Instituto de Salud Pública
Ministerio de Salud

Gobierno de Chile

DEPARTAMENTO SALUD AMBIENTAL

SUBDEPARTAMENTO DE METROLOGÍA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

GUÍA DE DIRECTRICES PARA EL BUEN USO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO EN LOS LABORATORIOS DE ENSAYO

GT-M03-751.00 | 2019

Autor:

Departamento de Salud Ambiental
Instituto de Salud Pública de Chile

Comité Técnico de Redacción:

Q.A. Claudia Núñez Cepeda
ICB. Luis Vilugrón González
I.AMB. Marcelo Soto Varas
Mg. Soraya Sandoval Riquelme
Mg. Karina González Navea
TM. Fabiola Rojas Cornejo
Qco. Paola Cornejo Aedo
QF. María Natalia Gutiérrez Vargas

Revisión:

Dra. Isel Cortés Nodarse
Jefe Departamento Salud Ambiental
Instituto de Salud Pública de Chile

Laboratorio Designado de la Red Nacional de Metrología de Chile (RNM),
Sección Metrología Ambiental y de Alimentos
Subdepartamento de Metrología y Desarrollo Tecnológico
Departamento Salud Ambiental
Instituto de Salud Pública de Chile

Santiago de Chile, ISPCH, año 2019

Documentos Técnicos del Instituto de Salud Pública de Chile
Guía Técnica de Metrología N° 3: Guía de directrices para el buen uso de material volumétrico en los laboratorios de ensayo"
GTM-03-751:2019

GUÍA DE DIRECTRICES PARA EL BUEN USO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO EN LOS LABORATORIOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN DE LA PUBLICACIÓN

Esta Guía consolida y actualiza información acerca de requisitos básicos para el correcto uso de material volumétrico común en laboratorios de ensayo (pipetas, buretas, probetas, matraces) referida a la documentación que los acompaña, los pasos para su verificación así como el uso de los mismos incluyendo lavado y secado del material volumétrico.

La información entregada ha sido conformada a partir de la magnitud Volumen, su definición metrológica y su vinculación con la magnitud de cantidad de sustancia, que conforman la tradicionalmente expresión de la concentración, utilizada en laboratorios de ensayos ambientales, conservando un formato sencillo y de fácil comprensión, para facilitar su uso en las actividades rutinarias, resguardando a su vez, los requisitos de trazabilidad metrológica que avalen los resultados entregados.

La Guía se basa en normativas y recomendaciones internacionales, elaboradas por institutos nacionales de metrología.

PROPÓSITO

El propósito de esta guía es contribuir al fortalecimiento de las competencias metrológicas de los laboratorios ambientales que realizan ensayos físico químicos, para los que utilizan materiales volumétricos, entregando directrices, criterios y requisitos para el uso y verificación del material volumétrico común en estos laboratorios así como sugerencias para la estimación de la incertidumbre. Estas indicaciones, a su vez, contribuyen al aseguramiento mínimo de los resultados entregados según lo establecen las normativas específicas y aporta a la formación en herramientas metrológicas para el personal que se desempeña en los laboratorios ambientales incluyendo los laboratorios de salud pública a todo lo largo y ancho de Chile.

El Laboratorio Designado de la Red Nacional de Metrología de Chile (RNM), perteneciente a la Sección de Metrología Ambiental y de Alimentos, del Departamento de Salud Ambiental, Instituto de Salud Pública de Chile, ha realizado esta guía, como parte de sus funciones de laboratorio nacional y de referencia, en el ámbito de bromatología y contaminación ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **5**
ALCANCE DE LA GUÍA **5**
TERMINOLOGÍA Y SÍMBOLOS **5**
ASPECTOS GENERALES **6**
Magnitud Volumen 6
Trazabilidad Metrológica 6
DOCUMENTACIÓN ASOCIADA AL MATERIAL VOLUMÉTRICO **12**
Referencia a la documentación en diferentes normativas 12
ISO 9001:2015 12
ISO 17025:2017 12
ISO 15189:2013 13
Ciclo de Vida de Equipamiento de medición 13
Proceso de compras: 14
Instalación del material 14
Operación 14
Obsolescencia – De Baja 15
Aspectos a lo menos a considerar a registrar 15
Control Visual del Material Volumétrico a considerar. 16
VERIFICACIÓN DE MATERIAL VOLUMÉTRICO **16**
Normas de referencia Material Volumétrico de ajuste IN, “para contener” 16
Recomendaciones para las mediciones con material volumétrico: 17
Identificación de material volumétrico 17
Consideraciones para verificar Material volumétrico: 18
Registro Material volumétrico, consideraciones generales: 19
Factores que afectan la verificación 19
Condiciones Ambientales para verificación. 20
Instrumentos de Medición para verificación. 21
Control Gravimétrico de Pipetas y Buretas Ajustados por Contenido “Ex”: 21
Verificación Gravimétrica de Probetas con Ajuste “In” y Matraces de Aforo 23
Sugerencias para la Estimación de la Incertidumbre de la Medición 24
USO DEL MATERIAL VOLUMÉTRICO **25**
Uso material de vidrio 25
Limpieza de material volumétrico 25
Cuidados y almacenamiento del material de vidrio 26
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **27**
ANEXO A. Tabla de Factor de conversión Z (ml/mg) en función de la temperatura y presión atmosférica del agua grado reactivo. 28

INTRODUCCIÓN

Los materiales volumétricos son indispensables en el trabajo de rutina, que se realiza en los laboratorios de ensayo, especialmente en los laboratorios ambientales y de salud pública. Desempeñan un rol importante y no siempre explicitado en el proceso analítico para obtener la precisión requerida en cada medición, por lo tanto, contribuyen a la calidad de los resultados analíticos obtenidos. Por eso, es importante que el personal que participa de los ensayos conozca las capacidades y requerimientos del material volumétrico según su uso dentro de los ensayos.

La presente guía tiene como objetivo, entregar a los laboratorios de ensayo, una orientación para el correcto uso del material volumétrico de vidrio utilizados en los laboratorios de ensayo para fines analíticos o como parte del proceso de medición.

ALCANCE DE LA GUÍA

El alcance de esta guía tiene relación con los aspectos generales relacionados con el material volumétrico y la magnitud volumen, la documentación asociada para la gestión de material volumétrico y procedimiento de las verificaciones requeridas al material volumétrico, finalizando con el correcto uso, almacenamiento y limpieza de éstos.

TERMINOLOGÍA Y SÍMBOLOS

ASTM: Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials).

BIPM: Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures)

GUM: Guía para la expresión de la incertidumbre (Guide to the Expression of Uncertainty).

g: gramo.

ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).

mg: miligramos.

mL: mililitros.

RNM: Red Nacional de Metrología.

SI: Sistema Internacional de Unidades.

Tolerancia: Valor extremo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado. (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012).

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. (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012).

Resolución: Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente. (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012).

Mensurando: magnitud particular sujeta a medición. (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012).

ASPECTOS GENERALES

Magnitud Volumen

El Sistema Internacional de Unidades (SI) reconoce el **volumen** como una de las magnitudes físicas que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, cuyo símbolo es la letra "V" y corresponde a una unidad derivada coherente expresada en término de unidad base del SI, correspondiente al metro cúbico y su símbolo es "m3", lo anterior de acuerdo a Laboratorio Nacional de Metrología de Costa Rica.

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIMP) declara que también se puede utilizar la unidad litro, unidad aceptada para su uso dentro del SI con el símbolo "L, l" correspondiente a 0,001 m3.

La magnitud básica de la cual se deriva el volumen es longitud, con su unidad el metro, que corresponde a la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo, de acuerdo al BIPM.

Trazabilidad Metrológica

La trazabilidad metrológica es definida como la propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que éstos puedan ser relacionados con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones o calibraciones, donde cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medición.

