

### **3.- Nombre de la práctica: Calibración de un Termómetro TLV**

#### **1. Objetivo General**

- Calibración de un Termómetro de Líquido en Vidrio (TLV) por el método de comparación, en al menos tres puntos de un intervalo de medición previamente establecido.
- **Objetivos Particulares**
- Estimar la Corrección Reducida ( $C_R$ ) en cada punto de calibración en un termómetro de trabajo TLV de inmersión total.
- Estimar la incertidumbre de la Corrección Reducida ( $C_R$ ) en un termómetro de trabajo TLV de inmersión total, en cada uno de los puntos de prueba previamente establecidos.

#### **2. Mensurando**

Estimar la Corrección Reducida (CR) y su incertidumbre en cada punto de calibración del termómetro de trabajo TLV.

#### **3. Antecedentes teóricos.**

Los termómetros de líquido en vidrio (TLV) aún son los más utilizados en la industria química, pese a que su uso es cada vez menor debido a la toxicidad del Hg, aun cuando no todos contienen dicho elemento. Las calibraciones y un uso adecuado son importantes para asegurar la confiabilidad de las mediciones. En este documento se analizará el procedimiento de calibración de termómetros de líquido en vidrio (TLV), de inmersión total, aún cuando pueden ser inmersión parcial.

La calibración se realiza por el método de comparación respecto de un termómetro patrón calibrado, en sistemas térmicos (a temperatura constante), recirculantes con líquido y la medición directa de los puntos fijos secundarios de fusión del hielo o ebullición del agua. La exactitud obtenida estará en función del tipo de termómetro que se utiliza, ya sea un termómetro TLV o bien de resistencia de platino. Existiendo otros tipos de termómetros utilizables, siempre y cuando sean trazables y con baja incertidumbre de calibración, en este caso, se utilizará un termómetro TLV como patrón cuya característica es de mayor exactitud y menor incertidumbre al que se calibra.[1,3]

##### **3.1. El principio de medida**

La calibración se realiza a través de una comparación entre la lectura del termómetro de trabajo (el que se calibra) y la lectura de un termómetro de referencia, colocados ambos bajo un fluido a temperatura controlada.

##### **3.2. El método de calibración**

Consiste en sumergir de forma adecuada considerando el tipo de termómetro, tanto el termómetro patrón como los termómetros que se calibran en un medio líquido que permita que los termómetros alcancen la misma temperatura, es necesario que el estudiante considere revisar la ley CERO de la termodinámica para una mejor comprensión de este proceso experimental. El medio donde se sumergen debe de ser termodinámicamente estable, para ello deben estar a la misma temperatura, para lo cuál, ambos termómetros deben estar en el mismo medio durante un tiempo suficiente, tal que la temperatura de ambos ya no cambie. En todo el intervalo de medición se eligen temperaturas a las cuales se llevará a cabo la calibración, a dichas temperaturas se les llama puntos de calibración. Si fuera el caso, el termómetro se calibra punto por punto. Si se calibra la escala completa los puntos a calibrar deben estar bien definidos y distribuidos, ver punto 3.4. El registro de los valores de temperatura (lecturas), debe iniciarse cuando se este seguro que la temperatura de los termómetros ha alcanzado un valor estable, es decir, que la lectura no cambia.

### **3.3. Consideraciones previas a la calibración**

Los termómetros TLV a calibrar son de líquido en vidrio, de inmersión parcial y total, por lo tanto, se debe considerar realizar la corrección por columna según sea el tipo de termómetro, dicha corrección se comentará más adelante. Los termómetros de inmersión parcial deben sumergirse hasta la línea de inmersión indicada, si al sumergirlos no que el nivel del líquido llegue a la marca indicada para inmersión, entonces debe hacerse corrección por columna emergente. Si el termómetro de trabajo es de inmersión total y la altura del baño no permite una inmersión hasta la línea de inmersión, entonces se calibra como inmersión parcial, luego entonces procede la corrección por columna emergente. [1]

### **3.4. Puntos de calibración**

Un termómetro se calibra en todo su intervalo de medición, incluyendo un punto de referencia (si lo incluye el termómetro). Comúnmente se calibra en puntos distribuidos uniformemente en el intervalo de indicación de la escala principal. El número de puntos depende del intervalo de medición, división “mínima” de la escala y exactitud deseada.

