



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

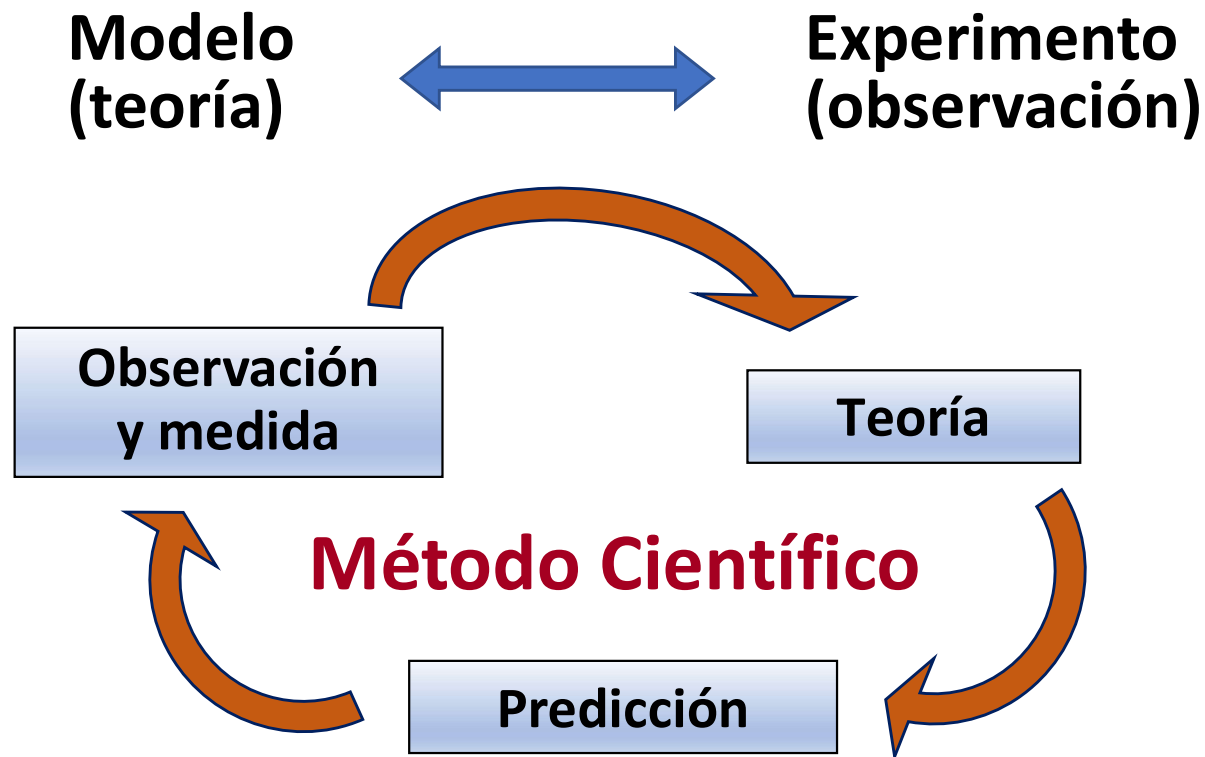
Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires



El gusto/necesidad de medir

La física se ocupa de describir y entender la naturaleza

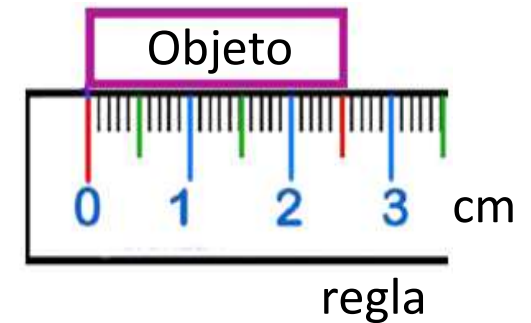
La medición es una de sus herramientas fundamentales para hacerlo de forma objetiva



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



El Sistema Internacional de Unidades

En noviembre de 2018 se aprobó la mayor revisión del **Sistema Internacional de Unidades (SI)** desde su creación (1960). El principal cambio es que a partir de ahora todas las unidades se definen en base a constantes de referencia, como la velocidad de la luz para el metro y la constante de Planck para el kilogramo. La revisión entrará en vigencia el 20 de mayo de 2019.

