

Primera parte

Laboratorio de Física
Universitaria I
(FISI 3013)

Experimento 1

MEDIDAS DE LONGITUD, ÁREA, VOLUMEN Y DENSIDAD

Objetivos

1. Describir las características de las mediciones directas,
2. Describir las características de las mediciones indirectas,
3. Explicar en qué consiste la determinación gráfica de valores de variables físicas,
4. Explicar lo que son valores deducidos,
5. Escribir en el informe de laboratorio los resultados de mediciones hechas con una regla métrica, un vernier, y un micrómetro con sus correspondientes incertidumbres,
6. Calcular áreas y volúmenes a partir de medidas de longitud,
7. Medir directamente la masa de un paralelepípedo de aluminio y de una esfera de acero,
8. Calcular las densidades del aluminio y del acero, y
9. Propagar incertidumbres en los resultados de las mediciones anteriores

Teoría

En este curso se usarán tres formas diferentes para encontrar la magnitud de las variables físicas con las que trabajaremos:

- 1) La medición *directa*,
- 2) La *indirecta* o *calculada*, y
- 3) La determinación *gráfica*

Cuando se usan las dos últimas se dice que los valores encontrados son *deducidos*, o *calculados*

- 1) Se entiende por medición *directa* el establecimiento de la magnitud de una variable mediante la lectura de la escala de un instrumento graduado en unidades correspondientes a dicha variable. Son ejemplos de medidas directas: la longitud de una mesa, hecha con una cinta métrica; la velocidad de un automóvil, leída en el velocímetro; la temperatura de un enfermo, señalada por la columna de mercurio de un termómetro; la hora del día, dada por un reloj, etc.
- 2) Por medición *indirecta*, o *calculada*, se entiende la deducción de la magnitud de una variable mediante operaciones matemáticas con magnitudes obtenidas por medición directa. Son ejemplos de medidas indirectas, entre otros:
 - a. La aceleración, cuando se establece a partir de la ecuación $a = 2d/t^2$ donde d es la distancia y t , el tiempo, y ambas cantidades fueron medidas directamente,
 - b. La energía cinética, K , al deducirse de la ecuación $K = \frac{1}{2} mv^2$, donde m es la masa y v , la velocidad y estas se han medido directamente, y

- c. La densidad, ρ , de un sólido cuando se obtiene de la ecuación $\rho = m/V$, donde m es la masa del sólido y V , su volumen

Podemos decir, en general, que las medidas indirectas son todas aquellas que corresponden a variables físicas cuyo valor no ha sido determinado mediante algún instrumento que las mida directamente

- 3) Por último, la *determinación gráfica* de una magnitud consiste, como su nombre lo indica, en la deducción del valor de cualquier variable física mediante una gráfica cuya construcción se logró con valores medidos directamente, o calculados. Aunque este es un recurso muy usado en la investigación, los ejemplos de magnitudes deducidas mediante gráficas son poco comunes en la práctica, si embargo, pueden mencionarse los siguientes: la deducción de la resistencia interna de una fuente de voltaje, la deducción de la magnitud de la fuerza de fricción en una máquina de Atwood, y la deducción de la masa equivalente de un resorte, actuando como oscilador armónico

En la física nos referimos solamente a las magnitudes que pueden medirse, a diferencia de otras ciencias que manejan magnitudes no conmensurables. En la psicología, por ejemplo, se habla de las emociones, los sentimientos, o los deseos, los cuales, aunque son más o menos intensos, no pueden medirse. Para medir las variables físicas estas deben definirse *operativamente*, es decir, deben tener asociada una técnica específica de medición y una unidad para expresar su valor

Medidas directas

Tenemos seis termómetros de alcohol, graduados en grados centígrados. Ver la figura 1

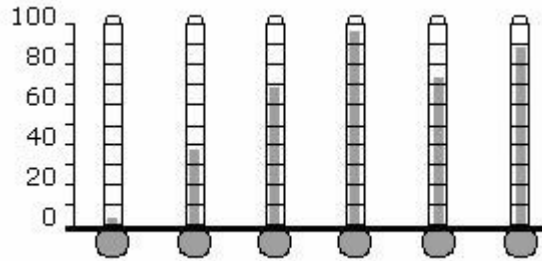


Figura 1 Seis termómetros de alcohol graduados en grados centígrados

Estos instrumentos están diseñados para leer directamente la temperatura, que se indica en una escala de 0°C a 100°C , mediante la posición del extremo superior de una columna de alcohol coloreado, o mercurio. En este caso particular, los termómetros tienen solamente divisiones de 10°C cada una, sin subdivisiones en unidades de grado. Cabe mencionar que toda persona que usa un instrumento de medición puede legítimamente estimar fracciones de las subdivisiones más finas de la escala del instrumento. Una convención internacional establece que los dígitos provenientes de este tipo de estimación deben ir subrayados para distinguirlos de los dígitos repetibles. De izquierda a derecha, los seis termómetros leen las siguientes temperaturas: $0.\underline{3}$, $3\underline{7}$, $6\underline{8}$, $9\underline{6}$, $7\underline{3}$ y $8\underline{8}^{\circ}\text{C}$, como podrá comprobar el lector mirando la

altura de la columna gris de cada termómetro. Los dígitos subrayados significan que su valor ha sido estimado por la persona que hizo la lectura, ya que los termómetros no están subdivididos en grados. Estos valores, al ser estimados, no necesariamente van a coincidir con los que lea otra persona ya que la lectura, en este caso en unidades de grado, es un asunto de apreciación personal

Ejercicio 1

Sean los seis termómetros de la figura 1 midiendo otras temperaturas. Ver la figura 2. Lea la temperatura en cada uno de ellos y exprese sus resultados con los dígitos estimados subrayados

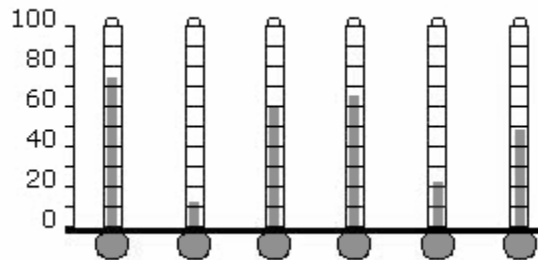


Figura 2 Los seis termómetros midiendo otras temperaturas

Hemos visto que al leer la escala de los termómetros tuvimos que estimar las unidades, dado que estas no estaban indicadas con subdivisiones. Todo instrumento de medición posee escalas con un número máximo de subdivisiones. Uno de los más conocidos, que además permite precisar su medida con la ayuda de escalas adicionales, lo es el contador eléctrico. Suponga que vamos a medir directamente el consumo de energía eléctrica de nuestro hogar, empleando el llamado contador que todos tenemos en nuestras casas. Puesto que la medición es directa, el número buscado se leerá sobre los indicadores que posee el instrumento. Estos indicadores consisten en cuatro o más círculos graduados con 10 divisiones cada uno. En la figura 3 se muestran los círculos con sus agujas. La lectura se expresa en kilovatios-hora, abreviado Kw-h

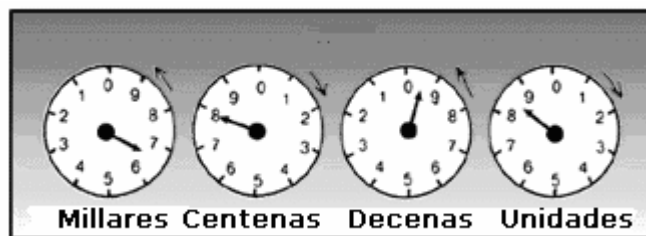


Figura 3 Contador de energía eléctrica en Kw-h

El resultado es 6,798.5 Kw-h. Para entender esta lectura necesitamos observar cuidadosamente los cuatro indicadores. El primero de la izquierda corresponde a los millares y su aguja gira en dirección contraria a las manecillas del reloj. La manecilla de este indicador ha pasado de 6 y va hacia el 7, por lo tanto está indicando 6 millares y fracción. Como en este indicador no hay subdivisiones entre los números enteros,

para determinar la fracción tendríamos que estimar la posición de la flecha. Como ésta ha pasado de la mitad, probablemente está indicando 0.7 ó 0.8. Estas son décimas de millar, o centenas. Precisamente, el siguiente indicador, cuya aguja gira en dirección de las manecillas del reloj, nos dice qué dígito es el que estamos estimando en la primera carátula y nos indica que por lo menos la aguja ha pasado del 7, aunque no sabemos si también ha pasado el 8. Para resolver esta duda, vemos el tercer círculo cuya aguja gira contra las manecillas del reloj. Notamos que esta aguja ha pasado solamente el 9, por lo tanto la aguja de las centenas no ha llegado al 8. Esto significa que el segundo círculo indica 7 centenas y el tercero, 9 decenas. El círculo del extremo derecho, que vuelve a leerse en dirección de las manecillas del reloj, indica 8 y fracción. Como ya no hay más indicadores, las fracciones de unidad las estimamos en 0.5, ya que la aguja de las unidades parece estar a la mitad entre el 8 y el 9. Entonces, el contador marca 6 millares, 7 centenas, 9 decenas y 8 unidades, o sea, 6,798 Kw-h. Anteriormente escribimos 6,798.5 Kw-h, con el 5 del extremo derecho subrayado para identificarlo como estimado por el que hizo la lectura

Ejemplo 1

Observe la figura 4 y determine si el número leído es correcto. Estime el dígito decimal entre los números 7 y 8 en la carátula del extremo derecho.

