Cd)

- Temperatura : 321,069 °C
- Punto fijo secundario
- Incertidumbre de reproducibilidad:  
similar al PS Sn
- Costo: inferior al estaño

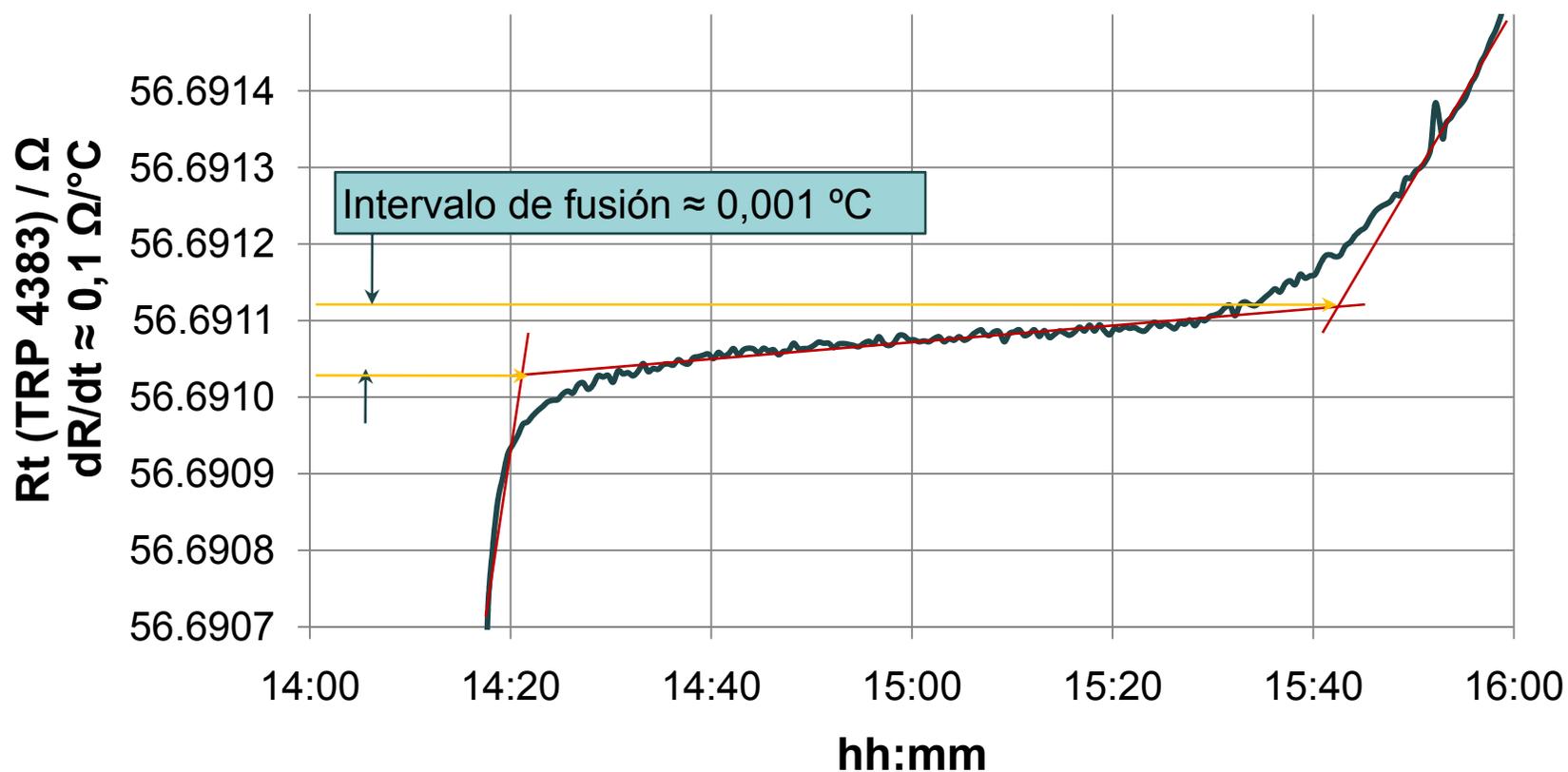
# Construcción de la celda cadmio: Cd09-1