La candela

La **candela**, cuyo símbolo es **cd**, es la unidad de intensidad luminosa del SI. Se define como la potencia radiante en un ángulo sólido de un cuerpo negro a 2.73 K que emite radiación monocromática de frecuencia 540 x 10¹² Hz, P_{cd} , igual a 683 vatios por estereorradiante en un ángulo sólido de un estereorradiante en un ángulo sólido de un estereorradiante.

Magnitud de base: intensidad luminosa (I_v)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DE LA CANDELA		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Flujo luminoso	lumen (lm)	cd·sr
Iluminancia	lux (lx)	lm/m ²

El mol

El **mol**, cuyo símbolo es **mol**, es la unidad de cantidad de sustancia (número de entidades elementales). Se define como la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en exactamente 0,012 kg de carbono-12. La cantidad de sustancia, n , es un número adimensional que se expresa en unidades de mol. El símbolo de la cantidad de sustancia es n .

Magnitud de base: cantidad de sustancia (N)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL MOL		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Concentración molar	mol por metro cúbico	mol/m ³
Actividad molar	mol por kg	mol/kg

El kelvin

El **kelvin**, cuyo símbolo es **K**, es la unidad de temperatura termodinámica del SI. Se define como la fracción 1/273,15 del termostato triple del agua. El kelvin es la unidad de temperatura termodinámica. El símbolo de la temperatura termodinámica es T .

Magnitud de base: temperatura termodinámica (T)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL KELVIN		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Temperatura Celsius	grado Celsius (°C)	K - 273,15
Cambio de entalpía molar	vatios por metro cuadrado	W/m ²
Resistencia térmica superficial	metro cuadrado por vatios	m ² /W
Capacidad térmica	vatios por kelvin	W/K



El kilogramo

El **kilogramo**, cuyo símbolo es **kg**, es la unidad de masa del SI. Se define como la masa del prototipo internacional del kilogramo. El kilogramo es la única unidad de base que incluye un prefijo. El símbolo de la masa es m .

Magnitud de base: masa (M)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL KILOGRAMO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Presión	newton por metro cuadrado	N/m ²
Trabajo	newton por metro	N·m
Potencia	watt (W)	N·m/s

El metro

El **metro**, cuyo símbolo es **m**, es la unidad de longitud del SI. Se define como la longitud del camino que recorre la luz en el vacío durante un tiempo de 1/299.792.458 segundos. El símbolo de la longitud es l .

Magnitud de base: longitud (L)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL METRO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Área superficial	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Ángulo sólido	estereorradiante (sr)	m ² /m ²
Ángulo plano	radián (rad)	m/m

El segundo

El **segundo**, cuyo símbolo es **s**, es la unidad de tiempo del SI. Se define como la duración de 919.263.177 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre niveles hiperfines del estado fundamental del átomo de cesio-133. El símbolo de la duración es t .

Magnitud de base: tiempo (T)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL SEGUNDO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Frecuencia	hertz (Hz)	s ⁻¹
Actividad de un radionuclido	becquerel (Bq)	s ⁻¹
Período angular	por segundo (rad/s)	rad/s

El amperio

El **amperio**, cuyo símbolo es **A**, es la unidad de corriente eléctrica del SI. Se define como la intensidad de corriente que, si se mantiene constante, produce un calor de 1 joule por segundo en un conductor de resistencia de 1 ohmio. El símbolo de la corriente eléctrica es I .