La finalidad de una calibración, es estimar la incertidumbre de una medida de temperatura obtenida con un termómetro de trabajo, respecto al termómetro patrón (método de comparación). En todo informe de calibración es necesario hablar de un modelo matemático relacionado con la *Corrección Reducida* ( $C_R$ ), a publicar en todo informe de calibración. Cada uno de los elementos de esta  $C_R$  tiene asociada una incertidumbre.

Toda calibración debe informar el error o la corrección (en este caso es corrección reducida, que nos da la diferencia de lectura entre la referencia y el instrumento) y la incertidumbre asociada a este error o corrección.

### **3.5. Inspección visual del termómetro a calibrar.**

El termómetro a calibrar debe ser inspeccionado con una lupa cuidadosamente, este paso permite decidir si es posible calibrarlo. Los aspectos importantes que deben descartarse son ruptura o raspadura del capilar que impida visualizar la columna, defectos en el diámetro del capilar de vidrio, graduación defectuosa de la escala, oxidación del mercurio o líquido termométrico, separación de columna, líquido disperso en la cámara de expansión, daños en el vástago y gas atrapado en el bulbo.[3]

Si el termómetro presenta problemas en alguno de los puntos anteriores es innecesaria la calibración.

En caso que la columna de mercurio esté separada, es necesario lograr la unión para iniciar la calibración. Es necesario informar al usuario que se harán diferentes pruebas para unir la columna pero que puede ocasionarse ruptura del termómetro y pérdida total del líquido termométrico. Existen varios métodos para unir la columna del líquido. Se sugiere al estudiante los investigue.

### 3.6. Identificación de los puntos a calibrar y de la longitud de inmersión.

El intervalo entre los puntos de calibración no debe ser muy pequeño o demasiado grande, ya que puede destruir la confiabilidad en las correcciones interpoladas de los valores de temperatura localizados entre los puntos de calibración. Se recomienda sean consideradas hasta 40 divisiones en termómetros patrón y hasta 100 divisiones en termómetros ordinarios.[3]o bien el usuario solicita los puntos de calibración de acuerdo a sus necesidades.

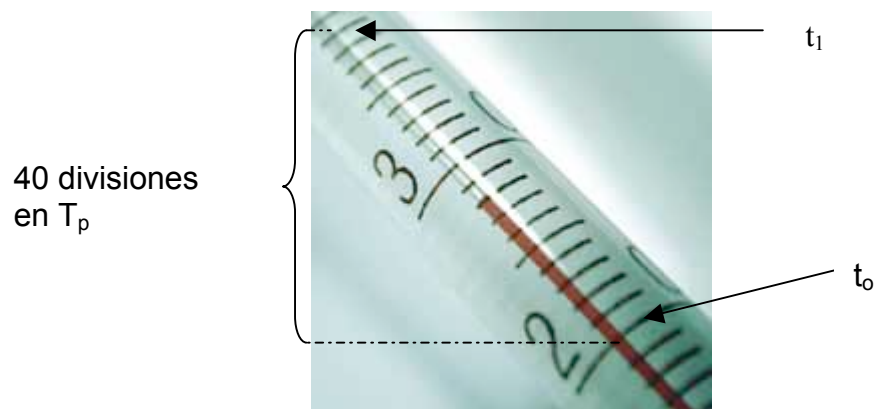


Figura 1.  $\Delta T = t_1 - t_0$  es el intervalo de indicación en el TLV en donde se van a definir los “n” puntos a calibrar.

