



universidad de buenos aires - exactas
departamento de Física

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA EXPERIMENTAL

MEDICIÓN DE UNA MAGNITUD FÍSICA

INCERTIDUMBRES

Laboratorio 1 – 1er Cuatrimestre de 2024

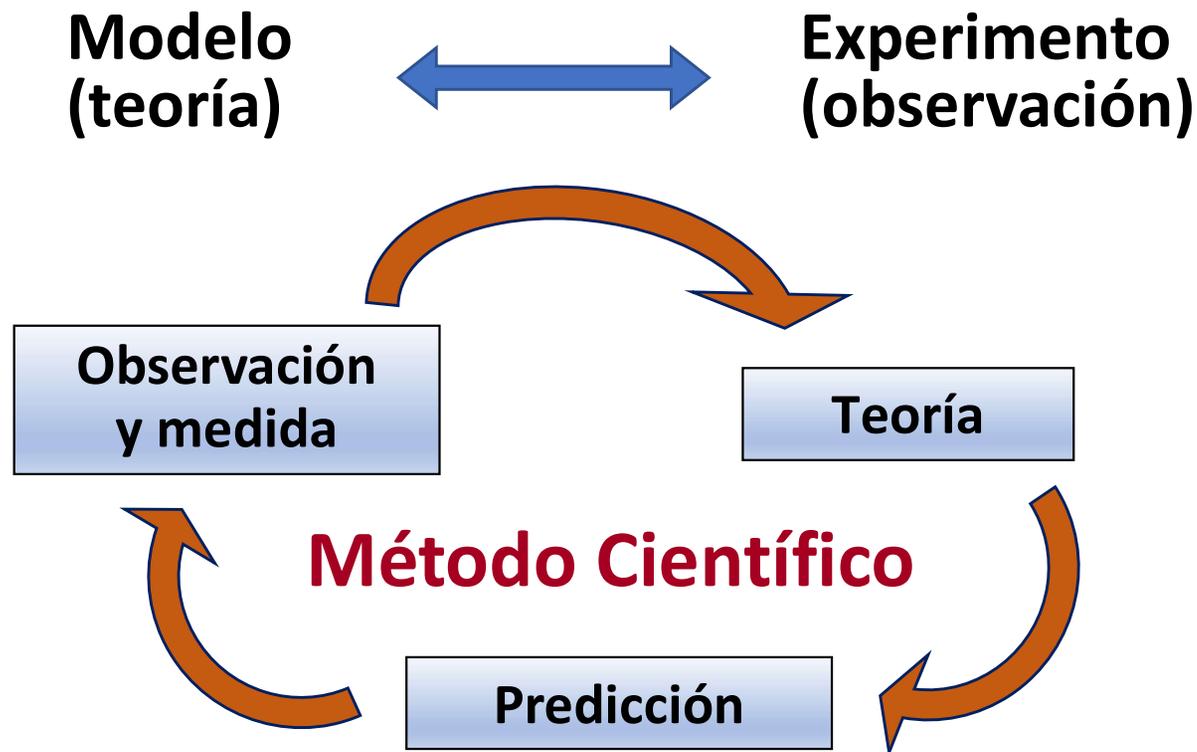
Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires



El gusto/necesidad de medir

La física se ocupa de describir y entender la naturaleza

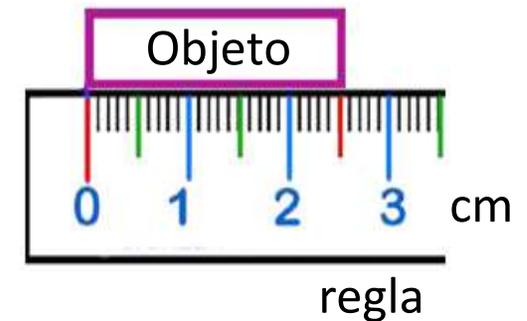
La medición es una de sus herramientas fundamentales para hacerlo de forma objetiva



Magnitud Física (MF):

Atributo de un cuerpo, fenómeno o sustancia que puede ser cuantificada (ej. masa, longitud, velocidad, carga eléctrica)

Medir es comparar la cantidad de la MF que se desea obtener con una unidad de la misma magnitud (Patrón)



Para llevar a cabo una medición:

- Objeto - Fenómeno
- Observador
- Instrumento
- Método

Definir
Sistema de
Unidades
SI



PREFIJOS DEL SI

| Prefijo | Símbolo | Factor | Equivalencia decimal |
|-------------|---------|------------|-----------------------------------|
| yotta | Y | 10^{24} | 1 000 000 000 000 000 000 000 000 |
| zetta | Z | 10^{21} | 1 000 000 000 000 000 000 000 |
| exa | E | 10^{18} | 1 000 000 000 000 000 000 |
| peta | P | 10^{15} | 1 000 000 000 000 000 |
| tera | T | 10^{12} | 1 000 000 000 000 |
| giga | G | 10^9 | 1 000 000 000 |
| mega | M | 10^6 | 1 000 000 |
| kilo | k | 10^3 | 1 000 |
| hecto | h | 10^2 | 100 |
| deca | da | 10^1 | 10 |
| sin prefijo | | 1 | 1 |
| deci | d | 10^{-1} | 0.1 |
| centi | c | 10^{-2} | 0.01 |
| mili | m | 10^{-3} | 0.001 |
| micro | μ | 10^{-6} | 0.000 001 |
| nano | n | 10^{-9} | 0.000 000 001 |
| pico | p | 10^{-12} | 0.000 000 000 001 |
| femto | f | 10^{-15} | 0.000 000 000 000 001 |
| atto | a | 10^{-18} | 0.000 000 000 000 000 001 |
| zepto | z | 10^{-21} | 0.000 000 000 000 000 000 001 |
| yocto | y | 10^{-24} | 0.000 000 000 000 000 000 000 001 |

Vamos a medir!

- Objeto
- Observador
- Instrumento
- Método

¿Cuánto mide el largo del objeto?

Método

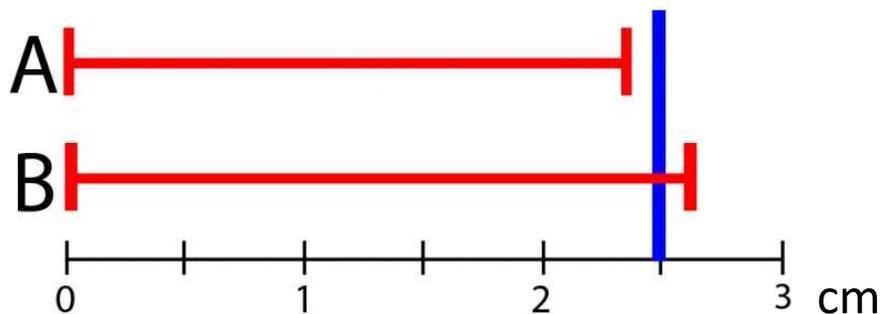
Objeto →

Instrumento →

→ Observador

¿2,4 cm? ¿2,5 cm?

¿Y en este caso?



El resultado de una medición depende de múltiples causas

Incerteza

$$2,4 \text{ cm} \leq L \leq 2,5 \text{ cm}$$



¿Cuál es el período del metrónomo?



1,25 s

1,23 s

1,23 s

1,22 s

1,25 s

1,26 s

1,24 s

1,26 s

1,23 s

**El resultado de una
medición está acotado**

¿Que esperarías obtener si sigo midiendo?

1,25 s

0,88 s

2,40 s

1,24 s



¿Cuál es el período del metrónomo?



1,25 s

1,23 s

1,23 s

1,22 s

1,25 s

1,26 s

1,24 s

1,26 s

1,23 s

El resultado de la medición está acotado por múltiples factores aleatorios

...una medición está acotado

¿Que esperarías obtener si sigo midiendo?

1,25 s

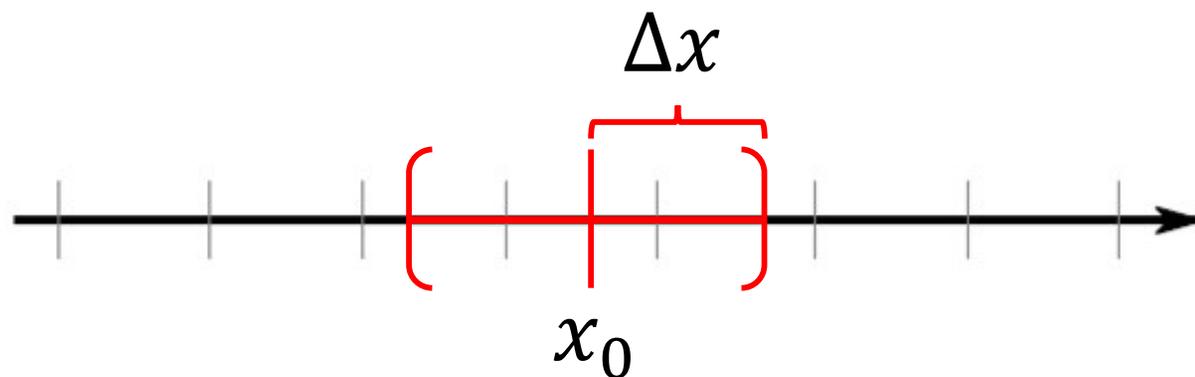
0,88 s

2,40 s

1,24 s



¿Cómo expresamos el resultado de una medición?