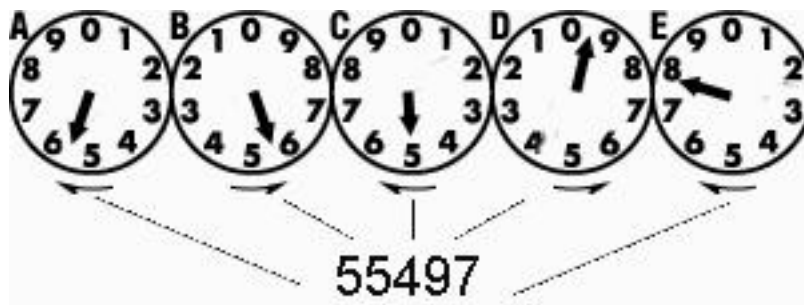


Figura 4 Lectura de un contador con cinco cifras significativas

Ejercicio 2

Lea el siguiente contador eléctrico, y exprese su resultado con cinco dígitos, uno de los cuales, el del extremo derecho, sea estimado. Ver la figura 5

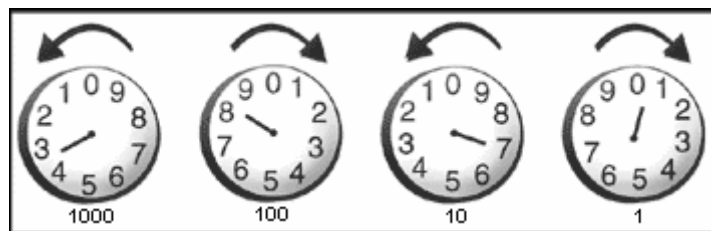


Figura 5 Carátulas de cuatro medidores de un contador eléctrico

Ejercicio3

Lea el siguiente contador eléctrico, y exprese su resultado con siete dígitos, uno de los cuales, el del extremo derecho, sea estimado. Ver la figura 6

Como dijimos anteriormente, los instrumentos de medición de estos ejemplos y ejercicios, al igual que todos los instrumentos de medición existentes, tienen limitaciones en cuanto a la cantidad de dígitos con los que se puede expresar su lectura. Esto implica que tienen una precisión limitada, la cual es mayor mientras más dígitos pueden leerse, es decir que mientras más subdivisiones tiene un medidor, mayor es su precisión. En el caso de los contadores eléctricos, cada carátula añade un dígito a la medición. Los dígitos que pueden leerse en las escalas de los instrumentos, sin tener que estimarlos, se conocen como cifras, o dígitos, *significativos* (Estudiantes interesados en leer otra explicación sobre cómo leer contadores eléctricos pueden acudir al siguiente enlace de Internet:

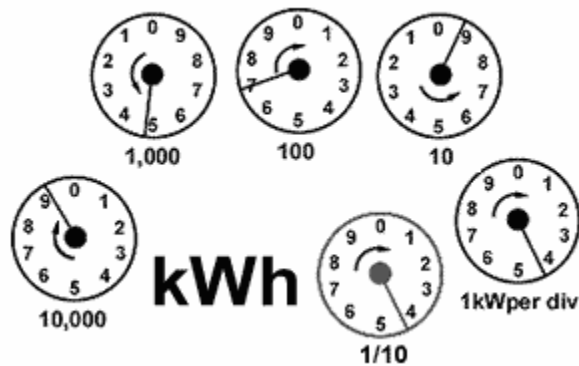


Figura 6 Contador eléctrico con seis dígitos

<http://talgov.com/citytlh/utilities/ubcs/meter.html>. También pueden ver otros ejemplos de lecturas escribiendo “*electric meter dials*” en la ventanilla “*Search Web*” en “*Yahoo Search*” y seleccionando “*Images*” en la página en la que se presentan los resultados de la búsqueda). En el caso del termómetro graduado en decenas de grados, del cual hablamos al principio, no es posible precisar las unidades de grado. Esto es consecuencia de la precisión limitada del instrumento. Sucede que si se tienen varios termómetros idénticos y se mide la temperatura de un cuerpo con cada uno de ellos al mismo tiempo, pueden encontrarse valores ligeramente diferentes. Estas diferencias serán tan pequeñas como lo permita la precisión de los termómetros, la cual está representada justamente por el grado de finura de la escala. En el caso presente, las diferencias no deberán ser mayores que 10°C , o sea, que si la lectura de uno de los termómetros es, por ejemplo, 54°C , ninguno de los demás deberá medir más de 59°C ni menos de 49°C . Con objeto de representar esta situación se ha convenido escribir la medición de la siguiente manera: $(54 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, lo cual implica que dicha medición da como resultado un intervalo. Todas las mediciones que leamos dentro de este intervalo son correctas. Resumiendo lo anterior se tiene que toda medida directa debe representarse por un intervalo cuyo centro es el valor leído en la escala del instrumento—se estima el último dígito cuando esto sea posible—, y cuyos extremos están localizados a \pm la mitad de la mínima graduación de la escala. A esta cantidad se le llama incertidumbre en la lectura. El primer ejercicio de laboratorio de este curso trata sobre mediciones. En él se ampliará sobre este tema

Medidas repetibles

Otra particularidad de las medidas es su *reproducibilidad*, que también se refleja en las medidas indirectas y deducidas. Son *reproducibles* las medidas cuando, al hacerse una y otra vez en las mismas condiciones, dan el mismo resultado, sin más límite que el impuesto por el intervalo de incertidumbre asociado a la lectura o a la medición. Ejemplos: la longitud de una mesa, la masa de un cuerpo, el tiempo de descarga de un condensador eléctrico por una resistencia fija, el ángulo de refracción de un haz de luz monocromática cuando pasa de un medio a otro incidiendo con un ángulo constante, etc.

Medidas no repetibles

Las medidas directas o deducidas que no dan el mismo resultado para una misma magnitud, aunque ésta provenga de situaciones que aparentemente no han cambiado, o que si lo han hecho no se pueden evitar, son llamadas *no repetibles*. Por ejemplo, el alcance máximo de un proyectil, por más que se mantengan sin cambiar el ángulo de disparo y la técnica o recurso para impulsarlo; el tiempo que tarda en hervir una masa de agua constante, aunque no se modifique la intensidad de la flama, etc. La forma de asociar incertidumbre a mediciones no repetibles de una variable requiere hacerla varias veces, obtener un *promedio* y calcular su *desviación típica* asumiendo que la distribución de sus valores medidos es *gaussiana*, pero esto se tratará con más detalle en otro ejercicio

Medidas indirectas

Como dijimos anteriormente, las magnitudes calculadas, o deducidas gráficamente, dependen de las obtenidas por medición directa, por lo tanto, también tienen intervalos de incertidumbre en su valor. La determinación de estos intervalos se tratará más adelante

Ejemplo 2

Se mide la longitud de una mesa utilizando un metro de madera graduado en centímetros; el valor leído es de 81.3 cm.) (i) ¿Cuál es la incertidumbre del instrumento? (ii) ¿Cómo se expresa el resultado? y (iii) ¿Es repetible esta medición?

