

## TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO N° 3

### 1. Tema: "Densidad"

### 2. Objetivos

- Identificar el concepto de densidad y diferenciarlo claramente del de masa.
- Determinar la densidad de varios cuerpos por tres métodos diferentes.
- Comparar los métodos.

### 3. Consideraciones teóricas:

La densidad es una magnitud física que indica la cantidad de masa por unidad de volumen que contiene un cuerpo. La densidad “ $\delta$ ” de un cuerpo se define como el cociente entre su masa “ $m$ ” y su volumen “ $V$ ”.

$$\delta = m/V$$

La necesidad de introducir esta magnitud física se entiende de inmediato si se comparan volúmenes iguales de dos cuerpos, tales como espuma de goma y acero, cuyos pesos son sensiblemente distintos ¿Serán iguales los volúmenes ocupados por masas iguales de los materiales antes mencionados?

Comparaciones similares pueden efectuarse para los fluidos: el aire frío es más denso, el aire caliente menos denso. El agua es más densa que el alcohol, etc.

La unidad de densidad en el SIMELA es el  $\text{kg/m}^3$

Un metro cúbico de hierro tiene una masa de  $7,8 \times 10^3$  kg. En consecuencia la densidad del hierro es  $7,8 \times 10^3$   $\text{kg/m}^3$ . Un metro cúbico de agua a  $4^\circ\text{C}$  tiene una masa de  $1 \times 10^3$  kg. Por ende, la densidad del agua a  $4^\circ\text{C}$  es  $1 \times 10^3$   $\text{kg/m}^3$ . En el sistema CGS de unidades las densidades del agua y del hierro serían respectivamente  $1 \text{ g/cm}^3$  y  $7,8 \text{ g/cm}^3$ .

En las aplicaciones prácticas es usual determinar la densidad relativa de un sólido con respecto a la de un fluido. Se define como densidad relativa de un cuerpo de densidad  $\delta_1$  respecto de otro de densidad  $\delta_2$ , al cociente de las densidades:

$$\delta_{12} = \frac{\delta_1}{\delta_2}$$

La densidad relativa es una magnitud adimensional.

#### 3.1. Métodos para medir la densidad

##### a) Método gravimétrico y geométrico

Este método puede utilizarse para determinar la densidad de un sólido cuando su forma es regular, permitiendo calcular su volumen a partir de unas pocas mediciones. En este método, se determina la masa del cuerpo utilizando una balanza (gravimetría) y se determina el volumen del cuerpo utilizando la geometría clásica. Naturalmente, luego de la determinación de la masa

y el volumen se calcula la densidad del material del que está constituido el cuerpo realizando el cociente  $m/V$ .

b) Método basado en el Principio de Arquímedes empleando un dinamómetro

Un dinamómetro es un instrumento que permite medir fuerzas. Consiste en un resorte sobre el cual se aplica la fuerza que se desea medir. En consecuencia, el resorte modifica su longitud en una medida que está relacionada con el valor de la fuerza. El resorte posee un indicador o cursor en el extremo, al cambiar la longitud del resorte cambia la posición del cursor permitiendo la lectura en una escala adyacente.

El Principio de Arquímedes establece que todo cuerpo sumergido en el seno de un fluido recibe un empuje “ $E$ ” de abajo hacia arriba, igual al peso “ $W$ ” del volumen de fluido desalojado.

$$E = W \quad (1)$$

Para evidenciar la existencia del empuje, podemos medir el peso “ $P$ ” de un cuerpo colgándolo de un dinamómetro; y luego repetir esta medición con el cuerpo sumergido en agua encontrando un valor diferente “ $P'$ ” (Figura 1).  $P'$  será menor que  $P$ , ya que parte del peso del cuerpo está siendo compensado por el empuje. Entonces podemos decir que:

$$P' = P - E \quad (2)$$

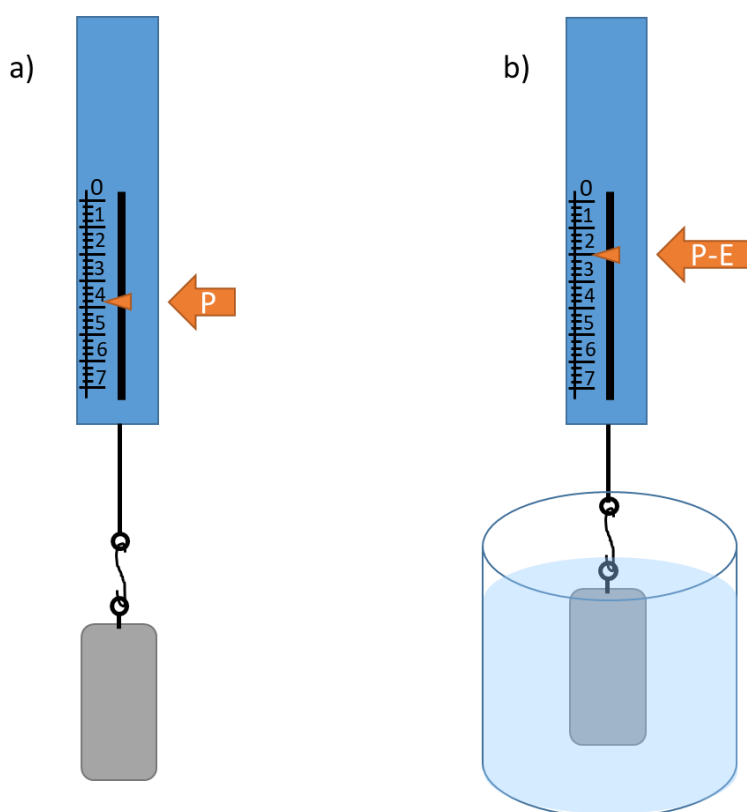


Figura 1. a) Dinamómetro indicando el peso de un cuerpo; b) Dinamómetro indicando el peso aparente, cuando el cuerpo está sumergido en agua.

Hemos establecido que el empuje es igual al peso del líquido desalojado en (1), y eso puede expresarse como la masa de líquido desalojado por la aceleración de la gravedad:

$$E = W = m_l \cdot g \quad (3)$$

También hemos definido que la densidad es el cociente entre la masa y el volumen, por lo cual en (3) podemos reemplazar a la masa del líquido desalojado:

$$E = \delta_l \cdot V_l \cdot g \quad (4)$$

De esta última expresión se puede despejar la densidad del líquido:

$$\delta_l = \frac{E}{V_l \cdot g} \quad (5)$$

Por otra parte, mientras el cuerpo sólido esté completamente sumergido en el líquido, desaloja un volumen  $V_l$  de agua que es igual a su propio volumen  $V_s$ . Entonces:

$$\delta_l = \frac{E}{V_s \cdot g} \quad (6)$$

También podemos definir a este volumen del sólido en relación con su densidad y masa:

$$V_s = \frac{m_s}{\delta_s} \quad (7)$$

Entonces podemos reescribir la densidad del líquido como:

$$\delta_l = \frac{E \cdot \delta_s}{m_s \cdot g} \quad (8)$$

En esta última expresión están incluidas ambas densidades, la del sólido y la del líquido, por lo que podemos reorganizarla de manera de encontrar la densidad relativa:

$$\frac{\delta_s}{\delta_l} = \frac{m_s \cdot g}{E} \quad (9)$$

En esta última expresión el producto del miembro derecho ( $m_s \cdot g$ ) es el peso “ $P$ ” del cuerpo; por lo que la expresión anteriores queda:

$$\frac{\delta_s}{\delta_l} = \frac{P}{E} \quad (10)$$

Utilizando la expresión  $P' = P - E$ , luego de reordenarla un poco, se puede llegar a:

$$\frac{\delta_s}{\delta_l} = \frac{P}{P - P'} \quad (11)$$

Esta última expresión nos indica que para calcular la densidad relativa de un cuerpo sólido homogéneo respecto de un líquido debemos conocer su peso “ $P$ ” en el aire y su peso “ $P'$ ” aparente cuando está sumergido. Luego, conociendo a partir de la bibliografía, la densidad del agua, podemos encontrar el valor de la densidad absoluta del material con el cual se confeccionó el cuerpo.

c) Método basado en el Principio de Arquímedes empleando una balanza.