RESULTADO

$$x = x_0 \pm \Delta x$$

Intervalo de Confianza

$$x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$$

$$[x_0 - \Delta x, x_0 + \Delta x]$$

$x_0 \rightarrow$ Valor más representativo (\bar{x})

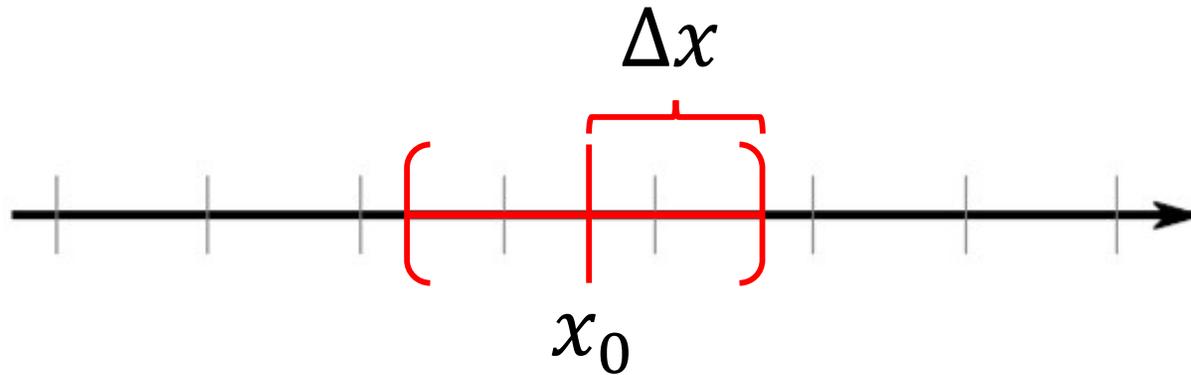
$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{x_0} \rightarrow$ Error Relativo

$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow$ Error Relativo porcentual



¿Cómo expresamos el resultado de una medición?



¿ Δx ?

RESULTADO

$$x = x_0 \pm \Delta x$$

Intervalo de Confianza

$$x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$$

$$[x_0 - \Delta x, x_0 + \Delta x]$$

x_0 → Valor más representativo (\bar{x})

Δx → Incerteza Absoluta
Error Absoluto

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{x_0} \rightarrow \text{Error Relativo}$$

$$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow \text{Error Relativo porcentual}$$

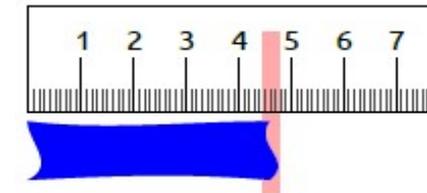
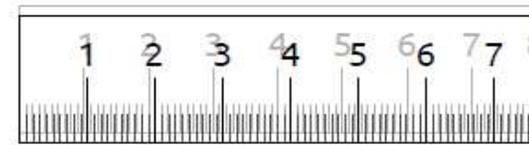
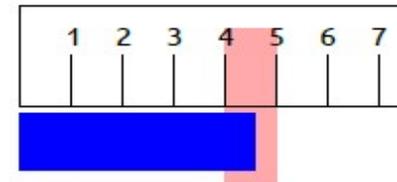
MEDICIONES DIRECTAS

Clasificación de Errores

Errores según su ORÍGEN

I. Errores introducidos por el INSTRUMENTO

- **Error de Apreciación (Δx_{ap})**: mínima división que puede resolver el observador
- **Error de Exactitud (Δx_{ex})**: asociado con el error de calibración del instrumento



II. Error por definición (Δx_{def})

Asociado con la falta de definición del objeto

**Error
NOMINAL**

$$\Delta x_N^2 = \Delta x_{Ap}^2 + \Delta x_{ex}^2 + \Delta x_{def}^2$$

MEDICIONES DIRECTAS

Clasificación de Errores

Errores según su CARÁCTER

Errores Sistemáticos

- ✓ Constante a lo largo de todo el proceso de medida
- ✓ Afecta a todas las medidas de un modo definido
- ✓ Aporta en un mismo sentido (mismo signo)

Por ej.: error de calibrado del instrumentos; errores de paralaje o problemas visuales del observador; mala elección del método

Errores Estadísticos

Errores Estadísticos (σ_e) : errores aleatorios, producidos al azar.

