




CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO

Instructivo: IN-DRD-007


Versión: 01

**SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN DE REDES – DIRECCIÓN
DE REDES DE OBSERVACIÓN Y DATOS**

<p>Elaborado por:</p> <p>Augusto Pedro Vargas Valencia Especialista de Laboratorio Subdirección de Gestión de Redes de Observación</p> <p>Jorge Enrique Yerrén Suárez Subdirector de Gestión de Redes Subdirección de Gestión de Redes de Observación</p>	<p>Firma:</p>
--	----------------------

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	2 de 15

<p>Revisado por:</p> <p style="text-align: center;">Sonia del Carmen Huamán Lozano Directora Unidad de Modernización y Gestión de la Calidad</p>	<p style="text-align: center;">Firma:</p>
<p>Aprobado por:</p> <p style="text-align: center;">Juan Fernando Arboleda Orozco Director Dirección de Redes de Observación y Datos</p>	<p style="text-align: center;">Firma:</p>

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	3 de 15

1. OBJETO

El presente instructivo tiene por finalidad estandarizar las acciones a realizar para la calibración de termómetros de líquido en vidrio en baño termostático líquido.

2. ALCANCE

Este instructivo es aplicable a los termómetros de líquido en vidrio de aplicación meteorológica, de inmersión parcial y total, con alcances de temperatura desde -40 °C hasta +60 °C.

3. DESARROLLO

3.1 DOCUMENTO DE REFERENCIA

- a) Procedimiento para la Calibración de Termómetros de Líquido en Vidrio, PC-009 del Servicio Nacional de Metrología de INACAL, quinta edición – enero 2014.
- b) Procedimiento TH-004 para la calibración por comparación de termómetros de columna de líquido, del Centro Español de Metrología, edición digital 1.

3.2 RESPONSABILIDAD

3.2.1 Personal del laboratorio de calibración SENAMHI

Realizar las calibraciones de los termómetros de líquido en vidrio (TLV) en el laboratorio de calibración del SENAMHI.

3.3 ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

3.3.1 Calibración: Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

3.3.2 Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.


3.3.3 Estabilidad de un instrumento de medida: Propiedad de un instrumento de medida por la que éste conserva constantes sus características meteorológicas a lo largo del tiempo.

Nota: la estabilidad puede expresarse cuantitativamente de varias formas.

3.3.4 Estabilidad de Temperatura: Fluctuaciones temporales de la temperatura. Pueden ser diferentes en distintas zonas del recinto y en general serán menores que la uniformidad.

3.3.5 Uniformidad de Temperatura: Dentro de la zona útil, algunas zonas permanecen más calientes o frías que el valor deseado, debido a gradientes de temperatura.

3.3.6 Uniformidad Vertical (Gradientes verticales o axiales): Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos verticales y la distancia que los separa.

 Senamhi <small>SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ</small>	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	4 de 15

3.3.7 Uniformidad horizontal (Gradientes horizontales o radiales): Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos horizontales y la distancia que los separa.

3.3.8 Deriva instrumental (Cambio secular): Variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.

3.3.9 Error de medición: Valor medido de una magnitud menos un valor de referencia.

3.3.10 Termómetro de inmersión total: Es el termómetro diseñado para indicar correctamente la temperatura cuando el bulbo y la columna hasta 10 mm a 12 mm por debajo de su menisco son expuestos a la temperatura que se está midiendo.

3.3.11 Termómetro de inmersión parcial: Es el termómetro diseñado para indicar correctamente la temperatura cuando el bulbo y la porción específica de la columna son expuestos a la temperatura que se está midiendo.

3.3.12 Baño de punto de hielo: Sistema físico que contiene hielo y agua mezclada para realizar el punto de hielo como referencia de temperatura, o para establecer una temperatura constante cercana a 0 °C.

3.4 MATERIALES REQUERIDOS

- Agua destilada, hielo, etanol
- Guantes, lentes y máscaras contra vapores
- Soportes universales, pinzas metálicas y nueces
- Termohigrómetro para el registro de las condiciones ambientales
- Frasco dewar
- Picador de hielo eléctrico
- Baño termostático
- 02 Termómetros digitales patrón