Magnitud de base: intensidad de corriente eléctrica (I)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL AMPERIO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Carga eléctrica	coulomb (C)	A·s
Tensión eléctrica	volt (V)	W/A
Resistencia eléctrica	ohm (Ω)	W/A ²
Capacidad eléctrica	farad (F)	C/A
Inductancia	henry (H)	W/A ²
Inducción de flujo magnético	tesla (T)	W/m ²

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

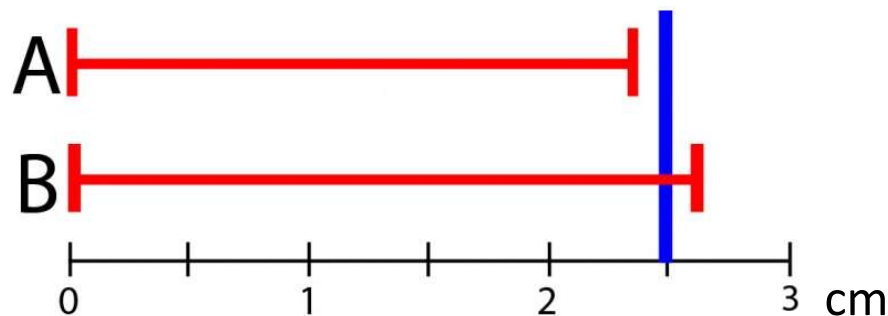
Objeto →

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

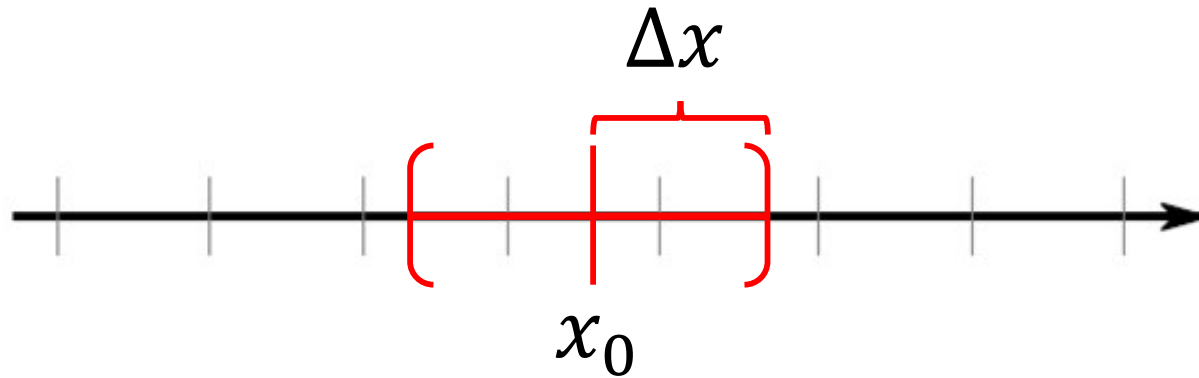
0,88 s

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})

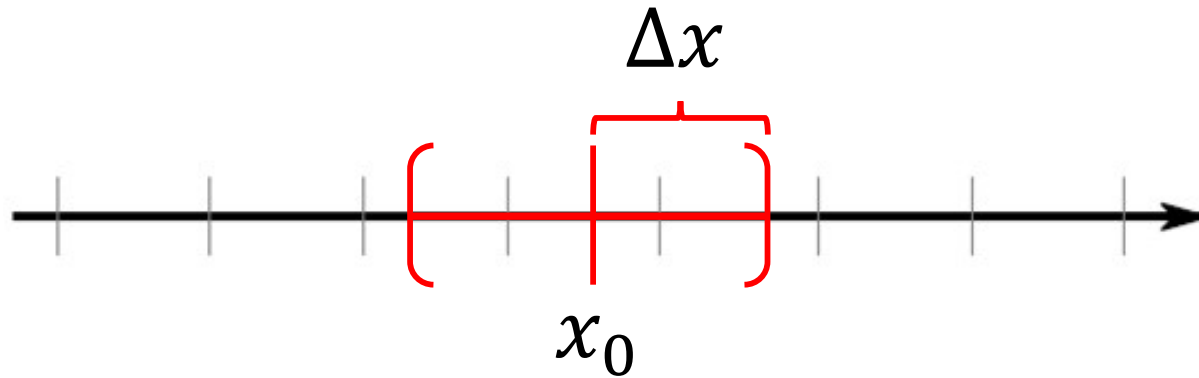
$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