- Intrínsecos (naturaleza)
- Desconocidos



Errores Ilegítimos o Espurios

Asociado con equivocaciones. Por ej. anotar mal una medida, hacer mal un cálculo o pasaje de unidades, etc.

Error ABSOLUTO (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_N^2 + \sigma_e^2}$$

MEDICIONES DIRECTAS

Clasificación de Errores

Errores según su CARÁCTER

Errores Sistemáticos

- ✓ Constante a lo largo de todo el proceso de medida
- ✓ Afecta a todas las medidas de un modo definido
- ✓ Aporta en un mismo sentido (mismo signo)

Por ej.: error de calibrado del instrumentos; errores de paralaje o problemas visuales del observador; mala elección del método

Errores Estadísticos

- Errores Estadísticos (σ_e)** : errores aleatorios, producidos al azar.
- Intrínsecos (naturaleza)
 - Desconocidos



Errores Ilegítimos o Espurios

Asociado con equivocaciones. Por ej. anotar mal una medida, hacer mal un cálculo o pasaje de unidades, etc.

Error ABSOLUTO (Δx)

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_N^2 + \sigma_e^2}$$

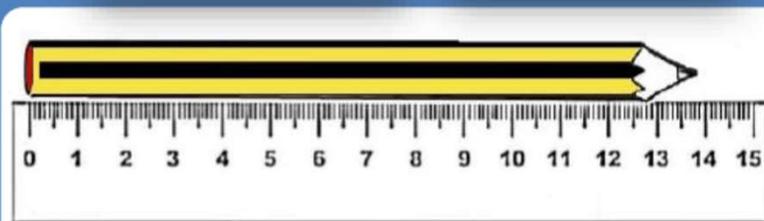
¿ σ_e ?

Clases de Mediciones

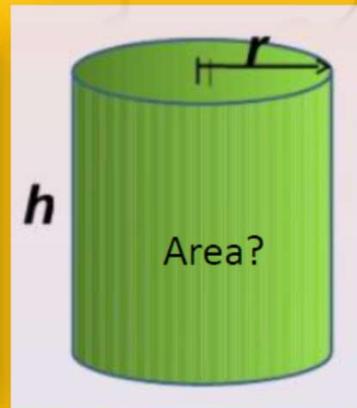
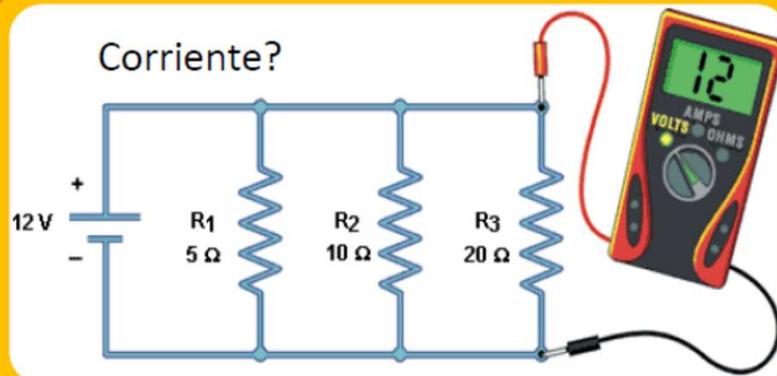
Directas (MD)

La medida deseada se obtiene de la lectura del instrumento

Ej.: medición del tiempo utilizando un cronómetro.



Clases de Mediciones



Indirectas (MI)

La medida deseada se obtiene a partir de un proceso matemático sobre otras medidas

Ej.: superficie de un cuerpo a partir de la medida de sus lados.

Mediciones Directas (MD)

Valor más representativo (\bar{x} o x_0)

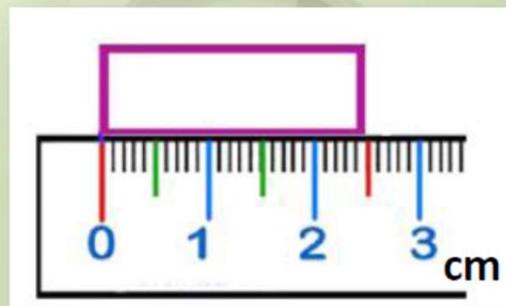
Si mido 1 vez



Es el valor leído



$$\bar{x} = 13,16 \text{ s}$$



$$\bar{x} = 2,4 \text{ cm}$$

$$\bar{x} = 2,5 \text{ cm}$$

Mediciones Directas (MD)

