

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. OBJETIVO | 3 |
| 2. DESTINATARIOS | 3 |
| 3. GLOSARIO | 3 |
| 4. REFERENCIAS | 4 |
| 5. GENERALIDADES | 5 |
| 5.1 EQUIPAMIENTO | 7 |
| 5.1.1 Equipamiento patrón | 7 |
| 5.1.2 Equipamiento auxiliar | 7 |
| 5.2 Accesorios e implementos | 7 |
| 6. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO | 8 |
| 7. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y ACTIVIDADES | 10 |
| 7.1 ETAPA 1: RECEPCIONAR Y REVISAR EL ESTADO DEL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO (RVC) | 10 |
| 7.1.1 Recepcionar y revisar el estado del recipiente volumétrico | 10 |
| 7.1.2 Realizar prueba de fugas | 10 |
| 7.2 ETAPA 2: SELECCIONAR EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN, REALIZAR EL PREMOJADO DEL RVP Y DEL RVC | 11 |
| | 11 |
| | 11 |
| 7.2.1 Seleccionar el instrumento de medición | 11 |
| 7.2.2 Realizar comprobación funcional del equipamiento | 11 |
| 7.2.3 Llenar el RVP | 11 |
| 7.2.4 Verter el contenido del RVC | 11 |
| 7.2.5 Realizar ajuste y lectura de menisco del RVP | 12 |

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: | Revisado y Aprobado por: | Aprobación Metodológica por: |
| Nombre: Stivinson Córdoba Sánchez-Yenny Astrid Hernández Gómez Cargo: Contratistas de la Dirección de Investigaciones para el Control y Vigilancia de Reglamentos técnicos y Metrología Legal | Nombre: Ana María Prieto Rangel Cargo: Director de Investigaciones para el Control y Vigilancia de Reglamentos técnicos y Metrología Legal | Nombre: Giselle Johanna Castelblanco Muñoz Cargo: Representante de la Dirección para el Sistema de Gestión de Calidad Fecha: 2022-03-23 |

Cualquier copia impresa, electrónica o de reproducción de este documento sin la marca de agua o el sello de control de documentos, se constituye en copia no controlada.

| | | |
|-------|---|----|
| 7.3 | ETAPA 3: CALIBRAR EL CUERPO DEL RVC | 12 |
| 7.3.1 | Calibrar el cuerpo del RVC | 12 |
| 7.3.2 | Ajustar la escala | 13 |
| 7.3.3 | Calibrar el cuerpo después de ajuste de la escala | 13 |
| 7.3.4 | Verificar la escala | 14 |
| 7.4 | ETAPA 4: CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS REGISTRADOS DE LA INCERTIDUMBRE DEL RVC..... | 15 |
| 7.4.1 | Calcular y analizar los datos registrados | 15 |
| 7.4.2 | Generar los resultados de la calibración del RVC | 20 |
| 7.5 | ETAPA 5: CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS DE LA INCERTIDUMBRE DE LA ESCALA..... | 20 |
| 7.5.1 | Calcular y analizar los datos de la incertidumbre de la escala | 20 |
| 7.5.2 | Generar los resultados de la verificación de la escala..... | 23 |
| 7.5.3 | Identificar el recipiente volumétrico calibrado y precintarlo..... | 23 |
| 7.5.4 | Elaborar y enviar certificado de calibración | 23 |
| 7.6 | ETAPA 6. REVISAR, AUTORIZAR Y ENTREGAR EL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Y EL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO CALIBRADO..... | 23 |
| 7.6.1 | Revisar el certificado de calibración por el responsable de la dirección técnica (sustituto) y el responsable del SGL, antes de su liberación o emisión: 24 | |
| 7.6.2 | Entregar el RVC y el certificado de calibración..... | 27 |
| 7.6.3 | Aplicar la encuesta de satisfacción RT03-F07..... | 28 |
| 8. | DOCUMENTOS RELACIONADOS..... | 28 |
| 9. | ANEXOS..... | 29 |
| 10. | RESUMEN CAMBIOS RESPECTO A LA ANTERIOR VERSIÓN | 29 |

1. OBJETIVO

Describir la metodología empleada para realizar la calibración de recipientes volumétricos con capacidad de 18 927,06 mL (5 galones), por el método según el documento normativo Euramet cg- 21; para: alcaldías, Red Nacional de Protección al Consumidor y el grupo de trabajo de inspección y vigilancia de metrología legal.

2. DESTINATARIOS

Servidores públicos y/o contratistas que hagan parte del laboratorio de calibración de volumen.

3. GLOSARIO

La terminología y simbología empleada en este documento está basada principalmente en los siguientes documentos:

- GUM (2008): para los términos relacionados con la determinación de los resultados de la incertidumbre de la medición.
- VIM 3ª edición 2012: para los términos relacionados en la calibración.
- Decreto 1595 / 2015

CADENA DE TRAZABILIDAD METROLOGICA: sucesión de patrones y calibraciones que relacionan un resultado de medida con una referencia.

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.

ERROR DE MEDIDA: diferencia entre un valor de medido de una magnitud y un valor de referencia.

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA: parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

RESPONSABLE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA: es el servidor público o contratista encargado de autorizar los certificados de calibración y al personal para la realización de las calibraciones y actividades específicas.

RESPONSABLE DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS LABORATORIOS-SGL: es el servidor público o contratista encargado de diseñar, documentar, implementar y hacer seguimiento a todos los documentos propios del laboratorio, así como los documentos definidos en el SIGI.

RESPONSABLE DE LAS CALIBRACIONES: servidor público o contratista autorizado para realizar calibraciones, teniendo en cuenta lo definido en el presente documento.

RVC: recipiente volumétrico a calibrar

RVP: recipiente volumétrico patrón

SIC CALIBRA: Aplicativo que busca automatizar y agilizar mediante un sistema de gestión las solicitudes de calibración de los equipos de medición.