### 3.7. Aspectos importantes que permiten decidir cuántos puntos de calibración son necesarios.

1. Los puntos de calibración se seleccionan cubriendo el 80% del intervalo del termómetro, esto se logra considerando, por ejemplo, 5 puntos de calibración  $0^\circ\text{C}$ ,

25 °C, 50°C, 75 °C, inclusive hasta 100 °C, si es que se cuenta con el abañero apropiado y 0°C.

2. En el caso que el usuario indique el intervalo de uso del termómetro, la calibración se llevara a cabo en los puntos indicados.

3. La longitud de inmersión para cada tipo de termómetro será considerada de acuerdo a la siguiente información. [3]

3.1. Termómetros de Inmersión parcial. Se sumerge el bulbo y una parte de la columna, la línea de inmersión indica la profundidad. La línea de inmersión puede estar identificada por una marca o una especificación, por ejemplo: (76mm ± 1mm).

3.2. Termómetros de Inmersión total. El termómetro se sumerge hasta la altura del menisco.

3.3. Termómetro de Inmersión completa. El termómetro se sumerge completamente.

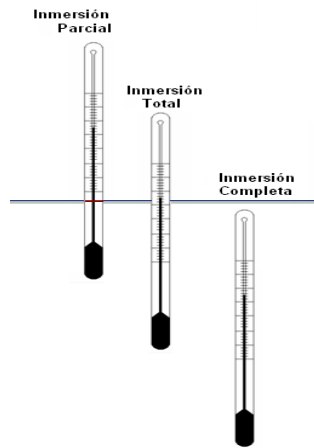


Figura 2. Tipos de inmersión

Si el termómetro no se usa de acuerdo a su tipo de inmersión se requiere de corrección por columna emergente.

#### 4. Parte experimental.

##### 4.1. Registro y definición del problema

Los datos del termómetro TLV a calibrar o termómetro de trabajo ( $T_t$ ), se registran en una bitácora, la información que deben contener dichos registros se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Información básica a considerar antes de iniciar el proceso de calibración del termómetro TLV.

<b>Laboratorio de Metrología que hace la calibración</b>		
Dirección:		Fecha de ingreso del instrumento:
Laboratorio que solicita el servicio:		
Dirección:		
Teléfono:		
<b>Tipo de termómetro de trabajo (<math>T_t</math>):</b>		
De Inmersión Parcial:		De Inmersión Total:
Marca:	Serie:	Alcance Máximo:
Longitud (cm):	División Mínima:	Resolución:
Intervalo de Calibración del termómetro:		
<b>Tipo de Termómetro Patrón (<math>T_p</math>):</b>		
Marca:	Serie:	Alcance Máximo:
Longitud (cm):	División Mínima:	Resolución:
<b>Descripción del Método de Calibración:</b>		
Método de Calibración:		
Cita del equipo requerido:		
Tipo de baño ( líquido de calentamiento):		
Alcance de temperatura por el baño:		
<b>Inspección y preparación del termómetro que se calibra:</b>		
1. Defectos que éste puede presentar (Verificar el estado del termómetro y preparar el termómetro antes de la calibración, Por ejemplo dar un tiempo de estabilización a la temperatura del Laboratorio, luego de haber sido transportado y expuesto a temperaturas distintas a las de las condiciones de calibración).		
2. Criterios de aceptación o de rechazo		
3. Procedimiento de corrección de defectos		
<b>Procedimiento Experimental: Ver punto 4.2</b>		
Resultados: Ver los comentarios que se citan adelante		
Responsable de Laboratorio que hace el servicio:		
Firma del responsable:	Firma de quien revisa:	Fecha de entrega:

## 4.2. Procedimiento experimental

### 4.2.1. Equipo

Baño de hielo (Dewar), hielo, agua a temperatura ambiente, baño líquido a temperatura controlada, instrumento patrón ( $T_p$ ) con una resolución mayor e incertidumbre menor que el instrumento a calibrar, lupa, termómetros de líquido en vidrio (TLV), para usarse como termómetros auxiliares para el cálculo de la corrección de columna emergente; flexómetro, higrómetro, barómetro, vaso de precipitados de 500 mL, Soporte Universal con pinzas de tres dedos.

