

Cálculo de densidades.

Objetivo

- Determinación de la densidad de sólidos y líquidos mediante diferentes procedimientos. En todos los casos, se deberán estimar las incertidumbres o errores de medida.

Material

1. Objetos cuya densidad se pretende medir (piezas sólidas de diferentes materiales, solidos pulverulentos como arena, líquidos como alcohol etílico, etc).
2. Balanzas de precisión.
3. Probetas y vasos de precipitados.
4. Hilo para suspender las piezas sólidas e introducirlas en las probetas o en los vasos de precipitados.
5. Soportes para sujetar las piezas con el hilo al ser sumergidas.
6. Calibres y Palmers.
7. Picnómetros.
8. Densímetros.

Descripción de los diferentes aparatos de medida

Balanza de precisión (electrónica)

De forma genérica, la balanza es un aparato que sirve para medir la masa de los objetos. En nuestro caso particular, utilizaremos balanzas electrónicas de precisión, que a diferencia de sus antecesoras mecánicas, utilizan sensores para conocer el valor del peso (masa) que se deposita. Estos sensores envían distintas señales eléctricas en función del peso, que serán digitalizadas y decodificadas por un pequeño procesador. El valor resultante se muestra en una pequeña pantalla, tal y como puede verse en la Fig. 1. En cambio, las antiguas balanzas mecánicas se basaban en la comparación del peso (o masa) incógnita con otros contrapesos conocidos.

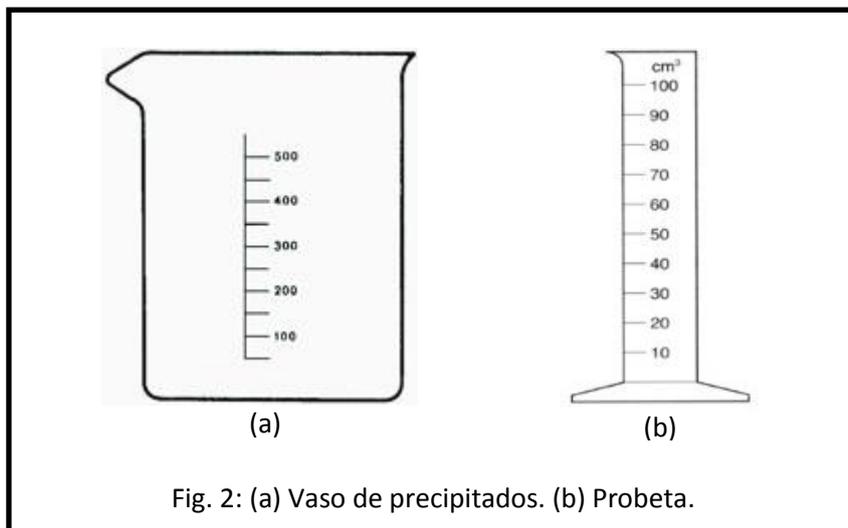
Las balanzas electrónicas requieren una fuente de electricidad para funcionar. Si una balanza está correctamente calibrada, las medidas realizadas pueden ser muy precisas, lo que convierte a estos aparatos en algo muy útil a la hora de determinar la masa de un cuerpo cuando se requiere mucha exactitud. Las balanzas que usaremos en el laboratorio tienen una precisión de la centésima de gramo (0.01 g).



Fig. 1: Balanza de precisión

Vasos de precipitados y probetas

Son instrumentos en forma de cilindro o tubo graduado que permiten contener líquidos y sirven, entre otras cosas, para medir volúmenes de forma aproximada (ver Fig. 2). En la parte inferior están cerrados y poseen una base que sirve de apoyo. La parte superior está abierta (permite introducir el líquido) y suele tener un pico (permite verter el líquido).



Calibre o pie de rey

Instrumento para la medida de dimensiones exteriores, interiores y profundidades (ver Fig. 3). Consiste en una regla graduada con dos mordazas cuyos bordes están enfrentados y son rectilíneos y perpendiculares a la regla. Una de las piezas es fija a la regla, mientras que la otra es móvil a lo largo de ella y lleva el nonius, que permite aumentar la precisión del instrumento: si el nonius tiene n divisiones, la precisión es la de la regla dividida por n .