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

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

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

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

$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

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

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

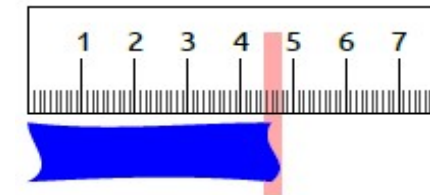
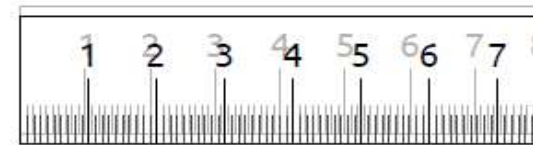
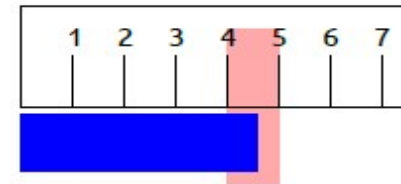
MEDICIONES DIRECTAS

Clasificación de Errores

Errores según su ORIGEN

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)

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

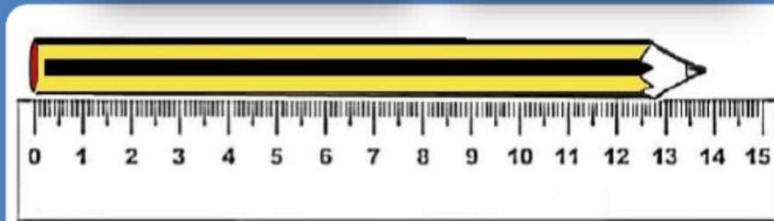
¿ σ_e ?

Clases de Mediciones

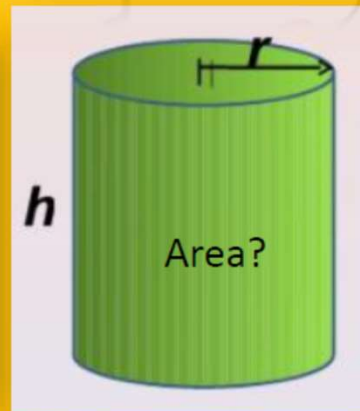
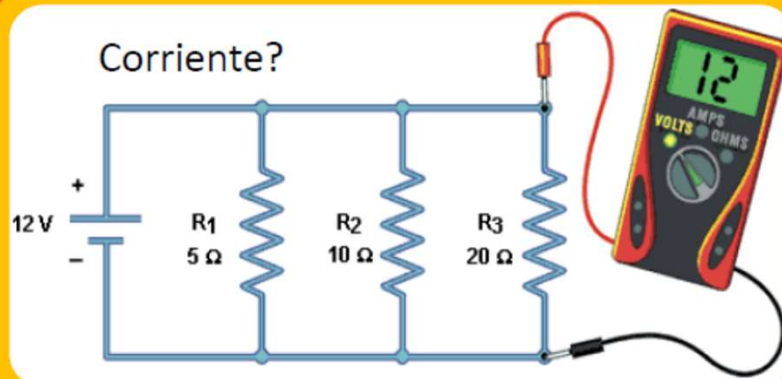
Directas (MD)

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)

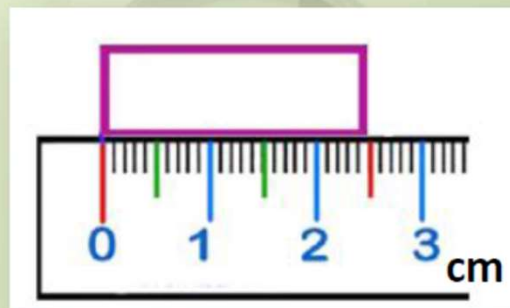
Si mido 1 vez



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

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

$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow$ 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**

