

GUÍA OIML G – 14:
MEDICIÓN DE
DENSIDAD. Edición
2011 (E).

ENTIDAD RESPONSABLE DE LA TRADUCCIÓN: SUPERINTENDENCIA DE
INDUSTRIA Y COMERCIO – DELEGATURA PARA EL CONTROL Y
VERIFICACIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y METROLOGÍA LEGAL.

GUÍA OIML G 14

Edición 2011 (E)

Medición de densidad

Mesure de la masse volumique



ORGANISATION INTERNATIONALE
DE MÉTROLOGIE LÉGALE
ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL
DE METROLOGÍA LEGAL

Contenidos

Prólogo	4
Prefacio a la segunda edición	6
Prefacio a la primera edición	6
1 Introducción	7
2 Unidades de medida	7
2.1 Volumen.....	7
2.2 Densidad.....	7
3 Posibles fuentes de error	8
3.1 Temperatura	8
3.2 Elección de medios y métodos de medición.....	9
3.3 Efecto de flotabilidad en la medición de masa	9
3.4 Otras fuentes de error	11
3.4.1 Inclusión de aire	11
3.4.2 Sedimentación o separación de componentes.....	12
4 Métodos para la medición de densidad y su aplicación	13
4.1 Métodos	13
4.2 Aplicaciones	13
5 Procedimientos de medición de densidad.....	14
5.1 Picnómetro	14
5.2 Émbolo (esfera gama)	18
5.3 Botella con líneas marcadas.....	21
5.4 Contenedor lleno con agua hasta el borde.....	23
5.5 Hidrómetro.....	27
5.6 Medidor de densidad electrónico portátil	29
5.7 Medidor de densidad electrónico para uso en laboratorios	31
5.8 Balanza hidrostática (balanza de Mohr).....	31
5.9 Método de émbolo para masillas.....	32
6 Tabla: Densidad de agua libre de agua como función de la temperatura	34

Prólogo

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) es una organización intergubernamental a nivel mundial cuyo principal propósito es armonizar las regulaciones y controles metrológicos aplicados por los servicios metrológicos nacionales, u organizaciones relacionadas de los Estados Miembro. Las principales categorías de las publicaciones de la OIML son:

- **Recomendaciones Internacionales (OIML R)**, las cuales son regulaciones modelo que establecen las características metrológicas requeridas de ciertos instrumentos de medición y especifican métodos y equipos para verificar su conformidad. Los Estados Miembro de la OIML deben aplicar estas Recomendaciones lo más extensamente posible;
- **Documentos Internacionales (OIML D)**, los cuales son informativos por naturaleza y tienen la intención de armonizar y mejorar el trabajo en el campo de la metrología legal;
- **Guías Internacionales (OIML G)**, los cuales son informativos por naturaleza y tienen la intención de brindar directrices para la aplicación de ciertos requisitos a la metrología legal; y
- **Publicaciones Básicas Internacionales (OIML B)**, las cuales definen las reglas operativas para los diferentes estructuras y sistemas;

Borradores de las Recomendaciones, Documentos y Guías de la OIML, los cuales se desarrollan por Comités o Subcomités Técnicos, los cuales están conformados por representantes de los Estados Miembro. Ciertas instituciones internacionales y regionales también participan sobre una base de consulta. La OIML ha establecido acuerdos de cooperación con ciertas instituciones, tales como ISO y IEC, con el objetivo de evitar requisitos contradictorios. Por consiguiente, los fabricantes y usuarios de instrumentos de medición, laboratorios de prueba, etc. pueden aplicar simultáneamente las publicaciones de la OIML y aquellas de otras instituciones.

Las Recomendaciones Internacionales, Documentos, Guías y Publicaciones Básicas se publican en idioma inglés (E) y se traducen al idioma francés (F) y están sujetas a revisión periódica.

Adicionalmente, la OIML publica o participa en la publicación de **Vocabularios (OIML V)** y, periódicamente, contrata a peritos en metrología legal para la escritura de **Informes de Peritos (OIML E)**. Los Informes de Peritos no tienen la intención de suministrar información o consejo, y se escriben únicamente desde la opinión de su autor, sin la participación de un Comité o Subcomité Técnico, ni la de la CIML. Por lo tanto, no representan necesariamente las opiniones de la OIML.

Esta publicación - referencia OIML G 14 edición 2011 (E) - fue desarrollada por la BIML en cooperación con expertos técnicos externos. Reemplaza de la edición de 1987.

Las publicaciones de la OIML pueden descargarse en la página web de la OIML en formato de archivos PDF. Se puede obtener información adicional sobre las Publicaciones de la OIML en las oficinas de la Organización:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris - Francia
Teléfono: 33 (0)1 48 78 12 82 Fax:
33 (0)1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org Internet:
www.oiml.org

Prefacio a la segunda edición

Esta edición es una reimpresión de la primera edición con una disposición mejorada, algunas correcciones al texto y la inclusión de un nuevo conjunto de imágenes.

Agradecemos al *Sr. Jhon Carter* del Servicio de Medición y Seguridad del Producto de Nueva Zelanda por revisar el texto y suministrar las imágenes.

BIML (Septiembre 2011)

Prefacio a la primera edición

Este folleto es una traducción adaptada de un documento emitido por el departamento de control de preenvases del servicio de metrología holandés, autores *J.A. Dalm* y *P. Hogervorst*.

Si bien está diseñado principalmente como una guía para los inspectores y técnicos que hacen control a los preenvases, los métodos y cálculos descritos siguen líneas tan rigurosas que el folleto también puede ser útil para otras aplicaciones en la industria y en laboratorios.

Agradecemos al servicio metrológico holandés por su colaboración, así como al *Sr. Degavre* del servicio metrológico belga por su colaboración en la traducción.

BIML (Septiembre 1987)

Medición de densidad

Guía para inspectores

1 Introducción

Cuando la cantidad de un producto en un preenvase está expresada en términos de volumen pero se verifica mediante pesaje, también es necesario determinar la densidad del producto.

Pareciera que, en la práctica, no se comprenden bien los métodos para medir la densidad, de manera que pueden ocurrir errores sistemáticos significativos.

Este folleto ofrece una visión general (no exhaustiva) de los métodos comúnmente utilizados para medir la densidad y sus aplicaciones.

2 Unidades de medida

2.1 Volumen

La unidad del SI para volumen es el *metro cúbico*, símbolo: m³. En laboratorios químicos y en transacciones al por menor la unidad que se utiliza usualmente es el *litro*, símbolo l o L.

La 12 Conferencia General de Pesos y Medidas en 1964 decidió abolir una definición anterior de litro y definir que 1 litro es exactamente 1 dm³.

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} 1 \text{ l} &= 1 \text{ dm}^3 \\ 1000 \text{ l} &= 1 \text{ m}^3 \\ 1 \text{ ml} &= 1 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Las unidades *decilitro* (dl) y *centilitro* (cl), por tradición, se admiten como unidades legales en algunos países. Sin embargo, para evitar posibles confusiones con el *decímetro cúbico* y el *centímetro cúbico*, respectivamente, no se recomienda su uso en la industria y la ciencia.

El *mililitro* (símbolo: ml o mL) es, sin embargo, usado comúnmente en laboratorios y para declarar la cantidad de producto en preenvases. También es usado en los cálculos de este folleto.

2.2 Densidad

La densidad se define como la relación de la masa de un producto (por ejemplo, como si fuera pesado en el vacío) con su volumen. La unidad coherente del SI para la densidad es kg/m³ y se debería utilizar

normalmente para informar los valores de densidad de productos. Dado que las mediciones de masa en este folleto se dan en gramos (g) y las mediciones de volumen en mililitros (ml), las formulas y cálculos excepcionalmente utilizan la unidad g/ml, la cual no debe confundirse con la unidad de concentración.

$$1 \text{ g/ml} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Con el fin de evitar errores, las unidades se han repetido en cada formula en donde se introducen valores de densidad.