Valor más representativo (\bar{x} o x_0)

Si mido N veces



$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$



Es el valor
promedio



$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Resumen

RESULTADO

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Intervalo de Confianza

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x$$

$$[\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x]$$

$\bar{x} \rightarrow$ Valor más representativo

$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \rightarrow \text{Error Relativo}$$

$$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow \text{Error Relativo porcentual}$$

**Error
NOMINAL**

$$\Delta x_N^2 = \Delta x_{Ap}^2 + \Delta x_{ex}^2 + \Delta x_{def}^2$$

**Error
ABSOLUTO (Δx)**

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_N^2 + \sigma_e^2}$$

Resumen

RESULTADO

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Intervalo de Confianza

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x$$

$$[\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x]$$

$\bar{x} \rightarrow$ Valor más representativo

$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \rightarrow \text{Error Relativo}$$

$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow$ Error Relativo porcentual

**Error
NOMINAL**

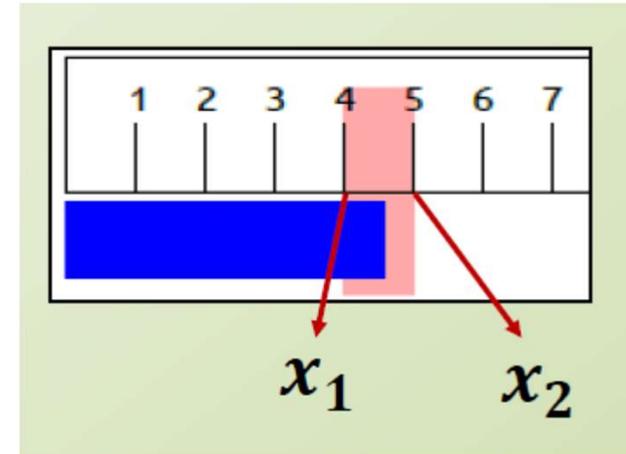
$$\Delta x_N^2 = \Delta x_{Ap}^2 + \Delta x_{ex}^2 + \Delta x_{def}^2$$

**Error
ABSOLUTO (Δx)**

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_N^2 + \cancel{\Delta x_{ex}^2}}$$

Error Nominal (o de apreciación)

Lo que puede “resolver” el observador.
Muchas veces: resolución (mínima división) del
instrumento



(Error de Exactitud (Δx_{ex}): Asociado con el error de calibración del instrumento; (Δx_{def}))

Incertidumbre instrumental



$$\Delta x_{ap} = (x_2 - x_1)$$

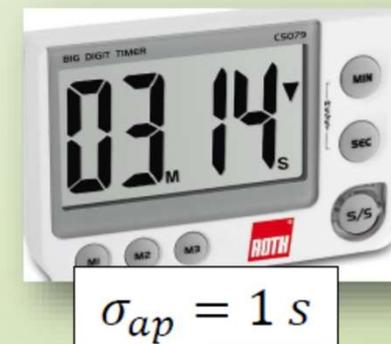
ó

$$\Delta x_{ap} = (x_2 - x_1) / 2$$

Precisión de un Instrumento

Precisión

Es la resolución del instrumento
(mínima división)



Instrumentos para determinar longitudes

- Regla, cinta métrica (en qué difieren?)
- Calibre
- Micrómetro

¿Cuál de estos instrumentos es más preciso?

Precisión instrumental vs Precisión de un resultado

PRECISIÓN DE UN INSTRUMENTO

Es la resolución del instrumento (mínima división)

PRECISIÓN DE UN RESULTADO

Error
Relativo



$$\varepsilon_r = \left| \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right|$$

- ✓ Sin Unidades
- ✓ Permite comparar resultados-métodos

Menor $\varepsilon_r \leftrightarrow$ mayor precisión

$$D = (10 \pm 1) \text{ mm} \quad \varepsilon_{rD} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$M = (100 \pm 1) \text{ g} \quad \varepsilon_{rM} = \frac{1}{100} = 0,01$$