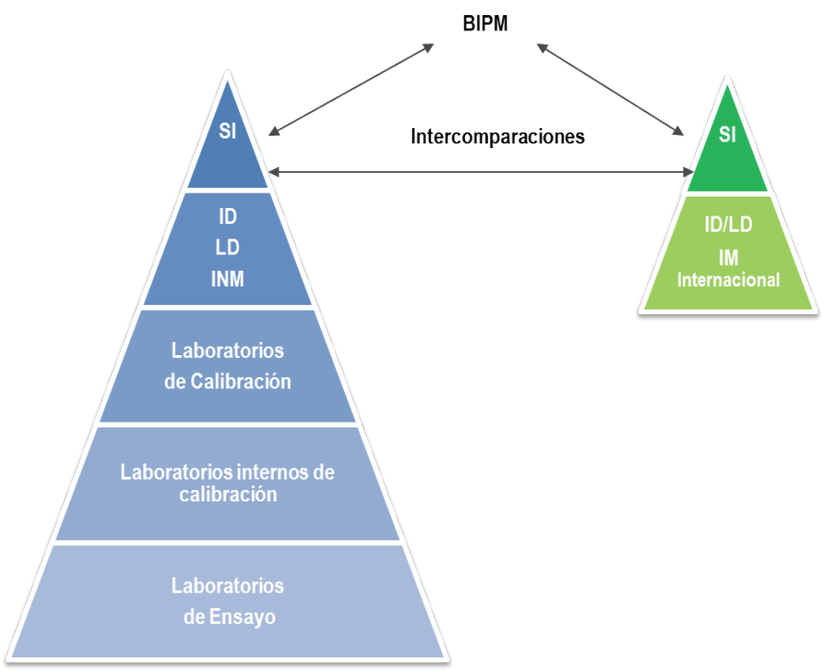


Ilustración 1 Presentación general del concepto de trazabilidad metrológica.

De este modo, la referencia determinada puede ser la definición de una unidad de medida, mediante:

- La realización práctica de un procedimiento de medida que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal.
- Un patrón.

La trazabilidad metrológica para volumen requiere una jerarquía de calibración establecida. La cadena de trazabilidad metrológica es una sucesión de patrones y calibraciones que relacionan un resultado de medida con una referencia, esta se define mediante una jerarquía de calibraciones en cuyo más alto nivel se encuentran los patrones internacionales del SI, y en un nivel inferior los patrones de Chile, que en este caso corresponden a los patrones de temperatura y masa del Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de la Red Nacional de Metrología, quienes dan trazabilidad a la magnitud de volumen de acuerdo a estos patrones calibrados y Materiales de Referencia Internacionales.

Es de vital importancia contar de manera documentada con la trazabilidad metrológica del laboratorio con el fin que ésta pueda ser demostrada de manera objetiva.

La norma ISO 17025:2017 en el punto 6.5 sobre trazabilidad metrológica, define como requerimiento que "el laboratorio debe establecer y mantener la trazabilidad metrológica de los resultados de sus mediciones por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición, vinculándolos con la referencia apropiada". Y a su vez, que el laboratorio debe asegurarse que los resultados de la medición sean trazables al SI, mediante:

- La calibración proporcionada por un laboratorio competente; o
- Los valores certificados de materiales de referencia certificados proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI; o
- La realización directa de unidades del SI aseguradas por comparación, directa o indirecta, con patrones nacionales o internacionales.

Finalmente, la misma norma señala que cuando no sea técnicamente posible la trazabilidad metrológica a unidades del SI el laboratorio debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada, como por ejemplo:

- Valores certificados de materiales de referencia certificados suministrados por un productor competente;
- Resultados de los procedimientos de medición de referencia, métodos especificados o normas de consenso que están descritos claramente y son aceptados, en el sentido de que proporcionan resultados de medición adecuados para su uso previsto y asegurados mediante comparación adecuada.

La norma ISO/IEC 17025:2017, en su Anexo A entrega información adicional sobre la trazabilidad metrológica, sobre:

- Mensurando especifico (magnitud a medir).
- Cadena de trazabilidad.
- Incertidumbre de medición en la cadena de trazabilidad.
- Métodos apropiados al llevar a cabo para cada paso de la cadena de trazabilidad.
- Evidencia de la competencia técnica de los laboratorios que participan en la cadena.

Se debe además tener en consideración, el error de medición sistemático (sesgo) del equipo calibrado cuando debe ser usado para diseminar la trazabilidad metrológica a los resultados de la medición.

Cuando se utilicen patrones de medición que entreguen información de un laboratorio competente que solamente incluye una declaración de conformidad se debe considerar que cuando esta información se desea utilizar para diseminar la trazabilidad metrológica de la medida, debe haber una regla de decisión para esta declaración y los límites de la especificación para dicha regla. De manera que la conformidad declarada con una especificación depende de que el valor medido en un nivel de confianza especificado, incluya el valor verdadero, por lo cual considera un sesgo del valor verdadero con la incertidumbre de la medición.

El objetivo de la trazabilidad de las mediciones es asegurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones. Entendiéndose como confiabilidad, el establecer la validez técnica de los resultados de medición y uniformidad, es decir, mediciones uniformes cuando los resultados son trazables a patrones de referencia que son aceptados como tal y expresados en términos de unidades del SI.

La Norma Chilena NCh ISO 15189:2013 en el punto 5.3.1.4 indica que la Trazabilidad metrológica debe ser a un material o procedimiento de referencia del más alto orden metrológico disponible. Cuando esto no sea posible o pertinente, se deben aplicar otros medios para proporcionar confianza en los resultados, que incluye, pero no limita a lo siguiente:

- Uso de Materiales de Referencia Certificados;
- Examen o calibración mediante otro procedimiento;
- Normas de mutuo consentimiento o métodos que están claramente establecidos, especificados.

La Norma Chilena ISO 9001:2015 en el punto 7.1.5.2, señala que cuando la trazabilidad de las mediciones es un requisito, o es considerada por la organización como parte esencial para proporcionar confianza en la validez de los resultados de la medición, el equipo de medición debe:

- Calibrarse o verificarse, o ambas, a intervalos especificados, o antes de su utilización, contra patrones de medición trazables a patrones de medición internacionales o nacionales; cuando no existan tales patrones, debe conservarse como información documentada la base utilizada para la calibración o la verificación;
- Identificarse para determinar su estado; y
- Protegerse contra ajustes, daño o deterioro que pudieran invalidar el estado de calibración y los posteriores resultados de la medición.

La organización debe determinar si la validez de los resultados de medición previos se ha visto afectada de manera adversa cuando el equipo de medición se considere no apto para su propósito previsto, y debe tomar las acciones adecuadas cuando sea necesario.

a) Tipos de Materiales Volumétricos:

Existen variados tipos de materiales volumétricos, los que se clasifican dependiendo de su exactitud, tipo de medida y tipo de ajuste:

Clasificación de MAteriales volumétricos		
Tipo de Exactitud	A	B
TIpo de Medida de Volumen	De gran Precisión	Volúmenes aproximados
TIpo de Ajuste	In	Ex

Materiales Volumétricos clasificados por exactitud:

- **Tipo A:** Tipo de material volumétrico de la más alta exactitud. El rango de tolerancia se encuentra regido por los organismos normalizadores de los países (ISO; organización Internacional de Estandarización, entre otras).
- **Tipo B:** También llamada clase estándar, es aquella que permite una tolerancia igual e inferior al doble de la aceptada para la clase A, por lo tanto, el nivel de exactitud es más bajo. Es utilizada para fines cualitativos.

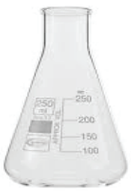
Materiales Volumétricos clasificados por tipo de medida de volumen:

• Volúmenes aproximados

- Vasos precipitados: La precisión que se alcanza con ellos es bastante baja y se emplean para preparar, contener líquidos, realizar tratamiento de muestra y precipitaciones. Existen de diferentes tamaños (10, 25, 50 mL, entre otros), son de base plana y pueden ser de vidrio o plástico.

- Probetas: Permiten medir volúmenes de forma aproximada, o transvasar y recoger líquidos. Se fabrican de distintos tamaños y materiales (vidrio y plástico), siendo las capacidades más frecuentes son 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL.