TRAZABILIDAD METROLÓGICA: propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

V_{sp}: Volumen suministrado por probetas

IP: Instrumento Pipeta

4. REFERENCIAS

| Jerarquía de la norma | Numero/Fecha | Título | Artículo | Aplicación Específica |
|-----------------------|--------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Decreto | 1595 de 2015 | Por el cual se dictan normas relativas al Subsistema Nacional de la Calidad y se modifica el capítulo 7 y la sección 1 del capítulo 8 del título 1 de la parte 2 del libro 2 Del | Sección 2, artículo 2.2.1.7.2.1 | Definiciones |

| Jerarquía de la norma | Numero/Fecha | Título | Artículo | Aplicación Específica |
|-----------------------------|-----------------|--|---------------------------|---|
| | | Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria Y Turismo, Decreto 1074 de 2015 y se dictan otras disposiciones | | |
| Guía Euramet No.19 | 3.0 (09/2018) | Directrices sobre la determinación de la incertidumbre en la calibración del volumen gravimétrico. | Numeral 7.3.7 | Efectos por el operador, lectura del menisco. |
| ISO/IEC 17025 | 2ª edición 2017 | Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración | Aplicación total | Competencia de los laboratorios para la calibración de volumen. |
| Guía Técnica Euramet cg- 21 | 1.0 (04/2013) | Guía para la calibración de patrones de volumen utilizando el método volumétrico. | Aplicación total | Calibración de los patrones de volumen por el método volumétrico. |
| VIM | 3ª edición 2012 | Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados. | Aplicación total | Para sistemas de conceptos fundamentales y generales utilizados en metrología |
| OIML R 120 | 2010 | Sistemas de medición para líquidos distintos al agua: medidores volumétricos patrones | Numeral 2.2.2.2 | Errores máximos permitidos |
| GUM | 2008 | Guía para estimar la incertidumbre de la medición | Aplicación total | Lineamientos para estimar incertidumbres |
| NTC | 1034:1994 | Elementos de datos y formatos de intercambio de información. Presentación de fechas y tiempos | Numeral 5.2.1.1 y 5.3.1.2 | Representación de la fecha y tiempo |

5. GENERALIDADES

- El método volumétrico consiste en comparar la capacidad del líquido “para suministrar” del RVC, con la capacidad del RVP.

- EL RVC se debe dejar en el área de calibración al menos 6 horas antes de la calibración.
- Antes de iniciar con la calibración, se debe revisar que el equipamiento patrón a utilizar, esté dentro del periodo de validez de calibración, según lo definido en los registros RT03-F44 y RT03-F22.
- El equipo a calibrar-RVC debe estar limpio para no tener interferencias en el proceso de calibración.
- El líquido usado para la calibración es el suministrado por la red de agua potable.
- Si hay pérdida de líquido en la transferencia del RVP al RVC, se debe reiniciar el ciclo.
- En la hoja de cálculo se contemplan los factores de corrección a los que haya lugar.
- Como separador decimal el laboratorio opta por usar la coma (,).
- Para la verificación de la escala se usa el intervalo de $\pm 10 \text{ in}^3$ o el $\pm 1 \%$, cuando aplique, teniendo como referencia el punto cero de la escala.
- Para tomar la lectura del volumen en el RVP y RVC, se observa el menisco que se forma en el visor. Para evitar el error de paralaje se debe leer el menisco en su punto más bajo. Ver figura 1.

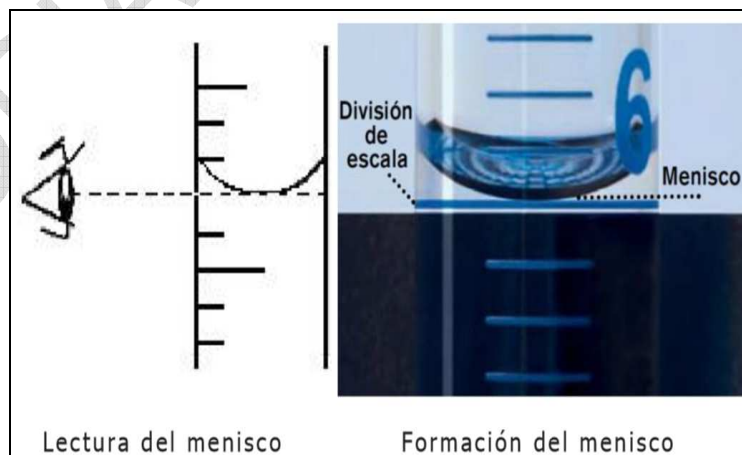


Figura 1. Visión en paralelo del menisco

- Antes de realizar la calibración se tienen en cuenta los siguientes tiempos:

| Equipamiento | Tiempo de respuesta a solicitud de calibración | Tiempo de calibración | Tiempo de entrega de certificado de calibración |
|----------------------------------|--|-----------------------|--|
| Recipiente volumétrico 5 galones | 15 días hábiles | Máximo 3 días hábiles | 2 días hábiles después de finalizados los 3 días de la calibración |

Nota 1:

- La asignación al metrólogo se realiza a través del correo electrónico y/o por SIC CALIBRA, teniendo en cuenta la Programación de equipos a calibrar (magnitudes en masa (pesas, Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático) y volumen) RT03-F21.
- Una vez termine la calibración, limpiar el tubo visor del RVP y el RVC.

5.1 EQUIPAMIENTO

Los equipos, instrumentos y accesorios usados en el laboratorio para realizar la calibración de los recipientes volumétricos, son los siguientes:

5.1.1 Equipamiento patrón

- Recipiente volumétrico patrón (RVP)
- Termómetros
- Termohigrómetro
- Pipeta

5.1.2 Equipamiento auxiliar

- Mesa de planitud
- Cronómetro
- Pie de rey
- Probeta

5.2 ACCESORIOS E IMPLEMENTOS

Precinto, perilla sopladora, pipeteador, bayetilla, balde, cepillos, churruscos, desengrasante, detergentes, guantes, herramientas manuales, linterna, lupa, mesa hidráulica y toallas de papel.

6. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO

| No. | ETAPAS | ENTRADAS | DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA | RESPONSABLE | SALIDAS |
|-----|---|--|--|--|--|
| 1 | RECEPCIONAR Y REVISAR EL ESTADO DEL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO (RVC) | Solicitud de calibración de equipos RT03-F08 y/o SIC CALIBRA RVC | Comprende las siguientes actividades: - Recepcionar y revisar el estado del recipiente volumétrico. - Realizar prueba de fugas. | Responsable de dirección técnica y/o Suplente Responsable de la calibración | Lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03-F09 Informe de recipientes volumétricos no aptos RT03-F17 |
| 2 | SELECCIONAR EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN, REALIZAR EL PREMOJADO DEL RVP Y DEL RVC | Lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03-F09 diligenciada Patrones de trabajo RVP RVC | Comprende las siguientes actividades: - Seleccionar el instrumento de medición - Realizar comprobación funcional del equipamiento - Llenar el RVP. - Verter el contenido del RVC. - Realizar ajuste y lectura de menisco del RVP. | Responsable de la calibración | Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos RT03-F11 diligenciada |
| 3 | CALIBRAR EL CUERPO DEL RVC | Patrones de trabajo RVP y RVC Hoja de cálculo de recipientes volumétricos RT03-F11 con registro de datos | Comprende las siguientes actividades: - Calibrar el cuerpo del RVC. - Ajustar la escala. - Calibrar el cuerpo después de ajuste de la escala. - Verificar la escala. | Responsable de la calibración | Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos RT03-F11 diligenciada |