Para el cálculo de la mejor capacidad de medición el laboratorio debe incluir la estimación de la incertidumbre de medida del termómetro patrón, baño térmico y otros equipos auxiliares.

#### **4.2.2. Condiciones ambientales**

Registrar las siguientes condiciones de trabajo, al inicio y término de la experimentación: temperatura de trabajo ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, ausencia de vibraciones mecánicas. De estas condiciones, el estudiante deberá razonar cuales impactan el proceso de calibración y cuales no.

#### **4.2.3. Medición de la Temperatura al punto 0 °C.**

El punto de referencia a 0°C se prepara el baño de hielo en un recipiente Dewar es de la siguiente forma:

1. Picar finamente hielo de agua destilada (en recipientes limpios enjuagados 3 veces con agua destilada).
2. Compactar el hielo dentro del recipiente.
3. Agregar el hielo al Termo o Dewar y llenar los espacios vacíos con agua destilada, operación que se realiza con guantes libres de talco o bien con guantes con aislante térmico.
4. Colocar el Dewar sobre la mesa de trabajo.
5. Introducir el patrón sin tocar las paredes o el fondo del Dewar y esperar hasta que el indicador no cambie y registrar la lectura en la bitácora.
6. Introducir el termómetro a calibrar de acuerdo a su tipo de inmersión, cuidando que quede vertical y que evite errores de lectura por paralaje.
7. Los termómetros de inmersión total deben sumergirse hasta aproximadamente el menisco, mantenerse verticalmente y estar sujetos con pinzas de tres dedos fijada a un soporte universal.
8. Registrar en la bitácora las lecturas del termómetro patrón en °C y del TLV a calibrar en °C. Esto se logra después de 10 minutos en que ambos termómetros se encuentra en hielo.
9. Registrar los datos en la bitácora de la práctica.

#### **4.2.4. Calibración del termómetro de trabajo ( $T_t$ ), en los siguientes puntos.**

1. Encender los tres baños térmicos de acuerdo con las instrucciones que se encuentran en el manual de operación. Seleccionar la temperatura que corresponde a los tres primeros puntos elegidos y esperar a que transcurra una hora hasta que la fuente se estabilice.
2. Después de extraer los termómetros patrón y de trabajo del baño de hielo, se introducen dentro del baño térmico con la menor distancia posible entre ellos pero sin que estén en contacto, de manera que el usuario pueda leer las escalas con facilidad. Ambos termómetros se introducen primero en el baño a 25 °C, una vez que se estabiliza la temperatura, ésta es registrada, enseguida ambos se introducen en el baño de 50 °C, posteriormente en el de 75 °C, finalmente se

- repite la medición a 0°C siguiendo el mismo procedimiento. Repetir el ciclo al menos tres veces. (Recuerde que se debe considerar una corrección en la lectura del  $T_t$  por columna emergente, cuando el  $T_t$  es de inmersión total y no alcanza a introducirse el instrumento en el baño térmico hasta la línea de inmersión.
3. Debe evitarse que los termómetros toquen las paredes o el fondo del baño térmico o del Dewar.
  4. Al colocar el o los TLV a calibrar ( $T_t$ ), sumergidos hasta donde lo indica el tipo de termómetro, la altura de la escala para hacer la medición, debe quedar a la altura de los ojos de quién mide para evitar error de paralaje, para lograrlo puede utilizar un banco, y una lupa para evitar errores de lectura.
  5. Una vez colocados los termómetros correctamente se deberá esperar hasta que la temperatura indicada no cambie, finalmente registre la lectura.
  7. Cuando ya se ha obtenido la información de cada punto de calibración, se procede a determinar la  $C_R$  para cada punto de prueba.
  8. Reporte la temperatura en cada punto de calibración junto con su corrección reducida ( $C_R$ ).