- PS Cd : 321,069 °C
- Pureza: 99,9999 %
- Contenido: 268 gramos



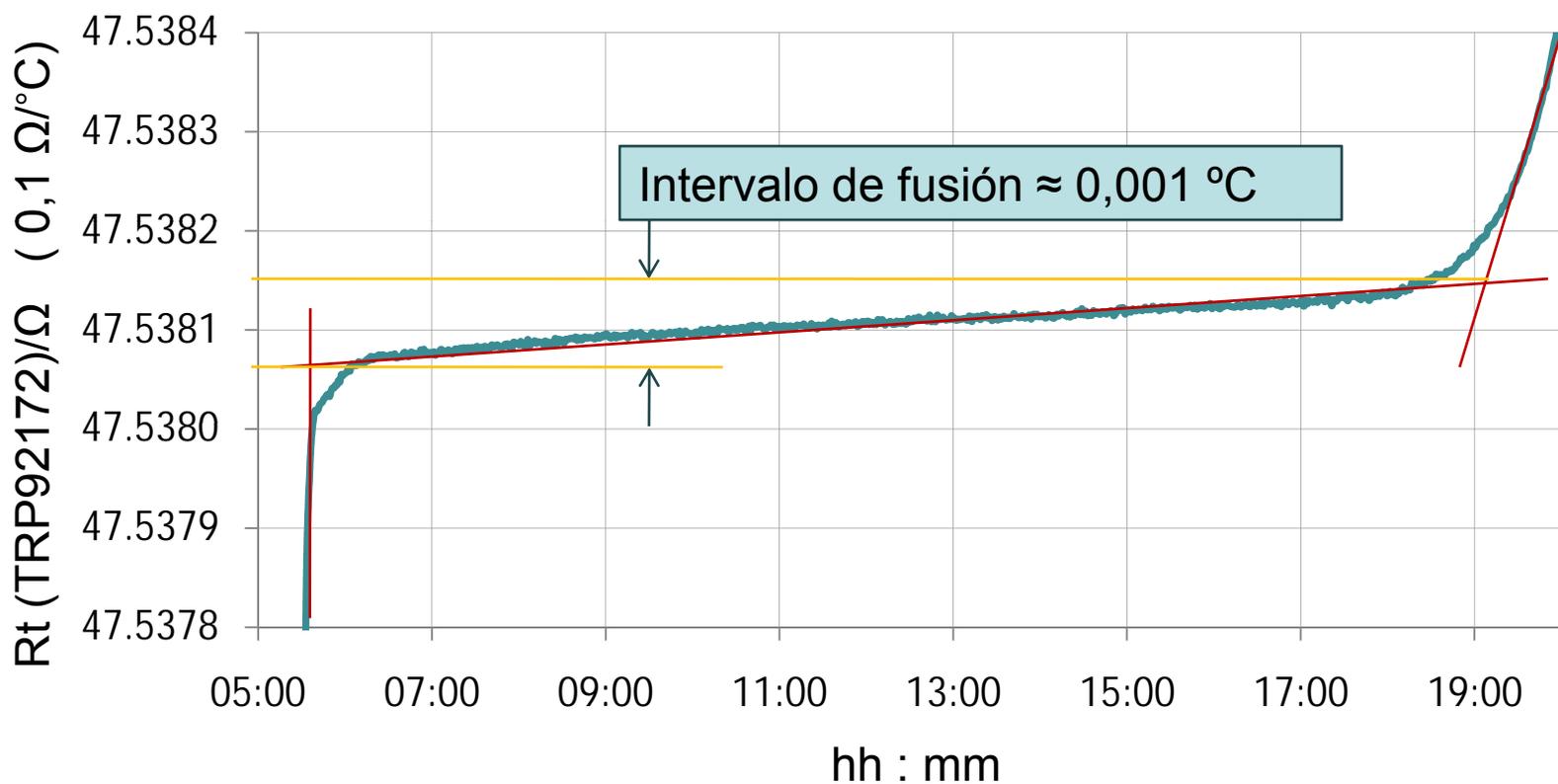
# Determinación de intervalo de fusión

## Curva de Fusión de Cadmio, celda: Cd09-1

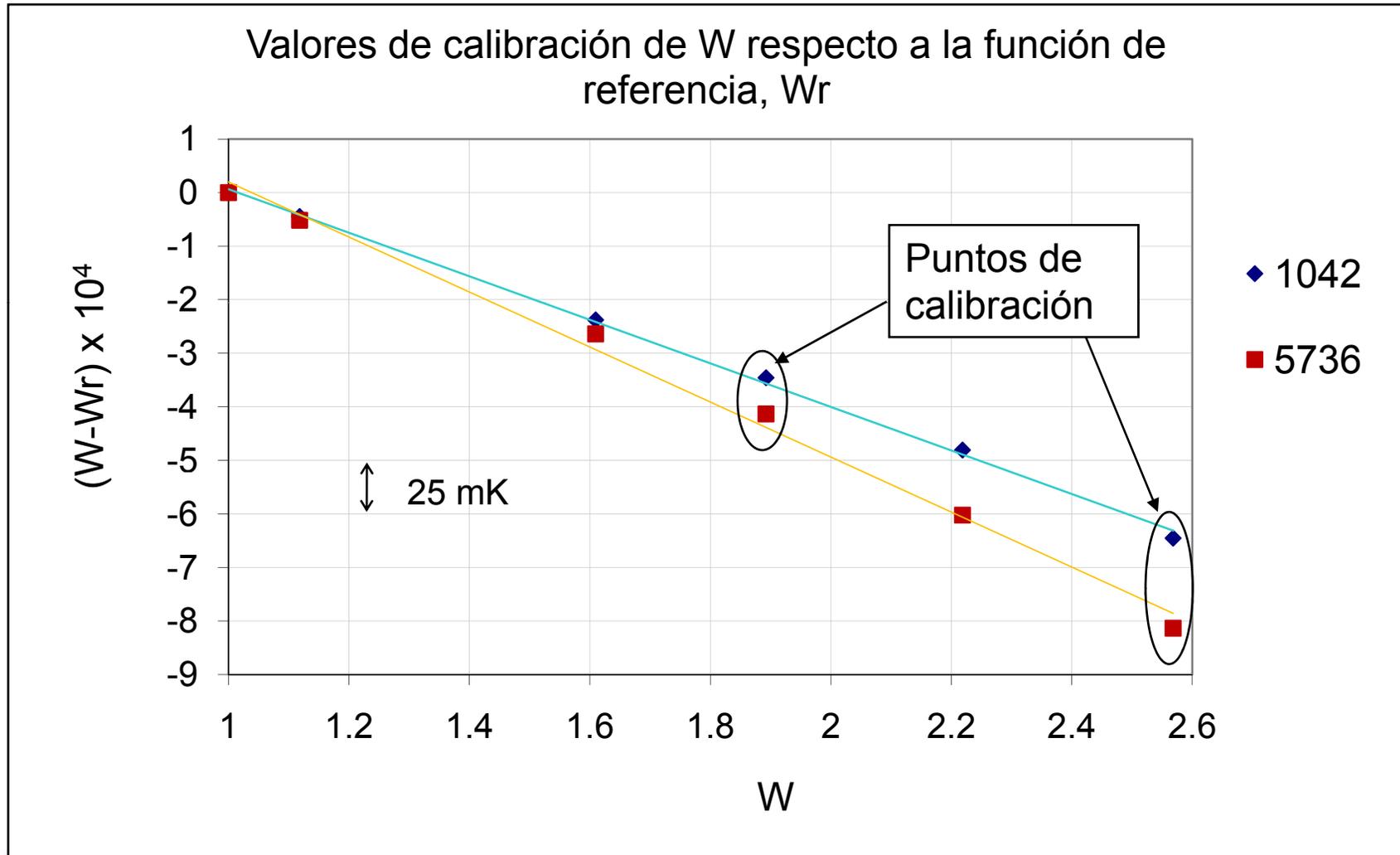


# Determinación de intervalo de fusión

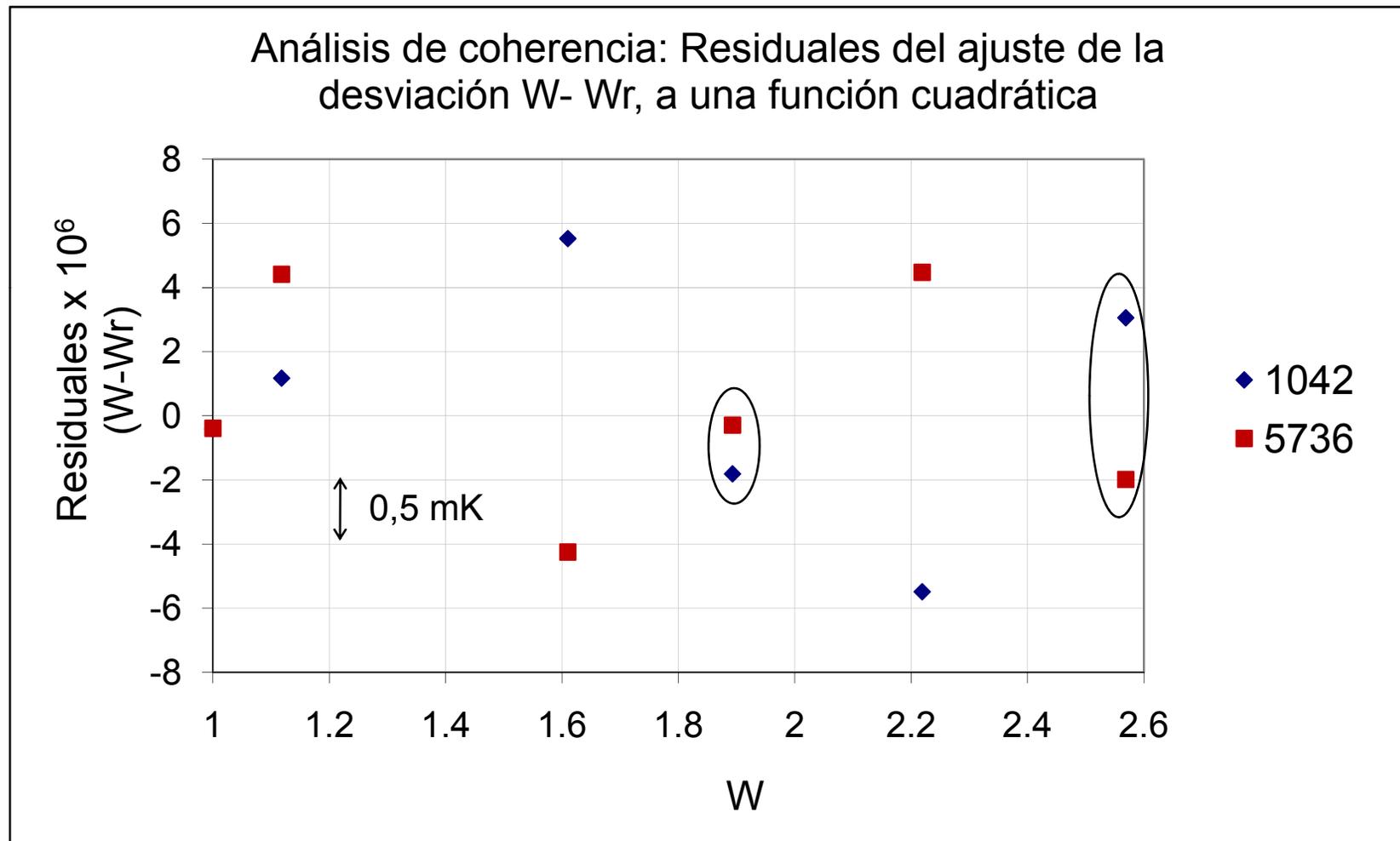