- Matraces Erlenmeyer: Recipientes cónicos de base ancha y cuello angosto. Este tipo de matraces se emplean principalmente en las valoraciones, siendo las capacidades más frecuentes son 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL. También se utilizan para el armado de aparatos de destilación o para hacer reaccionar sustancias que necesitan un largo calentamiento.

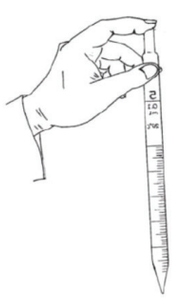


Volúmenes con gran precisión:

- Buretas: Son instrumentos de ajuste para verter mediante una válvula de descarga que permite controlar el flujo del líquido. Por lo tanto, se utiliza para emitir cantidades variables de líquido con gran exactitud y precisión. La bureta es un tubo graduado de gran extensión, generalmente construido de vidrio. Posee un diámetro interno uniforme en toda su extensión, se emplean en medida precisa de volúmenes, por lo tanto su escala posee muchas divisiones. (ref obtenida de Universidad de Valencia Departamento de Química).

- Matraces aforados: Un matraz volumétrico o aforado es un recipiente de fondo plano con forma de pera que tiene un cuello largo y delgado. La línea delgada, línea de enrase, grabada alrededor del cuello indica el volumen de líquido contenido a una temperatura definida y se denomina línea de enrase. Los tamaños más comunes son 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL. Se utilizan para la preparación de disoluciones de concentración conocida. (ref obtenida de Universidad de Valencia Departamento de Química).

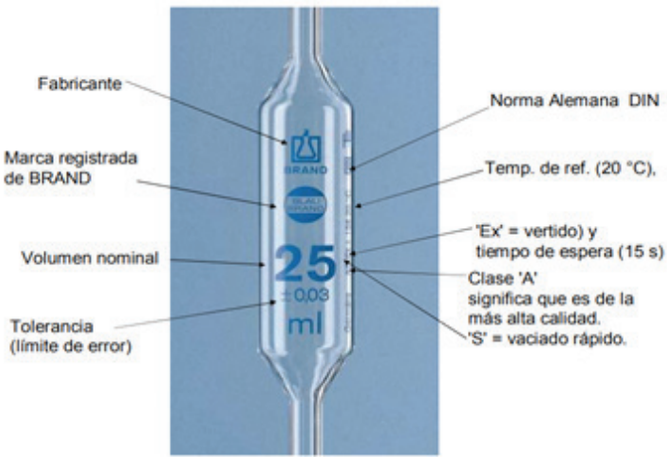
- Pipetas Volumétricas o aforadas: Son tubos de vidrio, con un aforo que sirve para trasladar un volumen determinado de líquido de un envase a otro, están diseñados con un ajuste para verter.
- Pipetas Graduadas con tiempo de espera: Se llenan hasta la marca de cero y se elimina el exceso (como las pipetas volumétricas). Al verter, el flujo se interrumpe cuando el menisco esté a algunos milímetros por encima de esta línea de graduación; el ajuste final se hace después que hayan transcurrido 15 s.
- Pipetas Graduadas de "soplado": Deben estar marcadas con un círculo blanco en la parte superior de la pipeta adicionalmente, este círculo debe tener una inscripción que indique que se trata de una pipeta de soplado (por ejemplo "soplado", o algo similar, p.e. blow out). A través del orificio superior el manipulador puede crear el vacío al colocar su dedo y de esta forma mantener el líquido dentro de la pipeta y cuando el vertido es completo se deja que transcurra un tiempo de 3 s y se expulsa la última gota por soplado, sin embargo, se recomienda utilizar una propipeta para evitar accidentes, estos accesorios simulan un soplado luego se retira la pipeta del recipiente.



- Pipetas Graduadas Tipo 1: Vaciado Parcial. Al vaciar, el flujo se restringe cuando se va a ajustar el menisco sobre la línea de graduación, y no se deja ningún lapso de tiempo para que drene el líquido adherido a las paredes, antes de hacer el ajuste final.
- Pipetas Graduadas Tipo 2: Vaciado Total. El flujo se restringe hasta que se esté seguro que el menisco permanece quieto en la punta antes de retirar la pipeta del recipiente receptor. Al terminar el vertido, se debe esperar un tiempo de aproximadamente 3 segundos antes de retirar la pipeta del recipiente de vidrio.

Materiales Volumétricos clasificados por tipo de ajuste:

- **In:** Cantidad de líquido contenida en el material volumétrico, corresponde al volumen impreso sobre el aparato, por ej. Matraces aforados y probetas graduadas. (TC o IN).
- **Ex:** La cantidad de líquido vertida desde el material volumétrico corresponde al volumen impreso sobre el aparato en el aforo o graduación indicada, por ej. pipetas o buretas. (TD o Ex). Una marca “S” significa que es de vaciado rápido.



DOCUMENTACIÓN ASOCIADA AL MATERIAL VOLUMÉTRICO.

Puesto que el material volumétrico es considerado como equipamiento de medición, se requiere disponer de procedimientos, instructivos y registros que evidencien tanto el propósito de uso, su correcta utilización y alcance, acompañados de los respectivos registros que evidencien lo anterior, de acuerdo a los criterios generales de calidad y las normas asociadas.

Referencia a la documentación en diferentes normativas

A continuación se describen puntos específicos de diferentes normas de calidad donde se constata que los laboratorios asumen responsabilidades respecto de asegurar la validez de sus resultados, lo que incluye al material volumétrico.

Norma ISO 9001:2015

En el punto 7.1.5 Recursos de Seguimiento y Medición, indica que "La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para asegurarse de la validez y fiabilidad de los resultados cuando se realice el seguimiento o la medición para verificar la conformidad de los productos y servicios con los requisitos.

La organización debe asegurarse de que los recursos proporcionados:

a) Son apropiados para el tipo específico de actividades de seguimiento y medición realizadas;

b) Se mantienen para asegurase de la idoneidad continua para su propósito; y, La organización debe conservar la información documental apropiada como evidencia de que los recursos de seguimiento y medición son idóneos para su propósito.

Norma ISO 17025:2017

En el punto 6.4 Equipamiento indica que "El laboratorio debe tener acceso al equipamiento que requiere para el correcto desempeño de las actividades de laboratorio y que pueden influir en los resultados.

El laboratorio debe contar con un procedimiento para la manipulación, transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento planificado del equipamiento para asegurar el funcionamiento apropiado y con el fin de prevenir contaminación o deterioro.

El laboratorio debe verificar que el equipamiento cumple los requisitos especificados, antes de ser instalado o reinstalado para su servicio.

El equipo de medición debe ser calibrado cuando:

- La exactitud o la incertidumbre de medición afectan a la validez de los resultados informados y/o
- Se requiere la calibración del equipo para establecer la trazabilidad metrológica de los resultados informados.

Se deben conservar registros de los equipos que puedan influir en las actividades del laboratorio. Los registros deben incluir lo siguiente, cuando sea aplicable:

- Identificación del equipo, incluida la versión del software y del firmware.
- El nombre del fabricante, la identificación del tipo y el número de serie u otra identificación única.
- La evidencia de la verificación de que el equipo cumple los requisitos especificados.
- La ubicación actual.

- Las fechas de la calibración, los resultados de las calibraciones, los ajustes, los criterios de aceptación y la fecha de la próxima calibración o el intervalo de calibración.
- La documentación de los materiales de referencia, los resultados, los criterios de aceptación, las fechas pertinentes y el período de validez.
- El plan de mantenimiento y el mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha, cuando sea pertinente para el desempeño del equipo.
- Los detalles de cualquier daño, mal funcionamiento, modificación o reparación realizada al equipo.

ISO 15189:2013

En el punto 5.3 Equipos, reactivos y fungibles del laboratorio, indica que "el laboratorio debe tener un procedimiento documentado para la selección, compra y gestión de equipos.

El laboratorio debe contar con todos los equipos necesarios para la prestación de servicios… en aquellos casos cuando el laboratorio necesite utilizar un equipo fuera de su control permanente, la dirección del laboratorio debe asegurar que se cumple con los requisitos de esta norma. El laboratorio debe reemplazar los equipos, según sea necesario, para asegurar la calidad de los resultados de los exámenes.