Solución:

- i. Si la regla está graduada en centímetros, la incertidumbre en la lectura es ± 0.5 cm, es decir, la mitad de la subdivisión más pequeña, sin embargo, según explicaremos en seguida, este valor se duplica porque hay una incertidumbre igual a ésta al situar el cero de la regla en el extremo izquierdo de la longitud que deseamos medir, entonces, la incertidumbre total es de ± 1 cm
- ii. El resultado se expresa como: $(81.\underline{3} \pm 1)$ cm. Note que el dígito 3 se subraya porque es estimado ya que las subdivisiones más pequeñas de la regla son de un centímetro y no es posible leer en ella las décimas de centímetro

- iii. Sí es repetible, dentro del intervalo de incertidumbre de ± 1 cm, asociado con la lectura de la medición

Ejemplo 3

Mencionar una forma de: (i) Medir directamente el volumen de un cubo, y (ii) Deducirlo a partir de medidas directas

Solución:

- i. La medición directa se hace con una probeta en la cual hay un volumen conocido de agua. Introducimos en su totalidad el cubo en el agua y leemos el aumento en el nivel del líquido. La diferencia entre el nuevo nivel y el original es el volumen del cubo. Curiosamente, esta técnica permite medir directamente volúmenes de cuerpos irregulares para los cuales no es posible deducirlos indirectamente. Ver la figura 7
- ii. Medimos la longitud de cualquiera de los lados del cubo (arista), ℓ , y calculamos su volumen como $V = \ell^3$

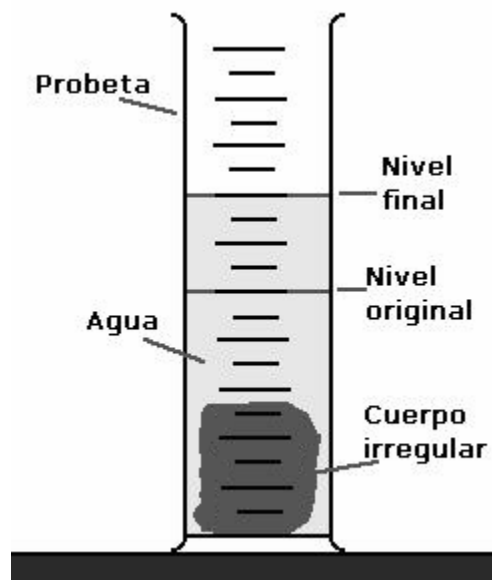


Figura 7 Medición directa del volumen de un cuerpo irregular

Ejemplo 4

Mencionar una variable que puede: (i) Medirse directamente y también (ii) Deducirse—excluyendo el volumen. Describir el procedimiento para las dos formas de medición

Solución:

- i. El área de un rectángulo puede medirse directamente recortándolo y colocándolo sobre una hoja de papel milimetrado. Dibujamos su perfil y contamos los cuadros que hay dentro del perímetro de la figura. Cada cuadro tiene un área de 1 mm^2

- ii. La determinación indirecta se hace midiendo la base y la altura del rectángulo y multiplicando ambas

Ejemplo 5

¿Cuál es la incertidumbre asociada con la lectura de la temperatura de un termómetro clínico doméstico, graduado en décimas de grado?

Solución: Como en el ejemplo 2, la incertidumbre en la lectura es la mitad de la subdivisión más pequeña del instrumento de medición, en este caso, media décima de grado, es decir, ± 0.05 °C. En este caso no duplicamos esta cantidad porque los termómetros están calibrados a sus temperaturas de referencia, es decir, el valor mínimo de su escala corresponde a la ubicación de la primera raya de la escala, sin incertidumbre

Ejemplo 6

Mencionar un ejemplo de medida directa repetible y otra no repetible

Solución:

- i. Es repetible la medida del ancho de una hoja de papel de maquinilla
- ii. No es repetible la temperatura ambiente medida a lo largo del día

Mediciones con una regla métrica

La regla métrica común está graduada en milímetros y, de acuerdo con lo que hemos dicho anteriormente, permite la lectura de longitudes con una incertidumbre no mayor de ± 0.5 mm. Sin embargo, como al usarla necesitamos colocar su cero en el punto inicial de la distancia, o longitud, que queremos medir para luego leer el otro extremo, en realidad hacemos dos lecturas. Esto implica que la incertidumbre total es el doble de ± 0.5 mm. Las afirmaciones anteriores implican que las lecturas son hechas considerando que los errores sistemáticos son cero. El instructor del curso de laboratorio explicará a la clase lo que son los errores sistemáticos.

El vernier

El funcionamiento del vernier es un poco más complicado que el de una regla aunque el instrumento es muy elegante y permite medir fracciones de las divisiones más pequeñas de una escala dada. Su uso es común en una gran cantidad de instrumentos de precisión. La figura 8 ilustra el aspecto de un vernier típico. La escala pequeña, reglilla móvil, o vernier se encuentra localizada sobre la regla o escala fija del instrumento. Con esta parte se puede recorrer la regla desde un extremo hasta el otro. La raya del cero en la reglilla coincide con el cero de la regla cuando el vernier está completamente cerrado, es decir, cuando no hay espacio entre las tenazas interiores. Podemos ver una excelente figura de un vernier virtual, que ilustra su funcionamiento, en el siguiente enlace de Internet:

<http://members.shaw.ca/ron.blond/Vern.APPLET/>. Se recomienda que el estudiante acuda a este sitio y manipule el vernier virtual hasta entender cómo funciona. Una vez haya abierto dicha página observe que el cero de la reglilla se alinea con la primera división de un milímetro de la regla cuando la abertura del vernier es de 1.0 mm, o sea, que las lecturas están indicadas por la posición del cero de la reglilla en la regla.

Al cerrarlo completamente notamos que nueve divisiones de la regla corresponden a diez divisiones de la reglilla. La primera raya de la reglilla, después del cero, señala una distancia de 0.1 mm más corta que 1mm. Si el vernier se abriera nada más 0.1 mm, la primera raya de la reglilla se alinearía con la primera raya de la regla. Si se abriera 0.2 mm, la segunda raya de la reglilla se alinearía con la segunda de la regla y así sucesivamente. En cualquier medición hecha con un vernier las décimas de milímetro están indicadas por la raya de la reglilla que queda alineada con alguna de las rayas de la regla. La figura 9 muestra una lectura de 0.03 cm. El 0 aparece en el resultado por ser la primera raya de la regla que se encuentra a la izquierda del cero de la reglilla, mientras que el 3 corresponde a la única raya de la reglilla que coincide con una de las de la regla. Del mismo modo podemos ver que la lectura en la figura 10 es de 9.13 cm. La incertidumbre en la lectura del vernier es ± 0.05 mm, es decir, diez veces menor que la de la regla métrica graduada en milímetros y no se tiene que duplicar, como la de la regla, porque el cero del vernier está determinado y fijo ya que coincide con el lado derecho de la tenaza interior izquierda