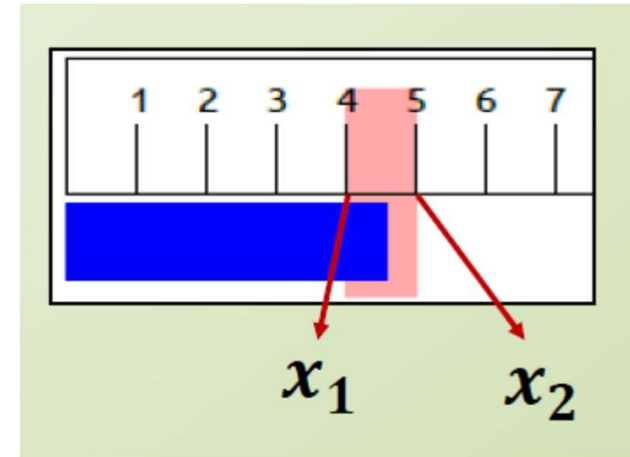
$$\Delta x_N^2 = \Delta x_{Ap}^2 + \Delta x_{ex}^2 + \Delta x_{def}^2$$

**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



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

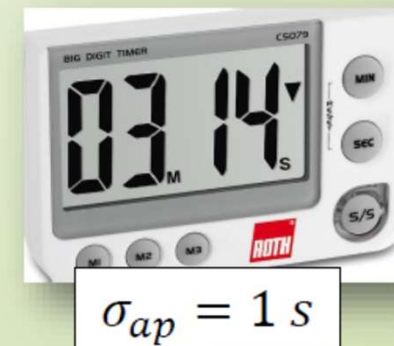
ó

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

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

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

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

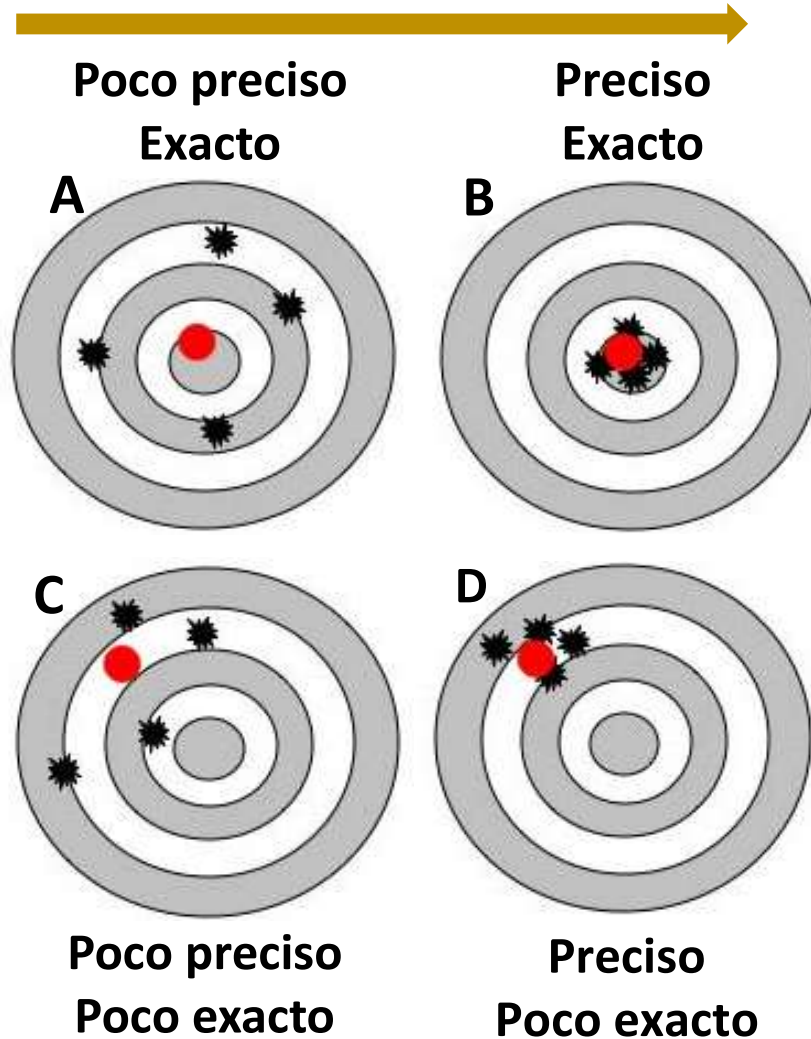
M más preciso que D



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**

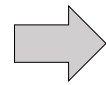
1 Cifra significativa: **0,00003**

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:
$x_0 = 32,2408$	$x_0 = 32,24$	$x_0 = 32,2$
$\Delta x = 0,2319$	$\Delta x = 0,23$	$\Delta x = 0,2$
	$x = 32,24 \pm 0,23$	$x = 32,2 \pm 0,2$