3.5 CONDICIONES DE CALIBRACIÓN


Temperatura ambiente : 23 °C ± 3 °C

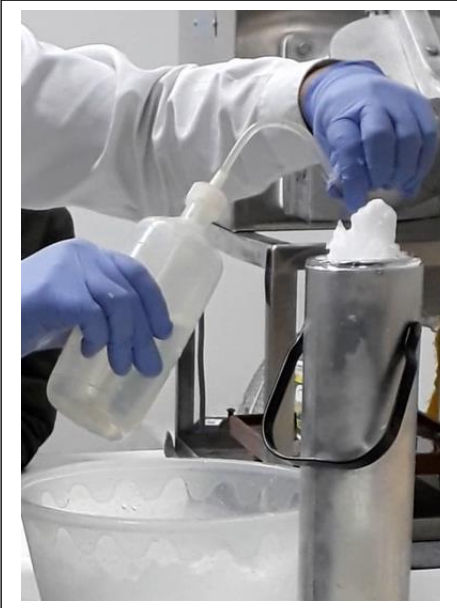
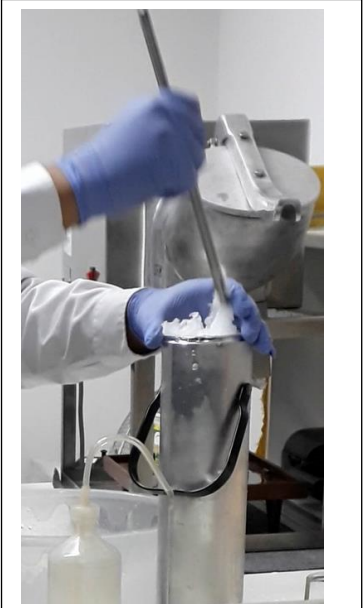

Humedad relativa del aire: 55 % ± 20 %


3.6 OPERACIONES PREVIAS

Nº	Actividad
01	Identificación del termómetro TLV - Debe ser identificado con al menos un número de serie, si no lo tuviera se procederá a la asignación de un número identificativo por el laboratorio.
02	Estabilización preliminar del termómetro TLV - El termómetro TLV debe permanecer al menos durante 3 días (72 h) en temperatura ambiente del laboratorio, antes de realizar la calibración.
03	Evaluación de los termómetros patrón y baño termostático - El termómetro patrón debe tener resolución o división de escala e incertidumbre acorde con el instrumento a calibrar. - La incertidumbre total de la calibración del termómetro patrón no debe ser mayor que 1/3 del error máximo permisible del termómetro a calibrar. - Los termómetros patrón deben cumplir los siguientes requisitos: <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de patrones: 2 • Calibración: Vigente

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	5 de 15

Nº	Actividad
	<ul style="list-style-type: none"> • Marca, modelo y serie • Determinación de deriva <p>- El o los baños termostáticos deben considerar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización vigente • Datos de uniformidad y estabilidad del baño
04	<p>Inspección visual del termómetro TLV</p> <p>- Se realizará la inspección empleando una lupa de aumento óptico ($\geq 10x$) bajo iluminación adecuada mayor o igual a 1000 lux.</p> <p>- El termómetro no será aceptado si:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El termómetro presenta la columna de mercurio/alcohol separada • El termómetro presenta graduación defectuosa de escala • El termómetro presenta deformaciones en el capilar de vidrio • El termómetro presenta material extraño en el bulbo • El termómetro presenta oxidación en el mercurio
05	<p>Preparación del baño de hielo</p> <p>- Lavar y enjuagar los materiales y termómetros a emplear con agua destilada al menos dos veces.</p> <p>- Emplear guantes esterilizados para no contaminar el hielo.</p> <p>- Congelar agua destilada en un frasco o pote mediano, la pureza del agua deber ser tal que su conductividad sea menor o igual a 4 uS/cm.</p> <p>- Retirar el hielo del frasco o pote.</p> <p>- Triturar el hielo hasta alcanzar gránulos finos, es preferible hielo al punto de nieve, pero se acepta hielo con gránulos de un tamaño inferior a 3 cm. (Fig. N° 01).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">Fig. N° 01 Triturando el hielo a punto nieve</p> <p>- Pre-enfriar el frasco dewar y accesorios a emplear.</p> <p>- Colocar los gránulos de hielo en el frasco dewar (evitar tocar el hielo con la mano sin guantes).</p> <p>- Se añade una cantidad mínima de agua destilada pre-enfriada al frasco dewar con hielo (el agua no debe alcanzar $\frac{3}{4}$ del nivel de hielo), el agua estará contenida en los espacios intermedios entre los gránulos de hielo (Fig. N° 02).</p> <p>- Mezclar el hielo y el agua, el hielo debe quedar cristalino (si queda opaco significa que</p>

N°	Actividad
	<p>le falta agua, si queda muy acuoso significa que hay mucha agua, y colocar agua o hielo en el caso correspondiente).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compactar el baño de hielo empleando una baqueta de vidrio, con el objeto de uniformizarlo (Fig. N° 03). <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. N° 02 Añadiendo agua pre-enfriada al frasco dewar con hielo.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. N° 03 Compactando el hielo empleando una baqueta</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> - Dejar en reposo el baño de hielo por lo menos durante 30 minutos debiendo cubrirlo con un aislante térmico opaco, como papel de aluminio, de tal modo que toda la mezcla alcance una temperatura constante. - Hacer un canal de la profundidad necesaria en el centro del hielo para ubicar el termómetro limpio y pre-enfriado, la profundidad de inmersión debe ser al menos de 10 veces el diámetro mayor del objeto, pero no debe bajar tanto como para llegar a la zona donde pudiera irse acumulando el agua derretida del hielo. - Colocar el termómetro en el baño de hielo, y mantener la parte superior cubierta con papel aluminio. (Fig. N° 04) <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Fig. N° 04 Colocando el termómetro en el baño de hielo</p> </div>


	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	7 de 15

Nº	Actividad
	<ul style="list-style-type: none"> - Esperar un tiempo de estabilización del termómetro de aproximadamente 5 minutos si es de mercurio, y 20 minutos si es líquido orgánico, antes de tomar las lecturas. - Registrar la lectura del termómetro.