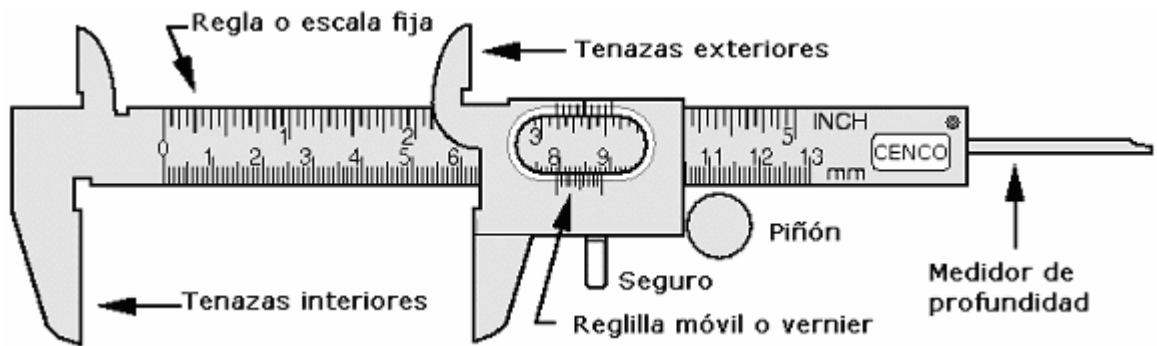


Figura 8 El vernier

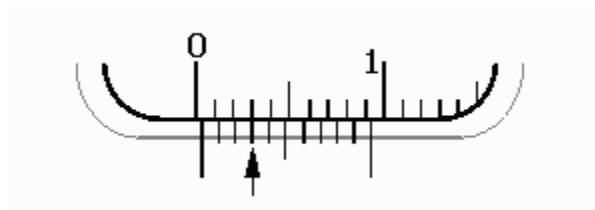


Figura 9 Lectura de 0.3 mm

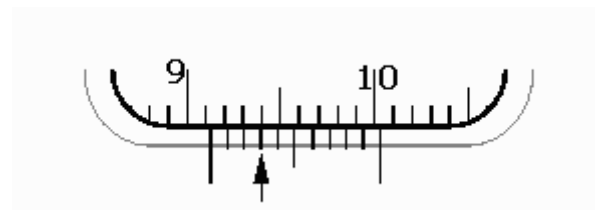


Figura 10 Lectura de 9.13 cm

Ejercicio 4

Lea las cuatro mediciones de la figura 11

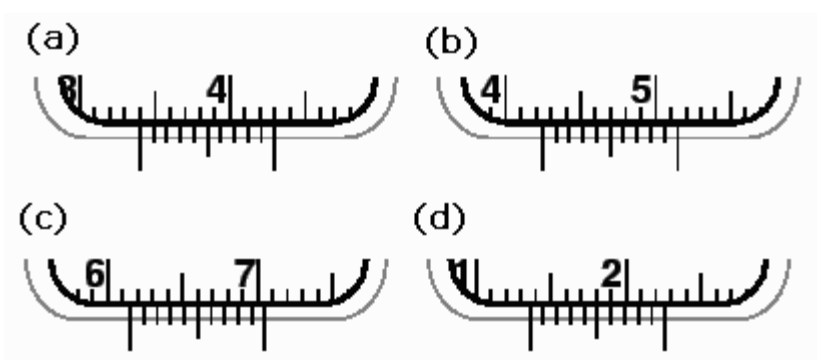


Figura 11 Cuatro mediciones con un vernier

El micrómetro

Otro instrumento que sirve para medir longitudes pequeñas es el micrómetro. Ver la figura 12. El micrómetro funciona mediante un tornillo cuyo paso es tal que una vuelta produce un avance de medio milímetro (0.5 mm). El cilindro, a su vez, tiene una escala graduada en 50 divisiones, cada una igual a 0.01 mm. Esto significa que la incertidumbre en la lectura de la escala del micrómetro es de ± 0.005 mm, es decir, diez veces menor que la del vernier. El barril, sobre el cual gira el cilindro, tiene una escala graduada en divisiones de 0.5 mm. Notamos que esta escala tiene divisiones en la parte superior y en la inferior de la línea de referencia horizontal. Las divisiones de la parte superior señalan los milímetros mientras que, las de la inferior, los medios milímetros

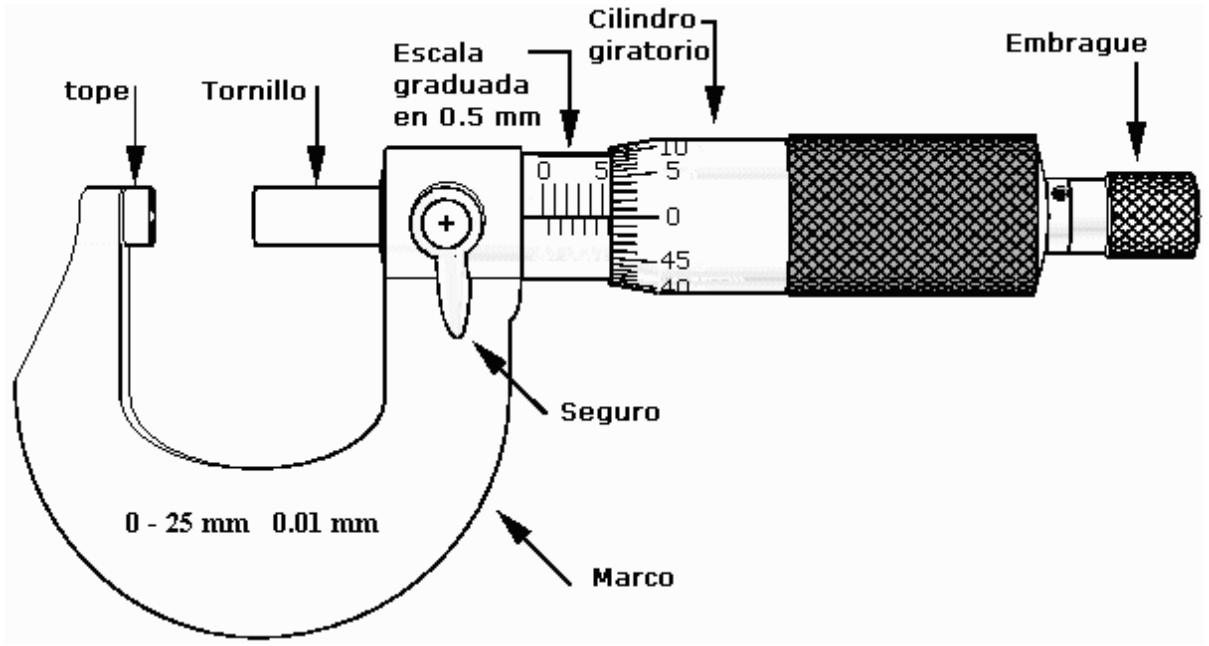


Figura 12 El micrómetro

Para hacer una medición, se lee primero el número en la escala horizontal indicado por el borde izquierdo del cilindro, luego se añade aquél número de la escala en el cilindro que se encuentra alineado con raya horizontal del barril, a la cual hemos llamado línea de referencia. La lectura de la figura 13 es de 8.115 mm, según se explica en ella. En la siguiente dirección de Internet hay un portal en donde se explica

con más detalle cómo leer el resultado de una medición con un micrómetro y se ofrece un pequeño examen de opción múltiple con seis preguntas, que los estudiantes interesados en aprender a usar este instrumento deberán de tomar:

<http://www.colchsf.ac.uk/physics/APhysics2000/Module1/Materials/hotpot/micrometer.htm>. El extremo derecho del micrómetro mostrado en la figura 12 tiene un embrague que limita la magnitud de la presión con la que puede comprimirse el objeto medido. Siempre que se use este instrumento deberá tenerse la precaución de cerrarlo sujetándolo por el embrague. Esto previene un cierre demasiado enérgico que podría dañar al tornillo. Otra precaución importante al usar el micrómetro consiste en cotejar, si al cerrarlo completamente, el cero del cilindro queda alineado con la línea de referencia. Si la lectura no es cero, deberá añadirse o substraerse un factor de corrección a la medición, de lo contrario esta tendrá un error llamado sistemático. Si el micrómetro cerrado lee un número mayor que cero esta cantidad deberá restarse de toda medición hecha con este micrómetro. Si el micrómetro lee cero antes de estar completamente cerrado, el número de divisiones que se tiene que girar para cerrarlo completamente deberá añadirse a la medición