El principio de Arquímedes ya se explicó en el método anterior, ahora lo retomaremos partiendo de otra forma de evidenciar la existencia del empuje. En este caso, mediremos masas en lugar de pesos, con una balanza, siempre pudiendo relacionar la masa con la aceleración de la gravedad para encontrar el peso. Colocaremos en la balanza un recipiente con agua y tararemos el instrumento para que no considere la masa del recipiente ni la del agua. Colocaremos el

cuerpo dentro del agua, y éste llegará hasta el fondo del recipiente, en esa situación la balanza estará indicando la masa del cuerpo. Luego repetiremos esta medición, con el cuerpo totalmente sumergido en el agua pero suspendido de un hilo de masa y volumen despreciable, de manera que el cuerpo no toque el fondo. En esta oportunidad encontraremos un resultado de masa menor al anterior, pero que tampoco es nulo (Figura 2).

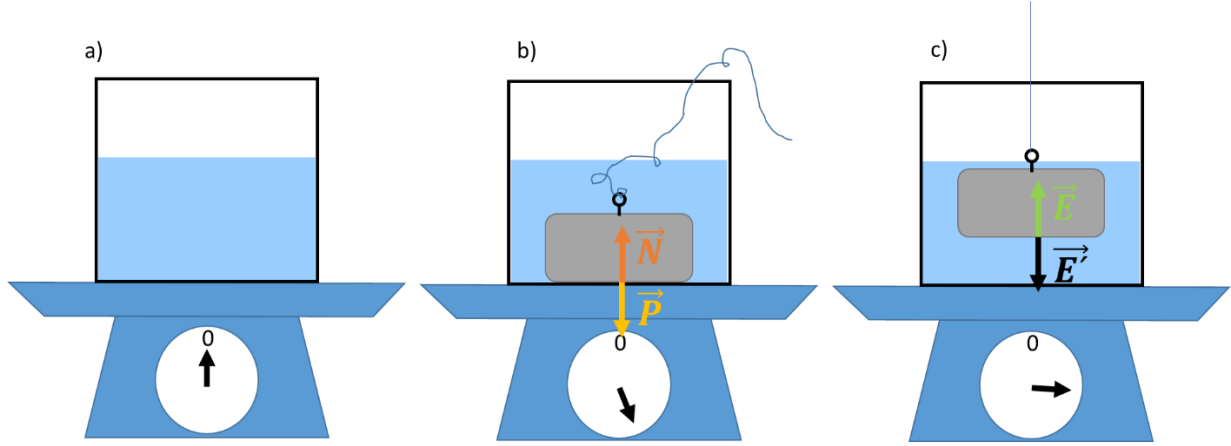


Figura 2. (a) Balanza con recipiente con agua ajustada a cero (tarada); (b) indicando la masa de un cuerpo sumergido en agua y apoyado en el fondo del recipiente; (c) la masa aparente cuando está sumergido en agua y suspendido sin tocar el fondo.

Cuando el cuerpo está descansando en el fondo del recipiente, todo el peso actúa sobre la balanza; y, por consiguiente, la balanza deberá realizar una fuerza para sostenerlo. Esta fuerza es la que llamamos habitualmente “normal” y dado que la normal es igual al peso del cuerpo (Figura 2.b), la balanza registrará dicho peso, pero expresado en gramos, es decir que indicará su masa (de la misma forma que ocurre cuando nos pesamos en una balanza).

$$m_c = \frac{P}{g} \quad (12)$$

Cuando el cuerpo está sumergido pero suspendido sin tocar el fondo (Figura 2.c), el líquido realiza un empuje  $E$  hacia arriba, por lo tanto, por el principio de acción y reacción, el cuerpo realizará una fuerza contra el líquido hacia abajo. Entonces, en esta situación, la indicación de la balanza  $m_c'$  nos dará el empuje expresado en gramos. El resto del peso es soportado por la cuerda, tal como se vio en el método anterior.