3.7 CALIBRACIÓN DEL TERMÓMETRO DE LIQUIDO EN VIDRIO

Nº	Actividad
01	<p>Calibración de termómetros TLV en el punto de fusión del hielo (0 °C)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lavar y enjuagar los instrumentos y termómetros a emplear con agua destilada. - Emplear el baño de hielo para la calibración en el punto de 0 °C. - Hacer canales en el hielo para introducir los termómetros, empleando una baqueta de vidrio. - Introducir los termómetros a calibrar y el termómetro patrón en el baño de hielo, con una profundidad de inmersión al menos 10 veces el diámetro, pero no se debe bajar tanto como para llegar a la zona donde pudiera irse acumulando el agua derretida del hielo. - Esperar 5 minutos antes de tomar las lecturas si el líquido termométrico es mercurio, y 20 minutos si es un líquido orgánico. - Tomar y registrar la lectura de los termómetros en el siguiente orden para obtener cinco lecturas para 0 °C: $T_{C_1} - T_{C_2} - \dots - T_{C_n}$ $T_{C_n} - \dots - T_{C_2} - T_{C_1}$ $T_{C_n} - \dots - T_{C_2} - T_{C_1}$ $T_{C_1} - T_{C_2} - \dots - T_{C_n}$ $T_{C_n} - \dots - T_{C_2} - T_{C_1}$ <p style="text-align: right;">donde : T_{C_i} son los termómetros a calibrar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar el valor promedio considerando los cinco datos medidos por termómetro. - Medir la presión atmosférica al inicio y al final de las lecturas del termómetro, y determinar el aporte de incertidumbre por presión atmosférica aplicando el factor $k=-75 \text{ nK/Pa}$, y aplicar $=k\Delta p$. - El termómetro patrón que se utilice funciona aquí como un patrón testigo, ya que se considera que se empleará un baño de hielo con el valor convencionalmente verdadero igual a 0.00 °C, con una reproducibilidad estimada en 5 mK.
02	<p>Calibración de termómetros en los puntos de -20 °C a 10 °C y de 20 °C a 40 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proceder conforme el manual de operación del baño termostático con los siguientes medios de acuerdo a los rangos de calibración, considerando el nivel adecuado del medio: <ul style="list-style-type: none"> • De -20 °C a 10 °C: baño con etanol • De +20 °C a +40°C: baño con agua destilada - Seleccionar el control termostático del baño a la temperatura de calibración deseada: <ul style="list-style-type: none"> • -20 °C, -10 °C, +10 °C, y • +20 °C, +30 °C, +40 °C - Esperar que se estabilice a la temperatura seleccionada, el cual debe haber sido caracterizado en estabilidad y uniformidad. - Considerar el inicio de la calibración con la temperatura más baja, y continuará con los valores más cercanos en forma ascendente. - Colocar los termómetros patrón y el/los termómetro(s) a calibrar en el baño en la zona caracterizada (no debe tocar el fondo o paredes del baño). (Fig. N° 05). - Verificar la uniformidad y estabilidad del baño sean adecuadas de acuerdo a los valores