Principio de funcionamiento del calibre: un nonius con n divisiones se construye de modo que su longitud total sea igual a $n - 1$ divisiones de la regla (ver Fig. 4), con lo que la longitud de una división del nonius es $(n - 1)/n$ de la división más pequeña de la regla. El nonius de la Fig. 4 está dividido en 10 partes iguales, por lo que en este caso se tiene que $n = 10$. Además, su longitud es de exactamente 9 mm , por lo que cada subdivisión mide $9/10 = 0.9 \text{ mm}$ y su precisión será de $1/10 = 0.1 \text{ mm}$. Con el instrumento desplazado 0.1 mm , la primera (y sólo la primera) línea del nonius coincide con una línea de la regla superior ($0.9 \text{ mm} + 0.1 \text{ mm}$ coincide con la línea de 1 mm de la regla). Al desplazar 0.2 mm , sólo la segunda línea coincide con una línea de la regla superior ($2 \times 0.9 + 0.2 \text{ mm}$ coincide con la línea de 2 mm de la regla) y así sucesivamente, lo que ofrece la mencionada precisión de 0.1 al determinar cuál de las líneas del nonius coincide con una de arriba.

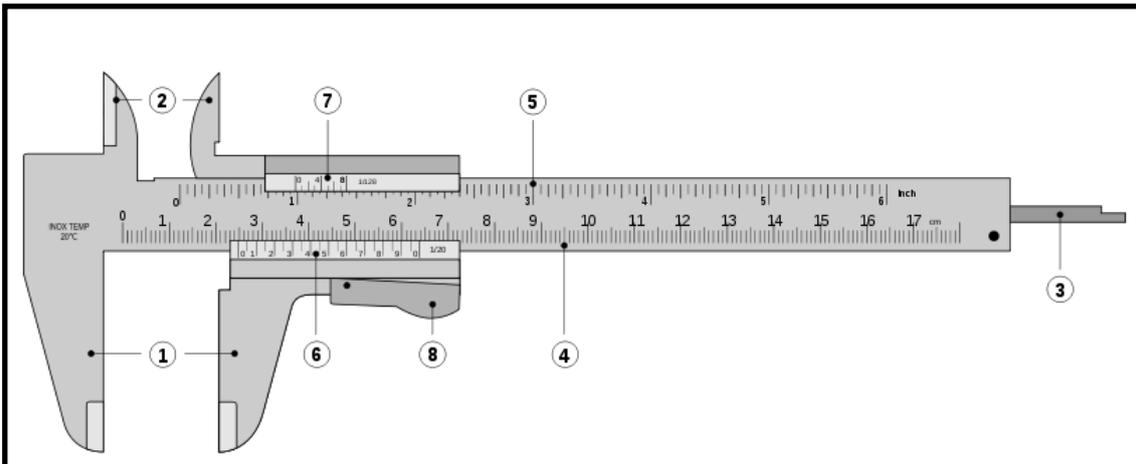


Fig. 3: Esquema de un calibre o pie de rey.

1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Varilla para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
8. Botón de deslizamiento y freno.

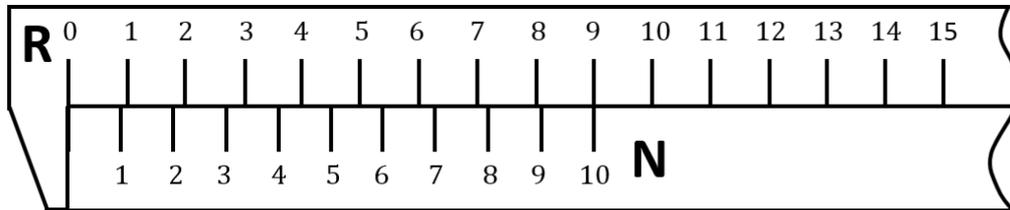


Fig. 4: Regla del calibre (R) y nonius (N).