Ciclo de Vida de Equipamiento de medición

El ciclo de vida útil de un equipamiento de medición, incluyendo el material volumétrico, consta de cinco etapas que se describen en el siguiente flujograma:

Ilustración 2
Flujograma que describe el ciclo de vida de equipamiento de medición

Proceso de compras:

Antes de adquirir un producto, debemos como usuario definir bien el propósito de nuestra adquisición y que cumpla con el fin previsto para nuestro propósito, es por tal razón, que se hace necesario y responsabilidad como analistas conocer, estudiar y revisar las características propias de los distintos instrumentos disponibles en el mercado para la actividad que necesitamos realizar.

Especificaciones Técnicas de un Producto a considerar:

- Material
- Color.
- Capacidad.
- Precisión.
- Exactitud.
- Clase.

Los equipos de medición, incluyendo el material volumétrico, tienen que elegirse según la aplicación prevista. En general, los ensayos que requieren mayor exactitud o en concentraciones del orden de trazas exigen siempre aparatos de medición y material volumétrico altamente precisos.

Instalación del material

Cuando se comienza a utilizar material volumétrico nuevo, se requiere tener la siguiente documentación asociada.

- Hoja de vida del Material Volumétrico.
- Como ejemplo se deben considerar registrar:
- Tipo de Material.
- Volumen
- Tolerancia
- Si corresponde a material A/AS/B
- Si es un material In o Ex
- Certificado de Calibración, según aplique.

N°	Material	Volumen (ml)	Tolerancia (+/- ml)	A/AS/B	In/Ex	Fecha Verificación	Frecuencia	Fecha Próxima Verificación	Observación

Operación

Durante la puesta en marcha del material volumétrico se requiere disponer de los respectivos Procedimientos.

- Instructivos de Operación o Manuales de Equipos volumétricos.
- Registros asociados a su uso u otra información relevante del proceso que desea utilizar su equipamiento de medición volumétrica.
- Transporte.*

- Almacenamiento.*
- Mantención y/o verificación.*
- Calibración.*

NOTA 1: En estos puntos destacados, se hace necesario contar con procedimientos, instructivos y registros asociados para evidenciar el proceso de cada una de estas actividades si se realizan.

Se debe considerar el registro del inventario del material volumétrico, así como también el reporte de los procesos de calibración y/o verificación correspondiente. A modo de ejemplo, se debe registrar:

- Tipo de Material.
- Volumen
- Tolerancia
- Si corresponde a material A/AS/B
- Si es un material In o Ex
- Fecha de la última verificación/calibración
- Frecuencia de calibración/verificación
- Fecha de vigencia.
- Cantidad
- N° de lote

Obsolescencia – De Baja

Una vez que el material volumétrico ha finalizado su vida útil, ya sea por deterioro, tecnología, u otros, se debe proceder a su retiro de las funciones habituales, especificando en la hoja de vida o los registros que corresponda, que este equipamiento ya no será utilizado para el fin originalmente previsto, indicando su nuevo destino.

Aspectos a lo menos a considerar a registrar

- Descripción del Material.
- Marca.
- N° de Catalogo.
- N° de Lote.
- Volumen Nominal.
- División.
- Tolerancia de la Verificación.
- Tamaño Tapa/Tapón.
- Tiempo de Espera (para aparatos de vertido).
- Temperatura.
- Clase.

Control Visual del Material Volumétrico a considerar.

- Observar detenidamente el material volumétrico y registrar cualquier daño visible (roturas, fracturas, rayaduras, otros).
- Si tiene tapa, asegurarse que el cierre es adecuado.
- Observar si es legible la descripción del material (Volumen nominal [VN], divisiones, tolerancia, marca, número de serie, temperatura de calibrado, tiempo, etc.), las marcas de aforo, de volumen y/o menisco, en caso de corresponder.

VERIFICACIÓN DE MATERIAL VOLUMÉTRICO

Normas de referencia Material Volumétrico de ajuste IN, "para contener"

- Probetas graduadas – Norma de Ref. ASTM E1272 - ISO 4788.
- Matraces aforados – Norma de Ref. ASTM E288 - ISO 1042.

El laboratorio debe definir el material que será verificado según los requerimientos de uso. El material de vidrio se verifica usando el método gravimétrico para recipientes con capacidad menor de 2 L y el método volumétrico para recipientes con capacidad mayor a 2 L. Para la verificación del material empleando el método gravimétrico se emplea agua desionizada.

- Una buena práctica de laboratorio es registrar si el material volumétrico está calibrado o verificado, cuando se realicen determinaciones analíticas.
- Es necesario asegurarse durante el proceso de verificación que las balanzas utilizadas estén calibradas al igual que los termómetros, así mismo se recomienda dejar por lo menos 30 minutos a que se equilibren a las condiciones ambientales: el agua a utilizar, el material volumétrico y todo aquel equipo periférico a ser empleado en la verificación.
- Cuando realice cualquier pesada durante el procedimiento, utilice guantes, para evitar variaciones en el pesado debidas a la grasa de las manos.
- Debe medir la presión atmosférica, temperatura y humedad relativa a la cual se realiza cada medición para efectos de corrección.

Material	Matraz Volumétrico (ISO 1042)		Probetas tipo 1 (ISO 4788)		Probetas tipo 2 (ISO 4788)
Clase	A	B	A	B	B
Volumen	Tolerancias ± (mL)				
1 mL	--	--	--	--	--
2 mL	--	--	--	--	--
5 mL	0,025	0,05	0,05	0,1	0,20
10 mL	0,025	0,05	0,1	0,2	0,30
20 mL	--	--	--	--	--
25 mL	0,04	0,08	0,25	0,5	0,50
50 mL	0,06	0,12	0,5	1,0	1,0
100 mL	0,10	0,20	0,50	1,0	1,0
200 mL	0,15	0,30			--
250 mL	0,15	0,50	1,0	2,0	2,0
500 mL	0,25	0,80	2,5	5,0	5,0
1000 mL	0,40	1,2	5,0	10,0	10,0
2000 mL	0,60	--	10,0	20,0	20,0

Tabla N°1:
Tolerancia por volumen según clase A y B material volumétrico

Recomendaciones para las mediciones con material volumétrico:

Identificación de material volumétrico

El material volumétrico debe estar etiquetado de fábrica con la información siguiente:

- Capacidad nominal.
- Símbolo de la unidad: ml o cm^3.
- Temperatura de calibración: 20 °C.
- Calibración (tipo de ajuste): Ex o In.
- Clase: A, AS, AW o B.
- Tiempo de espera (si es necesario): ejemplo en el formato 'Ex + 5 s'.
- Marca del fabricante, nombre o logotipo del fabricante.
- País de origen.
- Límite de error.
- Estándar, por ejemplo, ISO 648.
- Número de lote.

Consideraciones para verificar Material volumétrico:

- Para la verificación de material volumétrico es necesario:
- Revisar el material y decidir si éste se puede utilizar, vale decir, que no presente rayaduras ni roturas y, si es un material que tenga tapa, cuente con la apropiada y se ajuste de forma óptima al material evaluado. Registrar en formulario que el laboratorio destine para el propósito.
- Revisar las condiciones ambientales:
  - Humedad relativa ambiental: Entre 35 y 85%.
  - Temperatura: Entre 16 y 27°C.
- Si estos requisitos de H% y T° no se cumpliesen, no realizar la verificación hasta que aquéllas cumplan con lo establecido. Registrar en formulario que el laboratorio destine para el propósito.
- Ambientar en la sala donde se encuentra la balanza en la cual se realiza la medición, el líquido que se utiliza para evaluar el material (habitualmente Agua Grado Reactivo, AGR) por lo menos 30 min. Antes de comenzar. Mantener el termómetro utilizado sumergido en el líquido utilizado para la verificación.
- Registrar en formulario que el laboratorio destine para el propósito.
- Corroborar uso de balanza adecuado a la masa de material volumétrico que se va a evaluar:
- Es necesario que la balanza sea la apropiada para el nivel de pesada que se requiere para la verificación de material volumétrico, por ejemplo:
- Si se desea pesar una masa para evaluar un matraz de aforo de 5 mL, considerar la balanza de la capacidad requerida (balanza micro analítica de capacidad máxima 30g o balanza macro analítica de capacidad máxima de 230g).
- En cambio, si se desea pesar una masa para evaluar un matraz de aforo de 1000 mL, considerar la balanza de la capacidad requerida (balanza granataria de capacidad máxima de 5 o 10 kg. Se recomienda revisar si la balanza se encuentra verificada previo a su uso.