Nº	Actividad
	<p>indicados en el certificado, una vez que se haya alcanzado la temperatura de calibración. Para comprobar si el baño está lo suficientemente estable se registrará la lectura de uno de los patrones.</p> <p>Para comprobar si el baño está lo suficientemente uniforme se registrará la lectura de los dos patrones.</p> <p>De no alcanzarse la estabilidad y uniformidad se esperará más tiempo, caso contrario se trabajará con los valores de estabilidad y uniformidad medidos por los patrones aumentándose concordantemente la incertidumbre de la calibración, cuidando que la incertidumbre final no sobrepase la tercera parte del error máximo permisible del termómetro a calibrar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar el termómetro en su posición real de trabajo (vertical) durante su calibración. - Leer y registrar los valores de los termómetros patrones y termómetros a calibrar (evitar error de paralaje, puede emplearse lupa con aumento óptico de 10x, con iluminación ambiente ≥ 1000 lux): <ul style="list-style-type: none"> • Termómetros con división de escala de 0.05 °C o 0.1 °C son leídos hasta con 3 decimales • Termómetros con división de escala de 0.2 °C , 0.5 °C o 1 °C son leídos hasta con 2 decimales <p>(Vibrar levemente el termómetro para evitar errores de lectura relacionados con la tensión superficial entre el menisco y el vidrio).</p> - Registrar las lecturas de los termómetros en el siguiente orden: <ul style="list-style-type: none"> • Lectura del primer patrón t_{11} (primera lectura del primer termómetro patrón) • Lectura del termómetro a calibrar tx_1 (primera lectura del instrumento a calibrar) • Lectura del segundo patrón t_2 • Lectura del termómetro a calibrar tx_2 (segunda lectura del instrumento a calibrar) • Lectura del primer patrón t_{12} (segunda lectura del primer termómetro patrón) <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>Termómetro en prueba</p> <p>Termómetro patrón 1</p> <p>Termómetro patrón 2</p> <p>Baño termostático</p> </div>  </div> <p>Figura N° 05: Calibración de termómetro de líquido en vidrio empleando un baño termostático</p> <ul style="list-style-type: none"> - Registrar y determinar la temperatura convencionalmente verdadera de las lecturas de los termómetros patrones, empleando sus certificados de calibración, y de ser necesario interpolar los valores.

 Senamhi <small>SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ</small>	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	9 de 15


Nº	Actividad
	<ul style="list-style-type: none"> - Repetir cada ciclo de medición cinco (5) veces para cada punto de calibración, considerando un intervalo de 20 s entre ciclos de medición. - Evaluar los resultados de las mediciones considerando lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Si el valor de la diferencia entre la temperatura del primer patrón (media de t_{11} y t_{12}) y del segundo patrón (t_2) es mayor que la peor uniformidad obtenida de la caracterización y/o calibración del baño termostático, entonces se repetirá la medida por no haber la suficiente uniformidad en el medio isoterma. Si la diferencia persiste se sustituirá uno de los patrones para identificar el origen del problema o se aumentará el valor de la incertidumbre en función de los valores obtenidos. • Si el valor absoluto de las diferencias entre las dos lecturas del primer patrón $t_{11} - t_{12}$ es mayor que el doble de la peor estabilidad obtenida para el medio isoterma durante su caracterización y/o calibración. • En cada valor de calibración se realizará solo uno de los ciclos indicados y no se realizará cálculos estadísticos con dichas medidas. - Registrar el valor representativo del patrón de temperatura, resultante de la media de los dos patrones, esta media se obtiene primero para las temperaturas determinadas por el primer patrón (t_1) y luego se vuelve a calcular la media para los dos patrones (t_1 con t_2), debe considerarse los valores corregidos; para la corrección se considera la interpolación entre los puntos de calibración de los certificados de cada patrón. $t_{\text{patrón}} = ((t_{11}+t_{12}) / 2 + t_2) / 2 \quad \text{ec. 1}$ $t_1 = t_{11}+t_{12} \quad \text{ec. 2}$ - Registrar los valores del termómetro, de acuerdo a lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la temperatura media del termómetro, de las lecturas tx_1 y tx_2 $tx = (tx_1 + tx_2)/2 \quad \text{ec. 3}$ - Determinar la corrección de cada medida de acuerdo a la diferencia del valor del termómetro patrón y el valor del termómetro a calibrar: $C = (t_1+t_2)/2 - tx \quad \text{ec. 4}$ - Registrar los datos de condiciones ambientales de temperatura y humedad. - Determinar los promedios de los cinco valores de cada ciclo de medición, el cual será el valor representativo de cada punto de calibración. - Realizar las mediciones de temperatura de los siguientes puntos de calibración, para lo cual se repetirá los puntos desde el inicio de este punto 3.7.2, de acuerdo a los siguientes valores: <ul style="list-style-type: none"> • -20 °C, -10 °C, +10 °C, y (etanol) • +20 °C, +30 °C, +40 °C (agua destilada) - Retirar lentamente los termómetros del baño cuando se culmine las calibraciones con alcohol y luego de las calibraciones con agua (a fin de evitar cambios bruscos de temperatura y evitar golpes en el termómetro), lavarlos y limpiarlos suavemente con papel toalla o semejante.
03	<p>Determinación de la depresión del cero</p> <ul style="list-style-type: none"> - Repetir la medición en el punto cero con el baño de hielo, de acuerdo al punto 3.7.1, con la finalidad de determinar el grado de depresión del valor cero; de tal modo que se cuente con valores de las mediciones de cero al inicio C_0 y al final de las mediciones C_{OF}. - Determinar la depresión del valor cero: $\delta_0 = C_0 - C_{OF}$ ec. 5