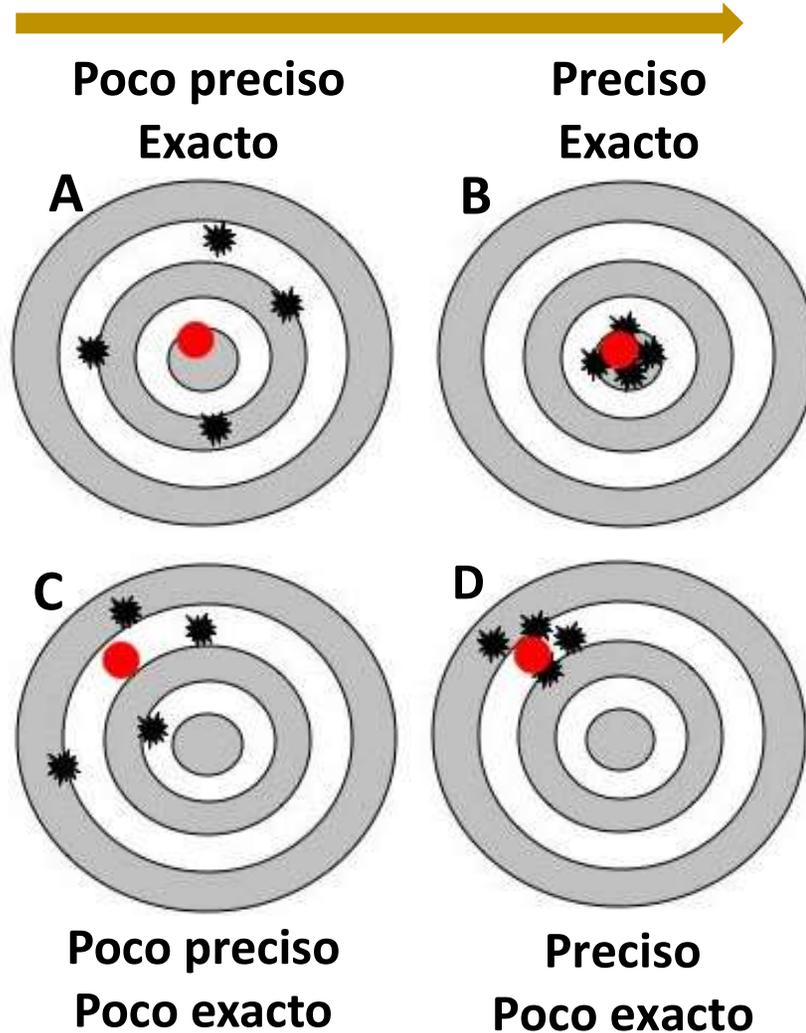
M más preciso que D



Precisión y Exactitud

Precisión

Exactitud



● Valor más representativo

INSTRUMENTO

- **Precisión:** asociado con la mínima división que se puede resolver
- **Exactitud:** asociado con el error de calibración, método, etc

MÉTODO o RESULTADO

- **Precisión:** asociado con el Error relativo (ϵ_r)
- **Exactitud:** asociado con la cercanía del valor más representativo medido al valor tabulado o valor "real"

Cifras Significativas

Para expresar un resultado se deben incluir sólo las cifras que tienen algún significado experimental → **Cifras Significativas en Δx**

4 Cifras Significativas

0,00003400

Los 0 sin un número distinto de cero delante no son significativos

Los 0 después de un número distinto de cero son significativos

Los números distintos de 0 son significativos

2 Cifras significativas: **0,000034**

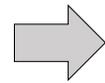
1 Cifra significativa: **0,00003**

| Número | Cifras Significativas |
|--------------------|-----------------------|
| 906 | 3 |
| 906,00 | 5 |
| 0,9060 | 4 |
| 0,90600 | 5 |
| $4,5 \times 10^3$ | 2 |
| $4,50 \times 10^3$ | 3 |

| | 2 Cifras significativas: | 1 Cifra significativa: |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| $x_0 = 32,2408$ | $x_0 = 32,24$ | $x_0 = 32,2$ |
| $\Delta x = 0,2319$ | $\Delta x = 0,23$ | $\Delta x = 0,2$ |
| | $x = 32,24 \pm 0,23$ | $x = 32,2 \pm 0,2$ |