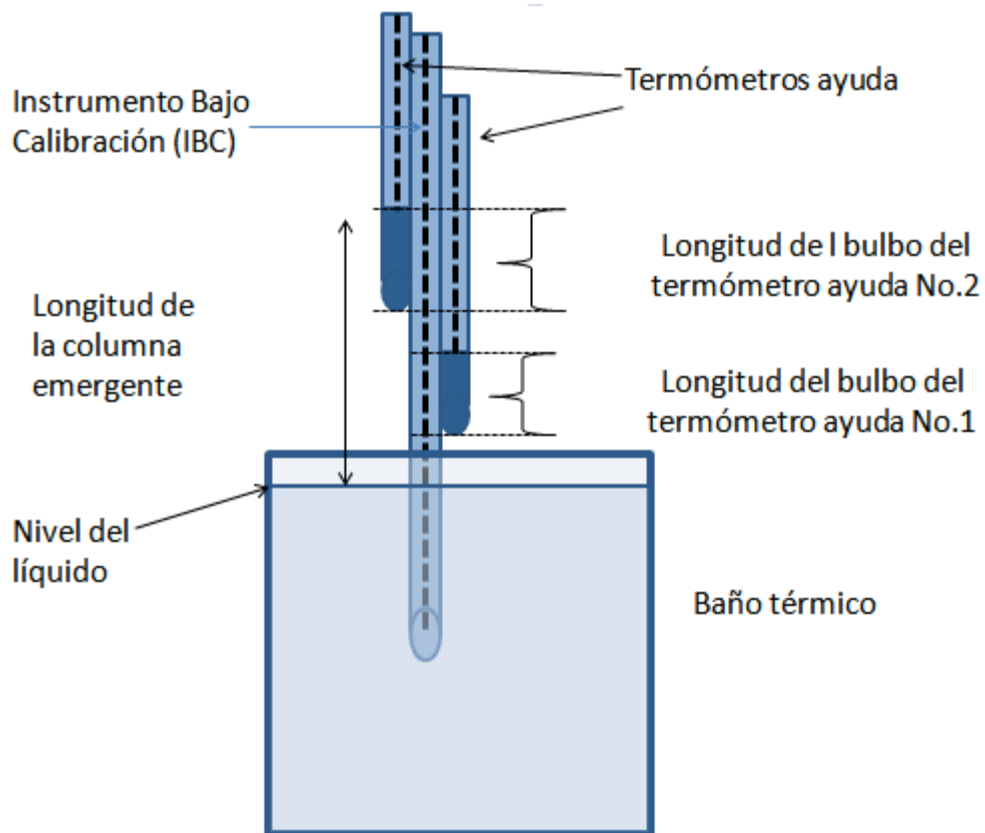


Figura 3. Colocación de termómetros ayuda para la medición de la temperatura de columna emergente.

#### 4.2.5. Correcciones

Con la finalidad de estimar la corrección y la incertidumbre de la corrección de medida en la calibración de termómetros de líquido, se presenta el modelo matemático desarrollado de la "Corrección en la calibración de termómetros de líquido en vidrio", cada elemento de este modelo tiene una incertidumbre asociada como se indica a continuación. Dicho modelo matemático esta dado por la ecuación 1, en donde  $C_R$  es la *Corrección Reducida*. [1]

$$C_R = t_p + \delta t_p + \delta t_{DP} - t_{IBC} - C_0 + \delta t_{EP} + \delta t_{GB} + \delta t_{EB} - C_{em} \quad 1$$

En donde:

$t_p$ : Es la temperatura promedio del baño térmico controlada indicado por el patrón de referencia durante la calibración. Por ejemplo:

$$\delta t_p = 25.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\delta t_p$ : Es la corrección que se debe aplicar al valor de la temperatura indicado por el patrón debido a su calibración. Esta se determina vía informe de calibración de  $t_p$ . Por ejemplo:

$$\delta t_p = 25.0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\delta t_{DP}$ : Es la corrección que se debe aplicar al valor indicado por el termómetro patrón, debido a la deriva que pudiera haberse presentado después de la última calibración.