| No. | ETAPAS | ENTRADAS | DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA | RESPONSABLE | SALIDAS |
|-----|---|---|--|---|---|
| 4 | CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS REGISTRADOS DE LA INCERTIDUMBRE DEL RVC | Hoja de cálculo de recipientes volumétricos RT03-F11 con registro de datos | <p>Comprende las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calcular y analizar los datos registrados. - Generar los resultados de la calibración del RVC. | Responsable de la calibración | Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos RT03-F11 diligenciada |
| 5 | CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS DE LA INCERTIDUMBRE DE LA ESCALA | Hoja de cálculo de recipientes volumétricos RT03-F11 con registro de datos | <p>Comprende las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calcular y analizar los datos de la incertidumbre de la escala. - Generar los resultados de la verificación de la escala. - Identificar el recipiente volumétrico calibrado y precintarlo. - Elaborar y enviar certificado de calibración. | Responsable de la calibración | Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos RT03-F11 diligenciada |
| 6 | REVISAR, AUTORIZAR Y ENTREGAR EL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Y EL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO CALIBRADO | <p>Recipiente volumétrico calibrado</p> <p>Lista de chequeo para recepción de equipos a calibrar RT03-F09 Con registro de datos</p> | <p>Comprende las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revisar el certificado de calibración por el responsable de la dirección técnica (sustituto) y el responsable del SGL, antes de su liberación o emisión. - Entregar el RVC y el certificado de calibración. | Responsable de dirección técnica y/o suplente | <p>Lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03-F09 Totalmente diligenciada</p> <p>Certificado de calibración de recipientes volumétricos RT03-F14</p> <p>Lista de chequeo de certificados</p> |

| No. | ETAPAS | ENTRADAS | DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA | RESPONSABLE | SALIDAS |
|-----|--------|----------|---|-------------|---|
| | | | -Aplicar la encuesta de satisfacción RT03-F07 | | de calibración de recipientes volumétricos RT03-F30 Encuesta de satisfacción de la prestación de servicios de calibración RT03-F07 |

7. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y ACTIVIDADES

7.1 ETAPA 1: RECEPCIONAR Y REVISAR EL ESTADO DEL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO (RVC)

Recepcionar el recipiente volumétrico a calibrar "RVC", en el área especificada para tal fin, teniendo en cuenta las siguientes actividades:

7.1.1 Recepcionar y revisar el estado del recipiente volumétrico

Recepcionar y revisar el estado del RVC, diligenciando el formato RT03-F09, y de observar o detectar (tubo visor roto, hundimiento representativo, entre otros), se realiza lo siguiente:

- Elaborar comunicación y radicarla en el sistema de trámites, teniendo en cuenta el radicado de la solicitud de calibración.
- Devolver el equipo con el informe de no aptas del (RVC) RT03-F17.

Si el (RVC) está en condiciones para calibrar, se continúa con la siguiente actividad.

7.1.2 Realizar prueba de fugas

Llenar el RVC con agua en condiciones de uso, hasta el trazo superior de la escala y dejar en reposo.

Si el RVC presenta fugas, se emite un informe de recipientes volumétricos no aptos RT03-F17 y este se devuelve al usuario, diligenciando el formato RT03-F09.

Si no presenta fugas, continua con la siguiente etapa.

Nota 2: En caso de que presente fugas anexar al informe un registro fotográfico.

Punto de control: revisa el estado del equipo visualmente y a través de la prueba de fugas. Ver registro RT03-F09.

7.2 ETAPA 2: SELECCIONAR EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN, REALIZAR EL PREMOJADO DEL RVP Y DEL RVC

En esta etapa se realizan las siguientes actividades:

7.2.1 Seleccionar el instrumento de medición

El laboratorio para seleccionar el instrumento de medición, realiza lo siguiente:

- Usa un patrón cuya capacidad nominal sea igual a la del RVC con mejor división de escala.
- El error máximo permisible debe ser menor a $\pm 1/2000$ de la capacidad nominal
- El recipiente debe tener una incertidumbre máxima de $1/3$ del EMP.

7.2.2 Realizar comprobación funcional del equipamiento

- Se llena de agua y se verifica que el RVP no tenga fugas.
- Se verifica el funcionamiento de cierre y apertura de la válvula del RVP.
- Para los termohigrómetros y termómetros se verifica que estén encendidos, indicando sus parámetros de funcionamiento.

7.2.3 Llenar el RVP

Verter el líquido del RVP al RVC, realizando el premojado del RVC.

7.2.4 Verter el contenido del RVC

Verter el contenido del RVC en el desagüe, en un tiempo de $60 \text{ s} \pm 10 \text{ s}$, para el vertido y escurrido, registrar los datos en el formato RT03-F11.

Nota 3: Para el tiempo de vertido y escurrido, en lo posible tomar los datos especificados en la placa del fabricante, en caso contrario usar el establecido en este documento.

7.2.5 Realizar ajuste y lectura de menisco del RVP

Llenar con líquido el RVP hasta el punto de indicación de 5 galones, aproximadamente y de sobrar o faltar líquido, se agrega y/o sustrae líquido del RVP, hasta el punto cero (0) de la escala graduada.

Punto de control: revisa que el RVP y el RVC, hayan sido pre humedecidos antes de iniciar, con el fin de homogenizar el agua decantada en el RVC, evidenciándose a través del formato RT03-F11.

7.3 ETAPA 3: CALIBRAR EL CUERPO DEL RVC

Se inicia la calibración del cuerpo del RVC y para ello se realizan las siguientes actividades:

7.3.1 Calibrar el cuerpo del RVC

- Llenar el RVP con agua y desalojar las posibles burbujas.
- Medir la temperatura del líquido en el RVP, ubicando el sensor del termómetro dentro del termopozo destinado para tal fin, hasta que establezca la temperatura, y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Realizar ajuste y lectura del menisco en el RVP, hasta el trazo que indica cero (0), evitando error de paralaje.
- Verter el contenido del RVP en el RVC, tomando el tiempo de vertido y escurrido, evitando pérdida de líquido en la transferencia, finalmente abrir y cerrar la válvula, para desalojar posibles residuos de agua y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Desalojar posibles burbujas del RVC, por medio de semi-giros y golpes suaves con la mano.
- Realizar lectura del menisco en el RVC evitando error de paralaje.
- Verificar si el menisco está en cero, si el menisco no está en cero, se utiliza la "IP" de vidrio para adicionar o sustraer ΔV y así ubicar el menisco justo frente al trazo de la escala que indica cero en el RVC, y registrar los datos en el formato RT03-F11.

Si el menisco se encuentra en cero se continua con el siguiente paso.

