

Práctica nº 1: INTRODUCCIÓN AL LABORATORIO DE FÍSICA

1. INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS.

1.1 Instrumentos de medida.

1.2 Error (incertidumbre) de una medida directa

- a) Cálculo del error
- b) Cifras significativas
- c) Error absoluto y relativo

1.3 Error de una medida indirecta

1.4 Expresión de valores y errores

2. PRESENTACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS MEDIDAS

2.1 Agrupación de las medidas en tablas

2.2 Representación gráfica de las medidas

2.3 Ajuste

3. COMPARACIÓN CON LOS VALORES ESPERADOS

4. CUADERNO DE LABORATORIO

Objetivo

Aprender las normas generales para realizar un experimento en el laboratorio de Física.

1. INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS.

1.1 Instrumentos de medida

Los instrumentos físicos son los medios materiales para obtener información sobre las magnitudes que caracterizan los objetos o sucesos del mundo real. La mayoría de los instrumentos son de tipo eléctrico o electrónico. Se pueden clasificar atendiendo a la función que desempeñan:

FUNCIONES	Alimentación	Medición	Cálculo
INSTRUMENTOS	Fuentes de potencia Fuentes de señales	Medidores	Calculadoras Ordenadores

En la operación de medición se distingue entre las medidas realizadas directamente con un instrumento medidor (medidas directas) y las calculadas a partir de medidas directas por aplicación de su ecuación de definición o una ley física (medidas indirectas).

Por ejemplo, la resistencia eléctrica (R) se puede medir directamente con un ohmímetro o se puede obtener indirectamente como cociente del voltaje (V) y la intensidad de corriente (I) medidas directamente con un voltímetro y un amperímetro, respectivamente.

1.2 Error (incertidumbre) de una medida directa

a) Cálculo del error

El error de una medida directa es una suma de errores instrumentales, personales y ambientales. Nosotros supondremos que los errores personales (manipulación o hipótesis incorrectas), ambientales (ruidos de fondo, luces parásitas,...) e instrumentales de tipo sistemático (medidor descalibrado, cero desajustado, error de inserción,...) se han suprimido o al menos minimizado

empleando procedimientos apropiados a cada caso particular (corrección de los datos, apantallamiento...). En la práctica, sólo consideraremos dos fuentes de error:

I) El error debido a las limitaciones propias del instrumento de medida que, o bien facilita el fabricante, o bien tendremos que estimar nosotros mismos a la vista del instrumento.

Por ejemplo, considerando que los instrumentos se fabrican de manera que el dispositivo indicador tenga una resolución acorde con su error, en los instrumentos dotados de una escala graduada supondremos que el error es del orden de la división menor de la escala.

II) El error debido a dificultades en la aplicación del aparato o del método de medida. Este error, si existe, se puede sumar al anterior de manera que el error de la medida puede ser mayor que el error propio del instrumento (consideraremos como error mínimo el error propio del instrumento).

Por ejemplo, en las medidas efectuadas con los cronómetros cuyo mecanismo permite realizar medidas con un error del orden de la centésima de segundo, si la puesta en marcha y el paro se realizan manualmente, los errores son del orden de la décima de segundo.

Otros errores de este tipo surgen de las limitaciones del propio sistema, por ejemplo, cuando al tratar de medir el tamaño de un objeto sus dimensiones presentan variaciones mayores que el error propio del instrumento.

Una manera de tener en cuenta esta segunda fuente de error consiste en repetir la medida n veces (como mínimo 3 veces); como mejor valor tomar la media aritmética

$$y_{media} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (1)$$

y como error, el de dispersión de las n medidas (desviación media)

$$\Delta y = \frac{\sum |(y_i - y_{media})|}{n} \quad (2)$$

si es mayor que el propio del instrumento.

Por ejemplo, si se mide tres veces el tiempo que tarda una cantidad determinada de líquido en atravesar un capilar con un cronómetro que aparentemente tiene un error de 0,01s y se obtiene: 54,85, 54,22 y 55,12 s, la media es 54,73 s y la desviación media 0,34 s. En este caso, al valor 54,7 s le asignaríamos un error absoluto de 0,3 s ya que es mayor que el error propio del instrumento (0,01s).

Los casos en que se deba repetir las medidas varias veces, se indicarán en los guiones de prácticas.

b) Cifras significativas

El resultado de una medida se expresa mediante un número con una cantidad de cifras significativas (dignas de confianza) que está limitada por su error. La última cifra significativa de la medida debe coincidir en posición decimal con la cifra del error. Hay que señalar que el número de cifras significativas es independiente del número de cifras decimales, ya que éste último depende de la unidad de medida empleada.

