



ESCUELA DE FÍSICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN



LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

PRÁCTICA N° 1

TEMA : FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA

OBJETIVO GENERAL

- *Representar adecuadamente los números que representan resultados experimentales*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- *Operar con números que representan resultados experimentales.*
- *Interpretar la lectura de números que representan resultados experimentales.*

1. INTRODUCCION

La física es considerada como una ciencia experimental, es por esta razón que la medición constituye una operación fundamental. Al realizar una medición es imposible evitar cierto grado de incertidumbre, debido a que es probable que en el procedimiento se generen errores experimentales, ya sean humanos (**Errores del observador**), por variaciones del medio (**Errores aleatorios**) o por una calibración incorrecta de los instrumentos utilizados (**Errores sistemáticos**).

Adicionalmente, existen dos términos claves que deben ser tenidos en cuenta al momento de comprender mejor el tratamiento de la incertidumbre en las mediciones estos son, la **exactitud** que indica los resultados de la proximidad de la medición con respecto al valor convencionalmente verdadero, y la **precisión** que indica la repetibilidad o reproductibilidad de la medida.

En la ciencia, la palabra error **NO** lleva la connotación habitual de los términos error o equivocación. Error en una medición científica significa la incertidumbre que acompaña todas las mediciones. Por más cuidadoso que sea el experimentador, los errores no pueden ser eliminados en su totalidad. En este contexto, lo mejor que puede hacerse es intentar disminuir al máximo los errores (tan pequeños como sea razonablemente posible) y tener una estimación fiable de sus valores.

Es importante tener en cuenta que una disminución en la incertidumbre, generalmente va ligada a un aumento en los costos operativos, bien sea por mayor capacitación del personal o por mejoramiento en la precisión y exactitud del equipo, es por esta razón que el experimentador debe analizar muy bien para cada tipo de medición cual es una incertidumbre razonable que le permita alcanzar los objetivos planteados con el menor coste posible.

Las mediciones experimentales pueden clasificarse según la forma como son obtenidas (**Figura 1**), dependiendo si esta medición se realiza una vez, varias veces, o si se necesita utilizar otras fórmulas que dependan de dichas mediciones. Si bien no es posible determinar el valor exacto en una medición, podemos asegurar un intervalo en el que se encuentra ese valor con una probabilidad determinada. A esto se le denomina como incertidumbre de una medida la cual varía en función de esta clasificación.

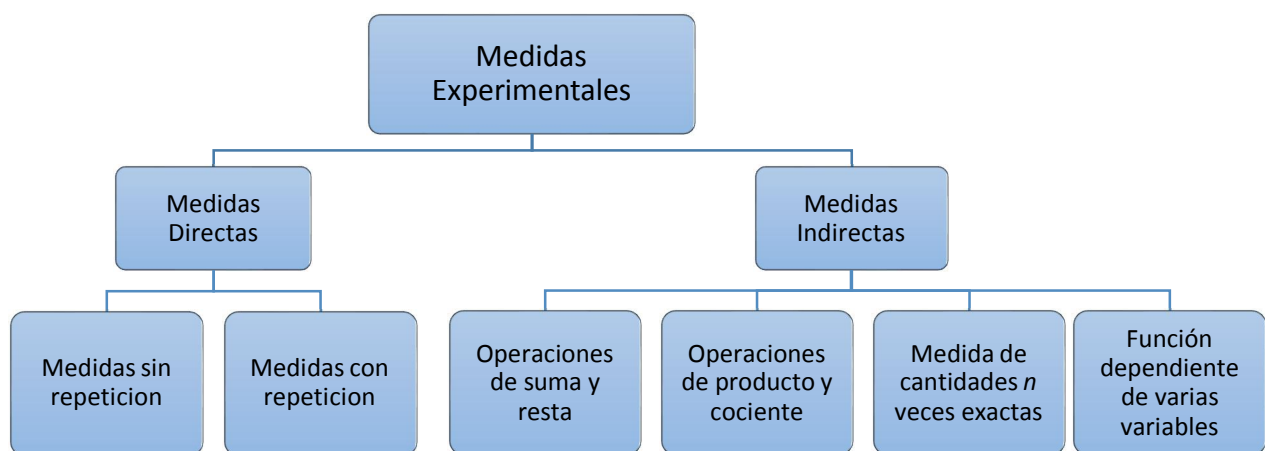


Figura 1. Tipos de medidas experimentales

2. INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS EXPERIMENTALES

La forma correcta de escribir el resultado de una medición es dando el valor de la cantidad medida y el rango dentro del cual se puede asegurar que se encontrará cualquier medida posterior que se realice. Esto se logra expresando la cantidad de la siguiente forma:

$$\text{Medición experimental} = x \pm u_x$$

donde x es el valor medido y u_x es el error o incertidumbre en la medida. De esta manera se establece un intervalo en el que se encuentra el valor, siendo $x + u_x$ el límite superior y $x - u_x$ el límite inferior de dicho intervalo. La mayoría de medidas científicas no tienen significado físico si no se incluyen sus incertidumbres. Para determinar el valor de la incertidumbre en una medida es necesario conocer la forma como dichas medidas fueron obtenidas (ver **Figura 1**).