- Medir la temperatura en el RVC, ubicando el sensor del termómetro aproximadamente en el centro del cuerpo del recipiente, y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Verter el contenido del RVC en el desagüe, en un tiempo de $60 \text{ s} \pm 10 \text{ s}$, o el especificado por el fabricante del equipo, para el vertido y escurrido a partir de la interrupción del caudal y registrar los datos en el formato RT03-F11.

Nota 4:

- Repetir 3 veces los pasos mencionados anteriormente (desde calibración del cuerpo antes de ajuste de la escala).
- En el último ciclo no verter el contenido del RVC en el desagüe y continuar con la siguiente actividad.
- Si el resultado de la calibración del RVC con su incertidumbre de medición están por fuera de la probabilidad de conformidad definida por el laboratorio se procede a realizar ajuste de la capacidad del RVC, previa autorización del usuario a través de la lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03-F09, en el momento de recepcionar equipo a calibrar.

7.3.2 Ajustar la escala

Se realizan los siguientes pasos:

- Retirar el precinto del RVC en caso de que este lo tenga.
- Desplazar la escala del RVC para ajustarla a la capacidad del RVP.

Nota 5: Si hay ajuste de escala, se menciona en el certificado RT03-F14

7.3.3 Calibrar el cuerpo después de ajuste de la escala

- Llenar el RVP con agua en condiciones de uso y desalojar las posibles burbujas.
- Medir la temperatura del líquido en el RVP, ubicando el sensor del termómetro dentro del termopozo para tal fin del RVP, hasta que estabilice la temperatura y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Realizar ajuste y lectura del menisco en el RVP, hasta el trazo que indica cero (0), evitando error de paralaje y registrar los datos en el formato RT03-F11.

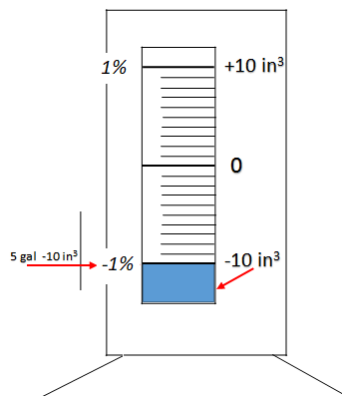
- Verter el contenido del RVP en el RVC, tomando el tiempo de vertido y escurrido, evitando pérdida de líquido en la transferencia y finalmente abrir y cerrar la válvula, para desalojar posibles residuos de agua y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Desalojar posibles burbujas del RVC por medio de semi-giros y golpes suaves con la mano.
- Realizar lectura del menisco en el RVC evitando error de paralaje.
- Medir la temperatura en el RVC, ubicando el sensor del termómetro aproximadamente en el centro del cuerpo y registrar los datos en el formato RT03-F11.
- Verter el contenido del RVC en el desagüe, en un tiempo de $60 \text{ s} \pm 10 \text{ s}$, o el especificado por el fabricante del equipo, para el vertido y escurrido, a partir de la interrupción del caudal y registrar los datos en el formato RT03-F11.

Nota 6:

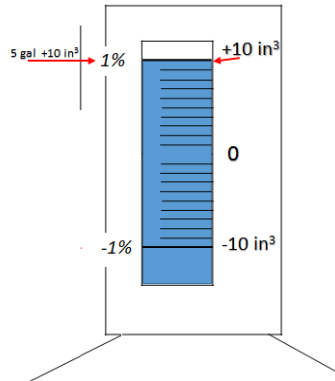
- Repetir 3 veces los pasos mencionados anteriormente.
- Desalojar burbujas en cada ciclo.

7.3.4 Verificar la escala

- Ubicar el menisco del RVC justo frente al trazo que indique -10 in^3 o el -1% , evitando error de paralaje.



- Anexar líquido con un Vsp graduado y calibrado al RVC, justo hasta el trazo que indique $5 \text{ gal} +10 \text{ in}^3$ o el $+1 \%$, evitando error de paralaje.



- Realizar lectura del menisco evitando error de paralaje.

Nota 7:

- Repetir los pasos para verificar escala 3 veces.
- Retirar el precinto del RVC en caso de que este lo tenga y precintarlo el RVC

Punto de control: Revisa los datos registrados de la calibración estén totalmente diligenciados en el formato RT03-F11.

7.4 ETAPA 4: CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS REGISTRADOS DE LA INCERTIDUMBRE DEL RVC

Registrar los datos obtenidos de las calibraciones en el formato RT03-F11, teniendo en cuenta las siguientes actividades:

7.4.1 Calcular y analizar los datos registrados

Con base en los resultados obtenidos de las calibraciones, calcular, analizar y registrar los datos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Calcular el coeficiente cúbico de expansión térmico del agua, teniendo en cuenta la guía Euramet/cg-21, numeral 3.13, ecuación 1:

$$\beta = (-0,1176 * t^2 + 15,846 * t - 62,677) * 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

Donde

$$t = \frac{t_{RS} + t_{SCM}}{2}$$

t_{RS}: temperatura medida en el recipiente patrón (RVP).

t_{SCM}: temperatura medida en el recipiente bajo calibración (RVC).

- Identificar el coeficiente cúbico de expansión térmica de los materiales según la tabla 1 del numeral 3.14 de la guía Euramet/cg-21
- Calcular V_t teniendo en cuenta la ecuación 3, numeral 5 de la guía Euramet/cg-21:

$$V_t = V_0 [1 - \gamma_{RS} (t_{ORS} - t_{RS}) + \beta(t_{SCM} - t_{RS}) + \gamma_{SCM} (t - t_{SCM})]$$

- Promediar los valores de V_t , teniendo en cuenta el delta Δ de volumen:

$$\bar{V}_t + (\pm \Delta V_i)$$

En donde:

ΔV_i Es el volumen de líquido conocido que se adiciona o extrae del RVC para llevarlo a su marca nominal.

$$\bar{V}_t = \sum_{n=1}^n V_{t_i + (\pm \Delta V_i)}$$

- Calcular la desviación estándar, teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$s^2(V_t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{t_i + (\pm \Delta V_i)} - \bar{V}_t)^2$$

- Efectuar correcciones por temperatura.
- Calcular los coeficientes de sensibilidad respecto al volumen de referencia del (RVP), teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones de la Euramet/cg-21, numeral 6.3.4.:

Respecto al patrón de referencia (RVP), numeral 6.3.4.1, ecuación 15

$$\frac{\partial V_t}{\partial V_0} = [1 - \gamma_{RS} (t_{ORS} - t_{RS}) + \beta(t_{SCM} - t_{RS}) + \gamma_{SCM} (t - t_{SCM})]$$

Respecto a la temperatura del líquido en el (RVP), numeral 6.3.4.2, ecuación 16

$$\frac{\partial V_t}{\partial t_{RS}} = \left[V_0 (\gamma_{RS} - \beta) \right]$$