Flujograma para verificación material volumétrico

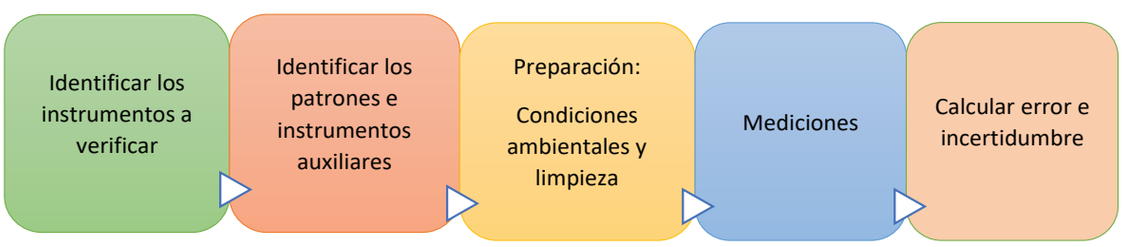


Ilustración 3
Flujograma que ilustra los pasos para la verificación del material volumétrico

Registro Material volumétrico, consideraciones generales:

- Evaluar el registro de la información asociada al material volumétrico, que generalmente aparece impreso en dicho material, y también, rescatar la información si se dispone del certificado del material volumétrico evaluado.
- Si no existiese información, o no se dispone de ella, colocar "sin información, S/I" y/o evaluar si el material está en condiciones de ser evaluado a pesar de la eventual falta de información.
- Algunas definiciones:
  - Tipo: In o Ex (Contenido o Vertido, respectivamente).
  - Franja de Shelbach: Si/No.
  - Clase: A, B, AB, etc.

NOTA: Considerar si la clase es la adecuada para el uso previsto que se le dará al Material volumétrico.

Factores que afectan la verificación

Dentro de los factores que afectan la verificación del material volumétrico se encuentran la temperatura del agua, temperatura del aire, limpieza del material, calidad del material volumétrico, tiempo de entrega y de espera, enrase y ajustes de menisco.

Enrase del volumen

La mayor fuente de error experimental asociada con la determinación del volumen es el ajuste del menisco, el cual depende del cuidado del observador y de la sección transversal del cuello donde se localiza el menisco.

Es importante saber que la curvatura de un menisco está relacionada con la tensión superficial del líquido e inversamente relacionada con el diámetro del tubo en el que se forma. Al leer cualquier menisco, es importante asegurarse de que esté en una posición de equilibrio. Se puede utilizar golpecitos de las mirillas y / o pequeños movimientos de los recipientes para inducir pequeños desplazamientos del menisco. Volver a la misma lectura es evidencia de un menisco estable.

Ajuste del menisco convexo

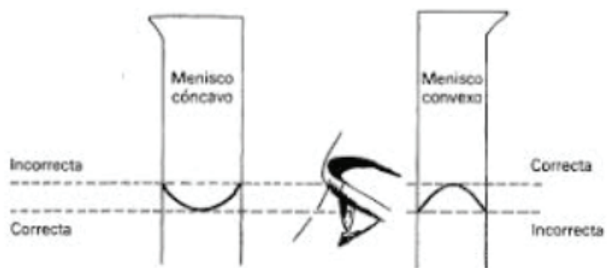
La lectura del volumen se realiza a la altura del punto más alto en el centro de la superficie del líquido. El punto más alto de tal menisco se utiliza para hacer la lectura, ejemplo líquido no humectante como el mercurio.

Ajuste del menisco cóncavo

Menisco cóncavo es aquel con el punto más bajo en el centro utilizado para determinar la lectura. La lectura del volumen se realiza a la altura del punto más bajo de la superficie del líquido debiendo tocar el punto más bajo del menisco el borde superior de la marca de división un ejemplo de este tipo de menisco es de las soluciones acuosas.

Paralaje

Para evitar el error de paralaje a la hora de enrasar el menisco, el aparato volumétrico debe estar en posición vertical y los ojos del operador deben encontrarse a la altura del menisco. En esta posición, el aforo se visualiza como una línea, donde el operador dirige su vista de acuerdo a su mejor estimación del plano horizontal de la línea graduada.



Condiciones Ambientales para verificación.

Las verificaciones gravimétricas de material volumétrico, se deben realizar en una sala sin corrientes de aire y con condiciones estables, las cuales deben cumplir los siguientes requisitos:

Requisitos ISO 4787	
Temperatura Ambiental (T.A.)	15 °C - 30 °C
Estabilidad de T.A.	Local ± 1 °C Temporal ± 0,5 °C
Humedad Atmosférica	35 % - 85 %
Líquido de prueba	Agua destilada o desionizada grado 3 (ISO 3696)
Ambientación del material y del líquido de prueba	Entre 1 a 2 horas

Tabla N°2:
Condiciones ambientales según ISO 4787.

El material a verificar debe permanecer unas 2 horas para alcanzar el equilibrio de la temperatura ambiental.

El líquido de prueba debe cubrirse para evitar el enfriamiento por evaporación. Las temperaturas (habitación y Líquido de prueba), la presión atmosférica y la humedad deben registrarse.

Instrumentos de Medición para verificación.

Se debe utilizar una balanza con una resolución y desviación estándar apropiadas para el volumen del material en evaluación de acuerdo a la tabla N°3. La resolución, la desviación estándar y la linealidad de la balanza, serán un factor limitante en la exactitud de las medidas.

Volumen nominal del material	Resolución mg	Desviación estándar mg	Linealidad mg
100 µL < V ≤ 10 mL	0,1	0,2	0,2
10 mL< V < 1000 mL	1	1	2
1000 mL ≤ V ≤ 2000 mL	10	10	20
V > 2000 mL	100	100	200

Tabla N°3
Requisitos volumen nominal.

Requisitos Instrumentos para ser utilizados en proceso de calibración o verificación	
Termómetro	V < 1000 mL: error de medición ≤ 0,2 °C V ≥ 1000 mL: error de medición ≤ 0,1 °C.
Higrómetro	Error medición ≤ 5 % dentro de 35% y 85% HR.
Barómetro	Error medición ≤ 1 kPa.

Tabla N° 4
Requisitos instrumentos según ISO 4787.

Control Gravimétrico de Pipetas y Buretas Ajustados por Contenido "Ex":

1.1.1. Dejar el material volumétrico en el mesón a temperatura ambiente por tiempo adecuado para equiparar la temperatura del matraz a la temperatura ambiente (aproximadamente 30 minutos).

1.1.2. En caso de buretas colocar en posición vertical en un soporte universal sobre el mesón. A una altura que permita al operador visualizar la titulación correctamente, usar debidamente la llave de paso y observar de manera clara el menisco. En caso de pipeta tomar con la mano, asegurándose de tomarla de manera firme y lo más vertical posible.

1.1.3. Se debe tener un recipiente de pesada, con algo de líquido del ensayo (agua grado reactivo, es decir, destilada o desionizada).

1.1.4. Tare la balanza, lleve a valor cero “0.0000 g”.

1.1.5. Colocar en el centro del plato de la balanza el recipiente de pesada, determinar el peso (W1). Registrar el valor de la pesada obtenida en gramos.