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	10 de 15

Nº	Actividad
04	<p>Prueba de repetibilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proceder conforme el manual de operación del baño termostático con etanol, seleccionando a 0 °C. - Esperar que se estabilice a la temperatura seleccionada. - Registrar los valores del termómetro de prueba y de los termómetros patrones diez veces sucesivas, extrayendo e introduciendo el termómetro a calibrar, en el medio isoterma con periodos de 3 min a 5 min fuera del mismo y esperando los periodos correspondientes de estabilización antes de cada medida. - En cada medición se anotarán los siguientes datos: <ul style="list-style-type: none"> • Determinar los valores de los patrones con la corrección correspondiente, tp_1 y tp_2. • Determinar el valor de temperatura del termómetro en prueba tx. • Determinar la corrección C, de acuerdo a la siguiente ecuación: $C = \frac{(tp_1 + tp_2)}{2} - tx \quad \text{ec. 6}$ • Determinar la desviación estándar de C $s = \sqrt{(\sum_{i=1}^{10} (Ci - C_{prom})^2 / (n-1))} \quad \text{ec. 7}$ <p>Donde: $C_{prom} = (1/n) \sum_{i=1}^n Ci \quad \text{ec. 8}$</p> - Comparar el valor obtenido de repetibilidad del termómetro con el valor de estabilidad y uniformidad del baño, de tal modo que si fueran del mismo orden no se considerará el valor de repetibilidad obtenido en el cálculo de incertidumbres.
05	<p>Calculo de incertidumbre del sistema de calibración</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calcular la incertidumbre del sistema de calibración aplicando la siguiente ecuación, proveniente de aplicar la ley de propagación de incertidumbres: $u^2(t_{ref}) = c_1^2 * u^2(t_1) + c_2^2 * u^2(\delta tc_1) + c_3^2 * u^2(\delta td_1) + c_4^2 * u^2(\delta t_1; res) + c_5^2 * u^2(\delta t_1; mi) + c_6^2 * u^2(\delta t_1; int) + c_7^2 * u^2(t_2) + c_8^2 * u^2(\delta tc_2) + c_9^2 * u^2(\delta td_2) + c_{10}^2 * u^2(\delta t_2; res) + c_{11}^2 * u^2(\delta t_2; mi) + c_{12}^2 * u^2(\delta t_2; int) + u^2(\delta tu) + u^2(\delta te) \quad \text{ec. 9}$ • Donde $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = C_7 = C_8 = C_9 = C_{10} = C_{11} = C_{12} = 1/2 \quad \text{ec. 10}$ • $u(t_1)$, $u(t_2)$: Incertidumbres de lectura del primer y segundo patrón, al no realizarse medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración no se consideran estas contribuciones. • $u(\delta tc_i) = U_i / k$: incertidumbre de los patrones La incertidumbre de los patrones se obtiene de los certificados, donde k es el factor de cobertura asociado a U. • $u(\delta t_{d,i}) = \delta t_{d,i} / \sqrt{3}$: incertidumbre de deriva máxima de patrones La incertidumbre de la deriva de los patrones en cada punto se obtiene de la diferencia entre los errores de los certificados de calibración anteriores, al considerarse una distribución estadística rectangular se divide entre raíz de 3; para el primer año se considera la exactitud del instrumento según su manual. • $u(\delta t_i, res) = \delta t_i, res / \sqrt{12}$: incertidumbre de resolución de patrones La resolución se obtiene de los datos generales de los patrones, se considera que tiene una distribución rectangular por lo que se divide entre raíz de 3, además de dividir entre 2 por considerar una influencia simétrica \pm resolución/2.

