

VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CORRECCIÓN DEL ERROR POR EFECTO DE COLUMNA EMERGENTE EN TERMOMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO DE INMERSIÓN TOTAL

Rosa Hernández N., David Licea P., Enrique Martínez L., Edgar Méndez Lango.
Centro Nacional de Metrología
Carretera a Los Cués km 4,5
Municipio El Marqués, Querétaro, C.P. 76241 Dirección

Resumen: Ocasionalmente los termómetros de inmersión total (TLV) se usan a diferentes tipos de inmersión respecto a su diseño, por lo que parte de la columna de mercurio queda fuera del medio de calibración. En tales casos, la columna emergente tiene una temperatura diferente a la temperatura del bulbo del termómetro. Por tal razón se genera un error y se debe realizar la corrección de acuerdo a métodos bien conocidos.

El valor de la corrección (C_{ce}) depende del valor de la temperatura media de columna emergente. El valor de la temperatura media se calcula con datos de mediciones obtenidas con termómetros de líquido en vidrio faden o termómetros auxiliares, distribuidos a lo largo de la columna emergente.

Para validar el método de cálculo de C_{ce} , se compara su valor con el error (E_{ce}) que se genera al usar en inmersión parcial un TLV de inmersión total. Se espera que C_{ce} y E_{ce} tengan el mismo valor numérico (dentro de su incertidumbre) pero con signo contrario.

Se usó el error normalizado en el análisis de resultados.

1. INTRODUCCIÓN

No obstante que los termómetros de líquido en vidrio (TLV) se usan cada vez con menos frecuencia, todavía son muy comunes, y permiten realizar mediciones de temperatura con mediana exactitud y, cuando se utilizan adecuadamente, se pueden lograr mediciones con resolución del orden de milikelvin.

Sus principales ventajas son: su bajo costo, su fácil manejo y una rápida respuesta a los cambios de temperatura.

En termometría de líquido en vidrio los termómetros se clasifican de acuerdo a su inmersión: a) Inmersión total; b) Inmersión parcial, y c) Inmersión completa.

Los termómetros de inmersión total se sumergen dentro de un baño líquido al nivel del menisco de la columna de Hg.

En ocasiones, estos termómetros se usan a inmersión parcial y una parte de la columna queda expuesta a la temperatura ambiente. En ese caso, se genera un error (E_{ce}) que debe ser corregido; la corrección se conoce como corrección de columna emergente (C_{ce}).

Para obtener la C_{ce} , se mide la temperatura promedio de columna emergente, con termómetros faden o termómetros auxiliares.

Para validar la corrección del error por el efecto de columna emergente se midió un conjunto de TLV en el intervalo de 50 °C a 250 °C.

En cada caso, la medición se realizó primero en condición de inmersión total; estos valores son los de referencia o valores verdaderos. Posteriormente se midió a inmersión parcial; al mismo tiempo se midió la temperatura promedio de columna emergente con termómetros faden o auxiliares.

Nota: "Esta es una traducción libre del artículo original (sin revisión) en inglés que fue enviado para su publicación en el 10th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Tempmeko 2007, en consecuencia no puede ser citado como tal, sino como comunicación personal o privada con uno de sus autores".

La diferencia de la temperatura medida en el TLV en las dos condiciones de inmersión se le denominó error por efecto de la columna emergente (E_{ce}).

$$E_{ce} = t_t - t_p \quad \text{donde} \quad (1)$$

t_t y t_p : son las lecturas obtenidas con el TLV a inmersión total y parcial, respectivamente.

Se espera que:

$$E_{ce} = -C_{ce} \quad (2)$$

Para validar el método de corrección se utiliza el error normalizado definido como [4]:

$$En = \frac{1}{k} \frac{|E_{ce} - C_{ce}|}{\sqrt{u_{E_{ce}}^2 + u_{C_{ce}}^2}}, \quad \text{donde} \quad (3)$$

k es el valor de cobertura; $u_{E_{ce}}^2$ y $u_{C_{ce}}^2$ son las incertidumbres asociadas a E_{ce} y C_{ce} , respectivamente.

2. ECUACIÓN DE LA CORRECCIÓN DE LA COLUMNA EMERGENTE (C_{ce})

La corrección C_{ce} , se calcula con:

$$C_{ce} = n k_{ed} \Delta t \quad (4)$$

Donde k_{ed} es el coeficiente de expansión diferencial entre el líquido y el vidrio del termómetro. Para TLV de mercurio, el valor de k_{ed} es $0,00016 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; n es la longitud de la columna expuesta, expresada como el número de grados $^\circ\text{C}$ equivalentes marcados en la escala principal y Δt es la diferencia de temperaturas entre el baño y la temperatura promedio de columna emergente.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Un conjunto de cuatro TLV tipo ASTM de inmersión total fueron medidos en el intervalo de temperatura de $50 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $250 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Para cubrir el intervalo de medición, dos baños líquidos de temperatura controlada fueron usados, uno con agua y el otro con aceite silicón. La figura 1 muestra el arreglo experimental. El TLV bajo estudio

y los termómetros auxiliares fueron colocados paralelamente y con 2 cm de separación horizontal uno del otro.