3 Posibles fuentes de error

Con el término error nos referimos a la diferencia entre el valor de la densidad medida y el valor "real" de la densidad del producto. Este error no debe confundirse con la incertidumbre de la medición.

En general, los errores ocurren por las siguientes causas:

- a) Diferencia en la temperatura si la medición de densidad se realiza a una temperatura diferente de 20 °C y no se aplica una corrección a 20°C.
- b) Uso de medios de medición inapropiados.
- c) Efecto de flotabilidad en la medición de masa.
- d) Muestreo inapropiado.

3.1 Temperatura

Las regulaciones nacionales, por lo general, establecen que el contenido real de los preenvases declarado en unidades de volumen debe mencionarse para una temperatura de 20 °C, excepto por productos congelados o ultracongelados, cuyo contenido debe mencionarse para la temperatura de venta, por ejemplo, generalmente -5 °C y -18 °C, respectivamente. Algunas economías requieren que los productos, principalmente productos lácteos, se almacenen y vendan a temperaturas inferiores a 20. En este caso el contenido declarado será el de a la temperatura al momento de la venta.

La medición puede hacerse a una temperatura diferente a 20 °C, pero esto requiere conocimiento del coeficiente de expansión de volumen del producto en cuestión. En este caso la conversión se puede hacer utilizando la siguiente formula:

$$\rho = \rho_t [1 + \gamma (t - 20)] \quad (1)$$

donde:

ρ = densidad del producto a 20 °C,

ρ_t = densidad del producto a t °C, y

γ = *coeficiente de expansión de volumen del producto.*

De cualquier modo, la temperatura al momento de medir la densidad no debería ser muy diferente a 20 °C, dado que es posible que no se conozca el coeficiente de expansión de volumen con exactitud suficiente.

Por lo general no se aplica una corrección si la temperatura no se desvía de 20 °C en más de $\pm 0,5$ °C. Una temperatura inferior lleva a un mayor estimado de la densidad del producto que, si se ignoran las correcciones, se dan en perjuicio del productor del preenvase.

3.2 Elección de medios y métodos de medición.

Es probable que los medios y métodos no sean apropiados en los siguientes casos:

a) Método no apto para el tipo de producto.

Ejemplo: El uso de un émbolo en productos con viscosidad muy alta.

b) Medios de medición técnicamente inadecuados (no lo suficientemente rígidos o que tienen otros defectos). *Ejemplo:* Un tapón o tapa de picnómetro mal ajustado que lleva a una mala reproducibilidad.

c) Uso de instrumentos de pesaje que no son lo suficientemente precisos en comparación con otros medios de medición.

Ejemplo: Uso de un picnómetro de 50 ml con un instrumento de pesaje que tiene un intervalo de escala de 1 g.

d) calibración no lo suficientemente precisa.

Ejemplo: Uso de un valor nominal (marcado) de un picnómetro de 100 ml cuando el valor real es 99,89 ml

3.3 Efecto de flotabilidad en la medición de masa

Cuando el volumen de un producto es determinado por la medición de la masa y la densidad, es necesario tener en cuenta el efecto de flotabilidad del aire. Este efecto sigue el principio de Arquímedes, el cual dice que un cuerpo sumergido en un fluido (gas o líquido) sufre un empuje hacia arriba igual al peso del fluido desplazado.

Según la ley del equilibrio de fuerzas, la indicación de un instrumento de pesaje depende de este empuje así arriba y la masa, por lo tanto, en la mayoría de los casos es ligeramente mayor que el valor indicado, la cual es una función de los volúmenes o densidades medias de tanto el producto y las pesas utilizadas para pesar, o para el preajuste del instrumento de pesaje.

No es necesario tener en cuenta esta diferencia en transacciones comerciales para las cuales el resultado indicado por el instrumento de pesaje es considerado exacto por convención (ver OIML D 28:2004 *Valor convencional del resultado de pesaje en aire*).

Sin embargo, es importante tener en cuenta la flotabilidad en aire al hacer mediciones de densidad con alta precisión.

En la práctica, los cálculos se hacen utilizando el siguiente valor como la densidad para pesas estándar: $\rho_n = 8 \text{ g/ml}$ y como densidad media del aire: $\rho_1 = 0,0012 \text{ g/ml}$. Utilizando estos dos valores se puede deducir la siguiente formula:

$$masa = masa\ aparente \times 0,99985 \frac{densidad\ del\ producto}{densidad\ del\ producto - 0,0012} \text{ g/ml} \quad (2)$$

Los cálculos en estos métodos de medición descritos en los anexos toman en cuenta el efecto de la flotabilidad.

Nota respecto al desarrollo de fórmulas de flotabilidad del aire

Se asume que el instrumento de pesaje, por lo general una balanza electrónica, ha sido ajustada a su lugar de uso con pesas estándar (masa = M_n). Si el producto pesado (masa = m) tiene una densidad (ρ) diferente a la del peso estándar (ρ_n), tenemos que:

$$m \cdot g - \frac{m}{\rho} \cdot \rho_l \cdot g = m_n \cdot g^* - \frac{m_n}{\rho_n} \cdot \rho_l^* \cdot g^*$$

donde g y g^* son las aceleraciones debido a la gravedad que actúan sobre el producto y sobre las pesas estándar, respectivamente.

Para una balanza electrónica ajusta al sitio de uso ($g = g^*$), también se asume que la densidad del aire es la misma ($\rho_l = \rho_l^*$).

Con los valores $\rho_l = 0,0012$ g/ml y $\rho_n = 8$ g/ml se obtiene que:

$$m = \frac{m_n \cdot 0,99985}{\rho} + 0,0012 \text{ g/ml}$$

Esta última expresión es la que se utiliza actualmente para mediciones con picnómetro.

Para calcular el volumen de un producto con gran exactitud desde el resultado de los pesajes en aire y con una densidad conocida, finalmente se utiliza la siguiente formula:

$$V = \frac{M \cdot 0,99985}{\rho - 0,0012} \text{ ml}$$

donde la masa indicada por la balanza (M) se expresa en gramos y ρ en g/ml.

3.4 Otras fuentes de error

3.4.1 Inclusión de aire

Hay que distinguir entre dos casos:

- La inclusión de aire en el producto mismo y por lo tanto en la muestra.

Para un cierto número de productos, se introduce aire por sí mismo durante las diferentes etapas de la producción sin posibilidad de escapar; por lo tanto ya se encuentra en estos productos durante el muestreo.

b. Introducción de aire a la muestra durante el procedimiento de muestreo.

En algunos casos, el aire introducido durante el muestreo puede escapar rápidamente del producto y, en otros casos, puede desaparecer muy lentamente. Por lo tanto, puede tomar horas o días para que el producto esté completamente libre de aire (por ejemplo: shampoos). También hay casos en el que el aire permanece continuamente en el producto después de su introducción, como por ejemplo en masillas.

Líquidos no transparentes, donde la presencia de aire no es perceptible hacen que las medidas sean aún más inciertas.

Guía:

- Solo se deben realizar mediciones de densidad una vez se haya eliminado el aire de la muestra. Por lo tanto, el vertido y la mezcla de líquidos debe realizarse de manera fluida y con gran cuidado.
- A algunos productos se les introduce aire durante el proceso de fabricación y se considera como una parte inseparable del producto.
- Si hay evidencia de aire introducido después del procedimiento de llenado y que este fenómeno solo es temporal (el aire no permanecerá en el producto final), puede ser posible tomar muestras del contenedor o de otra parte antes del llenado.