1.1.6. Llenado de pipetas: Proceder a llenar el material volumétrico con líquido del ensayo, hasta el volumen nominal, es decir aforar hasta sobrepasar la marca anular de aprox. 5 mm (Si es necesario ayúdese de un papel negro o la cinta de Schellbach (si la tiene el material volumétrico). Si es necesario, ajustar el menisco exactamente sobre la marca anular mediante vaciado de líquido. Como resultado, el punto más bajo del menisco debe encontrarse a la misma altura que el borde superior de la marca cuando la lectura esté exenta de paralaje. Limpiar el exterior de la punta de la pipeta con papel secante

1.1.7. Llenado de buretas: Proceder a llenar la bureta hasta sobrepasar la marca cero de aprox. 5 mm y dejar salir el líquido de ensayo por encima del volumen nominal para evacuar el aire de la llave de bureta. Tras el primer llenado puede permanecer una pequeña burbuja de aire en la llave de bureta. Para eliminar esta burbuja, mantener la bureta inclinada y golpear con el dedo ligeramente en el lugar donde se encuentre la burbuja. Llenar la bureta hasta sobrepasar la marca cero del volumen nominal de aprox. 5 mm. Al hacerlo, la pared de vidrio por encima de la marca cero no se debe humectar (en caso necesario, limpiarla con un papel absorbente). Ajustar exactamente sobre el punto cero mediante evacuación de líquido. El punto más bajo del menisco y el borde superior de la marca deben encontrarse a la misma altura cuando la lectura esté exenta de paralaje. Con las buretas con franja de Schellbach el punto de contacto de ambas puntas de flecha y la marca cero deben encontrarse a la misma altura cuando la lectura esté exenta. La punta de la bureta no debe tocar la pared del recipiente de pesada.

1.1.8. Después, verter el líquido en el recipiente de pesar con cuidado. Cuando el menisco permanezca quieto en la punta, empieza el tiempo de espera. Leer el tiempo de espera (señalado por el fabricante) con cronómetro. (En el caso de pipetas después del tiempo de espera, escurrir la punta en la pared interior del recipiente).

1.1.9. Volver a determinar el peso del recipiente de pesada, con el volumen adicionado (W2).

1.1.10. Proceda con las otras 2 muestras del material volumétrico tomadas al azar repitiendo la operación, registre cada vez las lecturas de pesada obtenidas.

1.1.11. Calcular para cada una de las 3 muestras de material volumétrico controlado, el valor del volumen de agua V20 (n), a través de la siguiente fórmula:

$$V_{20\,(n)} = (W_1 - W_2) \cdot Z$$

Verificación Gravimétrica de Probetas con Ajuste "In" y Matraces de Aforo

Masada inicial

- Utilizando una balanza calibrada y trazable al SI, y que cumpla los requerimientos de la tabla N°3, comenzar la medición tarando la balanza.
- Colocar en el centro del plato de la balanza el material volumétrico vacío a verificar.
- Determinar el peso del material volumétrico sin carga. Registrar el valor de la masa obtenida en gramos, retirar, repetir al menos 2 veces más este paso para determinar el valor promedio del material volumétrico vacío.
- Retirar el material volumétrico de la balanza.

Llenado del material

El líquido para llenado es agua destilada, desionizada u osmosis reversa de calidad uso laboratorio a temperatura ambiente (20 °C), u otra temperatura que esté determinada al momento de realizar la verificación.

Los matraces volumétricos de acuerdo con ISO 1042 y las probetas de acuerdo con ISO 4788 deberán encontrase secos y limpios. Se llenarán por medio de un tubo de plástico con punta a una distancia de unos pocos milímetros por encima del volumen nominal que se va a verificar, de modo que las paredes del instrumento volumétrico por encima de la marca del aforo o graduación no se humedezcan.

El ajuste final del menisco a la marca del aforo o la línea de graduación se realizará retirando el agua sobrante por medio de un tubo de plástico o pipeta. El movimiento del menisco será hacia abajo. Si es necesario rellenar y balancear cuidadosamente para refrescar forma del menisco.

Masada final

- Colocar en el centro del plato de la balanza el material volumétrico, determinar el peso del material volumétrico con carga.
- Repetir 2 veces más para tener el promedio de las pesadas.
- Para cada uno de los promedios se debe registrar la corrección de la balanza para dicha masada.

Evaluación

La lectura del balance después de la tara o la diferencia de los resultados de la masada inicial y final, es la masa aparente del agua contenida en el material volumétrico probado.

NOTA 4: La masa aparente, así obtenida, es la masa no corregida para la flotabilidad del aire.

Para obtener el volumen contenido en el material volumétrico sometido a prueba a la temperatura de referencia de la masa aparente de agua, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

$$V_{20} = (m_{final} - m_{inicial}) \cdot Z$$

Dónde:

m_{final}= masa final, es decir el material aforado con agua, en g.

$m_{inicial}$: masa inicial, es decir el material vacío, en g.

Z= Factor de conversión Z (estas tablas existen para diferentes materiales). Anexo A, valor de Z de acuerdo a temperatura y presión atmosférica.

Sugerencias para la Estimación de la Incertidumbre de la Medición

La incertidumbre de una medida de volumen depende de los errores asociados a la tolerancia del material, Repetibilidad del volumen obtenido, y debido al coeficiente de expansión térmica del agua.

Para calcular la incertidumbre es recomendable seguir la metodología propuesta por la GUM la cual se basa en identificar, cuantificar y combinar todas las fuentes de incertidumbre del procedimiento de medida.

La Figura N° 3 "Etapas para el cálculo de incertidumbre", muestra las cuatro etapas diferenciadas para calcular la incertidumbre de mediciones aplicado a la magnitud volumen.

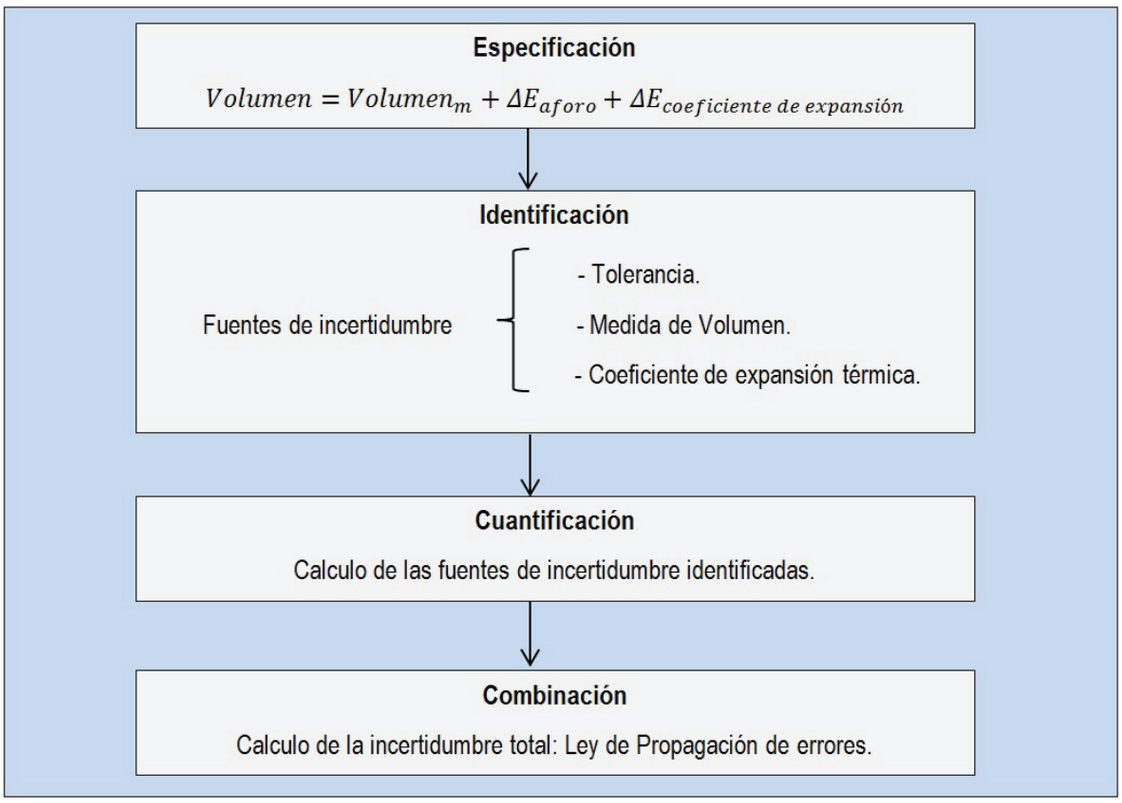


Ilustración 4
Flujograma que indica las etapas para el cálculo de la incertidumbre total.