$$m_c' = \frac{E}{g} \quad (13)$$

También ya hemos llegado en (4) a la conclusión de que  $E = \delta_l \cdot V_l \cdot g$ , con lo cual:

$$m_c' = \frac{\delta_l \cdot V_l \cdot g}{g} \quad (14)$$

$$m_c' = \delta_l \cdot V_l \quad (15)$$

En el segundo miembro de esta igualdad (15), tenemos al producto entre la densidad del líquido por el volumen de líquido desalojado, y eso es igual a la masa de líquido desalojado. Esto quiere decir que lo que indica la balanza en esta situación es la masa del líquido desalojado. Pero si en este experimento trabajamos con agua, podemos asumir que la densidad del líquido es  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ , y por lo tanto:

$$m_c' = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot V_l \quad (16)$$

Con lo cual, la lectura en gramos, realizada en la balanza para la situación en la que el cuerpo está sumergido y suspendido, nos indica un volumen de líquido desalojado numéricamente igual, pero en  $\text{cm}^3$ . Como el cuerpo está completamente sumergido, el volumen de líquido desalojado es igual al volumen del cuerpo. En consecuencia, estaremos registrando el volumen del cuerpo.

Por otro lado, la lectura de la balanza cuando el cuerpo está sumergido y descansando sobre el fondo del recipiente, es su masa. Entonces con estas dos mediciones estamos conociendo la masa y el volumen del cuerpo, y es posible calcular la densidad.

Podemos también continuar relacionando las ecuaciones encontradas para llegar a una expresión que nos permita calcular la densidad con las mediciones realizadas.

La ecuación 15 puede ser reescrita como se ve a continuación ya que  $V_l$  (el volumen de líquido desalojado) es igual al volumen del cuerpo.

$$m_c' = \delta_l \cdot V_c \quad (17)$$

La densidad del cuerpo es:

$$\delta_c = \frac{m_c}{V_c} \quad (18)$$

Y despejando  $V_c$  de la ecuación 17 y reemplazando en la 18 nos queda

$$\delta_c = \frac{m_c}{m_c'} \cdot \delta_l \quad (19)$$

#### 4. Equipo

- Balanza
- Calibre
- Dinamómetro
- Vaso de precipitado
- Agua destilada
- 5 Cuerpos diferentes
- Tanza

#### 5. Procedimiento

Antes de comenzar a utilizar un instrumento nuevo de medición, como el calibre, hay que conocerlo y aprender a usarlo. Es por ello que todos los estudiantes que no hayan aprendido anteriormente a realizar determinaciones con dicho instrumento, deben leer el anexo que se encuentra al final este TPL con anterioridad a la realización de la práctica.

##### 5.a Método gravimétrico-volumétrico

1. En este método, cada estudiante se ocupará íntegramente de al menos un cuerpo, por lo que el primer paso es distribuir los cuerpos de estudio entre los integrantes del grupo.
2. Para cada cuerpo deberá determinarse la masa utilizando una balanza. Asocie una incertidumbre al valor que acaba de determinar. Cada vez que se utiliza una balanza se debe tener especial cuidado en no colocar un objeto de peso mayor al que la balanza soporta, ya que eso puede dañarla. Comience pesando el cuerpo en la balanza de mayor capacidad que disponga, a partir de ese resultado evalúe si es posible realizar la

determinación de masa en una balanza de mayor precisión, si es que su capacidad lo permite. No es necesario repetir más de una vez la determinación de las masas ya que la balanza no aportará resultados diferentes cada vez.