Por ejemplo: Para determinar este valor se deben observar los pasados informes de calibración.

$\delta t_{IBC}$ : Es el valor de la temperatura promedio del termómetro de trabajo (IBC), en el baño. Se obtiene de la lectura de tres corridas, por ejemplo:

$$\delta t_{IBC} = 25.00 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$C_0$ : Es la corrección de la indicación del Instrumento Bajo Calibración (IBC), resultante al medir el punto de referencia a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $C_0$  se obtiene a manera de ejemplo de la siguiente manera:

$$C_0 = t_0 + \delta t_{DP} - t_{IBC} = 0.007 \text{ }^\circ\text{C} + 0.003 \text{ }^\circ\text{C} - 0.1 \text{ }^\circ\text{C} \cong -0.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_0$  es la temperatura promedio en hielo (de las tres corridas) medida con el termómetro patrón.  $t_{IBC}$  es la temperatura promedio en hielo (de las tres corridas) medida con el termómetro de trabajo (IBC). Por ejemplo:



$$\delta t_{IBc} = -0.1 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$\delta t_{EP}$ : Es la corrección por error de paralaje. Puede usar un alupa para evitar este error, en el mejor de los casos se puede usar un goniómetro telescópico, pero aún así, se ha determinado que puede existir como máximo un error de 4 ‰ que desvía las lecturas en un IBC hasta  $\pm 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y si el termómetro tiene indicaciones mínimas en la escala a cada  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , entonces la corrección por este factor es cero.

$$\delta t_{EP} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$\delta t_{GB}$ : Es la corrección debida a las diferencias de temperaturas entre el patrón y el IBC, por gradientes de temperatura en el baño líquido. Dado que las diferencias de temperatura no rebasan los  $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , la corrección por esta característica del baño tiene un valor de cero durante la calibración y su efecto es únicamente el aportado por la incertidumbre durante la calibración.

$$\delta t_{GB} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$\delta t_{EB}$ : Es la corrección debida a estabilidad de la temperatura en el baño. Cuando el baño está estable las diferencias se pueden medir con una magnitud de  $\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . y si durante la calibración, la incertidumbre asociada con las diferencias de temperatura debidas a la estabilidad es mayor que la combinación de las incertidumbres asociadas con la repetibilidad de las lecturas del  $T_p$  y del IBC, entonces la corrección asociada a esta característica tiene un valor de cero y su efecto es el que aporta la incertidumbre.

$$\delta t_{EB} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$C_{em}$ : Es la corrección por columna emergente, cuando el líquido del capilar del termómetro no está inmerso totalmente en el líquido del baño y se determina con la ecuación 2.  $C_{em}$  es un término adimensional.

$$C_{em} = kn(t_s - t_e) \quad 2$$

Donde:

$n$  es el número de grados Celsius de la columna emergente del termómetro que se calibra que estarían incluidos en la longitud de la columna emergente. Se cuenta desde el nivel del fluido del baño hasta el menisco del fluido termométrico.  $k$  es el coeficiente de expansión diferencial entre el líquido termométrico ( $H_g$ ) y el vidrio del tallo del termómetro.[4]

$$k = 0.000160 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.000008 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Si un termómetro de inmersión total se calibra a inmersión parcial, entonces los valores de  $t_s$  y  $t_e$  son:

$t_s$  es la temperatura del baño indicada por el instrumento patrón, luego de ser corregida de acuerdo a sus datos de calibración, deriva, etc.

$t_e$  es la temperatura de la columna emergente ( $C_{em}$ ).

$t_s$  y se  $t_e$  deben reportar junto con su incertidumbre, por ejemplo:

$$t_s = 360 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_e = 120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.29 \text{ }^\circ\text{C}$$

n se de igual forma, por ejemplo:

$$n = 330 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

si quedo clara la idea compruebe con base a las ecuaciones anteriores que:  $C_{em} = 0.32$ ,  $(t_s - t_e) = \pm 0.34 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La siguiente tabla muestra el número de termómetros auxiliares que deben colocarse para corregir la temperatura.