Respecto a la temperatura del líquido en el (RVC), numeral 6.3.4.3, ecuación 17

$$\frac{\partial V_t}{\partial t_{SCM}} = \left[V_0 (\beta - \gamma_{SCM}) \right]$$

Respecto al coeficiente cúbico de expansión térmico del material del (RVP), numeral 6.3.4.4, ecuación 18

$$\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{RS}} = \left[-V_0 (t_{ORS} - t_{RS}) \right]$$

Respecto al coeficiente cúbico de expansión térmica del material del (RVC), numeral 6.3.4.5, ecuación 19

$$\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{SCM}} = \left[V_0 (t_{OSCM} - t_{SCM}) \right]$$

Respecto al coeficiente cúbico de expansión térmica del agua, numeral 6.3.4.6, ecuación 20

$$\frac{\partial V_t}{\partial \beta} = \left[V_0 (t_{SCM} - t_{RS}) \right]$$

Respecto a la lectura del menisco, numeral 6.3.4.7, ecuación 21

$$\frac{\partial V_t}{\partial \delta V_{men}} = 1$$

Respecto a la repetibilidad de las mediciones, numeral 6.3.4.8, ecuación 22

$$\frac{\partial V_t}{\partial \delta V_{rep}} = 1$$

Respecto a los factores adicionales, numeral 6.3.4.9, ecuación 23

$$\frac{\partial V_t}{\partial \delta V_{add}} = 1$$

- Calcular el presupuesto de incertidumbre tipo A, por repetibilidad, numeral 6.3.3.8, ecuación 14

$$u(\delta V_{\text{rep}}) = \frac{s(V_t)}{\sqrt{n}}$$

- Calcular la contribución a la incertidumbre para la calibración de RVP que está dada por la ecuación 5 del numeral 6.3.3.1:

$$U_{\text{cal}}(V_0) = \frac{U_{\text{cal}}(V_0)}{k}$$

Dónde:

$U_{\text{cal}}(V_0)$ Es la incertidumbre de medición expandida del RVP reportada en el último certificado de calibración.

“k” es el factor de cobertura.

- Calcular la diferencia de valores de referencia entre calibraciones consecutivas del RVP, según la guía Euramet/cg-21, numeral 6.3.3.1, ecuación 7

$$u_{\text{drift}}(V_0) = \frac{\delta_{\text{drift}}(V_0)}{\sqrt{12}}$$

La incertidumbre estándar para el RVP se expresa de la siguiente manera, según la guía Euramet/cg-21, ecuación 8 del numeral 6.3.3.1:

$$u(V_0) = \sqrt{u_{\text{cal}}^2(V_0) + u_{\text{drift}}^2(V_0)}$$

- Calcular la incertidumbre estándar de la “temperatura del agua” para el RVP, según la guía Euramet/cg-21, numeral 6.3.3.2, ecuación 9

$$u(t_{\text{RS}}) = \sqrt{[u_{\text{cal}}^2(t_{\text{RS}}) + u_{\text{drift}}^2(t_{\text{RS}}) + u^2 \Delta_t(t_{\text{RS}})]}$$

- Hallar la componente de incertidumbre por repetibilidad del método $u(\delta_{mr})$

Este dato se obtiene del análisis estadístico de varianza de un objeto retenido.

- Hallar incertidumbre combinada aplicando ley de propagación de incertidumbres, teniendo en cuenta lo definido en la guía Euramet/cg-21, numeral 6.3.5, ecuación 24:

$$u^2(V_t) = \sum_i \left[\frac{\partial V_t}{\partial x_i} * u(x_i) \right]^2$$

Ecuación 25

$$u(V_t) = \left[\left(\frac{\partial V_t}{\partial V_0} \right)^2 * (u(V_0))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial t_{RS}} \right)^2 * (u(t_{RS}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial t_{SCM}} \right)^2 * (u(t_{SCM}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{RS}} \right)^2 * (u(\gamma_{RS}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{SCM}} \right)^2 * (u(\gamma_{SCM}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \beta} \right)^2 * (u(\beta))^2 + (u(\delta V_{men}))^2 + (u(\delta V_{rep}))^2 + (u(\delta V_{add}))^2 \right]^{1/2}$$

Nota 8: Para calcular la incertidumbre combinada $u^2 V_t$ para el recipiente volumétrico, se le adiciona la componente de incertidumbre por repetibilidad del método $u^2_{(\delta_{mr})}$

- Hallar la incertidumbre expandida, teniendo en cuenta lo definido en la guía Euramet/cg-21, numeral 6.3.8, ecuación 27:

$$U = k * u(V_t)$$

- Calcular las incertidumbres adicionales, teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$V_t = V_0 [1 - \gamma_{RS} (t_{ORS} - t_{RS}) + \beta (t_{SCM} - t_{RS}) + \gamma_{SCM} (t - t_{SCM})] + u\delta V_{men} + u\delta V_{rep} + u\delta V_{add}$$

Dónde:

$$u(\delta V_{men}) = \frac{u_p * E}{\sqrt{3}} \text{ numeral 7.3.7, Euramet cg-19. 3.0 (09/2018)}$$

$$u(\delta V_{men}) = \frac{u_p * E}{\sqrt{3}} \text{ donde } E = A = \frac{(\pi * D)^2}{4}$$

$u_p = 0,005 \text{ cm}$ (aplica para el RVP)

$$u(\delta V_{men}) = \frac{u_p * E}{\sqrt{3}} = \frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{2} * h + \frac{\pi D_2^2}{2} * h \right)}{\sqrt{3}} \text{ (Aplica para el RVC)}$$

Dónde:

D_1 : diámetro interno del tubo calibración del RVC

D_2 : diámetro interno del cuello del RVC

h : altura de la línea o la incertidumbre lectura del menisco

Incertidumbre por repetibilidad

$$u(\delta V_{\text{rep}}) = \frac{s(V_t)}{\sqrt{n}}$$

$u\delta V_{\text{add}}$: la incertidumbre estándar para las contribuciones adicionales puede ser expresada como el 0,01%, multiplicada por el volumen calculado del RVC o se puede aplicar la tabla 2, del numeral 6.3.3.9 de la guía Euramet/cg-21,

7.4.2 Generar los resultados de la calibración del RVC

Generar los resultados de calibración del RVC indicados en el formato RT03-F11.

Punto de control: revisa los datos obtenidos como resultado de la calibración, a través del formato RT03-F11.