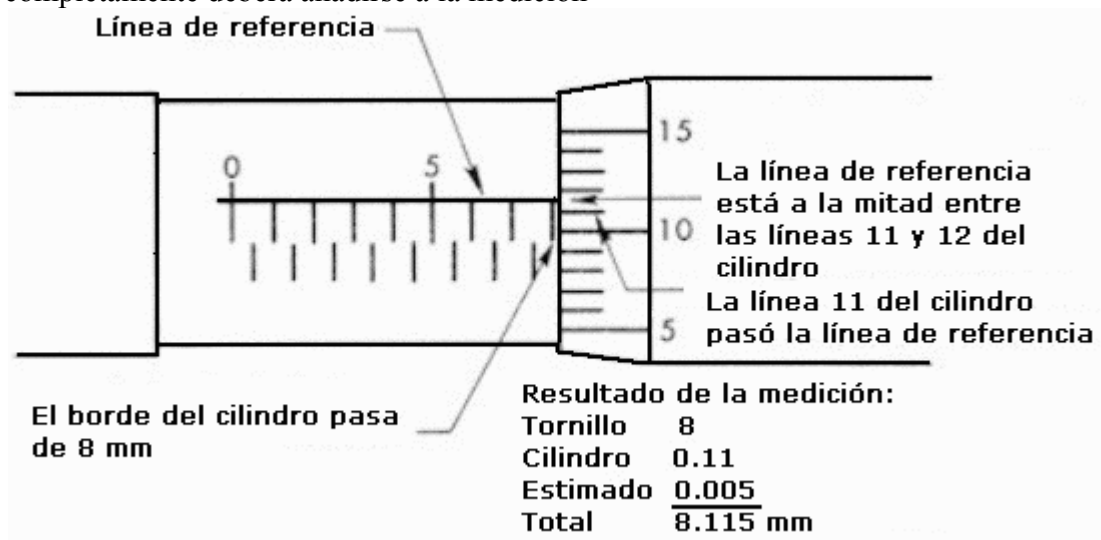


Figura 13 Cómo leer el micrómetro

Incertidumbres

Como hemos dicho anteriormente, las mediciones que se harán en el laboratorio tendrán asociada una incertidumbre que proviene de la lectura de la escala del instrumento de medición. Esta incertidumbre podrá obtenerse de diferentes maneras, según corresponda al tipo de medición. En esta primera práctica se hará referencia solamente a mediciones repetibles. Anteriormente dijimos que mediciones repetible son las que dan el mismo resultado cada vez que se hacen con un instrumento de medida particular. La incertidumbre asociada a una medición repetible es la de la lectura de la escala del instrumento. Si el instrumento provee una forma de fijar el cero, como ocurre con el vernier o ajustarlo, como en el tornillo micrométrico y en varios medidores de variables de circuitos eléctricos, la incertidumbre en la lectura será la mitad de la división más pequeña de la escala, de lo contrario, será la división completa. Como una regla no es un instrumento al cual se le puede ajustar el cero, su incertidumbre es igual al valor de su subdivisión más pequeña. Si está

graduada en milímetros será de ± 1 mm. En el caso del vernier, la incertidumbre en la lectura es de ± 0.05 mm porque el principio de funcionamiento del vernier permite leer hasta décimas de milímetro. En el del tornillo micrométrico, ± 0.005 mm

Ejemplo 7 Medición típica hecha con una regla

Supóngase que se midió el ancho de una hoja de papel de maquinilla y se obtuvo un valor de 21.7 cm. El resultado deberá expresarse correctamente como (21.7 ± 0.1) cm, que muestra el ancho de la hoja de 21.7 cm, más, o menos, la incertidumbre de 1mm asociada con la lectura (recuerde que 1 mm = 0.1 cm). Si al repetir esta medición con cualquiera regla graduada en milímetros, se obtiene un número no menor que $21.7 - 0.1 = 21.6$ cm ni mayor que $21.7 + 0.1 = 21.8$ cm, se dice que la medida es repetible. Más formalmente: una medida es repetible cuando, hecha con uno cualquiera de varios instrumentos similares, siempre da como resultado números cuya diferencia entre sí no es mayor que la división más pequeña de la escala de los instrumentos empleados

Ejemplo 8 Medición típica hecha con un vernier

Se midió el ancho de una regla de plástico y se obtuvo un valor de 2.87 cm. El resultado deberá expresarse correctamente como (2.87 ± 0.005) cm, que muestra el ancho de la regla de 2.87 cm, más o menos, la incertidumbre de 0.005 cm asociada con la lectura

Ejemplo 9 Medición típica hecha con un micrómetro

Como el micrómetro es un instrumento más sofisticado que la regla y el vernier, su manejo requiere ciertos cuidados. Primero se cierra haciéndolo girar por el embrague, para limitar la compresión del objeto medido. Esto debe hacerse con lentitud para evitar que el tornillo cierre abruptamente por inercia. Lamentablemente, es común encontrarse con micrómetros cuya línea del cero de su escala cilíndrica no queda justo frente a la línea de referencia al llevar el tornillo hasta el tope. Supongamos que en este ejemplo el tornillo cerró sin llegar al cero y que la diferencia fue estimada en 6 décimas de división. Como el número es estimado, es el resultado de una percepción subjetiva del que hizo la lectura. A toda medida que hagamos con este instrumento debemos restarle 0.006 mm. Si medimos el grueso de una lámina y obtenemos un resultado de 1.205 mm, recordemos que estamos midiendo 0.006 mm de más, así que deberemos restar esta cantidad al resultado, es decir, $1.205 - 0.006 = 1.199$ mm. La incertidumbre en la lectura del micrómetro es de ± 0.005 mm, así que el resultado final es: (1.199 ± 0.005) mm

Cómo escribir el resultado de una medición

En este curso toda medición repetible deberá expresarse en la forma $x = \bar{x} \pm \delta\bar{x}$, donde \bar{x} representa el *resultado* y $\delta\bar{x}$, la *incertidumbre absoluta* asociada con la lectura de la escala. Note que la medición, junto con su incertidumbre, se representa por la letra sola, sin la barra encima. Si el estudiante no ha entendido todo lo que se ha dicho hasta este momento, pregunte a su instructor en el laboratorio

Incertidumbre relativa porcentual o delta porcentual

Se define la incertidumbre relativa porcentual de alguna variable física x como,

$$\Delta\% = \frac{\overline{\delta x}}{\overline{x}} \times 100 \quad 1$$

(Donde Δ es la letra griega delta mayúscula). Esta cantidad se usa para expresar el grado de precisión de una medición. De los ejemplos 7 y 8 anteriores se obtendrían las incertidumbres relativas porcentuales en el ancho del papel de maquinilla, medido con la regla, y el ancho de la regla de plástico medido con el vernier, mostradas en la tabla 1

Mientras más pequeña sea la $\Delta\%$, mejor será la precisión de la medición. En este curso de laboratorio se espera que las medidas directas repetibles tengan incertidumbres relativas porcentuales no mayores del 2 %, con algunas excepciones. Otra ventaja de la $\Delta\%$, además de servir como medida de la precisión, es el facilitar los cálculos de la propagación de incertidumbres que se hacen con resultados de mediciones directas o indirectas, como se verá más adelante

Tabla 1. Incertidumbre relativa porcentual

Instrumento	$\Delta\%$
Regla	$\frac{0.1}{21.7} \times 100 = 0.46\%$
Vernier	$\frac{0.005}{2.87} \times 100 = 0.17\%$

Propagación de incertidumbres en resultados de cálculos con medidas directas

Las medidas indirectas también poseen incertidumbres. Estas provienen de la propagación de las incertidumbres de las medidas directas. Si deseamos calcular el área de una superficie, o el volumen de un cuerpo geométrico regular, como el de un paralelepípedo, a partir de los valores medidos de sus aristas, debemos expresar los resultados con sus incertidumbres asociadas, como lo hacemos con las medidas directas. Vamos a suponer que una variable física, z , se expresa como el producto de tres variables independientes, u , v , y w , es decir, $z = uvw$. Como u , v , y w son variables medidas directamente, poseen incertidumbres en su lectura, o sea, $u = \bar{u} \pm \overline{\delta u}$, $v = \bar{v} \pm \overline{\delta v}$ y $w = \bar{w} \pm \overline{\delta w}$. La incertidumbre relativa porcentual en z se calcula como:

$$\Delta\% \equiv \frac{\overline{\delta z}}{\bar{z}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\overline{\delta u}}{\bar{u}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\overline{\delta v}}{\bar{v}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\overline{\delta w}}{\bar{w}} \times 100\right)^2} \quad 2$$

De donde, su incertidumbre absoluta se obtiene como:

$$\overline{\delta z} = \frac{\bar{z} \times \Delta\%}{100} \quad 3$$

Donde $\bar{z} = \bar{u}\bar{v}\bar{w}$

Ejemplo 10

Suponga que medimos las tres aristas de un paralelepípedo con una regla graduada en milímetros y obtuvimos los resultados siguientes:

$$\text{Longitud, } \ell = (6.35 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\text{Ancho, } a = (4.65 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\text{Grueso, } g = (2.20 \pm 0.1) \text{ cm}$$

Si a partir de estas medidas se quiere calcular el volumen del paralelepípedo ¿cuál será la incertidumbre relativa porcentual $\frac{\delta \bar{V}}{\bar{V}} \times 100$ y la incertidumbre absoluta $\delta \bar{V}$

asociada con dicho volumen? Escriba el resultado en la forma $V = \bar{V} \pm \delta \bar{V}$