## Curva de fusión Celda Sn93-2



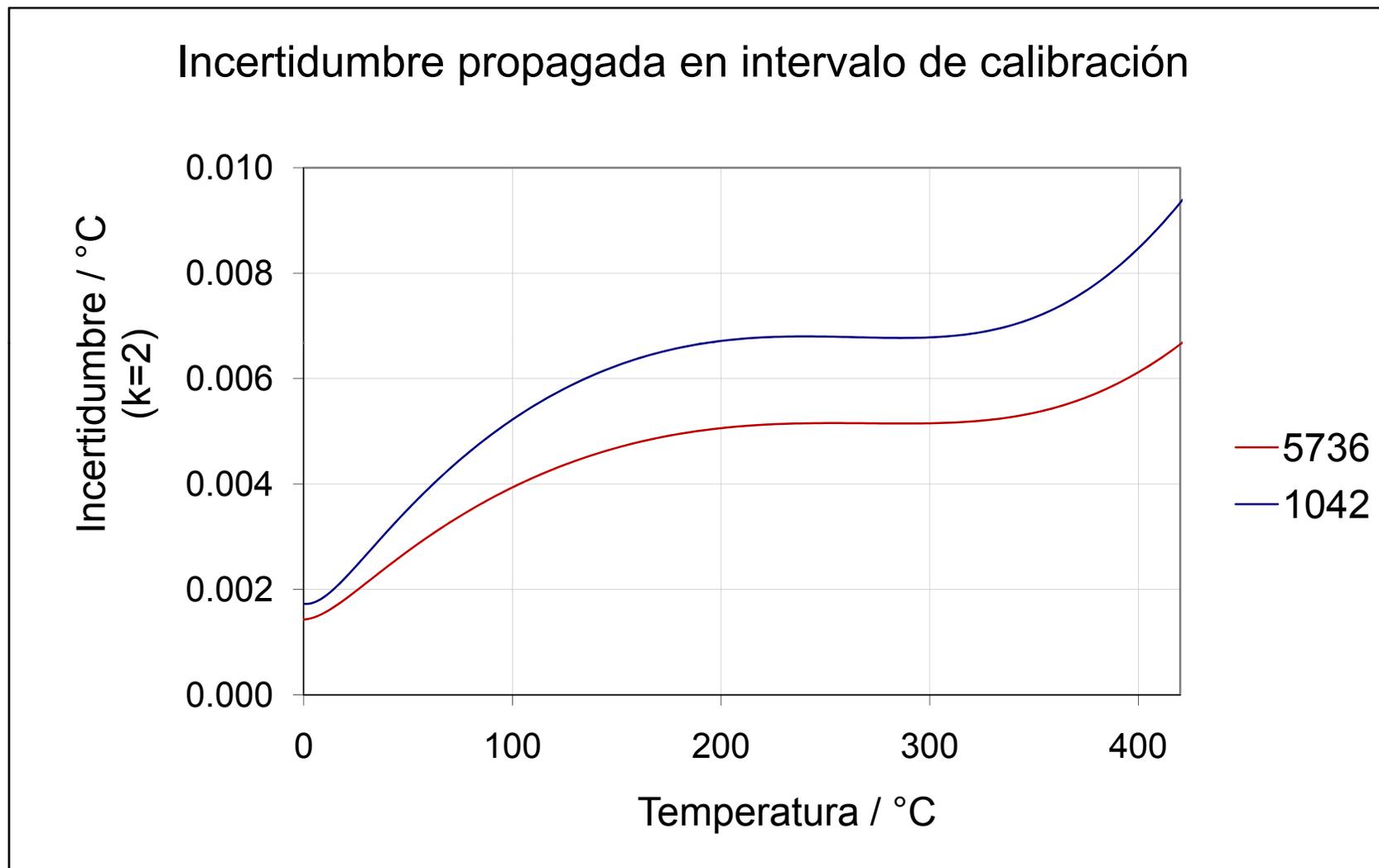
# Resultados de calibración de dos TRPI



# Resultados de calibración de dos TRPI



# Resultados de calibración de dos TRPI



# Resultados de calibración de dos TRPI

Evaluación del resultado de calibración en los puntos adicionales de medición		