Se sugiere calcular la incertidumbre combinada de acuerdo a la siguiente fórmula matemática:

$$\mu_V = \sqrt{\mu_{tol}{}^2 + \mu_{rep}{}^2 + \mu_{temp}{}^2}$$

Los coeficientes de sensibilidad para este caso de propagación de errores son equivalentes a 1.

Donde:

μ_V = incertidumbre combinada en medición de volumen.

μ_{tol} = incertidumbre por la tolerancia del material volumétrico.

μ_{rep} = incertidumbre por Repetibilidad del material volumétrico.

μ_{temp} = incertidumbre.

$$\mu_{tol} = \frac{Tolerancia}{\sqrt{3}}$$

$$\mu_{rep} = \frac{Desviación\ Estandar}{\sqrt{Numero\ de\ Mediciones}}$$

$$\mu_{temp} = \frac{Vmed * \alpha * \Delta Temperatura}{\sqrt{3}}$$

Donde,

$Vmed$ = Volumen de estudio.
α = Coeficiente de expansión térmica del agua.
$\Delta Temperatura$ = Máxima diferencia de temperatura desde 20°C.

USO DEL MATERIAL VOLUMÉTRICO

Uso material de vidrio

El uso inadecuado del material de vidrio durante el proceso de medición puede ser crítico y contribuir a la incertidumbre total, por esto, se listan las consideraciones generales del uso del material de vidrio de forma que la incertidumbre sea propia del desarrollo del proceso de medición.

- Recomendable realizar la selección adecuada del material de vidrio de acuerdo al proceso de medición en el cual vaya a ser empleando, así como a la exactitud que se requiera, para obtener resultados de medición confiables.
- Tomar debidas precauciones de posible contaminación debida al uso previo del material en otro análisis. Por esta razón debe lavarse adecuadamente y clasificarse de acuerdo a su uso.
- Cuando prepare disoluciones en material de vidrio para mediciones analíticas inorgánicas, no almacene las disoluciones por períodos prolongados, transfiéralas inmediatamente a recipientes de polietileno de baja densidad, para evitar contaminación del material de vidrio sobre todo, si se utiliza material volumétrico.
- Dejar separadas las juntas, llaves y válvulas esmeriladas después de su uso.
- Evitar limpiar el material de vidrio con cepillos gastados pues las partes metálicas del cepillo rayan el vidrio y aumentan las posibilidades de contaminación por acumulación de compuestos.
- Evitar poner el vidrio en contacto con disoluciones de ácido fluorhídrico o álcalis concentrados. El hidróxido de sodio y de potasio ataca al vidrio y desgastar las paredes de los recipientes que los contienen.

Limpieza de material volumétrico

- Se debe asegurar que las superficies internas de los recipientes volumétricos están suficientemente limpias antes de ser calibrados, ya que cualquier superficie contaminada afecta el humedecimiento, la entrega característica y la definición del menisco.

- Para tener la seguridad de que un recipiente de vidrio está adecuadamente limpio, éste deberá observarse durante el llenado: la superficie del vidrio deberá permanecer uniformemente húmeda y el menisco se observa sin deformación o distorsiones en las orillas
- Para obtener una buena limpieza del material volumétrico y que estos sean adecuados para sus distintos usos, se debe tener en cuenta a qué proceso fue sometido previamente el material, ya sea, almacenamiento de medios de cultivo, muestras inorgánicas en solución ácida, aniones en solución acuosa, residuos de pesticidas, solventes orgánicos, entre otros.
- Para estos fines se sugieren 3 tipos de lavado, los cuales nos permiten tener el material volumétrico de vidrio en perfectas condiciones para sus usos previstos. Estos lavados son: Lavado corriente, lavado para metales y lavado para pesticidas.
- **El lavado corriente**, este tipo de lavado se utiliza con los materiales que no han sido expuestos o utilizados con alguna sustancia toxica o nociva para el personal y medio ambiente.
    - **Se procede de la siguiente manera:** se sumerge el material en una solución de detergente alcalino (la concentración pueden ser indicadas por el fabricante), luego con un hisopo o esponja (en buen estado evitando ralladuras al material) se retiran las partículas adheridas del material para después ser lavado con agua corriente. Una vez retirada toda la lavaza, se sumerge el material en agua destilada enjuagando 3 veces con esta y 3 veces más con agua grado reactivo (agua desionizada). Terminado el lavado, el material se ingresa a una estufa de secado, la cual debe estar programada a una temperatura de 70°C ± 10°C (o la recomendada por el fabricante) y se deja secar aproximadamente 1 hora y 30 minutos. Posteriormente, retirar el material de la estufa y rotula asignándole un número de partida único el cual cumplirá con la trazabilidad del proceso. Se continúa con el almacenamiento del material con sus respectivas tapas o en su defecto, con papel aluminio o papel Parafilm para proteger del polvo.

En muchas ocasiones para el uso en análisis específicos, se podrían requerir lavados especiales para fines de eliminar trazas de metales, compuestos orgánicos u otros.

NOTA 3: En el caso de que haya algún agente patógeno en el material, éste se descontamina previamente y se realiza el lavado corriente.

Cuidados y almacenamiento del material de vidrio

- Las juntas deberán guardarse libres de químicos y polvo, de otra manera se pueden pegar o atorar.
- Las llaves de vidrio de los embudos de separación al igual que las juntas esmeriladas deben limpiarse de grasas de hidrocarburos con una toalla húmeda con acetona guardándolas por separado.
- Las grasas de silicona deben eliminarse cuidadosamente.
- Si se mantienen las llaves en los embudos o buretas, se deben engrasar para evitar que se peguen.
- Las llaves de teflón no necesitan engrasarse, deben limpiarse utilizando solventes orgánicos y colocarse sin ajustar en la junta hasta que se utilicen de nuevo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Navarro M., Alva M., Kamiya N. y Ruiz R., "Implementación de un plan de verificación de material volumétrico en la Sección Química de la EEAOC (Tucumán, R. Argentina)". Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. Tomo 87 (2): 63-68; 2010.
2. "Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method". ISO/TR 20461:2000(E). First Edition.
3. "Guidelines on the determination of uncertainty in gravimetric volume calibration". Calibration Guide EURAMET cg-19. Version 2.1 (03/2012).
4. Harris, Georgia L. "Selected Procedures for Volumetric Calibrations". NISTIR 7383. National Institute of Standards and Technology. 2012 Ed.
5. Guía Técnica sobre Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de medida en los Servicios de Calibración de Recipientes Volumétricos por el Método Gravimétrico. CENAM. EMA. 2016.
6. NMKL Procedure. Volumetric control. No.13 (2003). English versión 2005.
7. OIML R43. Estándar graduate glass flask for verification officers. OIML. Edition 1981 (E).
8. ISO 8655-7: 2005.Piston-operated volumetric apparatus. Part 7 non-gravimetric methods for the assessment of equipment performance. ICS 17060. Internat ional Organization for Standardization.
9. Estimación de la incertidumbre en la calibración de un matraz. Ingeniería 19 (2): 91-114, ISSN: 1409-2441; 2009. San José, Costa Rica. M. Blanco.
10. BLAUBRAND® Aparatos volumétricos y picnómetros. Instrucciones de calibrado (SOP). Marzo 2015.
11. Jordi Riu, Ricard Boqué, Alicia Maroto, F. Xavier Rius. "Trazabilidad en medidas físicas mediante calibración directa: calibración de material volumétrico". Departamento de Química Analítica y Química Orgánica Instituto de Estudios Avanzados Universitat Rovira i Virgili. 2001.
12. Norma ISO 9001:2015.
13. Norma ISO 17025:2017.
14. Probetas graduadas – Norma de Ref. ASTM E1272 - ISO 4788.
15. Matraces aforados – Norma de Ref. ASTM E288 - ISO 1042.