3.4.2 Sedimentación o separación de componentes

Puede que los productos que tienen varios componentes con densidades diferentes tengan una tendencia a asentarse de forma no homogénea. Los siguientes casos son ejemplos de causas de error en el muestreo:

a. La muestra se toma de una fase no homogénea.

Por lo tanto, la densidad de la muestra es diferente a la densidad media y es posible que la densidad disminuya durante el llenado continuo de los preenvases. Se debe tener esto en cuenta durante el muestreo y

- ya sea elegir una muestra en otra parte de la línea de producción, o
- tomar un mayor número de muestras.

b. Hay una separación de la muestra misma.

Solución: Revuelva lentamente o mezcle las partes del producto justo antes de la medición, sin introducir aire.

4 Métodos para la medición de densidad y su aplicación

4.1 Métodos

Métodos principales en un entorno industrial

Picnómetro	(Ver 5.1)
Émbolo	(Ver 5.2)
Contenedor del producto (botella con líneas marcadas)	(Ver 5.3)
Contenedor del producto (llenado hasta el borde)	(Ver 5.4)
Hidrómetro	(Ver 5.5)
Densímetro electrónico (portátil)	(Ver 5.6)

Métodos principales en un entorno de laboratorio

Densímetro electrónico de tipo laboratorio	(Ver 5.7)
Balanza de Mohr	(Ver 5.8)
Método de émbolo para masillas	(Ver 5.9)

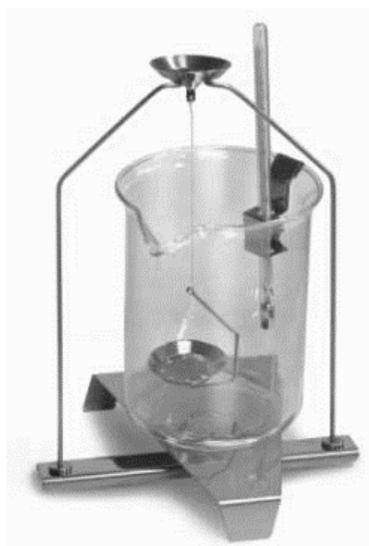


Figura 1: Kit de densidad para determinar la densidad de sustancias sólidas, líquidas, porosas y viscosas.

4.2 Aplicaciones

Producto	Método
----------	--------

a. Líquidos sin CO ₂ u otro gas.	- émbolo - picnómetro metálico - hidrómetro - densímetro electrónico
b. Productos con o sin CO ₂ en contenedores transparentes pero no deformables.	- botella con líneas marcadas
c. Producto que incluye CO ₂ en un contenedor no transparente	No es fácil de medir. Si es semitransparente, utilizar una botella con líneas marcadas en la medida de lo posible. Si no es posible dejar que el CO ₂ escape, seguir el literal a.
Producto	Método
d. Líquidos viscosos	- picnómetro metálico - densímetro electrónico del tipo laboratorio.
e. Masillas	- Método de émbolo para masillas - picnómetro con líquido no disolvente.
f. Productos en aerosol.	- densímetro electrónico del tipo laboratorio. - picnómetro especial de alta presión
g. Productos en varias fases en contenedores no deformables y no transparentes.	- contenedor utilizado como picnómetro y lleno de agua
h. Productos en varias fases en un contenedor deformable.	- transferencia del producto a un frasco de Erlenmeyer utilizado como picnómetro (ver g.)

5 Procedimientos de medición de densidad

5.1 Picnómetro

Descripción

Los picnómetros son medidores hechos de vidrio o metal y que tienen un volumen fijo.

El picnómetro se cierra por medio de un tapón o tapa en el que hay un pequeño agujero que permite eliminar el aire y el excedente de producto, de manera que la cantidad contenida en el picnómetro sea constante después de terminar la operación de llenado.

La capacidad de los picnómetros varía, pero generalmente es de 50 o 100 ml. Se prefiere este último valor, o más, para lograr una mayor precisión.

No se recomienda el uso de picnómetros con una capacidad menor a 25 ml.

Importante: Respecto a la mayor precisión, puede que el volumen real contenido en el picnómetro sea diferente de la capacidad nominal (marcada).

Campos de aplicación

Picnómetros de vidrio:	- líquidos claros sin CO ₂ u otros solutos bajo presión
- llenado con líquidos no disolventes:	- productos pastosos: masillas, pegamentos, productos contenidos en tubos deformables.
Picnómetros metálicos	- productos viscosos y ligeramente pastosos (productos de limpieza, lacas, etc.)



Figura 2: Picnómetros

Equipos necesarios

- Picnómetro calibrado según se describe arriba (se debe conocer el método de calibración).
- Instrumentos de pesaje con intervalos de escala de 10 mg (0,01 g) o menos para un picnómetro de 100 ml y de 1 mg (0,001 g) o menos para un picnómetro de 25 ml.
- Balanzas para la clase de exactitud M₁.
- Termómetro graduado a intervalos de 0,1 o 0,2 °C.
- Baño termostático

Preparación y mediciones

A. Método sin el uso de un líquido auxiliar no disolvente

- Limpiar el picnómetro con agua y alcohol.
- Aplicar una fina película de vaselina al borde superior del picnómetro para asegurar la hermeticidad de la tapa.
- Colocar el picnómetro y su tapa en el instrumento de pesaje y registrar el resultado del pesaje. (M_0).
- Llenar el picnómetro con mucho cuidado. Evitar la introducción de burbujas de aire. También se debe evitar, en la medida de lo posible, colocar el producto en las paredes cercanas a la ubicación de la tapa. El nivel de llenado debe ser tal que, después del ajuste definitivo del tapón o tapa (ver abajo) una pequeña cantidad del producto pueda escapar por la abertura.
- Colocar el tapón o la tapa holgadamente en el picnómetro y poner el conjunto en un baño termostático operando a $20\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$.
- Retirar y secar el picnómetro después de 20 a 30 minutos, con bastante rapidez, para así evitar cambios en la temperatura.
- Posteriormente, el tapón o tapa del picnómetro se coloca o ajusta firmemente y se limpia el exceso de producto con un pañuelo de papel apropiado colocado alrededor del tapón o alrededor del hueco de la tapa.
- Posteriormente, el picnómetro es pesado (M_v), vaciado, limpiado, secado y pesado de nuevo junto con las pesas estándar que corresponden aproximadamente al valor de $M_v - M_0$, por ejemplo a la masa contenida en el picnómetro.
- Registrar la indicación I_0 del instrumento de pesaje. Esta última medición permite determinar la corrección a aplicarse para compensar los errores sistemáticos en el instrumento de pesaje.

Nota: Precauciones adicionales pueden ser necesarias para evitar la introducción de burbujas de aire durante la manipulación de productos viscosos no transparentes utilizando picnómetros de metal.

B. Método utilizando llenado con un líquido auxiliar no disolvente.

Si el picnómetro se llena con un producto de un tubo o bote, se puede evitar la introducción de aire llenando el picnómetro, en primer lugar, con un líquido no disolvente de densidad conocida que no se mezcle con el producto (el agua suele ser apropiada).

En este caso, se pesa el picnómetro vacío (ver A.) y luego se llena con una pequeña cantidad (por ejemplo 1/3) del líquido no disolvente, seguido de un nuevo pesaje.

Luego se introduce el producto a ser medido para alcanzar el nivel de la tapa del picnómetro y el conjunto se pesa una tercera vez.

Luego se completa el llenado del picnómetro utilizando el líquido no disolvente, seguido de un cuarto pesaje. Ver A. para el resto de la operación.