2.1 MEDIDAS EXPERIMENTALES DIRECTAS

Las medidas experimentales directas se caracterizan porque la medición se obtiene directamente del instrumento de medida. Son medidas específicas como longitud o tiempo, las cuales no requieren del uso de expresiones matemáticas para cuantificar su valor. A su vez, las medidas experimentales directas pueden clasificarse en los siguientes dos tipos:

2.1.1 Medidas directas sin repetición

Cuando se hace una sola medida con algún instrumento la incertidumbre de la medida corresponde a la apreciación del instrumento, el cual es el valor de la mínima división del instrumento (si este es análogo) o la última cifra significativa reportada en la pantalla (si este es digital). En ambos casos corresponde al mínimo cambio que puede detectar el instrumento de medida. En este caso la medición debe reportarse como:

$$\text{Medición experimental} = x \pm u_{\text{lectura}}$$

2.1.2 Medidas directas con múltiples repeticiones

En algunos casos es necesario repetir la medición varias veces (n veces); ya que con este procedimiento se pueden “corregir” errores debido a la presencia de incertidumbres aleatorias. Teniendo en cuenta que n es el número de veces que se adquiere la medida, el mejor valor que se puede estimar es el valor promedio, \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

La incertidumbre estadística del valor promedio es el error estándar $\sigma_{\bar{x}}$ de la media:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Por lo tanto, la incertidumbre de la medida se determina por la combinación geométrica entre la incertidumbre del instrumento de lectura y la incertidumbre estadística de los datos:

$$u_{\bar{x}} = \sqrt{(u_{\text{lectura}})^2 + (\sigma_{\bar{x}})^2} \quad (3)$$

En este caso la medición debe reportarse como:

$$\text{Medición experimental} = \bar{x} \pm u_{\bar{x}}$$

2.2 MEDIDAS EXPERIMENTALES INDIRECTAS

Muchas cantidades físicas no pueden ser medidas directamente, y por lo tanto, deben ser calculadas a partir de expresiones matemáticas (formulas), las cuales requieren el uso de medidas directas dentro de su ecuación. Estas medidas son denominadas indirectas y la incertidumbre de las mismas debe calcularse a partir de las incertidumbres de las medidas directas. Este procedimiento permite determinar la forma de propagación de las incertidumbres a través de los cálculos.

La regla general que permite calcular la incertidumbre de una medida indirecta, la cual es función de otras cantidades medidas con errores independientes y aleatorios $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ está dada por:

$$u_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} u_{x1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} u_{x2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} u_{xn}\right)^2} \quad (4)$$

que en forma general puede escribirse como:

$$u_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} u_{xi}\right)^2} \quad (5)$$

En este caso la medición debe reportarse como:

$$\text{Medición experimental} = y \pm u_y$$

3. REPORTE DE MEDIDAS EXPERIMENTALES CON INCERTIDUMBRE

Para reportar correctamente las medidas se deben tener en cuenta las siguientes reglas y recomendaciones respecto al manejo de cifras significativas:

- ✓ La incertidumbre se debe redondear a una sola cifra significativa (**ver sección 4**). Por ejemplo si la incertidumbre es $0,225 \text{ cm}$, debería reportarse como $0,2 \text{ cm}$.
- ✓ La medida experimental y su incertidumbre deben reportarse con las mismas unidades.
- ✓ La medida experimental y su incertidumbre deben reportarse usando la misma potencia de 10 (cuando se usa notación científica).

- ✓ La última cifra significativa en la medida reportada debe ser del mismo orden de magnitud (en la misma posición decimal) que la incertidumbre. Si tenemos un dato de $L = 18,285 \text{ cm}$ con una incertidumbre $u_L = 0,2 \text{ cm}$, el dato final debe reportarse como:

$$L = 18,3 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$$

4. CIFRAS SIGNIFICATIVAS

Cada dato experimental debe reportarse con su respectivo error o, al menos, se deben escribir sus cifras de tal modo que reflejen la precisión de la correspondiente medida. En este contexto, el número de cifras significativas de una cantidad establece el orden de magnitud de la incertidumbre de un resultado.