7.5 ETAPA 5: CALCULAR Y ANALIZAR LOS DATOS DE LA INCERTIDUMBRE DE LA ESCALA

Los datos obtenidos de la incertidumbre de la escala, se realizan las siguientes actividades:

7.5.1 Calcular y analizar los datos de la incertidumbre de la escala

Los datos se calculan y analizan teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Promedios.
- Desviación estándar.
- Coeficientes de sensibilidad.
- Presupuesto de incertidumbre
- Resultados

Para realizar este análisis se tiene en cuenta los siguientes cálculos:

- Promediar los valores del volumen suministrado por el V_{sp} mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_{\text{sp}} = \sum_{n=1}^n V_{\text{sp}_i} + (\pm \Delta V_{\text{sp}_i})$$

- Hallar la desviación estándar, teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$s^2 (V_{sp}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{spi} - \bar{V}_{sp})^2$$

- Calcular el coeficiente de sensibilidad teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial D}{\partial V_{\max}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\partial D}{\partial V_{\min}} = -\frac{1}{n}$$

$$\frac{\partial D}{\partial V \Delta_{\max \text{lectura}}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\partial D}{\partial V \Delta_{\min \text{lectura}}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\partial D}{\partial V D_{\text{inhom}}} = 1$$

$$\frac{\partial D}{\partial V D_{\text{método}}} = 1$$

- Calcular el presupuesto de incertidumbre, teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

Por certificado

$$u_{\text{cal}}(V_{\max}) = \frac{U_{(V_{sp})}}{k}$$

Calibración de instrumento probeta (V_{sp})

$$u(V_{\min}) = \sqrt{\left[u_{\text{cal}}^2(V_{sp}) + \frac{u_{E_{\max} - E_{\min}}^2(\text{Inter})}{\sqrt{12}} \right]}$$

Fórmula para Interpolación adicional.

$$x = \frac{(V_{\max \text{cert}} - V_{\min \text{cert}})(V_{\text{ind}} - V_{\text{indmin}}) + V_{\min \text{cert}}}{V_{\text{indmax}} - V_{\text{indmin}}}$$

$$u = \left| \frac{E_{\max} - E_{\min}}{\sqrt{12}} \right|$$

Incertidumbre de delta por volumen máximo.

$$u = (\Delta V_{\max}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{D}{n} \right)$$

D= división de escala

Incertidumbre de delta por volumen mínimo.

$$u = (\Delta V_{\min}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{D}{n} \right)$$

Incertidumbre de delta por volumen por Inhomogenidad.

$$u = (\Delta V_{\text{incho}}) = \frac{\left(\frac{h_{\max} - h_{\min}}{h_{\max}} \right)}{\sqrt{12}} * D$$

Incertidumbre de delta por volumen por el método.

$$u = (\Delta V_{\text{metodo}}) = \frac{s(D_{\text{promedio}})}{\sqrt{n}}$$

Incertidumbre Combinada.

$$u_D(V_{sp}) = \sum_i \left[\frac{\partial V_{sp}}{\partial x_i} * u(x_i) \right]^2$$

Identificar la Incertidumbre Dominante.

La cual se obtiene del mayor valor entre las Incertidumbres Tipo A y Tipo B,

$$\text{Si } \frac{\sqrt{\sum_i (\text{Tipo A})^2 + (\text{Tipo B})^2}}{u_{\text{cal}}} = \begin{cases} \leq 0.3 \\ \geq 0.3 \end{cases}$$

Si ≤ 0.3 , entonces se asume un factor k de cobertura $k = 1.65$.

Si ≥ 0.3 , entonces el factor de cobertura $k = 2$, para un nivel de confianza del 95%.

7.5.2 Generar los resultados de la verificación de la escala

Obtenidos los resultados de la verificación de la escala, se registran los datos en el formato RT03-F11.

7.5.3 Identificar el recipiente volumétrico calibrado y precintarlo

El responsable de la calibración, identifica el RVC a través de una estampilla, donde se menciona fecha de calibración y número de certificado, los cuales deben coincidir con el certificado emitido, así mismo se precinta la escala del RVC.

7.5.4 Elaborar y enviar certificado de calibración

Terminada la calibración, el responsable de la calibración, elabora el certificado de calibración, envía al responsable de la dirección técnica y al responsable del sistema de gestión, a través de correo electrónico institucional y/o SIC CALIBRA la siguiente información:

1. Documento en PDF, que contenga registro fotográfico del ítem (cuando aplique): serie, modelo, fabricante, código interno, precinto y la estampilla de calibración.
2. Hoja de cálculo (RT03-F11) en excel y certificado de calibración RT03-F14. junto a sus complementos debidamente diligenciados.

Nota 9:

- La lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03- F09, se debe entregar físicamente y/o SIC CALIBRA.

Punto de control:

Revisa los datos obtenidos, como resultado de la calibración a través de los formatos: RT03-F09, RT03-F11 y RT03-F14.

Verifica que coincida el certificado de calibración RT03-F14 con:

- la estampilla que contenga: la fecha y número de certificado de calibración.
- Precinto número.

7.6 ETAPA 6. REVISAR, AUTORIZAR Y ENTREGAR EL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Y EL RECIPIENTE VOLUMÉTRICO CALIBRADO

Para el desarrollo de la etapa, se realizan las siguientes actividades:

7.6.1 Revisar el certificado de calibración por el responsable de la dirección técnica (sustituto) y el responsable del SGL, antes de su liberación o emisión:

El responsable de la Dirección Técnica junto al responsable del SGL revisa la siguiente información:

- Solicitud de calibración
- Respuesta a la calibración
- Comunicaciones emitidas por el usuario (si las hay)
- Lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03- F09
- Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos, RT03-F11.
- Certificado de calibración de recipientes volumétricos, RT03-F14.
- Documento en PDF, que contenga registro fotográfico del ítem (cuando aplique): serie, modelo, fabricante, código interno, precinto y la estampilla de calibración.

- Criterios del ONAC

Reglamento de uso de los símbolos de acreditado y/o asociado RAC-3.0-03, versión vigente.

Criterios específicos para la estimación y declaración de la incertidumbre de medición en la calibración CEA-3.0-06, versión vigente.

Criterios específicos de acreditación – trazabilidad metrológica CEA-3.0-02, versión vigente.

- Criterios del documento Guía Euramet cg- 21.

- Criterios definidos en la norma NTC ISO/IEC 17025, versión vigente:

Título (ejemplo: “Certificado de calibración”)

Certificado No: Identificación única del certificado de calibración y en cada página una identificación para asegurar que la página es reconocida como parte del certificado de calibración, la identificación del certificado es LCV-XXX-XX, donde:

- LCV: L hace referencia al laboratorio, C hace referencia a Calibración y V hace referencia a la sigla del instrumento (volumen) bajo calibración;
- XXX: número del certificado, consecutivo que inicia desde 001 para cada año;
- XX: los dos últimos dígitos del año en que se calibra.