Cálculos

Método A

$$\rho = 0,99985 \cdot \frac{M_p}{V} + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (3)$$

donde:

ρ = densidad del producto a 20 °C

M_p = masa aparente del producto: $M_p = M_v - M_0 + C$

donde

$C = M_0 + \text{pesas estándar adicionales} - I_0$

V = volumen del picnómetro a la temperatura de medición

Método B

$$\rho = 0,9985 \cdot \frac{m_2 - M_1}{V - 0,9985 \cdot \frac{(m_1 - m_0) - (m_2 - m_3)}{\rho_v - 0,0012}} + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (4)$$

donde:

m_0 = resultado del pesaje (masa aparente) del picnómetro vacío

m_1 = picnómetro + llenado parcial con líquido auxiliar

m_2 = picnómetro + llenado parcial con líquido auxiliar + producto

m_3 = picnómetro + llenado completo con líquido auxiliar + producto

ρ_v = densidad del líquido auxiliar a la temperatura de medición.

Ejemplo de cálculo utilizando el método A:

Picnómetro vacío:	$M_0 = 733,95 \text{ g}$
Picnómetro lleno completamente	$M_v = 859,94 \text{ g}$
Picnómetro vacío + 130 g de pesas estándar	$I_0 = 863,97 \text{ g}$
Corrección instrumento de pesaje: $(M_0 + 130 \text{ g} - I_0)$	$C = -0,02 \text{ g}$
Capacidad real del picnómetro:	$V = 99,75 \text{ ml}$

$$V = 0,99985 \cdot \frac{(859,94 - 733,95 - 0,02)}{99,75} + 0,0012 = 1,264 \text{ g/ml} \quad (5)$$

Calibración de un picnómetro:

El volumen real de un picnómetro es:

$$V = 0,99985 \cdot \frac{M_n}{\rho_w - 0,0012} \text{ ml} \quad (6)$$

donde:

V = volumen del picnómetro a la temperatura de medición

M_n = resultado del pesaje (masa aparente del agua contenida en el picnómetro)

ρ_w = densidad del agua (por ejemplo, a 20 °C: 0,998 201 g/ml)

Se asume que la densidad el aire durante el pesaje es igual a 0,001 2 g/ml.

5.2 Émbolo (esfera gama)



Figura 3: Émbolo esférico

Descripción

El émbolo es una esfera, generalmente hecha de bronce cromado y fijada a una vara cuya longitud se puede ajustar mediante rotación.

Está disponible en dos tamaños: 100 y 10 ml.

El modelo de 100 ml tiene una vara con divisiones de línea para indicar la profundidad de inmersión.

No se recomienda el uso del modelo de 10 ml ya que tiene un error relativo alto debido a la tensión superficial de los líquidos a ser probados.

Sin embargo, el valor aproximado de la tensión superficial de estos líquidos debe conocerse cuando se use el émbolo de 100 ml.

Campos de aplicación

Líquidos transparentes y ligeramente viscosos con o sin CO₂ u otros solutos. Debido a la facilidad de limpieza del émbolo esférico, se recomienda particularmente su uso para lacas, pinturas y productos similares con viscosidad media.

Equipos necesarios

- Émbolo calibrado (y certificado).
- Instrumento de pesaje con intervalos de escala ≥ 10 mg (0,01 g) y con una capacidad de pesaje de 800 g o más para pruebas con un émbolo de 100 ml.
- Conjunto de pesas clase M1.

- Termómetro con intervalos de escala de 0,1 o 0,2 °C.
- Vaso de precipitado de 500 o 600 ml.
- Soporte para sostener el émbolo.
- Baño termostático

Preparación y mediciones

- Primero, se limpian el émbolo y el vaso de precipitado. Luego, se llena el vaso de precipitado con el producto hasta que sea posible sumergir la esfera por completo a la profundidad prevista (por ejemplo: 300 ml). Evitar la introducción de aire durante esta operación.
- Colocar el vaso de precipitado y el émbolo en baño de agua termostático a $20\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ durante 20 a 30 minutos y luego secarlo externamente en caso de ser necesario.
- Luego, colocar el vaso de precipitado en la balanza y pesarlo (M_0) o tarar, si es posible.
- Con cuidado, llevar el émbolo al líquido hasta llegar a la línea marcada en la vara (por ejemplo: a 5 mm del nivel del líquido).
- Girar la parte inferior de la vara, manteniendo la parte superior y llevar la línea marcada ligeramente por debajo del nivel del líquido.
- Nuevamente, girar levemente la vara para llevarla hacia arriba, formando así un buen menisco. El menisco debe formarse por completo, permitiendo saber y calcular correctamente la influencia de la tensión superficial en la medición de densidad. Leer la balanza en este momento y registrar el valor (M_v).
- Por último, con el fin de eliminar posibles errores sistemáticos de la balanza, colocar el vaso de precipitado y su líquido, sin el émbolo, en la balanza y añadir una cantidad de pesas estándar correspondientes al valor aproximado de la diferencia $M_v - M_0$ y registrar la indicación I_0 .

Cálculos

$$\rho = 0,99985 \cdot \frac{M_p}{V} + \frac{\pi \cdot d}{g \cdot V} \cdot \sigma + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (7)$$

donde:

ρ = densidad del producto a 20 °C en mg/l

M_p = masa aparente de la masa desplazada por el émbolo: $M_p = M_v - M_0 + C$,
donde C es una corrección de los errores sistemáticos de la balanza:
 $C = M_0 + \text{pesas estándar adicionales} - I_0$

V = volumen del émbolo a la temperatura de medición en ml

g = aceleración local debido a la gravedad (por ejemplo: 9,81 m/s²)

d = diámetro del émbolo en mm

γ = tensión superficial del producto en N/m

π = 3,1416

Notas:

1. Es recomendable conocer el valor más exacto posible de la tensión superficial; de lo contrario, es posible que aparezcan errores cercanos a 0,0007 g/ml en la esfera de 100 ml.
2. La fórmula utiliza el valor medio 0,0012 g/ml como la densidad del aire y, para las pesas estándar, 8,0 g/ml.

Ejemplo de cálculo utilizando un émbolo de 100 ml:

Medición de la densidad de una pintura.

Pesaje:

Vaso de precipitado con pintura	$M_0 = 534,96 \text{ g}$
con émbolo	$M_v = 638,58 \text{ g}$
sin émbolo pero con 100 g	
de pesas estándar	$I_0 = 634,91 \text{ g}$
corrección $M_0 + 100 - I_0$	$C = 0,05 \text{ g}$
Volumen del émbolo (del certificado)	$V = 100,04 \text{ ml}$
Tensión superficial	$\sigma = 0,04 \text{ N/m}$
Diámetro de la vara del émbolo	$d = 3 \text{ mm}$

$$\rho = 0,9985 \cdot \frac{638,58 - 534,96 + 0,05}{100,04} + \frac{3,1416 \cdot 3}{9,81 \cdot 100,04} + 0,04 + 0,0012 = 1,0377 \text{ g/ml} \quad (8)$$

Calibración del émbolo:

El volumen del émbolo se calibra mediante su inmersión en un líquido de densidad conocida. El volumen real del émbolo se obtiene de:

$$V = \frac{0,99985 \cdot M + \frac{\pi \cdot d \cdot \sigma_c}{g}}{[\rho_c - 0,0012] \cdot [1 + (t - 20) \cdot \alpha_v]} \text{ ml} \quad (9)$$

donde:

V = volumen del émbolo a 20 °C en ml.

M = masa aparente del líquido desplazado por el émbolo (resultado del pesaje corregido para errores sistemáticos de la balanza) en g

T = temperatura durante la medición en °C

d = diámetro de la vara del émbolo en mm

g = aceleración debido a la gravedad m/s²

α_v = coeficiente de expansión cúbica del material del émbolo K⁻¹

σ_c = coeficiente de tensión superficial del líquido utilizado para la calibración N/m

ρ_c = densidad del líquido de calibración a una temperatura t en g/ml.