Solución: El procedimiento requiere:

- i. La determinación de las $\Delta\%$ de cada medición

$$\frac{\delta \bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100 = \frac{0.1}{6.35} \times 100 = 1.57\%$$

$$\frac{\delta \bar{a}}{\bar{a}} \times 100 = \frac{0.1}{4.65} \times 100 = 2.15\%$$

$$\frac{\delta \bar{g}}{\bar{g}} \times 100 = \frac{0.1}{2.20} \times 100 = 4.55\%$$

- ii. La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de estas tres cantidades. Porque $V = lag$, y en tal caso tenemos que aplicar la ecuación 2

$$\begin{aligned} \text{iii. } \frac{\delta \bar{V}}{\bar{V}} \times 100 &= \sqrt{\left(\frac{\delta \bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{a}}{\bar{a}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{g}}{\bar{g}} \times 100\right)^2} = \\ &= \sqrt{(1.57)^2 + (2.15)^2 + (4.55)^2} = 5.27\% \end{aligned}$$

- iv. El cálculo del volumen,

$$\bar{V} = \bar{\ell} \bar{a} \bar{g} = 6.35 \times 4.65 \times 2.20 = 65.0 \text{ cm}^3$$

- v. El cálculo de la incertidumbre absoluta del volumen, según la ecuación 3,

$$\delta \bar{V} = \frac{\bar{V} \times \Delta\%}{100} = \frac{65.0 \times 5.27}{100} = 3.4 \text{ cm}^3$$

El resultado final para el volumen deberá expresarse como,

$$V = (65.0 \pm 3.4) \text{ cm}^3$$

Es importante notar que este resultado tiene solamente tres dígitos para el valor de \bar{V} y dos para el de $\delta\bar{V}$. Esto es así porque un resultado que proviene de cálculos hechos con números que sólo tienen dos dígitos repetibles y uno estimado deberá tener también, no más de dos repetibles y uno estimado. El número $3.4\bar{3}$ se redondeó a 3.4 porque el valor del volumen ya es incierto en el primer dígito decimal

Ejercicio5

Medimos los lados de una hoja de papel, con una regla graduada en milímetros y obtenemos los siguientes resultados: largo, $\bar{\ell} = 27.8\bar{7}$ cm y ancho, $\bar{a} = 21.5\bar{8}$ cm.

(a) Escribir las incertidumbres en las lecturas de ℓ y a

(b) Calcular:

- i. El área de la hoja, $\bar{A} = \bar{\ell} \times \bar{a}$,
- ii. Las incertidumbres relativas porcentuales de ℓ y a , es decir, $\frac{\delta\bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100$ y $\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100$,
- iii. La incertidumbre relativa porcentual del área, $\frac{\delta\bar{A}}{\bar{A}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100\right)^2}$,
- iv. La incertidumbre absoluta del área, $\delta\bar{A}$
- v. Escriba el resultado en la forma $A = \bar{A} \pm \delta\bar{A}$

Respuestas: 0.1 cm, 0.1 cm, $601.4\bar{3}$ cm², 0.36%, 0.46%, 0.59%, $3.5\bar{2}$ cm², $(601.4\bar{3} \pm 3.5\bar{2})$ cm²

Ejemplo 11

Medimos el diámetro de un bolón con un micrómetro. El micrómetro está totalmente cerrado y sin embargo lee $0.08\bar{7}$ mm, es decir, no está ajustado a cero sino que lee esa cantidad en exceso. Al colocar el bolón leemos un diámetro de $25.43\bar{5}$ mm. Le restamos la cantidad en exceso y obtenemos $25.34\bar{8}$ mm. La incertidumbre en la lectura de los micrómetros es de 0.005 mm. Calcular el volumen de la esfera y su incertidumbre absoluta. Expresar el resultado de la medición con su incertidumbre absoluta

Solución: Recordemos que la fórmula del volumen de una esfera es:

$$V = \frac{\pi}{6} d^3 \quad 4$$

Donde d representa el diámetro y V , el volumen. Por lo tanto,

$$\bar{V} = \frac{\pi}{6} \times (25.34\bar{8} \text{ mm})^3 = 8,527.\bar{7} \text{ mm}^3$$

En este caso particular, la incertidumbre absoluta del volumen está dada por la siguiente ecuación, que su instructor de laboratorio deducirá en la clase,

$$\delta\bar{V} = \left(3 \frac{\delta d}{d}\right)\bar{V} \quad 5$$

Por lo tanto,

$$\delta\bar{V} = \left(3 \frac{0.005}{25.348}\right) \times 8,527.7 = 5.046 \text{ mm}^3$$

Finalmente, $V = (8.528 \pm 0.005) \text{ cm}^3$. Note que hemos convertido el resultado a cm^3 . Recuerde que $1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$ y $1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3$

No todas las variables físicas pueden medirse directamente ya que no existen instrumentos que lo hagan para todas ellas. En otros casos, es más fácil y conveniente obtener su valor mediante cálculos con medidas directas. Un ejemplo de esto es la densidad de los sólidos, $\rho = m/V$. Para determinar la densidad de un sólido basta con calcular el cociente entre su masa y su volumen. Estas dos últimas variables pueden, a su vez, medirse directamente

Ejemplo 12

Determine la densidad del bolón del ejemplo 11 sabiendo que su masa es de 23.2 g y fue medida con una balanza graduada en gramos. Exprese el resultado con su incertidumbre absoluta

Solución: Los datos son: $V = (8.528 \pm 0.005) \text{ cm}^3$ y $m = (23.2 \pm 0.5) \text{ g}$. La incertidumbre en la lectura de la balanza es de $\pm 0.5 \text{ g}$ porque su mínima división es de 1 g y su cero es ajustable. Las incertidumbres relativas porcentuales son:

$$\frac{\delta\bar{V}}{\bar{V}} \times 100 = \frac{0.005}{8.528} \times 100 = 0.057\% \text{ y}$$

$$\frac{\delta\bar{m}}{\bar{m}} \times 100 = \frac{0.5}{23.2} \times 100 = 2.2\%$$

La incertidumbre relativa porcentual de la densidad, de acuerdo con la ecuación 2, que también se aplica para variables que provienen de cocientes, es:

$$\frac{\delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{V}}{\bar{V}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{m}}{\bar{m}} \times 100\right)^2} = \sqrt{(0.057)^2 + (2.2)^2} = 2.2\%$$

Ahora, de acuerdo con la ecuación 3, obtenemos,

$$\delta\bar{\rho} = \frac{2.2}{100} \times \bar{\rho} = 0.022 \times \left(\frac{23.2}{8.528}\right) = 0.022 \times 2.72 = 0.06 = 0.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Finalmente,

$$\rho = 2.7 \pm 0.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La densidad, al igual que algunas variables físicas tales como, el calor específico, el módulo de Young, el índice de refracción, el coeficiente de expansión térmica, la constante dieléctrica, y otros, es una propiedad característica de los materiales. Esto significa que cada material está caracterizado por su valor de estas variables. El aluminio, por ejemplo, se caracteriza por tener una cierta densidad, cuyo valor encontramos en la literatura. Consultando algún libro de física, o buscando en el Internet, encontraremos que la densidad del aluminio es de 2.7 gm/cm^3 . (Ver, por ejemplo, el siguiente enlace en donde existe información gratuita, en español u otros idiomas, sobre variados temas en múltiples disciplinas:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>). Al comparar la densidad que medimos, con la reportada en la literatura para el aluminio, notamos que son iguales, por lo tanto, la esfera es de este material. No siempre ocurre que los resultados de las mediciones de propiedades características sean iguales a los valores reportados en la literatura. De hecho, lo más común es encontrar diferencias entre ambos. Se acostumbra evaluar estas diferencias con la siguiente ecuación:

$$\text{Diferencia \%} = \frac{|x_{\text{medida}} - x_{\text{reportada}}|}{x_{\text{reportada}}} \times 100 \quad 6$$

Donde x_{medida} es el valor de la variable física obtenido en el laboratorio, y $x_{\text{reportada}}$ es el valor de esa variable encontrado en la literatura