Punto Fijo	1042 ( $t_{\text{cal}} - t_{90}$ )/°C	5736 ( $t_{\text{cal}} - t_{90}$ )/°C
PF Ga	-0,000 6	-0,001 1
PS In	-0,002 1	0,001 3
PS Cd	0,001 6	-0,001 3

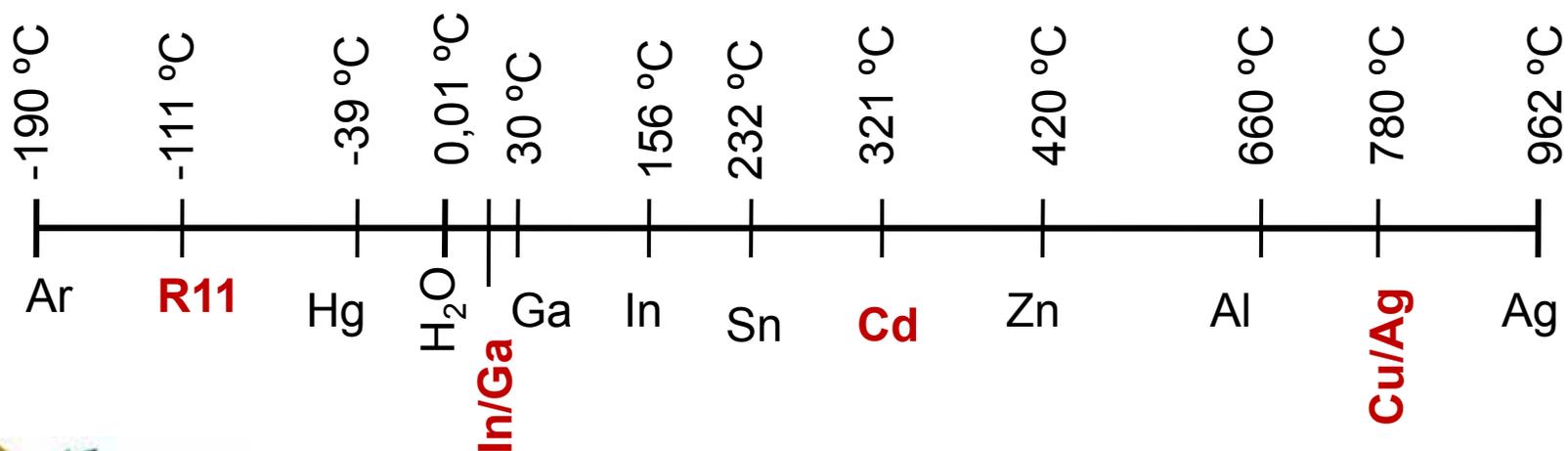
# Conclusiones

- La celda de cadmio Cd09-1 reproduce la temperatura definida por la EIT-90 dentro de la incertidumbre típica (menor de 1 mK)
- La incertidumbre de calibración cubre la diferencia encontrada, de lo contrario es necesario considerar estas diferencia en el análisis de incertidumbre total
- Extender el uso de puntos fijos secundarios para intervalos de calibración mayores

# Uso de puntos fijos secundarios

Para asegurar la trazabilidad de la aproximación a la EIT-90 se recomienda el uso de puntos fijos secundarios:

- Punto de triple del Refrigerante R11: -111 °C
- Punto de fusión del eutéctico In/Ga: 16 °C
- Punto de solidificación del cadmio: 321 °C
- Punto de fusión del eutéctico Cu/Ag: 780 °C



Agradecimientos:

Silvia Martínez Martínez

Edgar Méndez Lango

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**