Tabla 3. Número de Termómetros auxiliares que se pueden usar.

Tipo de termómetros auxiliares	No. De Termómetros	Temperatura de columna emergente
Auxiliares	n	$t_e$ es el valor promedio de la temperatura indicada por los termómetros auxiliares.
Faden	*n	$\sum(t_i) \cdot h_i / h_{total}$ Donde: $h_i$ es la longitud del bulbo del termómetro Faden $h_{total}$ es la longitud total de la columna emergente.

#### 4.2.6. Análisis de incertidumbre de medida en un punto de calibración

La relación algebraica entre “corrección reducida” y “error de medición” es la siguiente:

$$\text{Error de medición} = - C_R$$

3

Con la finalidad de procesar la información con mayor rapidez a continuación se presenta información sobre las variables que contribuyen a la incertidumbre de calibración. [1]

Tabla 4. Elementos que contribuyen a la incertidumbre en la calibración de un TLV.

Descripción	Símbolo	Origen de la incertidumbre	<sup>1</sup> Tipo	<sup>1</sup> Distribución de probabilidad asociada	Coefficientes de sensibilidad de incertidumbres
Temperatura leída con el patrón	$t_p$	Repetibilidad de las lecturas	A	Normal	1
Corrección para las lecturas del patrón	$\delta t_p$	Calibración	B	Normal	1
		Interpolación	B	Rectangular	1
Deriva del termómetro patrón	$\delta t_{DP}$	Carta de control del patrón	B	Rectangular	1
Temperatura leída con el termómetro que se calibra	$\delta t_{BC}$	Repetibilidad	A	Normal	1
		Reproducibilidad	A	Normal	1
		resolución de la escala	B	Triangular	1
Gradientes de temperatura en el baño	$\delta t_{GB}$	Estudio de caracterización del baño	B	Rectangular	1
Estabilidad de la temperatura del baño	$\delta t_{EB}$	Estudio de Caracterización del baño	B	Rectangular	1
Error de paralaje	$\delta t_{EP}$	Análisis del efecto en las lecturas, considerando los valores del ángulo que se forma entre la normal a la escala del termómetro y la posición en que posiblemente pudiera colocarse el observador	B	Triangular	1
Temperatura del baño de hielo o equipo equivalente	$t_0$	Repetibilidad	A	normal	1
		Resolución de Termómetro	B	<sup>2</sup> Rectangular	1
Temperatura medida con el termómetro bajo calibración en una referencia a 0 °C	$t_{i0}$	Repetibilidad	A	normal	1
		Corrección del termómetro utilizado	B	normal	1
		Resolución del Termómetro	B	<sup>3</sup> triangular	1
Corrección por Columna Emergente	$C_{em}$	Columna emergente	B	normal	1

Notas a la tabla anterior:

- 1: El tipo y la distribución de probabilidad asociada pueden variar según el experimento, criterio y experiencia del metrólogo.
- 2: Distribución recomendada para instrumentos digitales
- 3: Distribución recomendada para instrumentos analógicos

Observaciones:

1. Si las correcciones  $\delta t_{GB}$ ,  $\delta t_{EB}$  y  $\delta t_{EP}$  tienen valores conocidos para todo el intervalo de temperaturas de calibración, deben usarse para corregir las lecturas obtenidas.
2. En el caso de que estas correcciones valgan cero, se debe considerar su contribución en la estimación de la incertidumbre total.
3. De acuerdo con la tabla de la NOM –011-SCFI-2004, el valor de K para un intervalo de 0 a 100 °C es de  $1,64 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \pm 0.000008 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