Nº	Actividad																																																																																
	<ul style="list-style-type: none"> $u(\delta_{ti,int})$: incertidumbre por interpolación de patrones La incertidumbre debida al error de interpolación a través de una curva obtenida de los resultados de los certificados de calibración de los patrones, calculada como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado de los valores del certificado y los obtenidos a partir de la curva dividida por el número de puntos del certificado menos el número de parámetros del ajuste (dos en el caso de una recta). $u(\delta_{ti,int}) = \sqrt{\frac{((V_{cert1}-V_{curva1})^2+(V_{cert2}-V_{curva2})^2+(V_{cert3}-V_{curva3})^2+\dots+(V_{certn}-V_{curvan})^2)}{(\#puntos\ cert - \#parámetro\ ajuste)}} \quad ec. 11$ $u(\delta_{ti,mi}) = (\delta_{t1,mi})$: incertidumbre por magnitudes de influencia en patrones En algunos casos pueden existir magnitudes de influencia (p.e. temperatura ambiente) sobre los termómetros patrón, en cuyo caso sería necesario evaluar su influencia en las condiciones de calibración; de lo contrario se considera el valor cero. $u(\delta_{tu}) = \delta_{tu} / \sqrt{3}$: incertidumbre de uniformidad del baño Valor que se obtiene de la caracterización del baño termostático, y se considera una distribución estadística rectangular por lo que se divide entre raíz de 3 $u(\delta_{te}) = \delta_{te} / \sqrt{3}$: incertidumbre de estabilidad del baño Valor que se obtiene de la caracterización del baño termostático, y se considera una distribución estadística rectangular por lo que se divide entre raíz de 3 <p>- Completar el cuadro resumen del cálculo de incertidumbre del sistema de calibración $u(t_{ref})$, para cada punto de calibración: -20 °C, -10 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C y 40 °C (no se considera 0 °C).</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Magnitud X_i</th> <th style="text-align: center;">Estimación de la magnitud x_i</th> <th style="text-align: center;">Incertidumbre estándar $u(x_i)$</th> <th style="text-align: center;">Coeficiente de sensibilidad C_i</th> <th style="text-align: center;">Contribución a la incertidumbre estándar $u_i(y)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">t_1</td> <td style="text-align: center;">$(t_{11}+t_{12})/2$</td> <td style="text-align: center;">$u(t_1)$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(t_1)/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">t_2</td> <td style="text-align: center;">t_2</td> <td style="text-align: center;">$u(t_2)$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(t_2)/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{c1}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{c1}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{c1}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{c2}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{c2}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{c2}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{d1}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{d1}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{d1}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{d2}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{d2}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{d2}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{1,res}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,res}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,res}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{2,res}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,res}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,res}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{1,mi}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,mi}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,mi}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{2,mi}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,mi}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,mi}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{1,int}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,int}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{1,int}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta_{t_{2,int}}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,int}})$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{1}{2}$</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_{2,int}})/2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">δ_{t_e}</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_e})$</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_e})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">δ_{t_u}</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_u})$</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta_{t_u})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">t_{ref}</td> <td style="text-align: center;">$(t_1+t_2)/2$</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="text-align: center;">$u(t_{ref})$</td> </tr> </tbody> </table>	Magnitud X_i	Estimación de la magnitud x_i	Incertidumbre estándar $u(x_i)$	Coeficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre estándar $u_i(y)$	t_1	$(t_{11}+t_{12})/2$	$u(t_1)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_1)/2$	t_2	t_2	$u(t_2)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_2)/2$	$\delta_{t_{c1}}$	0	$u(\delta_{t_{c1}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{c1}})/2$	$\delta_{t_{c2}}$	0	$u(\delta_{t_{c2}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{c2}})/2$	$\delta_{t_{d1}}$	0	$u(\delta_{t_{d1}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{d1}})/2$	$\delta_{t_{d2}}$	0	$u(\delta_{t_{d2}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{d2}})/2$	$\delta_{t_{1,res}}$	0	$u(\delta_{t_{1,res}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,res}})/2$	$\delta_{t_{2,res}}$	0	$u(\delta_{t_{2,res}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,res}})/2$	$\delta_{t_{1,mi}}$	0	$u(\delta_{t_{1,mi}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,mi}})/2$	$\delta_{t_{2,mi}}$	0	$u(\delta_{t_{2,mi}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,mi}})/2$	$\delta_{t_{1,int}}$	0	$u(\delta_{t_{1,int}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,int}})/2$	$\delta_{t_{2,int}}$	0	$u(\delta_{t_{2,int}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,int}})/2$	δ_{t_e}	0	$u(\delta_{t_e})$	1	$u(\delta_{t_e})$	δ_{t_u}	0	$u(\delta_{t_u})$	1	$u(\delta_{t_u})$	t_{ref}	$(t_1+t_2)/2$			$u(t_{ref})$
Magnitud X_i	Estimación de la magnitud x_i	Incertidumbre estándar $u(x_i)$	Coeficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre estándar $u_i(y)$																																																																													
t_1	$(t_{11}+t_{12})/2$	$u(t_1)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_1)/2$																																																																													
t_2	t_2	$u(t_2)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_2)/2$																																																																													
$\delta_{t_{c1}}$	0	$u(\delta_{t_{c1}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{c1}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{c2}}$	0	$u(\delta_{t_{c2}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{c2}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{d1}}$	0	$u(\delta_{t_{d1}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{d1}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{d2}}$	0	$u(\delta_{t_{d2}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{d2}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{1,res}}$	0	$u(\delta_{t_{1,res}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,res}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{2,res}}$	0	$u(\delta_{t_{2,res}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,res}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{1,mi}}$	0	$u(\delta_{t_{1,mi}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,mi}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{2,mi}}$	0	$u(\delta_{t_{2,mi}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,mi}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{1,int}}$	0	$u(\delta_{t_{1,int}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{1,int}})/2$																																																																													
$\delta_{t_{2,int}}$	0	$u(\delta_{t_{2,int}})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta_{t_{2,int}})/2$																																																																													
δ_{t_e}	0	$u(\delta_{t_e})$	1	$u(\delta_{t_e})$																																																																													
δ_{t_u}	0	$u(\delta_{t_u})$	1	$u(\delta_{t_u})$																																																																													
t_{ref}	$(t_1+t_2)/2$			$u(t_{ref})$																																																																													