Error de cero: si al cerrar las mordazas hasta el contacto de sus bordes el cero del nonio no coincide con el de la regla existe error de cero. Para hallar su valor hay que determinar la línea del nonio L que coincide con una línea de la regla superior. Si el cero del nonio cae antes que el de la regla el error es $\varepsilon = n - L$ y si cae después $\varepsilon = -L$ (en ambos casos multiplicado por la precisión del nonio). Este valor ha de sumarse (con su signo) a las medidas que se hagan con el aparato.

Modo de operar: se desplaza la pieza móvil hasta que coincida con la longitud que se desea medir. La longitud buscada es igual a la longitud que marca la regla antes del cero del nonio, l_0 (número de divisiones de la regla multiplicadas por su precisión) más la precisión del nonio multiplicada por el valor de la línea del nonio que coincide con una de la regla superior (que corresponde a la longitud l_1 que hay desde la última división de la regla hasta el cero del nonio). Como ejemplo, en la figura 5 el resultado de la medición sería $l = l_0 + l_1 = 4 \times 1 \text{ mm} + 8 \times 0.1 \text{ mm} = 4 \text{ mm} + 0.8 \text{ mm} = 4.8 \text{ mm}$.

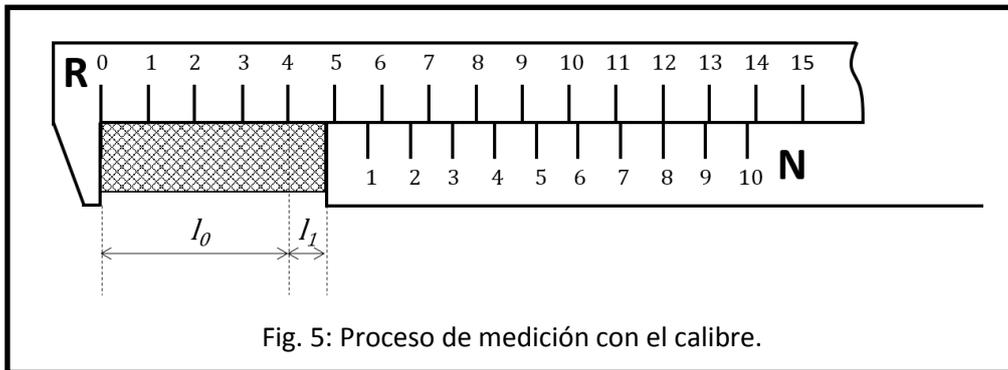


Fig. 5: Proceso de medición con el calibre.

Palmer

Es un instrumento que utiliza un tornillo micrométrico y se emplea generalmente para medir las dimensiones lineales de pequeños objetos y espesores. Está formado por una pieza metálica en forma de U (ver Fig. 6). De la parte superior de una de las ramas arranca una pieza cilíndrica, que sirve de tuerca a un tornillo micrométrico y en la

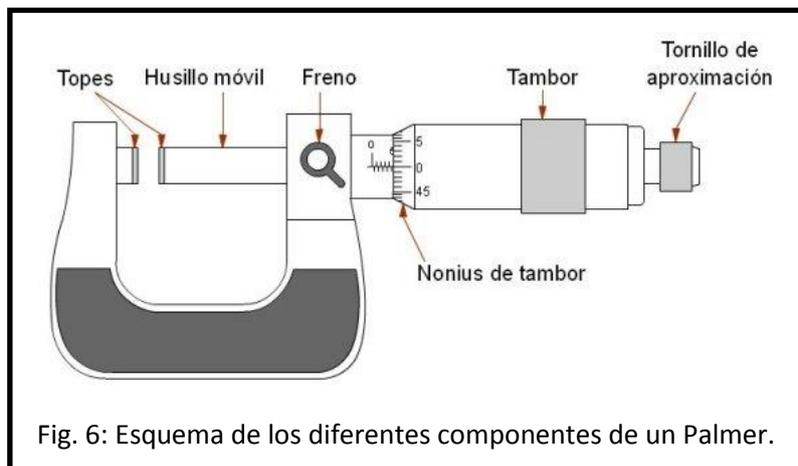


Fig. 6: Esquema de los diferentes componentes de un Palmer.