3. Para cada cuerpo deberá calcularse el volumen, midiendo las dimensiones necesarias con el calibre y utilizando la geometría clásica aplicada a cada forma en particular. Deben registrarse las incertidumbres asociadas a las dimensiones medidas, y por propagación se determinará el valor de la incerteza asociada al valor del volumen. Los cuerpos se parecen mucho a formas geométricas ideales (por ejemplo una esfera o un cilindro), y las fórmulas que usamos para calcular el volumen asumen esa perfección. Pero en la realidad, pueden tener imperfecciones; por ejemplo, la altura de un cilindro puede ser mayor en un sector que en otro. Es por eso que al medir con el calibre la misma dimensión del cuerpo pero en diferentes partes o sectores del mismo, puede haber cierta variabilidad. Cada estudiante deberá medir 5 veces cada dimensión de interés en el cuerpo que se le asignó, intentando contemplar diferentes sectores del cuerpo.
4. Para cada cuerpo, deberá calcularse la densidad y su incertidumbre asociada. Realice un primer cálculo de densidad utilizando únicamente la primera de sus mediciones con el calibre. Obtenga su incertidumbre por propagación de incertezas, teniendo en cuenta únicamente la primera medición y escriba correctamente el resultado. Luego, calcule la densidad usando todas las mediciones, obtendrá un total de 5 valores de densidad. Calcule la densidad promedio, el error medio cuadrático de los promedios y escriba correctamente el resultado.
5. Compare ambos resultados y sus incertidumbres.

#### **5.b Método basado en el Principio de Arquímedes empleando un dinamómetro**

1. En este método no será necesario hacer repeticiones de medidas, todos los integrantes del grupo trabajaran en conjunto con todos los cuerpos.
2. Determine el peso de uno de los cuerpos " $P$ " suspendido del dinamómetro, en el aire. Registre dicho valor y su incertidumbre asociada.
3. Coloque el vaso de precipitado con agua debajo del cuerpo y elévelo hasta que el cuerpo esté totalmente sumergido. Registre el valor leído como peso aparente  $P'$  con su incertidumbre.
4. Calcule el valor de la densidad relativa utilizando la expresión que se dedujo en la introducción teórica. Calcule la incerteza asociada a esta medición.
5. Calcule el valor de la densidad absoluta del cuerpo y su incerteza.
6. Repita la secuencia de pasos para el resto de los cuerpos.

#### **5.c Método basado en el Principio de Arquímedes empleando una balanza**

1. En este método no será necesario hacer repeticiones de medidas, todos los integrantes del grupo trabajaran en conjunto con todos los cuerpos.
2. Coloque el vaso de precipitados, con agua, sobre la balanza y presione la tecla "Tare".
3. Ate un tramo de tanza al gancho del cuerpo. Coloque el cuerpo dentro del agua dejando el extremo libre de la tanza fuera del recipiente. La tanza no debe ejercer ningún tipo de tensión de manera que todo el peso del cuerpo descansa sobre el fondo. Registre la masa del cuerpo y su incertidumbre.
4. Tire de la tanza de manera que el cuerpo quede completamente sumergido pero sin tocar el fondo del recipiente. Registre el valor del volumen del cuerpo y su incertidumbre asociada.
5. Calcule el valor de la densidad absoluta del cuerpo y su incerteza.

6. Repita la secuencia de pasos para el resto de los cuerpos.

## 6. Resultados y Conclusiones

- Escriba correctamente el resultado de la medición de densidad para cada método.
- Identifique el material con el que están confeccionados cada uno de los cuerpos.
- Compare los valores obtenidos para la densidad por cada método con el valor de tabla. En el caso de existir discrepancias, indique las posibles causas de las mismas.
- Compare los valores de densidad obtenidos por los diferentes métodos ¿Son todos los métodos igual de precisos para todos los cuerpos? ¿algún método es inapropiado para alguno de los cuerpos? Si así es ¿a qué se debe?
- Analice cuidadosamente con su grupo de trabajo, cada uno de los métodos utilizados y sugiera algún cambio en el equipo para mejorar la calidad de la medición.
- Discuta en qué casos los métodos pueden arrojar valores falsos de la densidad de un cuerpo. Discuta este asunto con sus compañeros y con su profesor.