Información del cliente: solicitante, dirección, ciudad del usuario que realizó la solicitud.

Fecha de recepción: fecha en que el usuario entrega el equipo a calibrar y debe coincidir con el formato RT03-F09.

Fecha de calibración: fecha en que se ejecutó la calibración

- 1. Información del equipo sometido a calibración:** objeto, fabricante, número de serie, modelo, material de construcción, capacidad nominal, división de escala nominal y tipo visor.
- 2. Lugar y dirección de calibración:** nombre y dirección del laboratorio
- 3. Código Interno:** LCV seguido del número de radicado según la solicitud de calibración (sin número de consecutivo)
- 4. Método de calibración utilizado:** Identificación del método utilizado
- 5. Condiciones ambientales:** condiciones ambientales máximas y mínimas promedio corregidas en el laboratorio durante la calibración: temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. En caso de que se ajuste el RVC, las condiciones ambientales a reportar son las registradas después de ajuste.
- 6. Incertidumbre de medición**
- 7. Trazabilidad metrológica:** describir los patrones utilizados en la calibración: instrumento, fabricante, intervalo de medida, No. de serie, trazabilidad.
- 8. Resultados de la calibración:** resultado de calibración (antes de ajuste y después de ajuste) con sus unidades de medida: temperatura de referencia, capacidad nominal, capacidad del RVC con respecto al RVP, incertidumbre $\pm U$, $|E|$ y cumple.

Cuenta con el siguiente mensaje:

“La declaración de conformidad se aplica teniendo en cuenta el error más la incertidumbre de medición, la cual no deberá superar los errores máximos permitidos (EMP), según lo definido en la OIML R 120:2010, numeral 2.2.2.2”

La regla de decisión se aplica cuando:

$$|E|+U \leq EMP = \text{CUMPLE}$$

Dónde:

$|E|$ = error

U = incertidumbre expandida

EMP = error máximo permitido

- Para efectos de establecer si cumple o no, se toma en cuenta que el laboratorio definió un nivel de riesgo del 2,5% derivado de la regla de decisión, que corresponde a sólo una de las dos colas de la distribución de probabilidad de la incertidumbre expandida. (Ver probabilidad de conformidad y no conformidad en el formato RT03-F11)

9. Se ajustó la escala.

La escala fue verificada (si o no)

10. Observaciones.

Firmas autorizadas: cargo, nombre y firma de los servidores públicos y/o contratistas que autorizan el certificado de calibración: el responsable de la Dirección técnica o su suplente son los encargados de revisar y autorizar a través de su firma la emisión del certificado.

Calibrado por: cargo, nombre y firma de los servidores públicos y/o contratistas que realizan las calibraciones

Fecha de elaboración

Fecha de emisión

Fin de este documento

Si el certificado de calibración está conforme continúa con la siguiente actividad.

Si se presentan trabajos no conformes-TNC, se registra un comentario sobre el trabajo no conforme identificado en el certificado de calibración y en el formato RT03-F30, en las celdas a las que haya lugar y se procede a:

- Sombrear la casilla en rojo en caso de que se presente trabajo no conforme (según lo definido en el procedimiento RT03-P01)
- Realizar un comentario en la celda identificando el trabajo no conforme
- Devolver al responsable de la calibración el certificado de calibración, para que realice los respectivos ajustes, a través de correo electrónico institucional.

Se repite esta actividad hasta que se encuentre a satisfacción (tener en cuenta el procedimiento RT03-P01).

Si se presentan errores de ortografía al momento de la revisión se corrigen.

Nota 10:

- Todos los responsables de revisión (responsable de la calibración, responsable de la dirección técnica (suplente) y responsable del sistema de gestión, deben revisar cada uno de los criterios).
- Si se identifica un trabajo no conforme, este se socializa semanalmente con todo el personal del laboratorio (ver procedimiento de trabajo no conforme).

Efectuados los ajustes, se procede a:

- Aprobar y emitir el certificado de calibración.
- Finalizar el trámite a través de comunicado por sistema de trámites.
- Crear carpeta con número de radicado y número de certificado según corresponda (bloqueada), la cual debe contener:
 1. Solicitud de calibración
 2. Respuesta a solicitud de calibración
 3. Lista de chequeo: contiene el registro “lista de chequeo para recepción y entrega de equipos RT03- F09 firmado y escaneado”, incluido el registro fotográfico.
 4. Certificado de calibración:
Hoja de cálculo (RT03-F11) en Excel bloqueada;
certificado de calibración RT03-F14 en Excel bloqueada;
certificado de calibración RT03-F14 en pdf firmado;
 5. Cierre de la solicitud de calibración: comunicación radicada para entrega del certificado y el recipiente volumétrico.
 6. Encuesta de satisfacción
 7. Comunicaciones emitidas por usuario (si aplica)
 8. Comunicaciones emitidas por el laboratorio (si aplica)
 9. Modificación al certificado de calibración (si aplica)
 10. TNC (si aplica)

7.6.2 Entregar el RVC y el certificado de calibración

El responsable de la Dirección Técnica y/o suplente, entregan al usuario:

- Certificado de calibración de recipientes volumétricos RT03-F14;

- el recipiente volumétrico calibrado-RVC;
- estampilla de calibración;
- precinto de la escala

Se verifica y registra el estado del recipiente volumétrico, el certificado y la estampilla, dejando como soporte la información de lo entregado y el nombre del usuario a través del formato RT03-F09.

7.6.3 Aplicar la encuesta de satisfacción RT03-F07

El responsable de la Dirección Técnica y/o suplente, entregan la encuesta de satisfacción de la prestación de los servicios de calibración RT03-F07 y se realiza mediante los siguientes medios: Correo electrónico y/o físicamente entre otros, trimestralmente se recopilan los datos obtenidos por el responsable del SGL, el cual hace seguimiento, con el fin de medir y analizar el indicador satisfacción.