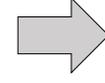
Redondeo

Si el número que se suprime es < 5 el número anterior **no cambia**



$$x_0 = 32,2408$$

$$\Delta x = 0,2319$$



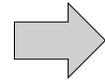
$$x_0 = 32,24$$

$$\Delta x = 0,23$$

$$x = 32,24 \pm 0,23$$

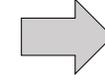
2 Cifras significativas

Si el número que se suprime es ≥ 5 al número anterior **se le suma 1**



$$x_0 = 18,8561$$

$$\Delta x = 1,3802$$



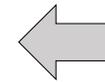
$$x_0 = 18,9$$

$$\Delta x = 1,4$$

$$x = 18,9 \pm 1,4$$

2 Cifras significativas

| x_0 | Δx | $x_0 \pm \Delta x$ |
|---------|------------|---------------------|
| 1,259 | 0,020381 | 1,260 \pm 0,020 |
| 0,26953 | 0,00538 | 0,2695 \pm 0,0054 |
| 199 | 1,259 | 199,0 \pm 1,3 |
| 199 | 12,59 | 199 \pm 13 |
| 199 | 125,9 | 200 \pm 130 |
| 29 | 0,2653 | 29,00 \pm 0,27 |
| 19625 | 221 | 19630 \pm 220 |

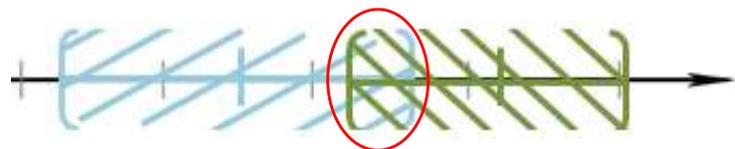


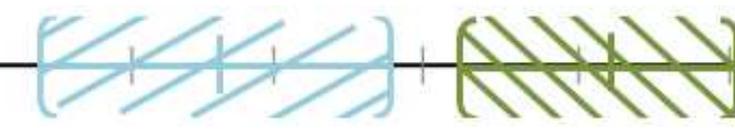
Ejemplos de reporte de Resultados con **2 Cifras significativas**

Diferencias Significativas

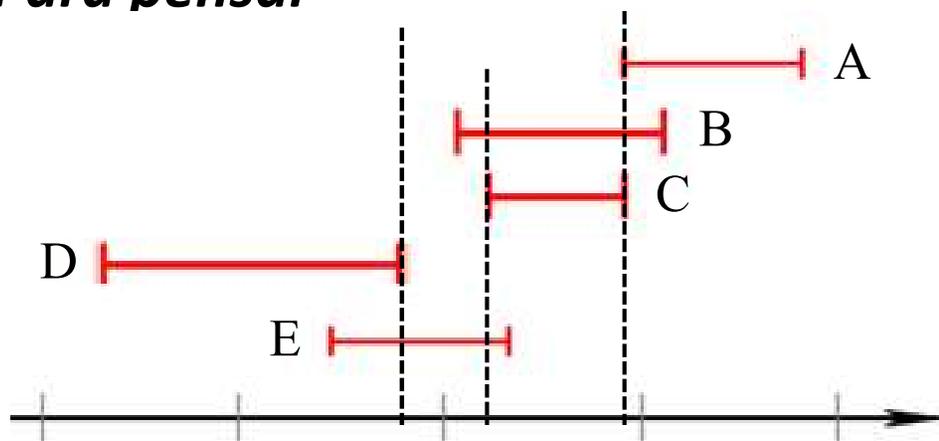
MÉTODO GRÁFICO: Sirve para comparar más de 2 resultados al mismo tiempo

 $A = \bar{A} \pm \Delta A$
  $B = \bar{B} \pm \Delta B$

Si $A \cap B \neq \emptyset$  \Rightarrow A y B **NO PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Si $A \cap B = \emptyset$  \Rightarrow A y B **PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Para pensar



Comparando D con A, B y C: Presentan diferencias significativas, porque:

$$D \cap A = \emptyset, D \cap B = \emptyset \text{ y } D \cap C = \emptyset$$

¿Qué ocurre entre D y E?

¿Y entre A y B, A y C, y A y E?

¿Y entre B y C, y B y E?

Diferencias Significativas

MÉTODO MATEMÁTICO: Se puede usar de a pares de resultados

$$A = \bar{A} \pm \Delta A \quad B = \bar{B} \pm \Delta B$$

Si $|\bar{A} - \bar{B}| \leq \Delta A + \Delta B \Rightarrow$ A y B **NO PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Para pensar

$$A = 2,278 \pm 0,023$$

$$B = 1,964 \pm 0,019$$

$$C = 2,11 \pm 0,34$$

Comparando A con B. Presentan diferencias significativas, porque:

$$|\bar{A} - \bar{B}| = 0,314 \quad \text{y} \quad \Delta A + \Delta B = 0,042$$

Como $0,314 > 0,042 \Rightarrow$ A y B presentan diferencias significativas

¿Qué ocurre entre B y C? ¿Y entre A y C?

Preguntas frecuentes

¿Cómo sabemos si una medición es confiable?