## 7. Bibliografía

- Cromer, A., 1978. *Física para las Ciencias de la Vida*. Editorial Reverté. Páginas: 541.  
Guía de Estudio de la Cátedra de Física I, para alumnos de las carreras de Ciencias Biológicas.  
Edición del CEICIN.
- Kane, J. y Sternheim, M., 1998. *Física*. Editorial Reverté, Segunda Edición. Páginas: 795.
- MacDonald, S. y Burns, D., 1975. *Física para las Ciencias de la Vida y de la Salud*. Editorial Fondo Educativo Interamericano. Páginas, 589.
- Maiztegui, A. y Gleiser, R., 1985. *Introducción a las Mediciones en el Laboratorio*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, Argentina. Páginas 101.

## Anexo

### ¿Cómo usar un calibre Vernier?

La Figura 1 muestra un calibre Vernier como el que usaremos en clase.

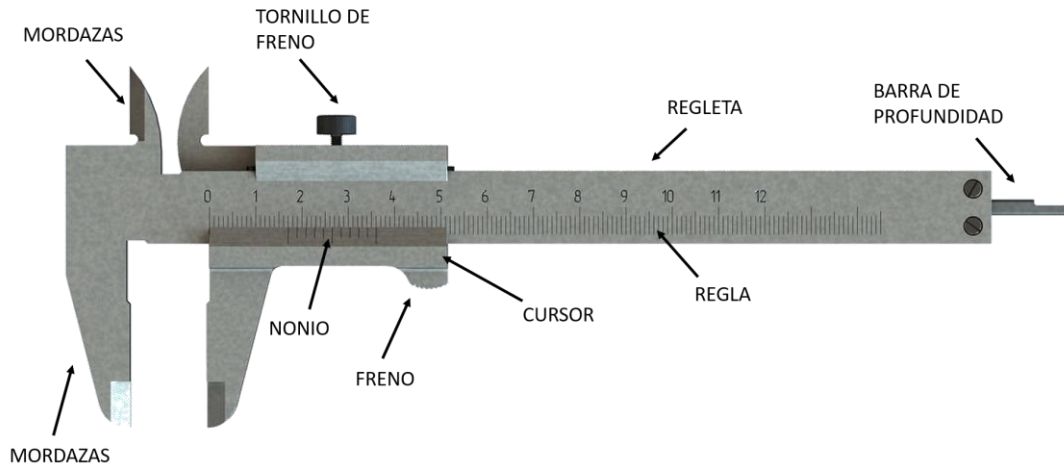


Figura 1. Calibre Vernier cerrado, y sus partes.

El calibre permite tomar mediciones de longitud con mucha precisión, algunos tienen apreciación de 0,02 mm y otros de 0,05 mm. El calibre tiene dos mandíbulas o mordazas principales que permiten tomar medidas externas e internas, también tiene una sonda que permite medir profundidad (Figura 2).

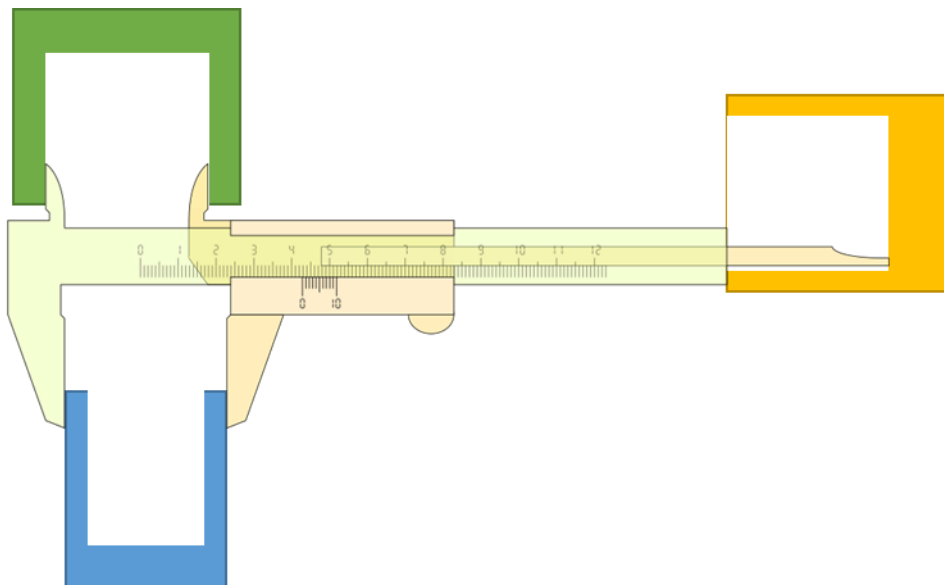


Figura 2. Calibre Vernier empleando una mordaza para tomar una medida exterior (objeto celeste), empleando la otra mordaza para tomar una medida interior (objeto verde), y empleando la sonda para medir profundidad.