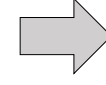
Redondeo

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



$$x_0 = 32,2408$$

$$\Delta x = 0,2319$$



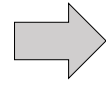
$$x_0 = 32,24$$

$$\Delta x = 0,23$$

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

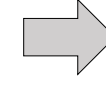
2 Cifras significativas

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



$$x_0 = 18,8561$$

$$\Delta x = 1,3802$$



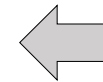
$$x_0 = 18,9$$

$$\Delta x = 1,4$$

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

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




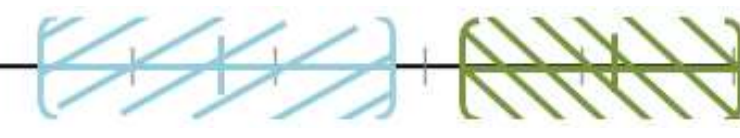
Ejemplos de reporte de Resultados con **2 Cifras significativas**

Diferencias Significativas

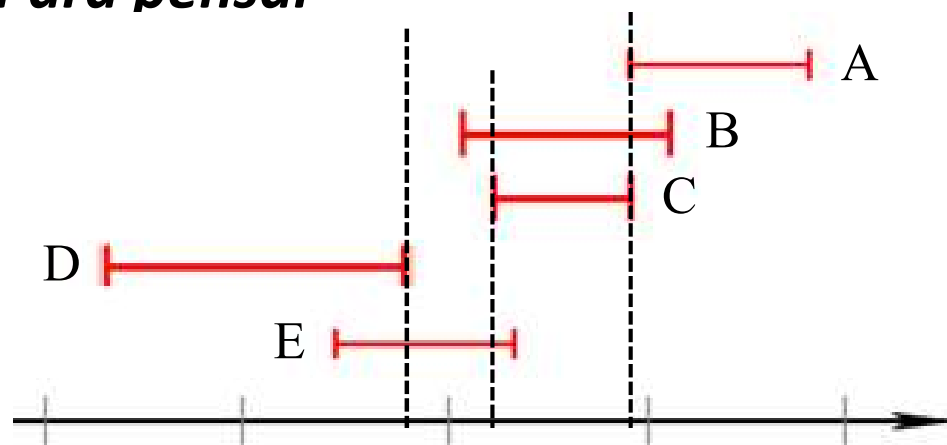
MÉTODO GRÁFICO: Sirve para comparar más de 2 resultados al mismo tiempo

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

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

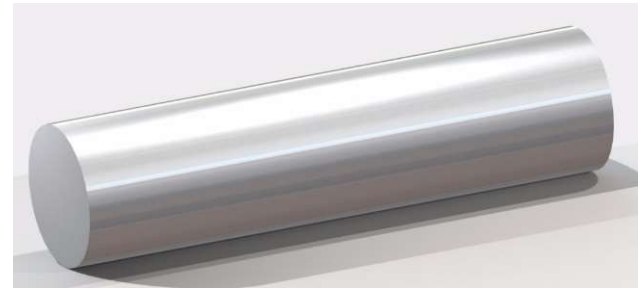
HIPÓTESIS EMPLEADAS!!

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)

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

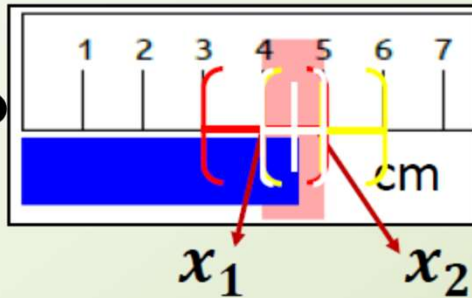
(2)



EXPERIMENTO

Mido una MF

Si siempre mido dentro de la incertidumbre instrumental



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

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

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

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

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

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

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

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

Pero también

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

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