Cuestionarse sobre: el método, el instrumento, el objeto, el observador

HIPÓTESIS EMPLEADAS!!

Determinar el peso de nanopartículas



Balanza de precisión

Determinar el volumen de un cuerpo a partir de su densidad



Barra de aluminio

Esto lo veremos más adelante

MEDICIÓN DE LONGITUD Y DIÁMETRO

- Realice **3 mediciones** de la longitud del objeto rectangular y del diámetro de un objeto con una superficie circular.
- Reporte la precisión del instrumento utilizado
- Reporte el resultado utilizando la expresión Ec (1)
- Calcule ε_r (2)

- Objeto
- Instrumento
- Método

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ Ud.}$$

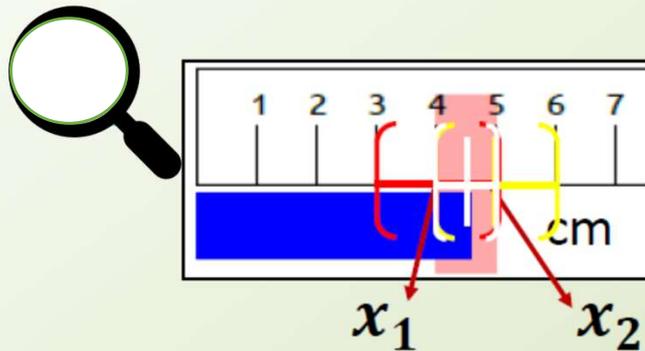
(1)

$$\varepsilon_r = \left| \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right|$$

(2)

EXPERIMENTO

Mido una MF



$$3 \text{ cm} \leq x \leq 5 \text{ cm}$$

$$4 \text{ cm} \leq x \leq 6 \text{ cm}$$

Pero también

$$4 \text{ cm} \leq x \leq 5 \text{ cm}$$

Si siempre mido dentro de la
incertidumbre instrumental

$$\Delta x = \sigma_{ap}$$

$$\Delta x = \sigma_{ap} = 1 \text{ cm}$$

$$\sigma_{ap} = (x_2 - x_1)$$

$$[\bar{x} - \sigma_{ap}, \bar{x} + \sigma_{ap}]$$

$$x = (4 \pm 1) \text{ cm}$$

$$x = (5 \pm 1) \text{ cm}$$

A veces elijo usar:

$$\sigma_{ap} = (x_2 - x_1)/2$$

$$x = (4,5 \pm 0,5) \text{ cm}$$

- Cada integrante del grupo: un objeto rectangular para determinar el largo (L) de uno de sus lados (Medición Directa). Con el grupo de trabajo discuta el método que llevará a cabo para realizar la experiencia. Esta tarea es grupal. Discutan y unifiquen ideas.
- Realicen 3 mediciones de la magnitud física (MF) propuesta. Escriba el resultado de cada medida de longitud ($x = \bar{x} \pm \Delta x$) **Ud.** ¿Cuál es la fuente de incerteza/error en cada uno de estos casos? Escriba la precisión del instrumento utilizado para su experiencia. ¿Difieren entre sí las 3 medidas en más de la resolución instrumental? Para pensar: ¿Qué haría si fuera así?
- Utilizando los 3 datos de L medidos, determine el valor de la longitud de su objeto (SIEMPRE como $(x = \bar{x} \pm \Delta x)$ **Ud.**) utilizando 2 cifras significativas. Piensen si corresponde tomar uno de los datos medidos, o alguno que sea representativo de los 3 tomando algún criterio. Discutan y presenten el criterio elegido tanto para el valor final elegido como para su error.
- Determine el error relativo de L (con el valor de L obtenido a partir de todas las medidas realizadas, es decir, el del ítem anterior). Compare la precisión de las MF obtenidas por los integrantes del grupo. Discuta: ¿Qué resultado fue más preciso?
- Repita los ítems a) hasta e), pero determinando el diámetro (D) de una superficie circular.



Tabla 1. Resultados del diámetro de la moneda (D) obtenido por los diferentes integrantes del grupo.

| Integrante | D_1 (cm) ^a | D_2 (cm) | D_3 (cm) | D (cm) | ϵ_r^* |
|------------|-------------------------|---------------|---------------|--------|----------------|
| Ana | $2,3 \pm 0,1^b$ | $2,3 \pm 0,1$ | $2,2 \pm 0,1$ | ? | ? |
| Pablo | | | | | |
| Agustina | | | | | |

Informe Completo a presentar el 30/3
Pdf enviado a los docentes por email