ANEXO A.
Tabla de Factor de conversión Z (ml/mg) en función de la temperatura y presión atmosférica del agua grado reactivo.

T	Presión (mBar)			
	907	960	1013	1067
15,0	1,0019	1,0019	1,0020	1,0020
15,1	1,0019	1,0019	1,0020	1,0020
15,2	1,0019	1,0019	1,0020	1,0020
15,3	1,0019	1,0019	1,0020	1,0020
15,4	1,0019	1,0019	1,0020	1,0020
15,5	1,0019	1,0020	1,0020	1,0021
15,6	1,0019	1,0020	1,0020	1,0021
15,7	1,0019	1,0020	1,0020	1,0021
15,8	1,0019	1,0020	1,0020	1,0021
15,9	1,0019	1,0020	1,0020	1,0021
16,0	1,0020	1,0021	1,0021	1,0022
16,1	1,0020	1,0021	1,0021	1,0022
16,2	1,0020	1,0021	1,0021	1,0022
16,3	1,0020	1,0021	1,0021	1,0022
16,4	1,0020	1,0021	1,0021	1,0022
16,5	1,0021	1,0022	1,0022	1,0023
16,6	1,0021	1,0022	1,0022	1,0023
16,7	1,0021	1,0022	1,0022	1,0023
16,8	1,0021	1,0022	1,0022	1,0023
16,9	1,0021	1,0022	1,0022	1,0023
17,0	1,0022	1,0022	1,0023	1,0023
17,1	1,0022	1,0022	1,0023	1,0023
17,2	1,0022	1,0022	1,0023	1,0023
17,3	1,0022	1,0022	1,0023	1,0023
17,4	1,0022	1,0022	1,0023	1,0023
17,5	1,0023	1,0023	1,0024	1,0024
17,6	1,0023	1,0023	1,0024	1,0024
17,7	1,0023	1,0023	1,0024	1,0024
17,8	1,0023	1,0023	1,0024	1,0024
17,9	1,0023	1,0023	1,0024	1,0024
18,0	1,0024	1,0024	1,0025	1,0025
18,1	1,0024	1,0024	1,0025	1,0025
18,2	1,0024	1,0024	1,0025	1,0025
18,3	1,0024	1,0024	1,0025	1,0025
18,4	1,0024	1,0024	1,0025	1,0025
18,5	1,0025	1,0025	1,0026	1,0026
18,6	1,0025	1,0025	1,0026	1,0026
18,7	1,0025	1,0025	1,0026	1,0026
18,8	1,0025	1,0025	1,0026	1,0026
18,9	1,0025	1,0025	1,0026	1,0026
19,0	1,0025	1,0026	1,0027	1,0027

19,1	1,0025	1,0026	1,0027	1,0027
19,2	1,0025	1,0026	1,0027	1,0027
19,3	1,0025	1,0026	1,0027	1,0027
19,4	1,0025	1,0026	1,0027	1,0027
19,5	1,0026	1,0027	1,0028	1,0028
19,6	1,0026	1,0027	1,0028	1,0028
19,7	1,0026	1,0027	1,0028	1,0028
19,8	1,0026	1,0027	1,0028	1,0028
19,9	1,0026	1,0027	1,0028	1,0028
20,0	1,0027	1,0028	1,0029	1,0029
20,1	1,0027	1,0028	1,0029	1,0029
20,2	1,0027	1,0028	1,0029	1,0029
20,3	1,0027	1,0028	1,0029	1,0029
20,4	1,0027	1,0028	1,0029	1,0029
20,5	1,0028	1,0029	1,0030	1,0030
20,6	1,0028	1,0029	1,0030	1,0030
20,7	1,0028	1,0029	1,0030	1,0030
20,8	1,0028	1,0029	1,0030	1,0030
20,9	1,0028	1,0029	1,0030	1,0030
21,0	1,0030	1,0030	1,0031	1,0031
21,1	1,0030	1,0030	1,0031	1,0031
21,2	1,0030	1,0030	1,0031	1,0031
21,3	1,0030	1,0030	1,0031	1,0031
21,4	1,0030	1,0030	1,0031	1,0031
21,5	1,0031	1,0031	1,0032	1,0032
21,6	1,0031	1,0031	1,0032	1,0032
21,7	1,0031	1,0031	1,0032	1,0032
21,8	1,0031	1,0031	1,0032	1,0032
21,9	1,0031	1,0031	1,0032	1,0032
22,0	1,0032	1,0032	1,0033	1,0033
22,1	1,0032	1,0032	1,0033	1,0033
22,2	1,0032	1,0032	1,0033	1,0033
22,3	1,0032	1,0032	1,0033	1,0034
22,4	1,0032	1,0032	1,0033	1,0034
22,5	1,0033	1,0033	1,0034	1,0035
22,6	1,0033	1,0033	1,0034	1,0035
22,7	1,0033	1,0033	1,0034	1,0035
22,8	1,0033	1,0033	1,0034	1,0035
22,9	1,0033	1,0033	1,0034	1,0035
23,0	1,0034	1,0034	1,0035	1,0035
23,1	1,0034	1,0034	1,0035	1,0035
23,2	1,0034	1,0034	1,0035	1,0035
23,3	1,0034	1,0034	1,0035	1,0035
23,4	1,0034	1,0034	1,0035	1,0035
23,5	1,0035	1,0035	1,0036	1,0036
23,6	1,0035	1,0035	1,0036	1,0036
23,7	1,0035	1,0035	1,0036	1,0036

23,8	1,0035	1,0035	1,0037	1,0037
23,9	1,0035	1,0035	1,0037	1,0037
24,0	1,0036	1,0036	1,0038	1,0038
24,1	1,0036	1,0036	1,0038	1,0038
24,2	1,0036	1,0036	1,0038	1,0038
24,3	1,0037	1,0037	1,0038	1,0038
24,4	1,0037	1,0037	1,0038	1,0038
24,5	1,0038	1,0038	1,0039	1,0039
24,6	1,0038	1,0038	1,0039	1,0039
24,7	1,0038	1,0038	1,0039	1,0039
24,8	1,0038	1,0038	1,0039	1,0039
24,9	1,0038	1,0038	1,0039	1,0039
25,0	1,0039	1,0039	1,0040	1,0040
25,1	1,0039	1,0039	1,0040	1,0040
25,2	1,0039	1,0039	1,0040	1,0040
25,3	1,0039	1,0039	1,0040	1,0040
25,4	1,0039	1,0039	1,0040	1,0040
25,5	1,0040	1,0040	1,0041	1,0041
25,6	1,0040	1,0040	1,0041	1,0041
25,7	1,0040	1,0040	1,0041	1,0041
25,8	1,0041	1,0040	1,0042	1,0042
25,9	1,0041	1,0040	1,0042	1,0042
26,0	1,0042	1,0042	1,0043	1,0043
26,1	1,0042	1,0041	1,0043	1,0043
26,2	1,0042	1,0041	1,0043	1,0043
26,3	1,0042	1,0042	1,0043	1,0043
26,4	1,0042	1,0042	1,0043	1,0043
26,5	1,0043	1,0043	1,0044	1,0044
26,6	1,0043	1,0043	1,0044	1,0044
26,7	1,0043	1,0043	1,0044	1,0044
26,8	1,0043	1,0043	1,0044	1,0044
26,9	1,0043	1,0043	1,0044	1,0044
27,0	1,0044	1,0045	1,0045	1,0045
27,1	1,0044	1,0045	1,0045	1,0045
27,2	1,0044	1,0045	1,0045	1,0045
27,3	1,0044	1,0045	1,0046	1,0046
27,4	1,0044	1,0045	1,0046	1,0046
27,5	1,0046	1,0046	1,0047	1,0047
28,0	1,0047	1,0048	1,0048	1,0048

1 mBar=1 hPa=0,1kPa

Fuente: Referencia: NMKL N° 13 4.6.3.