(El líquido utilizado con mayor frecuencia es agua destilada, para la cual: $\sigma_c = 0,072 \text{ N/m}$ and $\rho_c = 0,998 \text{ 201 g/ml}$ a 20 °C)

Método para productos volátiles:

Puede que los líquidos volátiles se evaporen muy rápido para utilizar el método normal descrito anteriormente. En este caso, se pueden hacer mediciones colocando el soporte del émbolo en la balanza.

Atención: En este caso, el signo positivo del componente de tensión superficial en la fórmula debe cambiarse por un signo negativo.

5.3 Botella con líneas marcadas

Descripción

Este método utiliza el contenedor del producto. El principio es básicamente el mismo que el del picnómetro, con la diferencia de que el volumen del contenedor de la botella (hasta la línea marcada) es desconocido inicialmente. El contenedor debe:

- no ser deformable;
- ser transparente en la ubicación de la línea marcada;
- tener un diámetro en la ubicación de la línea marcada (cuello) que sea pequeño (no mayor a 35 mm).

La marca de la línea y la nivelación de los líquidos deben hacerse con cuidado para evitar graves errores.

Campos de aplicación

- Bebidas que contienen CO₂;
- Productos no homogéneos;
- Productos volátiles.

Equipos Necesarios

- Botella no deformable y transparente, llena con el producto a ser medido.
- Instrumento de pesaje con capacidad apropiada e intervalos de escala de 10 mg para contenedores de hasta 500 ml y de 100 mg para otros.
- Baño termostático
- Marcador negro, resistente al agua.

Figura 4: Marcado del nivel



Preparación y mediciones

- Seleccionar una botella llena de la línea de producción que, en lo posible, tenga un alto nivel de líquido y ponerla en baño termostático a $20\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ durante 20 a 30 minutos.
- Colocar la botella sobre una superficie horizontal y, con el marcador, marcar una gruesa línea vertical que cruce el nivel del líquido y, con un esfero, marcar (o rayar) con una línea horizontal la ubicación del menisco en la línea vertical, mientras se observa la línea inferior del menisco por transparencia.
- Luego, pesar la botella y registrar el resultado (M_v)
- Vaciar la botella y limpiarla con medios apropiados, luego llenarla con agua destilada hasta un nivel ligeramente por debajo de la línea horizontal. Medir la temperatura del agua en la botella (t).
- Luego, colocar la botella sobre una línea horizontal y llenarla al nivel correcto de la línea marcada. Cerrar la botella y pesarla (M_w).
- Vaciar la botella de nuevo y secarla completamente antes de pesarla junto con su cápsula o tapa (M_t).
- En caso de ser necesario, se puede determinar y tener en cuenta el error sistemático del instrumento de pesaje haciendo mediciones separadas utilizando pesas estándar que se aproximen a M_v , M_w y M_t , para las cuales aplican las correcciones designadas como C_v , C_w and C_t , ver el ejemplo de cálculo a continuación.

Cálculos

La fórmula general para la botella con líneas marcadas es:

$$\rho = (\rho_w - 0,0012 \cdot \frac{M_p}{M_n} + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (10)$$

donde:

ρ = densidad del producto a 20 °C en g/ml

ρ_w = densidad del agua a $t\text{ °C}$ en g/ml

M_p = masa aparente del producto en g.

$$M_p = (M_v + C_v) - (M_t + C_t)$$

M_n = masa aparente del agua en la botella en g.

$$M_n = (M_w + C_w) - (M_t + C_t)$$

Ejemplo de una botella que contiene una bebida carbonatada:

Botella + producto + capsula:	$M_v = 1971,23 \text{ g}$
Botella + agua + capsula:	$M_w = 1927,11 \text{ g}$
Botella vacía + capsula:	$M_t = 928,25 \text{ g}$
Indicación para 1970 g de pesas estándar:	1969,83 g
Corrección (1970 g - 1969,83 g)	$C_v = +0,17 \text{ g}$
Indicación para 1930 g de pesas estándar:	1929,84 g
Corrección (1930 g - 1929,84 g)	$C_w = +0,16 \text{ g}$

Indicación para 930 g de pesas estándar:	929,93 g
Corrección (930 g - 929,93 g)	$C_t = +0,07$ g
Temperatura del agua:	$t = 17,4$ °C

Densidad del agua según la tabla X a 17,4 °C: $\rho_w = 0,9987$ g/ml

$$\rho = 0,987 - 0,0012 \cdot \frac{(1971,23+0,17)-(928,25+0,07)}{(1927,11+0,16)-(928,25+0,07)} + 0,012 = 1,0428 \text{ g/ml} \quad (11)$$

5.4 Contenedor lleno con agua hasta el borde

Descripción

Este método, similar al de la botella con líneas marcadas, utiliza el contenedor del producto como picnómetro, pero con una tapa hecha de metacrilato de metilo ("Plexiglas" o "Perspex") en la que un pequeño agujero define el nivel.

El contenedor debe:

- no ser deformable;
- tener un borde plano,
- estar diseñado de manera que no quede aire atrapado después del llenado completo.

Este método es mucho menos preciso que los anteriores, pero sigue siendo válido para ciertas aplicaciones.

Campos de aplicación

Contenedores completamente llenos y que contienen agua, productos no homogéneos como jabones, bebidas con fruta, pintura en diferentes fases, etc.

Importante: El agua no debe modificar la estructura molecular del producto mismo.

Equipos necesarios

- Contenedor o botella no deformable con un borde superior plano de tal forma que el aire no quede atrapado durante el llenado con agua.
- Instrumento de pesaje con intervalos de escala iguales o menores de 10 mg para contenedores con una capacidad menor a 500 ml y 100 mg (0,1 g) para contenedores de 500 ml o más.
- Tapa hecha de vidrio o metacrilato de metilo ("Plexiglass" o "Perspex") con un agujero en el centro.
- Termómetro con intervalos de escala de 0,1 o 0,2 °C.



Figura 5: Contenedor utilizado como picnómetro

- Baño termostático

Preparación y mediciones

- Tomar un contenedor cerrado de la línea de producción y colocarlo en baño termostático a $20\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ durante 20 a 30 minutos.
- Abrir el contenedor y engrasar el borde con vaselina para afectar el sellamiento de la tapa especial.
- Colocar el contenedor en la balanza, así como la tapa (por separado) y pesar el conjunto (M_p). (Ver figura 6.)
- Añadir agua a 20 °C al contenedor hasta 5 mm del borde, ajustar la tapa en el contenedor de manera que su abertura esté en el centro y colocar todo el conjunto en la balanza.
- Con cuidado, añadir agua hasta el nivel definido, sin introducir burbujas de aire bajo la tapa. Si estas están presentes, golpee ligeramente la tapa y complete el llenado. (Ver figura 7).
- Registrar la indicación del nuevo pesaje (M_s).
- Vaciar, limpiar y secar el contenedor con cuidado y engrasar ligeramente el borde. Pesar el contenedor vacío, junto con la tapa (M_t). (Ver figura 8.)
- Llenar el contenedor con agua destilada hasta 10 mm del borde y medir la temperatura del agua (t).
- Ajustar la tapa en el contenedor, colocar todo el conjunto en la balanza, completar el llenado con agua y registrar la indicación de la balanza (M_w). (Ver figura 9.)
- Determinar, si es necesario, las correcciones para el instrumento de pesaje utilizando pesas estándar con aproximadamente los mismos valores de masa que las indicaciones M_p , M_s , M_t y M_w ; las correcciones correspondientes se designan C_p , C_s , C_t y C_w .