la cual está marcado un índice a lo largo de una generatriz que hace de contador de vueltas. La cabeza del tornillo tiene forma de tambor hueco y enfunda a dicha pieza—tuerca. Un borde de este tambor es paralelo a las divisiones de la regla y a su alrededor lleva marcada una escala circular. El avance de la punta del tornillo está limitado por una pieza tope que hay en la otra rama de la U. La precisión del Palmer es el cociente entre una división de la regla y el número de divisiones que haya tenido que girar el tambor para avanzar esa división. En la lectura de la medida, las unidades enteras las dará la escala de la generatriz, mientras que las fracciones de unidad las marca el tambor. Para medir la longitud de un cuerpo, éste se coloca entre el tope y el extremo del tornillo. A continuación se hace avanzar el tornillo hasta que presione ligeramente al cuerpo. En la escala fija se lee el número de cifras enteras, y la parte fraccionaria se lee en la escala móvil. El Palmer que se va a utilizar tiene un

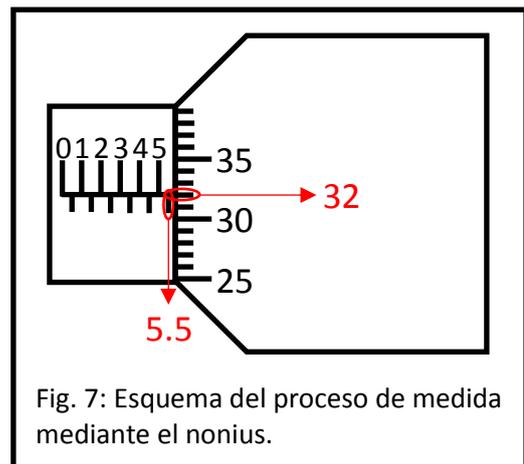


Fig. 7: Esquema del proceso de medida mediante el nonius.

paso de rosca de 0.5 mm y la escala móvil tiene 50 divisiones, por lo que la precisión es de 0.01 mm.

Al realizar una medida siguiendo la Fig. 7, la escala fija nos indica 5.5 y la escala móvil 32. Por lo tanto, la medida será 5.82 mm.

Picnómetro

El picnómetro es un recipiente, por lo general de vidrio, en forma de uso achatado en su base, cuyo volumen ha sido previamente calibrado (ver Fig. 8). Además, dispone de un tapón provisto de un finísimo capilar, de manera que puede determinarse un volumen con gran precisión. Esto permite medir la densidad de sólidos y líquidos, en referencia a la de un fluido de densidad conocida, como por ejemplo el agua. En particular, este método es especialmente apropiado para la medición de densidades de productos pulverulentos como puede ser el cemento o la arena, o de líquidos.

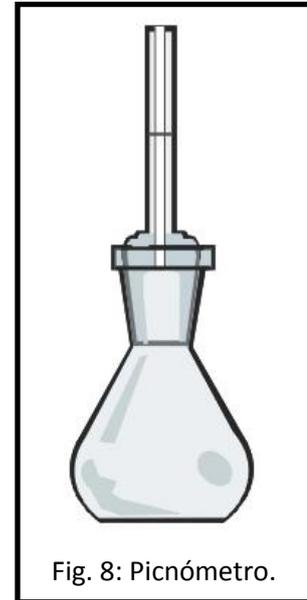


Fig. 8: Picnómetro.

Principio de funcionamiento del picnómetro (sólidos): Se realizarán tres mediciones diferentes:

M_1 : Masa del sólido pulverulento problema.

M_2 : Masa del picnómetro lleno de agua destilada.

M_3 : Masa del picnómetro con agua destilada y el sólido.

Al realizar las pesadas con el picnómetro, se llena de agua destilada hasta la señal de enrase. Si ésta es sobrepasada se introduce un palillo hecho con papel de filtro, con el fin de absorber el líquido sobrante. Hay que procurar secar el picnómetro por fuera, con un paño o papel de filtro.