Punto de control: revisa que el certificado de calibración RT03-F14, esté acorde a:

- Solicitud de calibración RT03-F08, comunicaciones emitidas por y al usuario, a través del sistema de trámites.
- Lista de recepción y entrega de equipos RT03-F09 y el registro fotográfico.
- Hoja de cálculo de calibración

Como evidencia de dicha revisión se cuenta con el registro RT03-F30

8. DOCUMENTOS RELACIONADOS

| | |
|----------|--|
| RT03-F07 | Encuesta de satisfacción de la prestación de los servicios de calibración |
| RT03-F08 | Solicitud de calibración de equipos |
| RT03-F09 | Lista de chequeo para recepción y entrega de equipos |
| RT03-F11 | Hoja de cálculo para calibración de recipientes volumétricos |
| RT03-F14 | Certificado de calibración de recipientes volumétricos |
| RT03-F17 | Informe de recipientes volumétricos no aptos para calibrar |
| RT03-F21 | Programación de equipos a calibrar (magnitudes en pesas, instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático-IPFNA, volumen). |
| RT03-F22 | Programa de control de mantenimiento comprobaciones intermedias y calibración del equipamiento |

- RT03-F30 Listado de chequeo de certificados de calibración y modificación de los certificados de calibración de recipientes volumétricos.
- RT03-F44 Intervalos de calibración y gráficos de control

9. ANEXOS

ANEXO 1 Resumen hoja de cálculo con las componentes a la incertidumbre

10. RESUMEN CAMBIOS RESPECTO A LA ANTERIOR VERSIÓN

- Modificación parcial de los siguientes numerales: 1, 4, 5, 6, 7.4.1, 7.5.1, 7.5.4 y 7.6.
- Inclusión de SIC CALIBRA en el glosario
- Modificación del nombre de la etapa 2.
- Inclusión de las actividades 7.2.1 y 7.2.2.
- Inclusión de ítem en la nota 4.

Fin documento

ANEXO 1: Resumen hoja de cálculo con las componentes a la incertidumbre

| Componente de incertidumbre estándar $u(x_i)$ | Fuente de incertidumbre | incertidumbre estándar $u(x_i)$ | Distribución de probabilidad |
|---|---|--|------------------------------|
| $\mu(V_0)$ | Calibración del RVP | $U_{\text{cal}}(V_0) = \frac{U_{\text{cal}}(V_0)}{k}$ | normal |
| $\mu_{\text{deriva}}(V_0)$ | Deriva del RVP | $\mu_{\text{deriva}}(V_0) = \frac{\delta_{\text{deriva}}(V_0)}{\sqrt{12}}$ | rectangular |
| $\mu_{\text{cal}}(t_{\text{RS}})$ | Calibración termómetro del agua en el RVP | $U_{\text{cal}}(t_{\text{RS}}) = \frac{U_{\text{cal}}(t_{\text{RS}})}{k}$ | normal |
| $\mu_{\text{res}}(t_{\text{RS}})$ | Resolución termómetro del agua en el RVP | $\mu_{\text{res}}(t_{\text{RS}}) = \frac{\delta t_{\text{RS}}}{\sqrt{12}}$ | rectangular |
| $\mu_{\text{deriva}}(t_{\text{RS}})$ | Deriva termómetro del agua en el RVP | $\mu_{\text{deriva}}(t_{\text{RS}}) = \frac{\delta_{\text{deriva}}(t_{\text{RS}})}{\sqrt{12}}$ | rectangular |
| $\mu\Delta t(t_{\text{RS}})$ | Gradientes de temperatura en el RVP | $\mu\Delta t(t_{\text{RS}}) = \left(\frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{\sqrt{12}}\right)$ | rectangular |
| $\mu_{\text{cal}}(t_{\text{SCM}})$ | Calibración termómetro del agua en el RVC | $U_{\text{cal}}(t_{\text{SCM}}) = \frac{U_{\text{cal}}(t_{\text{SCM}})}{k}$ | normal |
| $\mu_{\text{res}}(t_{\text{SCM}})$ | Resolución termómetro del agua en el RVC | $\mu_{\text{res}}(t_{\text{SCM}}) = \frac{\delta t_{\text{SCM}}}{\sqrt{12}}$ | rectangular |
| $\mu_{\text{deriva}}(t_{\text{SCM}})$ | Deriva termómetro del agua en el RVC | $\mu_{\text{deriva}}(t_{\text{SCM}}) = \frac{\delta_{\text{deriva}}(t_{\text{SCM}})}{\sqrt{12}}$ | rectangular |
| $\mu\Delta t(t_{\text{SCM}})$ | Gradientes de temperatura en el RVC | $\mu\Delta t(t_{\text{SCM}}) = \left(\frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{\sqrt{12}}\right)$ | rectangular |
| $\mu(\gamma_{\text{RS}})$ | Coefficiente cubico de expansión térmica del material del RVP | $\mu(\gamma_{\text{RS}}) = \frac{\gamma_{\text{RS}} * 5\%}{\sqrt{3}}$ | rectangular |
| $\mu(\gamma_{\text{SCM}})$ | Coefficiente cubico de expansión térmica del material del RVP | $\mu(\gamma_{\text{SCM}}) = \frac{\gamma_{\text{SCM}} * 5\%}{\sqrt{3}}$ | rectangular |
| $\mu(\beta)$ | Coefficiente cubico de expansión térmica del agua | $\mu(\beta) = \frac{\beta * 5\%}{\sqrt{3}}$ | rectangular |
| $\mu(\delta V_{\text{menRS}})$ | Lectura del menisco en el RVP | $u(\delta V_{\text{men}}) = \frac{u_p * E}{\sqrt{3}}$ | rectangular |

| Componente de incertidumbre estándar $u(x_i)$ | Fuente de incertidumbre | incertidumbre estándar $u(x_i)$ | Distribución de probabilidad |
|---|--|---|------------------------------|
| $\mu(\delta V_{\text{menSCM}})$ | Lectura del menisco en el RVC | $u(\delta V_{\text{men}}) = \frac{u_p * E}{\sqrt{3}}$ $= \frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{2} * h + \frac{\pi D_2^2}{2} * h\right)}{\sqrt{3}}$ | rectangular |
| $\mu(\delta V_{\text{repetibilidad}})$ | Repetibilidad de las mediciones | $\mu(\delta V_{\text{rep}}) = \frac{s(V_0)}{\sqrt{n}}$ | normal |
| $\mu(\delta V_{\text{add}})$ | Incertidumbres adicionales | $\mu(\delta V_{\text{add}}) = 1.89 \text{ mL}$ | normal |
| Incertidumbre combinada | $\mu(V_t) = \left[\left(\frac{\partial V_t}{\partial V_0}\right)^2 * (u(V_0))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial t_{RS}}\right)^2 * (u(t_{RS}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial t_{SCM}}\right)^2 * (u(t_{SCM}))^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{RS}}\right)^2 * (u(\gamma_{RS}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \gamma_{SCM}}\right)^2 * (u(\gamma_{SCM}))^2 + \left(\frac{\partial V_t}{\partial \beta}\right)^2 * (u(\beta))^2 + u((\delta V_{\text{rep}}))^2 + u((\delta V_{\text{add}}))^2 + u((\delta V_{\text{menSCM}}))^2 \right. \\ \left. + u((\delta V_{\text{menRS}}))^2 \right]^{1/2}$ | | |
| Incertidumbre Expandida | $U = k * \mu(V_t)$ | | |