Nº	Actividad																																								
06	<p>Calculo de incertidumbre del termómetro a calibrar u(C)</p> <p>- Calcular la incertidumbre del sistema de calibración aplicando la siguiente ecuación:</p> $u^2(C) = u^2(t_{ref}) + u^2(t_x) + u^2(\delta t_{x,Div}) + u^2(\delta t_{x,Cce}) + u^2(\delta t_{x,Depre}) + u^2(\delta t_{x,Pres}) \quad \text{ec. 12}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $u(t_{ref})=$: incertidumbre de la temperatura de referencia • $u(t_x)=$: incertidumbre de lecturas del termómetro a calibrar (no se considera esta contribución, debido a que no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración). • $u(\delta t_{x,Div}) = \text{resolución} / (n \sqrt{3})$: incertidumbre de división de escala del termómetro, considerando a n como el número de partes que se puede subdividir una división de escala del termómetro a calibrar. y se considera una distribución estadística rectangular por lo que se divide entre raíz de 3. • $u(\delta t_{x,Cce}) =$: Incertidumbre debida a la corrección por columna emergente (para el tipo meteorológico = 0) • $u(\delta t_{x,Depre}) = (coi - Cof) / \sqrt{3}$: Incertidumbre debida a la depresión y/ascenso del punto 0 °C • $u(\delta t_{x,Pres}) = \Delta p * k / \sqrt{3}$: Incertidumbre debida a la diferencia de presión <p>- Completar el cuadro resumen del cálculo de incertidumbre del termómetro u(C), para cada punto de calibración (-20 °C, -10 °C, 0°C, 10 °C, 20 °C, 30 °C y 40 °C).</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Magnitud Xi</th> <th style="text-align: center;">Estimación de la magnitud xi</th> <th style="text-align: center;">Incertidumbre estándar u(xi)</th> <th style="text-align: center;">Coeficiente de sensibilidad Ci</th> <th style="text-align: center;">Contribución a la incertidumbre estándar ui(y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">tx</td> <td style="text-align: center;">(tx1+tx2)/2</td> <td style="text-align: center;">u(tx)</td> <td style="text-align: center;">-1</td> <td style="text-align: center;">-u(tx)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta t_{x,Div}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta t_{x,Div})$</td> <td style="text-align: center;">-1</td> <td style="text-align: center;">$-u(\delta t_{x,Div})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta t_{x,Cce}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta t_{x,Cce})$</td> <td style="text-align: center;">-1</td> <td style="text-align: center;">$-u(\delta t_{x,Cce})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta t_{x,Depre}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta t_{x,Depre})$</td> <td style="text-align: center;">-1</td> <td style="text-align: center;">$-u(\delta t_{x,Depre})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\delta t_{x,Pres}$</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">$u(\delta t_{x,Pres})$</td> <td style="text-align: center;">-1</td> <td style="text-align: center;">$-u(\delta t_{x,Pres})$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">tref</td> <td style="text-align: center;">(t1+t2)/2</td> <td style="text-align: center;">u(tref)</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">u(tref)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">tref - tx</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">u(C)</td> </tr> </tbody> </table>	Magnitud Xi	Estimación de la magnitud xi	Incertidumbre estándar u(xi)	Coeficiente de sensibilidad Ci	Contribución a la incertidumbre estándar ui(y)	tx	(tx1+tx2)/2	u(tx)	-1	-u(tx)	$\delta t_{x,Div}$	0	$u(\delta t_{x,Div})$	-1	$-u(\delta t_{x,Div})$	$\delta t_{x,Cce}$	0	$u(\delta t_{x,Cce})$	-1	$-u(\delta t_{x,Cce})$	$\delta t_{x,Depre}$	0	$u(\delta t_{x,Depre})$	-1	$-u(\delta t_{x,Depre})$	$\delta t_{x,Pres}$	0	$u(\delta t_{x,Pres})$	-1	$-u(\delta t_{x,Pres})$	tref	(t1+t2)/2	u(tref)	1	u(tref)	C	tref - tx			u(C)
Magnitud Xi	Estimación de la magnitud xi	Incertidumbre estándar u(xi)	Coeficiente de sensibilidad Ci	Contribución a la incertidumbre estándar ui(y)																																					
tx	(tx1+tx2)/2	u(tx)	-1	-u(tx)																																					
$\delta t_{x,Div}$	0	$u(\delta t_{x,Div})$	-1	$-u(\delta t_{x,Div})$																																					
$\delta t_{x,Cce}$	0	$u(\delta t_{x,Cce})$	-1	$-u(\delta t_{x,Cce})$																																					
$\delta t_{x,Depre}$	0	$u(\delta t_{x,Depre})$	-1	$-u(\delta t_{x,Depre})$																																					
$\delta t_{x,Pres}$	0	$u(\delta t_{x,Pres})$	-1	$-u(\delta t_{x,Pres})$																																					
tref	(t1+t2)/2	u(tref)	1	u(tref)																																					
C	tref - tx			u(C)																																					
07	<p>Calculo de incertidumbre expandida del termómetro a calibrar U(C)</p> <p>- Calcular la incertidumbre expandida del termómetro a calibrar aplicando el factor de cobertura k=2 a la incertidumbre combinada, considerando un nivel de confianza aproximado del 95%.</p> $U(C) = u(C) * k \quad \text{ec. 13}$																																								