Para calcular la densidad del sólido a través de las medidas M_1 , M_2 y M_3 , hay que tener en cuenta que los volúmenes ocupados por el agua (en el caso 2) y por el conjunto agua + cuerpo en el caso 3, es el mismo, $V_2 = V_3$, por lo tanto,

$$\frac{M_2 - M_p}{\rho_a} = \frac{M_{a3}}{\rho_a} - \frac{M_1}{\rho_c}, \quad (1)$$

donde M_p es la masa del picnómetro vacío y el volumen V_3 es la suma del volumen que ocupa el agua, M_{a3}/ρ_a , más el que ocupa el cuerpo, M_1/ρ_c . Además, $M_{a3} = M_3 - M_p - M_1$, luego despejando se obtiene que,

$$\rho_c = \frac{M_1}{M_1 + M_2 - M_3} \rho_a. \quad (2)$$

Principio de funcionamiento del picnómetro (líquidos): Se realizarán tres mediciones diferentes:

M_1 : Masa del picnómetro vacío.

M_2 : Masa del picnómetro lleno de agua destilada.

M_3 : Masa del picnómetro lleno con el líquido problema.

Para calcular la densidad del líquido, a partir de los valores de M_1 , M_2 y M_3 , nuevamente tendremos en cuenta que los volúmenes ocupados por el agua (en el caso 2) y por líquido problema en el caso 3, es el mismo, $V_2 = V_3$, por lo tanto,

$$\frac{M_2 - M_1}{\rho_a} = \frac{M_3 - M_1}{\rho_l}, \quad (3)$$

y despejando se obtiene que,

$$\rho_l = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \rho_a. \quad (4)$$

Densímetro

Un densímetro o areómetro es un instrumento de medición que sirve para determinar la densidad relativa de un líquido sin necesidad de calcular previamente su masa y volumen (ver Fig. 9). Normalmente, está hecho de vidrio y consiste en un cilindro hueco con un bulbo pesado en su extremo para que pueda flotar en posición vertical. Están graduados en densidades y se fundamentan en el principio de Arquímedes. Cuanto menor es la densidad de un líquido tanto más se hunde en él los densímetros.

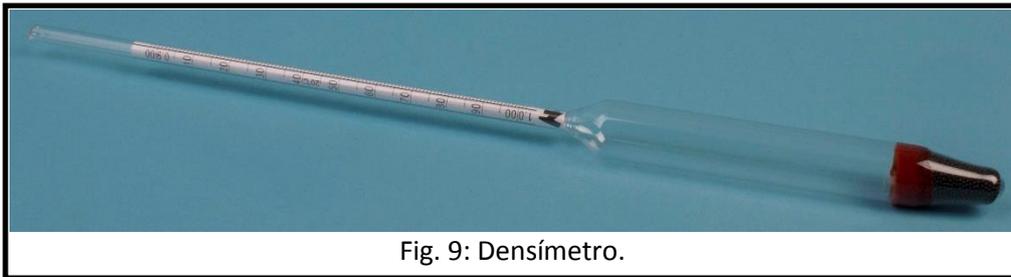


Fig. 9: Densímetro.

Método experimental

1) Cálculo de la densidad de un sólido regular

En el laboratorio disponemos de una serie de materiales de diferentes densidades. Se trata de elegir dos de ellos y estimar su densidad para posteriormente averiguar de qué elemento o compuesto se trata. Se utilizarán tres métodos diferentes a la hora de estimar la densidad:

Método 1: Balanza y probeta

Con la balanza determinamos la masa de la pieza. El volumen se determina midiendo el aumento del nivel del agua en la probeta al ser sumergida la pieza completamente (volumen de líquido desalojado).

Método 2: Balanza y calibre

Con la balanza determinamos la masa de la pieza. El volumen se mide indirectamente a través de la medición de las longitudes necesarias para su cálculo. Este método sólo es aplicable en sólidos con alto grado de simetría. Al dividir el valor estimado para la masa entre el valor obtenido para el volumen obtendremos la densidad de la pieza.