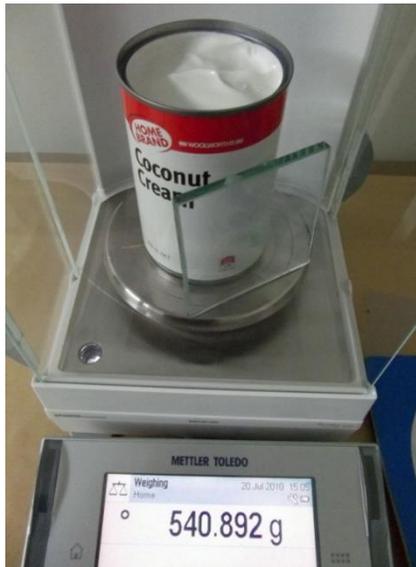


Figura 6: Pesaje del contenedor, producto y golpe



Figura 7: Ajuste del nivel con agua y pesaje



Figura 8: Pesaje del contenedor, producto y golpe

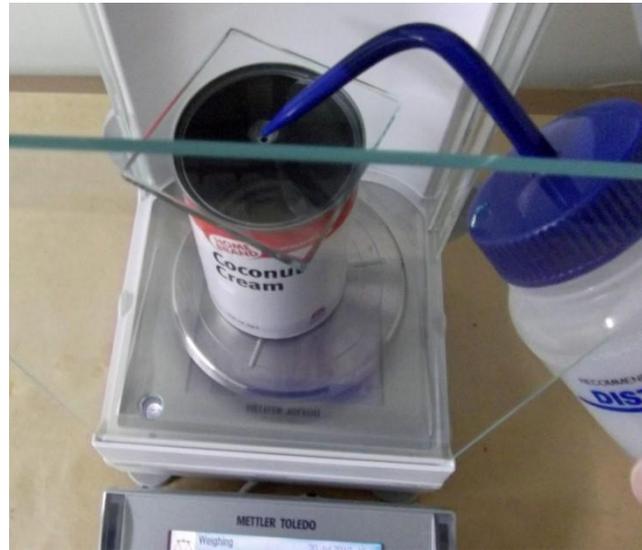


Figura 9: Llenado con agua y pesaje

Cálculos

La fórmula general para la densidad en este caso es:

$$\rho(\rho_w - 0,0012) \cdot \frac{M_p^* - M_t^*}{M_p^* - M_t^* + M_w^* - M_s^*} + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (12)$$

donde:

ρ = densidad del producto a 20 °C en g/ml

ρ_w = densidad del agua a t °C en g/ml

$M_p^* = M_p + C_p$

$M_s^* = M_s + C_s$

$M_t^* = M_t + C_t$

$M_w^* = M_w + C_w$

Ejemplo: sopa de tomate contenedor de 1 l:

Contenedor abierto con producto y tapa especial:

$M_p = 938,15 \text{ g}$

Contenedor con tapa, producto y agua adicional:

$M_s = 1005,21 \text{ g}$

Contenedor con tapa, completamente lleno de agua:	$M_w = 968,89 \text{ g}$
Contenedor vacío con tapa:	$M_t = 94,49 \text{ g}$
Indicación para 950 g de pesas estándar:	949,92 g
Corrección (950 g – 949,92 g):	$C_p \text{ y } C_w = 0,08 \text{ g}$
Indicación de 1.000 g de pesas estándar:	995,95 g
Corrección (1000 g – 999,95 g):	$C_s = 0,05 \text{ g}$
Indicación para 95 g de pesas estándar:	95,01 g
Corección (950 g – 95,01 g):	$C_t = -0,01 \text{ g}$
$M_p^* = 938,15 \text{ g} + 0,08 \text{ g} =$	938,23 g
$M_s^* = 1005,21 \text{ g} + 0,08 \text{ g} =$	1005,29 g
$M_w^* = 968,89 \text{ g} + 0,05 \text{ g} =$	968,94 g
$M_t^* = 94,49 \text{ g} - 0,01 \text{ g} =$	94,48 g
Temperatura del agua:	$t = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$
Densidad del agua a $t = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$ según la tabla X:	$\rho_w = 0,998 \text{ 63 g/ml}$

$$\rho = (0,99863 - 0,0012) \cdot \frac{938,23 - 94,48}{938,23 - 94,48 + 968,94 - 1005,29} + 0,0012 = 1,044 \text{ g/ml} \quad (13)$$

5.5 Hidrómetro

Descripción

El hidrómetro tiene un cuerpo cilíndrico hecho de vidrio. Su parte inferior, la cual se sumerge en uso, se llena con un material de lastre y la parte superior, que se sumerge parcialmente en uso, tiene la forma de un angosto tubo graduado.

El método de operación se basa en el principio de Arquímedes, con el paso de profundización dependiendo el equilibrio entre el peso del hidrómetro y el empuje hacia arriba determinado por el peso del líquido desplazado.

Hay varios tipos de hidrómetros:

- con o sin la inclusión de un termómetro,
- de varias exactitudes: 0,02 a 0,0001 g/ml,
- con rangos diferentes (dependiendo de la exactitud).

El tipo más comúnmente utilizado para la medición de densidad en el campo del control de preenvases en Europa (con la marca "e") es el hidrómetro sin termómetro incorporado y con una exactitud de 0,0005 g/ml.

Debido al estrecho rango de cada hidrómetro (0,05 g/ml), son necesarios nueve hidrómetros para cubrir el rango de 0,7500 a 1,2000 g/ml.

El uso o ajuste correcto también depende del tipo de producto a ser medido: si el líquido es transparente, la lectura se puede tomar en la línea determinada por el fondo del menisco; si este no es el caso, es necesario tomar la lectura en la parte superior del menisco. (Ver figura 11.)

También es necesario tener en cuenta la tensión superficial del líquido a ser medido, la cual debe ser conocida respecto al líquido utilizado para calibrar el hidrómetro.

No se requiere un instrumento de pesaje.

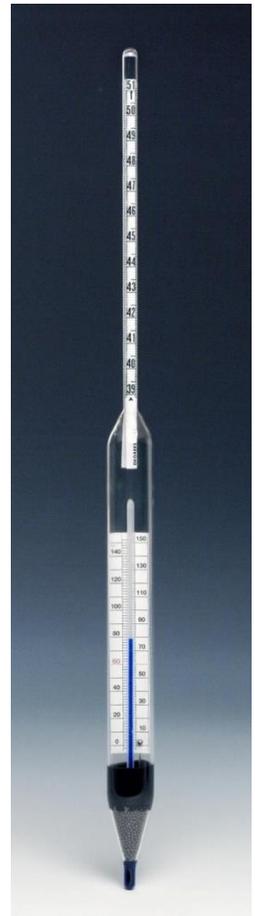


Figura 10:
Hidrómetro

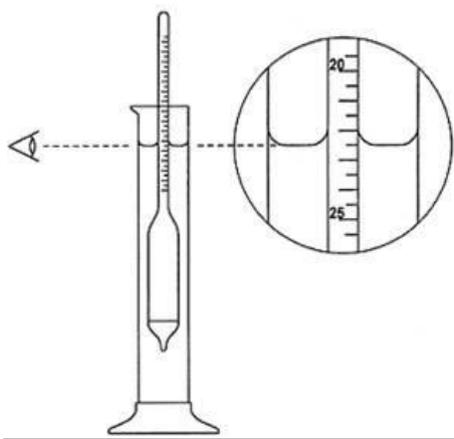


Figura 11: Lectura del menisco para líquidos transparentes

Campos de aplicación

Líquidos no carbonatados, productos líquidos con baja viscosidad y en una fase homogénea.

Equipos necesarios

- Hidrómetro certificado, preciso a 0,0005 g/ml para los productos relevantes.
- Termómetro con intervalos de escala de 0,1 o 0,2 °C.
- Contenedor cilíndrico de suficiente altura y no muy estrecho.
- Baño termostático

Preparación y mediciones

- Primer se deben limpiar el cilindro de vidrio y el hidrómetro con cuidado.
- El cilindro de vidrio se llena con el líquido a ser medido, sin introducir burbujas de aire. Colocar el cilindro y el hidrómetro en baño termostático para obtener una temperatura uniforme de 20 °C.
- Levantar el hidrómetro y dejarlo caer suavemente, de manera que flote libre y verticalmente en el producto. Las lecturas se toman utilizando ya sea la línea inferior o la parte superior del menisco, dependiendo del tipo de líquido y la calibración.