Por ejemplo, un dato de una longitud expresado como $13,6 \text{ cm}$ nos indica que la cifra “dudosa” (cifra que variará dentro del intervalo de incertidumbre de la medida) es el 6, y que la incertidumbre de esta medida pudiera ser de una décima de centímetro. En este ejemplo el resultado estaría escrito con 3 cifras significativas. Este mismo dato puede ser reportado con dos o inclusive una cifra significativa teniendo en cuenta las reglas de redondeo de números que se exponen en la sección 4.2.

4.1 REGLAS PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE CIFRAS SIGNIFICATIVAS

- ✓ Cualquier dígito diferente de cero es significativo.

7563,21 tiene 6 cifras significativas

- ✓ Ceros entre dígitos distintos de cero son significativos.

102,03 tiene 5 cifras significativas

- ✓ Ceros a la izquierda del primer dígito distinto de cero no son significativos.

0,034 tiene 2 cifras significativas

- ✓ Los ceros ubicados a la derecha del punto decimal y después de un dígito distinto de cero son significativos.

403,040 tiene 6 cifras significativas.

- ✓ Para los números expresados en notación científica se siguen las reglas anteriores en su parte numérica. La potencia no se tiene en cuenta para el número de cifras significativas.

$1,05 \times 10^3$ tiene 3 cifras significativas

- ✓ Los ceros finales de un dato entero (700) no son significativos; si se desea expresar que son significativos debe escribirse en notación científica ($7,00 \times 10^2$).

4.2 REDONDEO DE NÚMEROS

Cuando se va a realizar el redondeo de números, lo primero que se debe hacer es observar el número ubicado a la derecha del dígito que va a ser redondeado.

En los siguientes ejemplos, los números con cinco cifras significativas serán escritos con tres cifras solamente. Por lo tanto, el número que será redondeado es el número escrito en negrilla. El número subrayado corresponde al número a tener en cuenta de acuerdo con las siguientes reglas de redondeo.

- ✓ Si la cifra (Subrayado) a la derecha del número a redondear (negrilla) es mayor o igual que 5, se incrementa en una unidad la última cifra retenida.

$$3,34\underline{7}2 \rightarrow 3,35$$

$$3,38\underline{5}7 \rightarrow 3,39$$

- ✓ Si la cifra (Subrayado) a la derecha del número a redondear (negrilla) es menor que 5, simplemente se eliminan los dígitos a la derecha del número a redondear.

$$3,34\underline{4}2 \rightarrow 3,34$$

$$3,34\underline{0}0 \rightarrow 3,34$$

5. TRABAJO PRÁCTICO:

5.1 MEDIR EL DIÁMETRO DE LA ESFERA

- Atender la explicación del docente sobre uso del calibrador (o pie de rey). Usar dicho instrumento para medir el diámetro de la esfera con su respectiva incertidumbre. Reportar el resultado en milímetros y en metros.

$$d = \text{___} \text{ m m} \pm \text{___} \text{ m m}$$

$$d = \text{___} \text{ m} \pm \text{___} \text{ m}$$

5.2 MEDIR LA MASA DE LA ESFERA

- Atender la explicación del docente sobre uso de la balanza. Usar dicho instrumento para medir la masa de la esfera con su respectiva incertidumbre. Reportar el resultado en gramos y en kilogramos.

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

$$m = \text{___} \text{ kg} \pm \text{___} \text{ kg}$$

5.3 CALCULAR EL VOLUMEN DE LA ESFERA

- A partir de la medición experimental del diámetro de la esfera y empleando la ecuación 6, calcular el volumen de la esfera.

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 = \frac{\pi}{6} d^3 \quad (6)$$

- Demostrar que la expresión para calcular la incertidumbre en el volumen de la esfera es:

$$u_V = \frac{\pi}{2} d^2 (u_d) \quad (6.1)$$

La ecuación 6.1 se debe **DEMOSTRAR** en una hoja de papel y entregarla al monitor durante el laboratorio.

- Reportar el volumen de la esfera con su respectiva incertidumbre:

$$V = \text{___} \text{ m}^3 \pm \text{___} \text{ m}^3$$

5.4 CALCULAR LA DENSIDAD DE LA ESFERA

- Emplear la medida del volumen y la masa de la esfera para determinar la densidad media ρ de la esfera:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7)$$

- Demostrar que la expresión para calcular la incertidumbre en la densidad es:

$$u_{\rho} = \sqrt{\left[\frac{1}{V} u_m\right]^2 + \left[\frac{m}{V^2} u_V\right]^2} \quad (7.1)$$

La ecuación 7.1 se debe **DEMOSTRAR** en una hoja de papel y entregarla al monitor durante el laboratorio.

- Reportar la densidad de la esfera:

$$\rho = \text{---} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pm \text{---} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Documento elaborado por:

Diego Luis Aristizábal Ramírez
Esteban González Valencia
Tatiana Cristina Muñoz Hernández

Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín

Última revisión: Enero/2017