Método 3: Balanza hidrostática

La balanza hidrostática se basa en el Principio de Arquímedes. En primer lugar se calcula la masa del cuerpo con la balanza. A continuación, se suspende el cuerpo de un soporte y se introduce en un vaso de precipitados (o probeta) lleno de agua, sumergiéndole totalmente, y midiendo el empuje que experimenta E . Para ello, deberá estar totalmente sumergido en el agua, sin tocar el fondo del recipiente (ver Fig. 9). Por tanto, el peso del cuerpo es $P = Mg$, mientras que el empuje que sufre al ser sumergido completamente en agua es $E = \rho_f g V_c$, siendo ρ_f la densidad del fluido (en nuestro caso al ser agua se tiene que $\rho_f = 1 \text{ g/cm}^3$) y V_c el volumen del cuerpo. Al hacer el cociente entre P y E se obtiene:

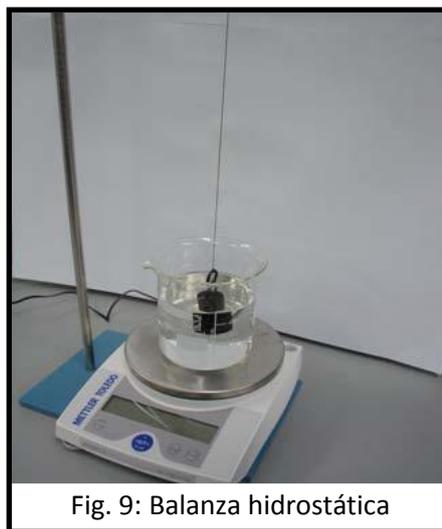


Fig. 9: Balanza hidrostática

$$\frac{P}{E} = \frac{Mg}{\rho_f g V} = \frac{M}{\rho_f V} = \frac{\rho}{\rho_f} = \rho_r, \quad (5)$$

donde ρ_r es la densidad relativa (al agua en este caso) del cuerpo.

2) Cálculo de la densidad de un líquido

En el laboratorio disponemos de agua y alcohol etílico, que son sustancias líquidas a temperatura ambiente, de diferentes densidades. Se trata de estimar la densidad del alcohol etílico utilizando diferentes métodos:

Método 1: Balanza y probeta

Con la balanza determinamos la masa de alcohol. El volumen se determina directamente con una probeta.

Método 2: Balanza hidrostática

En primer lugar, se suspende un cuerpo sólido de un soporte y se introduce en un vaso de precipitados (o probeta) lleno de agua, sumergiéndole totalmente, y midiendo el empuje que experimenta, $E_a = \rho_a g V_c$. Para ello, deberá estar totalmente sumergido en el agua, sin tocar el fondo del recipiente. A continuación, se repite el procedimiento con el líquido incógnita: se suspende el cuerpo de un soporte, y se introduce en un vaso de precipitados (o probeta) lleno en este caso del líquido cuya densidad se quiere averiguar (alcohol etílico), sumergiéndole totalmente, y midiendo el empuje que experimenta, $E_l = \rho_l g V_c$. Se tiene por tanto que:

$$\frac{E_l}{E_a} = \frac{\rho_l g V_c}{\rho_a g V_c} = \frac{\rho_l}{\rho_a} = \rho_r, \quad (6)$$

donde ρ_r es la densidad relativa (al agua en este caso) del líquido.

2) Cálculo de densidades con picnómetro

- A) Sólidos pulverulentos: En el laboratorio disponemos de arena. Estimaremos su densidad mediante el picnómetro. Se trata de seguir los pasos descritos en la sección “Principio de funcionamiento del picnómetro (sólidos)”.
- B) Líquidos: En el laboratorio disponemos de alcohol etílico. Estimaremos su densidad mediante el picnómetro. Se trata de seguir los pasos descritos en la sección “Principio de funcionamiento del picnómetro (líquidos)”.

3) Cálculo de densidades con densímetro (líquidos)

En el laboratorio disponemos de agua y de alcohol etílico. Estimaremos la densidad de ambas sustancias con un densímetro.

4) Cuestiones

1. A juzgar por los resultados obtenidos en la determinación de la densidad de un sólido regular mediante tres procedimientos diferentes, ¿cuál de ellos utilizarías y por qué?
2. ¿Cuál de los métodos vistos elegirías para determinar la densidad de un líquido?