Para utilizar el calibre debemos decidir cuál de las tres formas de medición es adecuada según la medida que deseamos tomar. A continuación le damos la apertura necesaria al calibre



hasta que estemos seguro de que su apertura representa exactamente la medida que queremos tomar. En esa posición ajustamos el tornillo de freno con el propósito de que podamos retirar el cuerpo y realizar la lectura de la medición sin que esta se altere.

La lectura de la medición se realiza empleando tanto la regla como el nonio o vernier. Vamos a obtener una lectura en milímetros con 4 cifras: la decena, la unidad, la décima y la centésima de mm. En la Figura 3 se observa un ejemplo para la obtención de las dos primeras cifras. Para eso debemos ver qué parte de la regla marca el cero del Vernier. Se indica con una flecha roja que el cero del Vernier llega hasta un poquito más que los 2,3 cm en la regla, que son 23 mm. Entonces registramos esas dos primeras cifras que fueron leídas en la regla.

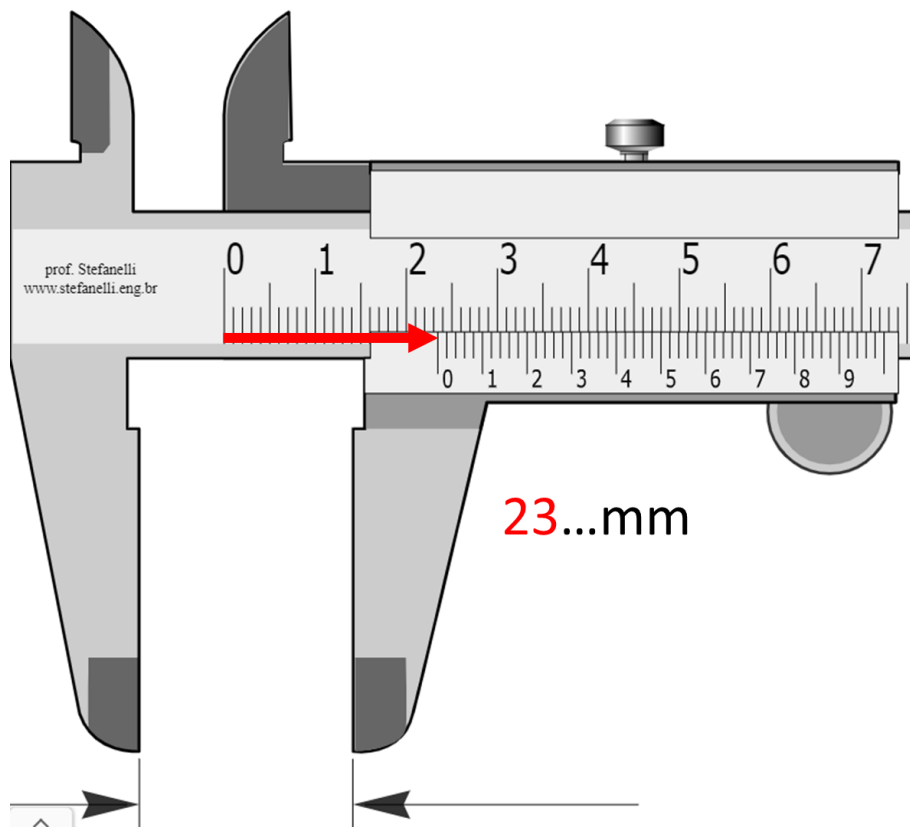


Figura 3. Medición con un Calibre Vernier, lectura de las dos primeras cifras.