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	13 de 15

Nº	Actividad																																								
08	<p>Presentación de resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> Registrar los resultados de todos los puntos de calibración <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Puntos teóricos (°C)</th> <th style="text-align: center;">Indicación del termómetro (°C)</th> <th style="text-align: center;">Temperatura convencionalmente verdadera (°C)</th> <th style="text-align: center;">Corrección (°C)</th> <th style="text-align: center;">Incertidumbre (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">-20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">-10</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">40</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Registrar los resultados en el formato de certificado de calibración FOR-DRD-003 indicado en el anexo N° 01. En el caso que los valores de las incertidumbres resultantes de la calibración sean superiores a la exactitud requerida para la medición, se generará un informe de calibración con el mismo formato FOR-DRD-003, considerando como título "Informe de calibración". 	Puntos teóricos (°C)	Indicación del termómetro (°C)	Temperatura convencionalmente verdadera (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre (°C)	-20					-10					0					10					20					30					40				
Puntos teóricos (°C)	Indicación del termómetro (°C)	Temperatura convencionalmente verdadera (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre (°C)																																					
-20																																									
-10																																									
0																																									
10																																									
20																																									
30																																									
40																																									

3.8 ELABORACIÓN DEL REGISTRO DE CALIBRACIÓN

Elaborar el certificado de calibración del termómetro de líquido en vidrio de acuerdo al formato FOR-DRD-003 indicado en el anexo N° 01; en el caso que los valores de las incertidumbres resultantes sean superiores al error máximo permitido y/o exactitud requerida para la medición de temperatura, de lo contrario se elaborará un certificado de calibración con el mismo formato, pero con el título "Informe de calibración".

Pegar una etiqueta autoadhesiva en el soporte del termómetro, donde se incluya el número de serie del termómetro calibrado y fecha de calibración, para los termómetros con resultados de calibración satisfactorios.


Remitir una copia del documento generado al usuario, otra copia estará a cargo del laboratorio de calibración, y otra se adjuntará a la plataforma de metadatos.

4 TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS


Versión	Fecha	Detalle de cambios
01		Versión inicial

5 ANEXOS

Anexo N° 01: Formato Certificado de calibración de termómetro de líquido en vidrio.

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	14 de 15

ANEXO N° 01

	FORMATO	Código	FOR-DRD-003
	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT - 001 - 2021

Solicitante

DZ Cusco – SENAMHI

Dirección

Av. La Solidaridad N° 543

Instrumento de medición: Termómetro de líquido en vidrio

Marca	Thermofisher	Procedencia	Alemania
Modelo	Modelo x45	Resolución	0.2 °C
Serie	J9151	Intervalo de indicación	-40°C a +40°C

Fecha de calibración: 25 de julio 2020

Método de Calibración:

Calibración por comparación empleando baño termostático.

Procedimiento de calibración:

PC-009 Servicio Nacional de Metrología de INACAL, quinta edición – enero 2014.

Lugar de Calibración:

Laboratorio de Temperatura

Av. Crnl. Edmundo Aguilar S/N, Santiago de Surco – Lima.

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C ± 3 °C
Humedad Relativa	55 %hr ± 20 %hr

Patrones de referencia


Trazabilidad	Patrón utilizado	Marca/Modelo/Serie	Certificado de calibración
Patrones de referencia del laboratorio de calibración DRD	Termómetro digital	Dostman/P795/79512080045	Reles LCT-148-2019; 2019-09-20
	Termómetro digital	Dostman/P795/79512080072	Reles LCT-149-2019; 2019-09-20


Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Redes y Datos. Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Responsable del área

Responsable de la calibración

Este documento ha sido elaborado para el uso del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. La impresión de este documento constituye una “COPIA NO CONTROLADA” a excepción de que se indique lo contrario.

	INSTRUCTIVO	Código	IN-DRD-007
	CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	15 de 15

	FORMATO	Código	FOR-DRD-003
	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO	Versión	01
		Página	2 de 2

Resultado de medición

Indicación del termómetro (°C)	Temperatura conv. Verdadera (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre de medición (°C)
-20.0			
-10.0			
0.0			
10.0			
20.0			
30.0			
40.0			

Las incertidumbres de medición expandidas reportadas en este documento son los valores de las incertidumbres combinadas, multiplicadas por un factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva del laboratorio de calibración SENAMHI, de la Subdirección de Gestión de Redes de Observación.