Los bulbos de los termómetros auxiliares se distribuyen a lo largo de la columna emergente de mercurio.

La longitud del bulbo de un termómetro faden mide 10 cm; el bulbo de un TLV regular es de 2,5 cm. Los termómetros auxiliares se escogieron para que toda la longitud de la columna emergente sea cubierta, desde el nivel del baño líquido hasta el extremo final de la columna de mercurio, como se muestra en la figura 1.

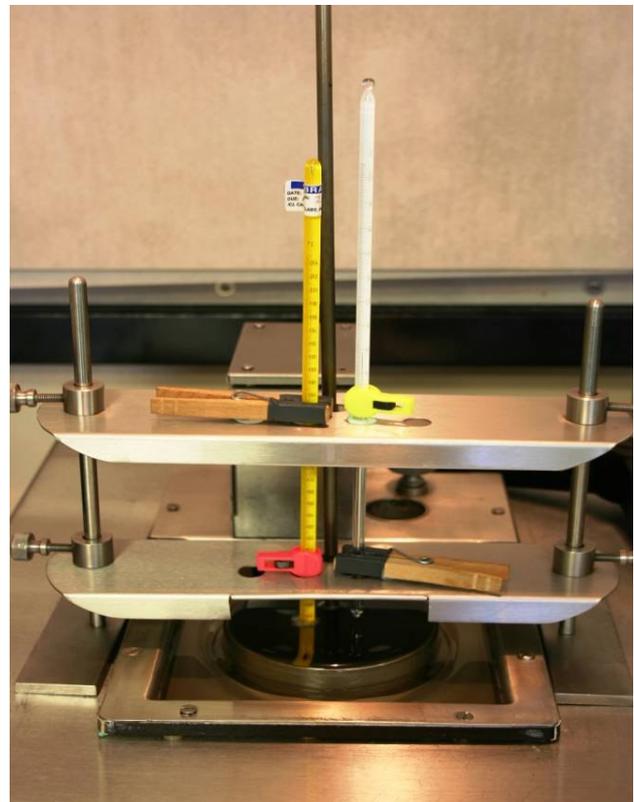


Figura 1. Arreglo experimental

Para la medición a condición de inmersión parcial, la inmersión fue fijada al inicio de la escala principal del termómetro (entre 10 y 13 centímetros, medida desde extremo final del bulbo del termómetro).

Nota: "Esta es una traducción libre del artículo original (sin revisión) en inglés que fue enviado para su publicación en el 10th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Tempmeko 2007, en consecuencia no puede ser citado como tal, sino como comunicación personal o privada con uno de sus autores".

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las mediciones en la condición de inmersión parcial realizadas con cada TLV, se presentan en la tabla 1 donde se indica la temperatura promedio de columna emergente con su incertidumbre.

Tabla 1. Resultados del cálculo de temperatura promedio de columna emergente medida, con termómetros auxiliares (t_{pce}), con su incertidumbre estimada ($U\Delta t_{pce}$); n es la longitud equivalente, en grados, de la columna emergente.

Temperatura (°C)	n (°C)	t_{pce} (°C)	$U\Delta t_{pce}$ $k=1$
ASTM 65C inmersión parcial a 11,5 cm			
60	10	33	2,1
70	20	34	2,0
80	30	40	2,1
ASTM 66 C inmersión parcial a 12,5 cm			
85	9	31	2,3
95	19	33	2,0
105	28	35	2,6
ASTM 67 C inmersión parcial a 13 cm			
100	5	38	2,5
110	15	35	3,8
130	35	33	4,2
150	56	31	5,6
ASTM 7 C inmersión parcial a 10,5 cm			
50	50	28	1,0
100	100	39	3,0
150	150	30	4,3
200	203	41	5,3
250	253	61	8,8

El valor de la E_{ce} es obtenido por las diferencias numéricas de las dos condiciones de inmersión: parcial y total, sus resultados se muestran en la tabla 2.

5. INCERTIDUMBRE

Se describe la estimación de valores de cada fuente de incertidumbre.