Cálculos

La densidad del producto es:

$$\rho = \text{lectura} + \text{factor de corrección g/ml} \quad (14)$$

El factor de corrección se menciona individualmente en el certificado de calibración de cada hidrómetro.

5.6 Medidor de densidad electrónico portátil

Descripción

Los medidores de densidad electrónicos están disponibles comercialmente y tienen intervalos de escala de 0,001 g/ml en densidad y 0,1 °C en temperatura, y pueden ser apropiados para mediciones de densidad de productos preenvasados.

Su principio se basa en la medición de la frecuencia natural de un tubo de vidrio en forma de U que tiene un volumen constante a una temperatura determinada. Esta frecuencia se relaciona con la masa del tubo y, por lo tanto, con la densidad del producto contenido en el mismo. La pantalla indica directamente la densidad en g/ml.

El tipo de instrumento puede no incluir control de temperatura, pero puede permitir que la temperatura sea tenida en cuenta en el cálculo.

El termómetro incorporado puede ser exacto a 0,5 °C y la indicación de densidad a 0,001 g/ml.

Por lo general es necesario utilizar el instrumento dentro de los siguientes rangos de operación:

- la densidad del producto se debe encontrar dentro del rango de 0,7 a 1,2 g/ml.
- la temperatura de operación debe estar entre +10 a +30 °C.

El instrumento se puede utilizar de dos formas:

- con un bulbo de succión de caucho incorporado,
- con jeringas plásticas externas.

El primer método no es recomendable, ya que puede introducir burbujas de aire con facilidad, llevando a errores en los valores de densidad medidos.

La pequeña cantidad de muestra requerida tiene una baja capacidad térmica y, por lo tanto, su temperatura se ajusta rápidamente a la temperatura ambiente que se indica en el instrumento.

Dado que, por lo general, no se conoce el coeficiente de expansión de volumen del producto, es preferible operar a una temperatura de 20 °C.

Importante: Dado que el vidrio es frágil, es necesario evitar la presión en el tubo en forma de U, así como productos viscosos o pesados.



Figura 12: Medidor de densidad electrónico portátil

Campos de aplicación

Según las especificaciones del fabricante. Por lo general: líquidos viscosos que no contienen aire ni dióxido de carbono y para los cuales la densidad se encuentra entre 0,7 ml y 1,2 g/ml.

Equipos necesarios

- Medidor de densidad electrónico portátil que esté calibrado (certificado) y ajustado antes de la medición.
- Agua destilada para su ajuste.
- Jeringas plásticas, con capacidad de 2 ml.
- Bulbo de succión o bomba de acuario.
- Termómetro con intervalo de escala de 0,1 o 0,2 °C.
- Instalación de conformidad con las instrucciones del fabricante.

Preparación

- Revisar la calibración del medidor de densidad cada vez antes de su uso, o por lo menos una vez al inicio de cada día de uso.
- Utilizar una jeringa para inyectar agua destilada según lo indique el fabricante, después de haber eliminado cualquier burbuja de aire.
- Esperar el tiempo indicado por el fabricante. Leer la densidad y la temperatura correspondiente. Si la densidad difiere de la indicada en la tabla 1 por más de 0,001 g/ml, el instrumento debe ajustarse utilizando el dispositivo diseñado para tal fin.
- Luego, vacíe la celda de medición, enjuague con alcohol y seque. La indicación de cero sin producto debe ser 0,000 o 0,001 o 0,002 g/ml. De lo contrario, comience la operación de calibración nuevamente.

Mediciones

- Llenar dos o tres jeringas con el producto de muestra. Eliminar el aire, golpeando mientras se sostiene la aguja de la jeringa hacia arriba.
- Medir la temperatura ambiente con un termómetro separado. Preferiblemente, la temperatura ambiente debe ser de entre 19,5 y 20,5 °C; sin embargo, se pueden hacer mediciones de densidad si este no es el caso.
- Se pueden hacer distinciones entre tres situaciones:
 - A. La temperatura ambiente es de entre 19,5 y 20,5 °C;
 - B. Es menor que 19,5 °C;
 - C. Es mayor que 20,5 °C.

Caso A: El producto se puede introducir directamente en el medidor de densidad utilizando una jeringa. Esperar a que la temperatura indicada por el instrumento deje de cambiar. Luego, leer la densidad a 0,001 g/ml. Repetir el proceso utilizando la segunda jeringa. En caso de duda, utilice la tercera jeringa para confirmar el resultado.

Caso B: Los mismos procedimientos para A, después de haber colocado primero la jeringa en un chorro de agua a, por ejemplo, 25 °C, haciendo la inyección y luego dejando que la temperatura baje a 20 °C, según lo indique el termómetro del instrumento.

Caso C: El mismo procedimiento que en B, pero primero enfriando la temperatura en un chorro de agua a, por ejemplo, 15 °C.

- En los tres casos la medición de la densidad se hace mediante lectura directa del instrumento y es válida para la temperatura de 20 °C.
- Después de cada medición, limpie la celda de medición del medidor de densidad con agua y alcohol, y séquela utilizando una bola de succión o la bomba de acuario.

5.7 Medidor de densidad electrónico para uso en laboratorios

Descripción

Estos tipos de medidores de densidad, que tienen una mayor exactitud que los de tipo portátil, utilizan la frecuencia natural de un tubo lleno con el producto a ser medido. Estos pueden incluir una regulación de temperatura o necesitar el uso de un baño termostático externo.

Algunos modelos pueden soportar presiones más altas, de hasta 10 bar, y por lo tanto permiten medir la densidad de productos en aerosol.

Campos de aplicación

Estos instrumentos permiten medir la densidad de todos los productos, sean líquidos o pastosos, pero que no contienen burbujas de aire o CO₂.

Para el uso correcto del instrumento es necesario seguir las instrucciones del fabricante.

5.8 Balanza hidrostática (balanza de Mohr)

(Únicamente para uso de laboratorio).

Descripción

La operación de esta balanza se basa en el principio de Arquímedes.

La balanza pesa un émbolo que cuelga de un fino cable metálico.

Por lo general, el émbolo es un cilindro con un volumen de entre 1 y 10 ml. La diferencia entre el resultado del pesaje en aire y el resultado del pesaje en líquido permite determinar la densidad del líquido.

En la balanza de Mohr, el émbolo se balancea previamente en el aire de manera que la cantidad de pesas añadidas para reestablecer el equilibrio en el líquido suministre valores directos de densidad en g/ml.

Las balanzas de Mohr comerciales de este tipo, con lectura, directa, por lo general no son de alta exactitud (en el mejor de los casos, cerca de 0,001 g/ml) aunque el principio, cuando se adapta a una balanza analítica, puede permitir mediciones de 0,0001 g/ml en líquidos controlados termostáticamente, sujeto a problemas con la tensión superficial.

Para su aplicación y operación se deben seguir las instrucciones del fabricante.



Figura 13: Balanza de Mohr

5.9 Método de émbolo para masillas

Descripción

Principio: La muestra de producto se sumerge en un líquido de densidad conocida. La diferencia entre el pesaje en aire y en el líquido permite calcular la densidad.