El material expuesto en este capítulo introductorio es el mínimo necesario para iniciar el curso de laboratorio. Si al terminar de leerlo el estudiante no ha entendido todo lo que leyó, deberá preguntar al instructor para que él le aclare las dudas. Es importante tener presente que el trabajo de laboratorio no es trivial. Es indispensable hacer las cosas con cuidado y, sobre todo, sabiendo lo que se busca y cómo encontrarlo. A continuación incluimos la tabla 2 con los valores de las densidades de algunos gases, líquidos y sólidos comunes según se reportan en la literatura

Materiales

Un paralelepípedo metálico y
Un bolón de metal

Instrumentos de medición

Una regla de plástico de 30 cm (graduada en milímetros),
Un vernier (graduado en milímetros),
Un tornillo micrométrico decimal, y
Una balanza graduada en décimas de gramo

Procedimiento

1. Mida la longitud ℓ , el ancho a , y el grueso g , del bloque metálico utilizando:
 - a. la regla,

- b. el vernier, y
 - c. el tornillo micrométrico
2. Escriba los resultados, con sus incertidumbres absolutas, en la tabla 3 del informe de laboratorio
 3. Calcule las incertidumbres relativas porcentuales de cada medición y escríbalas en la tabla 4 del informe de laboratorio

Tabla 2. Densidades de algunos sólidos, líquidos y gases

Tabla de densidades	
Material	Densidad (g/cm ³)
Aceite de oliva	0.92
Acero	7.9
Aire seco (20° C, 1 atm)	1.21×10^{-3}
Aluminio	2.7
Bloque de concreto	2
Cobre	8.9
Corcho	0.25
Diamante	3.3
Helio (0° C, 1 atm)	0.178×10^{-3}
Hidrógeno (0° C, 1 atm)	0.090×10^{-3}
Hielo	0.917
Hierro	7.9
Madera de balsa	0.12
Mercurio	13.6
Níquel	8.8
Oro	19.3
Oxígeno (0° C, 1 atm)	1.43×10^{-3}
Plata	10.5
Platino	21.5
Vidrio	2.5

4. Calcule el volumen, \bar{V} , del paralelepípedo usando la ecuación $\bar{V} = \bar{\ell} \times \bar{a} \times \bar{g}$ y los valores de, $\bar{\ell}$, \bar{a} , y \bar{g} medidos con la regla. Escriba el resultado en el informe de laboratorio
5. Repita el punto 4, de este procedimiento, con los valores medidos con el vernier, y escriba el resultado en el informe de laboratorio
6. Repita el punto 4, de este procedimiento, con los valores medidos con el micrómetro, y escriba el resultados en el informe de laboratorio
7. Calcule la $\Delta\%$ del volumen a partir de los datos de la tabla 4 para la regla y escriba el resultado en el informe de laboratorio
8. Calcule $\Delta\%$ la del volumen a partir de los datos de la tabla 4 para el vernier y escriba el resultado en el informe de laboratorio

9. Calcule la $\Delta\%$ del área a partir de los datos de la tabla 4 para el micrómetro y escriba el resultado en el informe de laboratorio
10. Use la ecuación $\delta\bar{V} = (\Delta\%) \times \frac{\bar{V}}{100}$ para encontrar la incertidumbre absoluta del volumen obtenido a partir de las mediciones hechas con la regla
11. Repita el punto 10, de este procedimiento, con las mediciones hechas con el vernier
12. Repita el punto 10, de este procedimiento, con las mediciones hechas con el micrómetro. Note que ahora estamos substituyendo el área donde antes substituímos el volumen
13. Escriba los volúmenes y el área con sus incertidumbres absolutas en la tabla 5 del informe de laboratorio
14. Mida el diámetro, d , de la esfera de metal con el vernier y con el micrómetro, y escriba cada uno, con su incertidumbre en la lectura, en la primera columna de la tabla 6 del informe de laboratorio
15. Calcule la incertidumbre relativa porcentual para cada instrumento y escríbalas en la segunda columna de la tabla 6 del informe de laboratorio
16. Calcule el volumen de la esfera, para cada medición y escríbalos en la tercera columna de la tabla 6 del informe de laboratorio
17. Calcule las incertidumbres absolutas de los volúmenes, y escríbalas en la cuarta columna de la tabla 6 del informe de laboratorio
18. Exprese los volúmenes con sus incertidumbres absolutas en la quinta columna de la tabla 6 del informe de laboratorio
19. Mida la masa de la esfera con una balanza graduada en décimas de gramo y escríbala con su incertidumbre en la lectura
20. Calcule la incertidumbre relativa porcentual de la masa
21. Calcule la densidad de la esfera usando el volumen medido con el micrómetro, cuyo valor aparece en la tabla 6 del informe, y la masa medida anteriormente
22. Calcule la incertidumbre relativa porcentual de la densidad de la esfera y escríbala en el informe de laboratorio
23. Calcule la incertidumbre absoluta de la densidad de la esfera y escríbala en el informe de laboratorio
24. Escriba la densidad de la esfera con su incertidumbre absoluta en el informe de laboratorio
25. Mida la masa del paralelepípedo metálico y calcule su densidad, con su incertidumbre absoluta, usando el volumen medido con el micrómetro y repitiendo los pasos del 20 al 24
26. Conteste las preguntas del informe y entréguelo a su instructor antes de abandonar el laboratorio

Preguntas

Contestar correctamente antes de hacer el experimento

1. Hablamos de valores deducidos cuando:
 - a. Se obtienen en las conclusiones del informe de laboratorio
 - b. Son obtenidos mediante cálculos o gráficas que a su vez provienen de valores medidos directamente
 - c. Son estimados
 - d. Proviene de una investigación

2. La incertidumbre en la lectura de un vernier métrico es de:
 - a. ± 1.0 cm
 - b. ± 0.005 cm
 - c. 0.01 cm
 - d. ± 0.5 mm

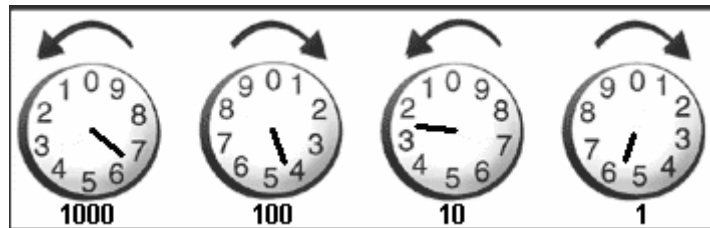
3. Una medición es directa cuando:
 - a. Se obtiene a partir de cálculos o gráficas
 - b. Sale directamente de la literatura
 - c. Se obtiene leyendo directamente la escala del instrumento que la midió
 - d. Se consigue preguntando al que la hizo

4. La determinación gráfica del valor de una variable:
 - a. Es un valor obtenido directamente
 - b. Nunca puede ser confiable
 - c. No es el resultado de una medición
 - d. Es un valor deducido

5. La obtención de la aceleración, a , de un móvil a partir de la ecuación $a = 2d/t^2$, donde d , la distancia y t , el tiempo, tienen valores conocidos, medidos directamente:
 - a. Es un ejemplo de medición indirecta o calculada
 - b. Requiere el uso de análisis gráfico
 - c. Es un ejemplo de medición directa porque d y t fueron medidos directamente
 - d. No es posible obtener un valor de a usando esta ecuación

6. Las medidas indirectas son:
 - a. Aquellas cuyo valor lo obtenemos preguntando a otras personas
 - b. Aquellas que se refieren a lo que no puede medirse, como el amor, la sed, el cansancio, etc.
 - c. Aquellas cuyo valor no ha sido determinado mediante algún instrumento que las mida directamente
 - d. Las que obtenemos leyendo la escala de algún instrumento de medida

7. La definición operativa de una variable física requiere:
- No requiere nada
 - Una operación matemática
 - Que se pueda medir a través del establecimiento de un proceso específico y la definición de una unidad con la cual expresar su valor
 - El establecimiento de un proceso de medición por análisis gráfico
8. El siguiente contador eléctrico mide:



- 6425
 - 7536
 - 6535
 - 6526
9. La incertidumbre en la lectura de un micrómetro es de:
- ± 0.005 mm
 - Depende de lo que se vaya a medir
 - ± 0.05 mm
 - ± 0.0005 m
10. El área de una hoja de papel mide 135.42 cm² con una incertidumbre relativa porcentual de 2.1 %. Su incertidumbre absoluta es:
- 2.84 cm²
 - 2.1 cm²
 - Faltan datos
 - ± 1 mm²
11. El valor en la incertidumbre en la lectura de un instrumento al que no se le puede ajustar el cero es:
- La mitad de su subdivisión más pequeña
 - La subdivisión más pequeña
 - El 2 % de su rango de medida
 - Igual a su incertidumbre relativa porcentual
12. El valor en la incertidumbre en la lectura de un instrumento al que se le puede ajustar el cero es:
- La mitad de su subdivisión más pequeña
 - La subdivisión más pequeña
 - El 2 % de su rango de medida
 - Igual a su incertidumbre relativa porcentual

13. Decimos que un dígito es estimado, al leer la escala de un instrumento, cuando:
- Sentimos afecto por él
 - Es nuestro dígito de la suerte
 - Corresponde a un valor menor que el de la subdivisión más pequeña de la escala del instrumento
 - Representa la precisión de la medición
14. La densidad de un sólido es una variable característica de los materiales, cuya medición en este experimento es:
- Indirecta
 - Directa
 - Obtenida gráficamente
 - Deducida a partir de valores que fueron todos obtenidos directamente
15. La incertidumbre en la medida de la densidad de una esfera metálica se obtiene:
- Leyendo directamente la escala del instrumento que la midió
 - Propagando las incertidumbres en las medidas de su diámetro y masa
 - Asignándole el valor de la mitad de la subdivisión más pequeña de escala del micrómetro con el que se midió su diámetro
 - Asignándole el valor de la mitad de la subdivisión más pequeña de escala de la balanza con la que se midió su masa
16. Luego de finalizar un experimento en el que medimos el valor de una propiedad característica de un material es conveniente:
- Calcular la diferencia entre el valor medido y el valor reportado en la literatura
 - Asumir que el valor obtenido por nosotros es el mismo que se reporta en la literatura
 - Asumir que el valor medido por nosotros es el correcto aunque la literatura muestre otro
 - Solamente comparar nuestro resultado con el midieron otros compañeros en el laboratorio

Informe del Experimento 1. Medidas de longitud, área, volumen y densidad

Sección _____ Mesa _____

Fecha: _____

Estudiantes:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

1. & 2.

Tabla 3. Mediciones con su incertidumbre absoluta

Instrumento	$(\bar{\ell} \pm \delta\bar{\ell})$ cm	$(\bar{a} \pm \delta\bar{a})$ cm	$(\bar{g} \pm \delta\bar{g})$ cm
Regla			
Vernier			
Micrómetro	Este micrómetro sólo mide hasta 2.54 cm		

3.

Tabla 4. Incertidumbres relativas porcentuales

Instrumento	$\frac{\delta\bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100$	$\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100$	$\frac{\delta\bar{g}}{\bar{g}} \times 100$
Regla			
Vernier			
Micrómetro	Aquí no hay datos		

4. Cálculo del volumen a partir de las mediciones hechas con la regla:

$$\bar{V} = \bar{\ell} \bar{a} \bar{g} = (\quad) \times (\quad) \times (\quad) = \text{_____ cm}^3$$

5. Cálculo del volumen a partir de las mediciones hechas con el vernier:

$$\bar{V} = \bar{\ell} \bar{a} \bar{g} = (\quad) \times (\quad) \times (\quad) = \text{_____ cm}^3$$

6. Cálculo del área a partir de las mediciones hechas con el micrómetro:

$$\bar{A} = \bar{a} \bar{g} = (\quad) \times (\quad) = \text{_____ cm}^2$$

7. Cálculo de la incertidumbre relativa porcentual del volumen deducido con las mediciones hechas con la regla:

$$\Delta\% = \frac{\delta\bar{V}}{\bar{V}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{g}}{\bar{g}} \times 100\right)^2} = \text{_____ \%}$$

8. Cálculo de la incertidumbre relativa porcentual del volumen deducido con las mediciones hechas con el vernier:

$$\Delta\% = \frac{\delta\bar{V}}{\bar{V}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{\ell}}{\bar{\ell}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{g}}{\bar{g}} \times 100\right)^2} = \text{_____ \%}$$

9. Cálculo de la incertidumbre relativa porcentual del área deducida con las mediciones hechas con el micrómetro:

$$\Delta\% = \frac{\delta\bar{A}}{\bar{A}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{a}}{\bar{a}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{g}}{\bar{g}} \times 100\right)^2} = \text{_____ \%}$$

10. Cálculo de la incertidumbre absoluta en la determinación del volumen con las mediciones hechas con la regla:

$$\delta\bar{V} = (\Delta\%) \times \frac{\bar{V}}{100} = (\quad) \times \left(\frac{\text{_____}}{100} \right) = \text{_____ cm}^3$$

11. Cálculo de la incertidumbre absoluta en la determinación del volumen con las mediciones hechas con el vernier:

$$\delta\bar{V} = (\Delta\%) \times \frac{\bar{V}}{100} = (\quad) \times \left(\frac{\text{_____}}{100} \right) = \text{_____ cm}^3$$

12. Cálculo de la incertidumbre absoluta en la determinación del área con las mediciones hechas con el micrómetro:

$$\delta\bar{A} = (\Delta\%) \times \frac{\bar{A}}{100} = (\quad) \times \left(\frac{\text{_____}}{100} \right) = \text{_____ cm}^2$$

13. Complete la tabla 5 con las mediciones y cálculos hechos hasta ahora:

Tabla 5. Resultados de las mediciones calculadas y sus incertidumbres

Instrumento	Valor deducido, con su incertidumbre absoluta	Incertidumbre relativa porcentual o precisión, $\Delta\%$
Regla	$V = (\quad \pm \quad) \text{ cm}^3$	
Vernier	$V = (\quad \pm \quad) \text{ cm}^3$	
Micrómetro	$A = (\quad \pm \quad) \text{ cm}^2$	

14. 15, 16, 17 y 18

Tabla 6. Propagación de la incertidumbre

Instrumento	$\bar{d} \pm \delta\bar{d}$ (cm)	$\frac{\delta\bar{d}}{\bar{d}}$	$\bar{V} = \frac{\pi}{6} \bar{d}^3$ (cm) ³	$\delta\bar{V}$ (cm)	$\bar{V} \pm \delta\bar{V}$ (cm) ³
Vernier	\pm				\pm
Micrómetro	\pm				\pm

19. Masa de la esfera

$$m = \text{_____} \pm \text{_____} \text{ g}$$

20. Incertidumbre relativa porcentual de la masa

$$\Delta\% = \frac{\delta\bar{m}}{\bar{m}} \times 100 = \text{_____} \%$$

21. Densidad de la esfera

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}} = \text{_____} \text{ g/cm}^3$$

22. Incertidumbre relativa porcentual de la densidad

$$\Delta\% = \frac{\delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}} \times 100 = \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{m}}{\bar{m}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{\delta\bar{V}}{\bar{V}} \times 100\right)^2} = \text{_____} \%$$

23. Incertidumbre absoluta de la densidad de la esfera

$$\delta\bar{\rho} = (\Delta\%) \times \frac{\bar{\rho}}{100} = \text{_____ g/cm}^3$$

24. Valor de la densidad con su incertidumbre absoluta

$$\rho = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g/cm}^3$$

25. Presente, en el espacio provisto abajo, el resultado de la medición de la masa del paralelepípedo de aluminio con su incertidumbre en la lectura, y todos los pasos y cálculos que conducen al resultado final de la densidad del bloque con su incertidumbre absoluta

Preguntas

1. ¿Cuál es la incertidumbre en la lectura del nivel del líquido en una probeta graduada en subdivisiones de 0.1 cm^3 ?
2. Si la probeta de la pregunta anterior se usó para medir un volumen $\bar{V} = 18.36 \text{ cm}^3$ ¿Cuál es la $\Delta\%$? Incluya sus cálculos en la respuesta

3. Escriba el volumen de la pregunta 2 con su incertidumbre absoluta

4. Identifique el material del que está hecho el bolón usando la densidad medida y la información de la tabla de densidades

5. Calcule la diferencia en densidades del bolón usando la ecuación 6 y el valor de la densidad que se reporta en la literatura para ese material

6. Identifique el material del que está hecho el bloque usando la densidad medida y la información de la tabla de densidades

7. Calcule la diferencia en densidades del bloque usando la ecuación 6 y el valor de la densidad que se reporta en la literatura para ese material