5.1 Incertidumbre de corrección por columna emergente

La expresión la incertidumbre para C_{ce} es obtenida de la ecuación 3 de acuerdo con la regla de propagación de incertidumbres [5]:

$$U_{C_{ce}} = \sqrt{\left[\frac{\partial C_{ce}}{\partial k_{ed}}\right]^2 u_{k_{ed}}^2 + \left[\frac{\partial C_{ce}}{\partial n}\right]^2 u_n^2 + \left[\frac{\partial C_{ce}}{\partial \Delta t}\right]^2 u_{\Delta t}^2} \quad (5)$$

5.2 Incertidumbre de n

El valor para n es obtenido de la graduación de la escala principal del TLV. Entonces, este depende de la división mínima en la escala y la fluctuación del nivel del líquido presente en el baño. Por experiencia, este nivel de fluctuación es alrededor de 1 mm. Esta cantidad es prácticamente igual a la división mínima para cualquier TLV.

5.3 Incertidumbre del coeficiente de expansión diferencial, k_{ed} .

La incertidumbre de k_{ed} es el 2% de su valor según lo recomendado en la literatura [2,6].

5.4 Incertidumbre de la temperatura promedio de columna emergente, Δt .

Δt tiene las siguientes fuentes de incertidumbre: a) resolución de los termómetros auxiliares y b) la dispersión de las lecturas con termómetros auxiliares.

Al trabajar con baño de aceite silicón ($t/^\circ\text{C} > 80^\circ\text{C}$), se usa una campana de extracción. Se observó que el valor estimado de la temperatura promedio de la columna emergente depende de si el extractor de la campana está operando o no. La variación observada fue considerada como parte de la falta de reproducibilidad de la temperatura promedio.

5.5 Incertidumbre del error de la columna emergente, E_{ce} .

La incertidumbre de este error es la combinación de las incertidumbres de las temperaturas que la

Nota: "Esta es una traducción libre del artículo original (sin revisión) en inglés que fue enviado para su publicación en el 10th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Tempmeko 2007, en consecuencia no puede ser citado como tal, sino como comunicación personal o privada con uno de sus autores".

definen: a) resolución del TLV, b) dispersión de las mediciones de los TLV.

6 Comparación E_{ce} and C_{ce} a través del error normalizado

Se considera que dos mediciones, con sus incertidumbres, de un mismo mensurando son equivalentes si el valor del error normalizado (En) es menor que uno.

Tabla 2. Resultados de E_{ce} , C_{ce} y sus respectivas incertidumbres.

Temperatura (°C)	E_{ce} (°C)	U_e $k=1$	C_{ce} (°C)	$U_{c_{ce}}$ $k=1$	En
ASTM 65 C					
60	-0,04	0,01	0,04	0,01	0,00
70	-0,12	0,02	0,11	0,01	0,24
80	-0,20	0,03	0,19	0,01	0,16
ASTM 66 C					
85	-0,08	0,02	0,08	0,01	0,05
95	-0,20	0,02	0,19	0,02	0,26
105	-0,34	0,02	0,36	0,04	0,22
ASTM 67 C					
100	-0,05	0,03	0,05	0,00	0,01
110	-0,20	0,03	0,18	0,01	0,29
130	-0,50	0,03	0,54	0,04	0,37
150	-0,95	0,04	1,07	0,07	0,68
ASTM 7 C					
50	-0,20	0,11	0,18	0,01	0,09
100	-0,98	0,12	1,00	0,07	0,06
150	-2,65	0,12	2,40	0,17	0,62
200	-4,73	0,12	4,60	0,31	0,19
250	-7,63	0,12	7,00	0,51	0,60

7. CONCLUSIONES

Los resultados en la estimación del error normalizado para C_{ce} y E_{ce} (tabla 2), se encontró que en todos los casos $En < 1$, es decir el método para calcular C_{ce} es adecuado.

La incertidumbre asociada a Δt (tabla 1) es la mayor componente en la estimación de la incertidumbre de C_{ce} . Se encontró que la incertidumbre propagada de Δt es del orden del 4% al 7 % que es coherente con la literatura que recomienda utilizar el 5% [3].

REFERENCIAS

- [1] American Society for Testing and Materials, Designations E-1, Vol. 14.03 (1992).
- [2] J. A. Wise., NIST Special Publication 250-23 (1988).
- [3] J. Nicholas and D. White, *Traceable Temperatures*; JOHN WILEY AND SONS, 2do. Edition, pp. 66-73, (2001).
- [4] W. Wogler, PTB-Mitteilungen **109** 1/99, Internationale Zusammenarbeit, pp.24-25. Remarks on En-Criterion Used in Measurement Comparisons.
- [5] Guía BIPM/ISO *Para la expresión de la incertidumbre en las mediciones*, Publicación técnica CNM-MED-PT-002; Los Cués, Qro., México, Agosto, 1999.
- [6] E. Tegeler, J. Schramm; PTB-Testing Instructions, Volume **2**, Braunschweig and Berlin, pp.23-30 (1999).

Nota: "Esta es una traducción libre del artículo original (sin revisión) en inglés que fue enviado para su publicación en el 10th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Tempmeko 2007, en consecuencia no puede ser citado como tal, sino como comunicación personal o privada con uno de sus autores".