Equipos necesarios

- Vaso de precipitado, 600 ml de capacidad.
- Agua destilada a 20 °C.
- Tiras delgadas de cobre o latón.
- Cable de nylon o metal (por ejemplo un sedal de pesca 0,18 mm).
- Balanza equipada para pesaje hidrostático, intervalo de escala de 1 mg (0,001 g) o menor.
- Soporte para la balanza, de modo que se permita el pesaje por debajo del plato.
- Pequeña plataforma de soporte, con altura ajustable, para el vaso de precipitado.

Preparación y mediciones

- Fijar la tira metálica al cable y suspenderlo bajo la balanza. Tomar la lectura de la balanza para la tira en el aire (M_1).
- Colocar el vaso de precipitado, lleno a la mitad con agua a 20 °C bajo la balanza, de manera que la tira metálica esté completamente sumergida. Tomar la lectura de la balanza con la tira en el agua (M_2).
- Remover la tira metálica del vaso de precipitado, secarla y cubrirla con cuidado con la masilla a lo largo. Remover el vaso de precipitado y pesar el producto y la tira en el aire (M_3).
- Llevar el vaso de precipitado bajo la balanza y pesar el producto y la tira completamente sumergidos en agua (M_4).
- Si es necesario, corregir las lecturas $M_1 - M_4$ para los errores sistemáticos de la balanza.

Cálculos

$$\rho = \frac{M_3 - M_1}{(M_3 - M_1) - (M_4 - M_2)} \cdot (\rho_w - 0,0012) + 0,0012 \text{ g/ml} \quad (15)$$

donde:

ρ = densidad del producto a la temperatura de medición

ρ_w = densidad del agua a la temperatura de medición (de la tabla).

Nota: Si el producto a ser probado se disuelve en el agua, utilizar otro líquido de referencia (metanol o metiletilcetona (MEC) para masillas de silicona).

6 Tabla: Densidad de aire libre de agua como función de la temperatura

(De un documento por H. Wagenbreth yW. Blanke, publicado en PTB-Mitteilungen, No. 6, 1971, p.412-415)

Los valores se expresan en kg/m³ Para obtener valores en g/ml, dividir por 1000.

t (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	999,8396	999,8463	999,9528	999,8591	999,8653	999,8713	999,8771	999,8827	999,8882	999,8934
1	999,8985	999,9035	999,9082	999,9128	999,9172	999,9214	999,9254	999,9293	999,9330	999,9365
2	999,9399	999,9431	999,9461	999,9489	999,9516	999,9541	999,9565	999,9587	999,9607	999,9625
3	999,9642	999,9657	999,9670	999,9682	999,9692	999,9701	999,9708	999,9713	999,9717	999,9717
4	999,9720	999,9718	999,9716	999,9711	999,9705	999,9698	999,9689	999,9678	999,9666	999,9652
5	999,9637	999,9620	999,9602	999,9582	999,9560	999,9537	999,9513	999,9487	999,9459	999,9430
6	999,9399	999,9367	999,9334	999,9299	999,9262	999,9224	999,9184	999,9143	999,9101	999,9057
7	999,9011	999,8964	999,8916	999,8866	999,8815	999,8762	999,8708	999,8652	999,8595	999,8537
8	999,8477	999,8416	999,8353	999,8289	999,8223	999,8157	999,8088	999,8019	999,7947	999,7875
9	999,7801	999,7726	999,7649	999,7571	999,7492	999,7411	999,7329	999,7246	999,7161	999,7075
10	999,6987	999,6898	999,6808	999,6717	999,6624	999,6530	999,6434	999,6337	999,6239	999,6140
11	999,6039	999,5937	999,5834	999,5729	999,5623	999,5516	999,5408	999,5298	999,5187	999,5074
12	999,4961	999,4846	999,4730	999,4612	999,4494	999,4374	999,4253	999,4130	999,4007	999,3882
13	999,3756	999,3628	999,3500	999,3370	999,3239	999,3106	999,2973	999,2838	999,2702	999,2565
14	999,2427	999,2287	999,2146	999,2004	999,1861	999,1717	999,1570	999,1424	999,1276	999,1127
15	999,0977	999,0826	999,0673	999,0519	999,0364	999,0208	999,0051	998,9892	998,9733	998,9572
16	998,940	998,9247	998,9083	998,8917	998,8751	998,8583	998,8414	998,8244	998,8073	998,7901
17	998,7728	998,7553	998,7378	998,7201	998,7023	998,6845	998,6665	998,6483	998,6301	998,6118
18	998,5934	998,5748	998,5562	998,5374	998,5185	998,4995	998,4804	998,4612	998,4419	998,4225
19	998,4030	998,3833	998,3636	998,3438	998,3238	998,3037	998,2836	998,2633	998,2429	998,2224
20	998,2019	998,1812	998,1604	998,1395	998,1185	998,0973	998,0761	998,0548	998,0334	998,0119
21	998,9902	997,9685	997,9467	997,9247	997,9027	997,8805	997,8583	997,8360	997,8135	997,7910
22	997,7683	997,7456	997,7227	997,6998	997,6767	997,6536	997,6303	997,6070	997,5838	997,5600
23	997,35363	997,5126	997,4887	997,4648	997,4408	997,4166	997,3924	997,3670	997,3436	997,3191
24	997,2944	997,2697	997,2449	997,2200	997,1950	997,1699	997,1446	997,1193	997,0939	997,0685
25	997,0429	997,072	996,9914	996,9655	996,9396	996,9135	996,8873	996,8611	996,8347	996,8083
26	996,7818	886,7551	996,7284	996,7016	996,6747	996,6477	996,6206	996,5935	996,5661	996,5388
27	996,5113	996,4837	996,4561	996,4284	996,4003	996,3726	996,3446	996,3165	996,2883	996,2600
28	996,2316	996,2032	996,1746	996,1460	996,1172	996,0884	996,0595	996,0305	996,0014	995,9722
29	995,9430	995,9136	995,8842	995,8546	995,8250	995,7953	995,7655	994,7356	995,7056	995,6756
30	995,6465	996,6152	995,5848	995,5544	995,5239	995,4934	995,4627	995,4319	995,4011	995,3701
31	995,3391	995,3080	995,2768	995,2456	995,2142	995,1828	995,1512	995,1196	995,0879	995,0561
32	995,0243	994,9923	994,9603	994,9282	994,8960	994,8637	994,8313	994,7988	994,7663	994,7337
33	994,7010	994,6682	994,6353	994,6024	994,5693	994,5362	994,5030	994,4697	994,4364	994,4029
34	994,3694	994,3358	994,3021	994,2683	994,2345	994,2005	994,1665	994,1324	994,0982	994,0640
35	994,0296	993,9952	993,9607	993,9261	993,8915	993,8567	993,8219	993,7870	993,7521	993,7070
36	993,6819	993,6467	993,6114	993,5760	993,5406	993,5050	993,4694	993,4338	993,3980	993,3622
37	993,3263	993,2903	993,2542	993,2181	993,1818	993,1455	993,1092	993,0727	993,0362	992,9996
38	992,9629	992,9261	992,8893	992,8524	992,8154	992,7784	992,7412	992,7040	992,6668	992,6294
39	992,5920	992,5545	992,5169	992,4792	992,4415	992,4037	992,3658	992,3279	992,2899	992,2518
40	992,3126									

ESTA ES UNA TRADUCCIÓN FIEL Y VERAZ AL IDIOMA ESPAÑOL DE UN DOCUMENTO ESCRITO EN EL IDIOMA INGLÉS REALIZADA EL 15 DE DICIEMBRE DE 2015

CARLOS ALBERTO ARENAS PARÍS

TRADUCTOR E INTÉRPRETE OFICIAL INGLÉS-ESPAÑOL-INGLÉS

CERTIFICADO DE IDONEIDAD PROFESIONAL No. 0414

UNIVERSIDAD NACIONAL – 04 de agosto de 2015

Cédula No. 1.018.419.757 de Bogotá

Email: carenas88@gmail.com