Aún nos falta leer las dos cifras siguientes, es decir que tenemos que descubrir cuánto más que 23 mm mide nuestro objeto. La figura 4 ayuda a comprender cómo hacerlo. Debemos recorrer con la vista el Vernier de izquierda a derecha, es decir desde su cero en adelante, buscando cuál es la primera línea o división del Vernier que coincide exactamente con alguna de las líneas de la regla. Una vez que identificamos esa línea, leemos en el vernier cuánto vale. En la figura 4 podemos ver, indicado con una flecha verde, que esa primer coincidencia exacta se da en la tercera línea posterior al número 4 del Vernier. También podemos ver que entre el 4 y el 5 del Vernier hay sólo 5 separaciones, o sea que las lecturas van saltando de dos en dos, por ello, la tercera línea después del 4 es 46. Y esas son las dos cifras que nos faltaban. De esta manera, la medición del ejemplo es de  $(23,46 \pm 0,02)$  mm.

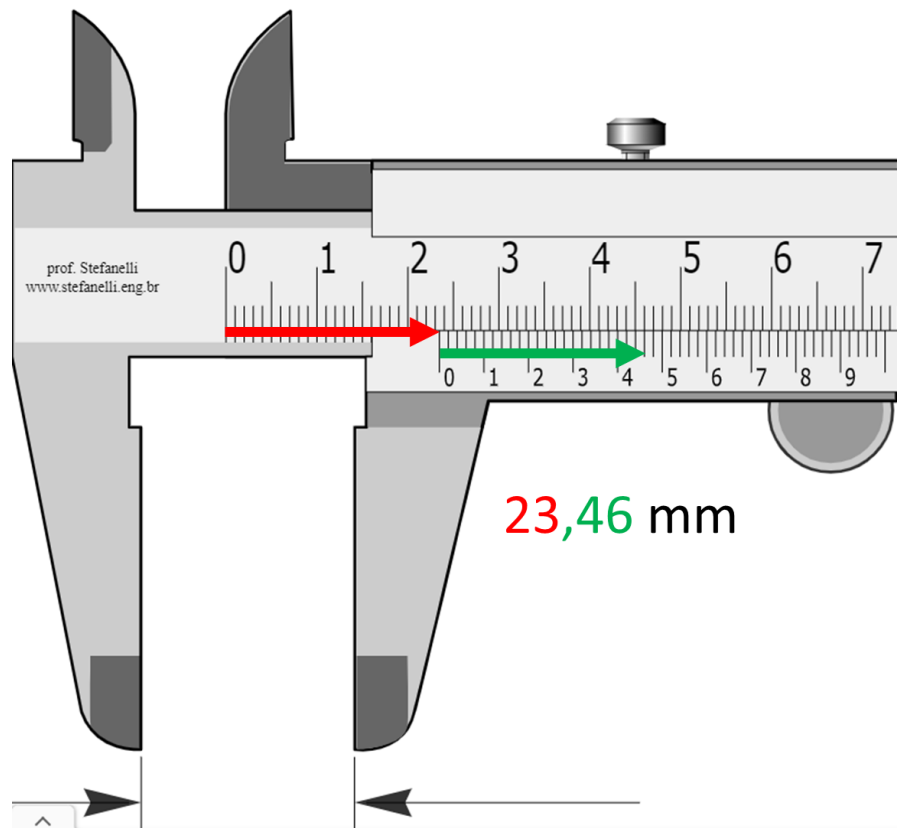


Figura 4. Obtención de la medición de una longitud mediante el uso del calibre Vernier

También existen Calibres que tienen un Vernier algo diferente y su apreciación es 0,05 mm. Es recomendable visitar los siguientes sitios para practicar la medición con este instrumento antes de llegar al Trabajo Práctico de Laboratorio:

Simulador de Calibre con apreciación de 0,02 mm

<https://www.stefanelli.eng.br/es/calibre-virtual-simulador-milimetro-02/>

Simulador de Calibre con apreciación de 0,05 mm

<https://www.stefanelli.eng.br/es/calibre-virtual-simulador-milimetro-05/>