A partir de la ecuación 2 se obtiene la incertidumbre combinada de la corrección por columna emergente ( $u_{C_{em}}$ ):[4]

$$u_{C_{em}} = \sqrt{\frac{\partial C_{em}^2}{\partial k} u_k^2 + \frac{\partial C_{em}^2}{\partial n} u_n^2 + \frac{\partial C_{em}^2}{\partial (t_s - t_e)} u_{(t_s - t_e)}^2} \quad 4$$

Los coeficientes de sensibilidad se obtienen a través de las derivadas parciales de cada uno de los componentes de la incertidumbre de la corrección por columna emergente (Ver ec. 2), por lo que se obtiene:

$$u_{C_{em}} = \sqrt{n^2 (t_s - t_e)^2 u_k^2 + k^2 (t_s - t_e)^2 u_n^2 + n^2 k_{(t_s - t_e)}^2} \quad 5$$

Donde:

$u_n$  es la incertidumbre de  $n$ ;  $u_k$  es la incertidumbre de  $K$  (Es el coeficiente de expansión diferencial entre el líquido termométrico y el vidrio del tallo del termómetro). Es práctica general asociarle la desviación estándar de los valores de  $K$  en un alcance hasta de  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Dicha desviación estándar tiene un valor de  $8 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .  $u_{(t_s - t_e)}$  es la combinación de las incertidumbres de  $t_s$  y  $t_e$ . A  $t_s$  se asocia la incertidumbre de la calibración del patrón, la incertidumbre de sus lecturas y de la resolución en esas lecturas. A  $t_s$  se le asocia la incertidumbre del termómetro patrón, la incertidumbre de sus lecturas y de la resolución en esas lecturas. A  $t_e$  se le asocia la incertidumbre (o propagación de las incertidumbres) del o los termómetros auxiliares, que incluyen la de su calibración, la de sus lecturas y la de la resolución de esas lecturas.

$$u_{(t_s - t_e)} = \sqrt{u_{t_s}^2 - u_{t_e}^2} \quad 6$$

Compruebe que el valor de  $u_{C_{em}}$  es  $\pm 0.69\text{ }^\circ\text{C}$  aun nivel de  $1\sigma$

## 5. Resultados.

Obtenga la estimación de la incertidumbre ( $u_{C_{em}}$ ) en el termómetro de trabajo ( $T_t$ ) para cada una de los tres puntos fijos.

## 6. Conclusiones

Los estudiantes obtendrán sus propias conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados.

## 7. Cuestionario

1. ¿Cuál es el método utilizado para calibrar un termómetro TLV?
2. ¿Cuales son los criterios a seguir para que un termómetro TLV sea candidato a ser calibrado?
3. En que casos al calibrar un termómetro de inmersión total se hace corrección por columna.
4. En que consiste la corrección corregida de una lectura de temperatura.
5. ¿Cuales son los criterios para trazar una curva de calibración con base a las medidas de temperatura en los llamados puntos fijos del termómetro de trabajo?

## 8. Referencias.

1. *Guía Técnica sobre Trazabilidad e incertidumbre en la calibración de Termómetros de Líquido en Vidrio en Baños de Fluido Controlado Térmicamente*, Secretaría de Economía, CENAM, EMA. pp (1-51), Abril 2004.
2. Termómetros de líquido en vidrio, Metas y Metrologos asociados, la guía METAS, año 08#09, pp (1-8), septiembre 2008,
3. Rosa Hernández N.; David Licea P.; Enrique Martínez L.; Edgar Méndez Lango; Validación del Método de Corrección del Error por efecto de Columna Emergente en Termómetros de Líquido en Vidrio de Inmersión Total. Encuentro de Metrología Eléctrica 2007; pp(1-4); 2-3 de Julio de 2007.
4. Guía Técnica de Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida en la Calibración de termómetros de Líquido en Vidrio en Baños de Líquido Controlado térmicamente. CENAM, *ema*, México; pp (1-52); Noviembre de 2012.
5. NOM-011-SCFI-2004, Instrumentos de medición-Termómetros de Líquido en Vidrio para uso general-especificaciones y métodos de prueba.