Por ejemplo, la presión 3,25 Pa tiene tres cifras significativas y dos cifras decimales. El cero o ceros a la izquierda de un número no son cifras significativas, pero sí lo son cuando están a la derecha aunque el cero ocupe el último lugar. Así, la longitud 1,0 cm tiene dos cifras significativas y una decimal (el cero indica que esa cifra se conoce y que no es otra que 0). La potencia 0,025 W tiene dos cifras significativas y tres cifras decimales; este mismo valor expresado en mW, 25 mW, sigue teniendo dos cifras significativas y ninguna decimal.

c) Error absoluto y relativo

El error que se ha mencionado hasta ahora se llama error absoluto y es una estimación de la diferencia entre el valor medido y el verdadero (Δy). El error también se suele expresar como un valor relativo, cociente entre el error absoluto y el valor medido ($\Delta y/y$). El error absoluto tiene las mismas unidades que el valor medido mientras que el error relativo no tiene unidades y se suele expresar en tanto por ciento.

Por ejemplo, si se mide la masa de un cuerpo con una balanza y resulta ser de 8,4 g con un error absoluto de 0,1 g, el error relativo será $(0,1/8,4) \sim 0,01 = 1\%$.

La mayoría de los instrumentos proporcionan medidas con un error relativo comprendido entre el 1 y el 5%. Esto se traduce, aproximadamente, en que el número de cifras significativas es 3 si la primera cifra es un 1 o un 2, o únicamente 2 en los demás casos. Algunos instrumentos, llamados de precisión (error menor del 0,5%), proporcionan una o dos cifras significativas más. En estos casos, suele tratarse de aparatos más caros y delicados, y para que el error pueda ser tan pequeño es necesario seguir un cuidadoso método de trabajo y adoptar una serie de precauciones para mantenerlos a punto y evitar su deterioro.

Por estas razones los datos de los problemas que se plantean en clase suelen tener sólo dos o tres cifras significativas

1.3 Error de una medida indirecta

El error de las cantidades obtenidas a partir de medidas directas empleando una fórmula $y = F(x_1, x_2, x_3, \dots)$ se estima suponiendo aplicable un desarrollo en serie con sólo los términos de primer orden

$$\Delta y = \Delta x_1 \left| \frac{\partial F}{\partial x_1} \right| + \Delta x_2 \left| \frac{\partial F}{\partial x_2} \right| + \Delta x_3 \left| \frac{\partial F}{\partial x_3} \right| + \dots \quad (3)$$

donde todos los términos del segundo miembro de la ecuación se toman en valor absoluto para garantizar la situación más desfavorable.

Si $y = F(x_1, x_2, x_3, \dots)$ es una función que contiene únicamente operaciones aritméticas sencillas, de la ecuación 3 se deducen las reglas siguientes:

— En sumas o restas el error absoluto es la suma de los errores absolutos de las medidas directas. Si $y = x_1 + x_2$ ó $y = x_1 - x_2$, se tiene

$$\Delta y = \Delta x_1 + \Delta x_2 \quad (4)$$

— En productos o cocientes el error relativo es la suma de los errores relativos de las medidas directas. Si $y = x_1 \cdot x_2$ ó $y = x_1 / x_2$, se tiene

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} \quad (5)$$

Por ejemplo, en el cálculo de una resistencia con la ley de Ohm ($R = V/I$), el error relativo de la resistencia se calcula sumando los errores relativos del voltaje y de la corriente $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I}$

1.4 Expresión de valores y errores

Como se deduce de lo expuesto en los apartados anteriores, las dificultades para evaluar el error sólo permiten estimar su orden de magnitud. Por esta razón, del error absoluto, sólo se considera la primera cifra. Además, si esta primera cifra es 5 o mayor de 5 la redondearemos a una unidad del orden inmediatamente superior.

Al escribir el resultado final, sólo indicaremos el valor con las cifras significativas y las unidades. En el resultado final, el dígito menos significativo (última cifra que se escribe) es el que tiene el mismo orden de magnitud que la primera cifra del error absoluto (la única que se considera). Además, al escribir el resultado se aumenta en una unidad la última cifra que se escribe si la siguiente (la que ya no se escribe) es 5 o mayor de 5.

- Por ejemplo, si al hacer las operaciones se obtiene con la calculadora 2,32017 cm y el error absoluto es 0,2 cm, tomaremos como resultado 2,3 cm. Si se obtiene 0,587 cm y el error absoluto es 0,01 cm, tomaremos como resultado 0,59 cm.

Ya que el resultado final contiene la información del orden de magnitud del error, éste no se suele indicar de forma explícita (a nos ser que nos lo pidan). Recíprocamente, ante cualquier dato o resultado del que no se indica el error (dato en el enunciado de un problema, constante extraída de una tabla, etc.) se entiende que todas sus cifras son significativas y que el error absoluto es del

orden de una unidad correspondiente al dígito menos significativo aunque éste sea cero.

- Por esta última razón, como medidas físicas, no tienen el mismo significado 12 cm, 12,0 cm y 12,00 cm ya que sus errores absolutos son del orden de 1 cm, 0,1 cm y 0,01 cm, respectivamente.
- Si en una tabla leemos que el valor de la densidad del alcohol etílico es 0,81 g/cm³, entendemos que el orden de su error absoluto es 0,01 g/cm³.
- Al sumar dos resistencias, una de 1,00 kΩ (error absoluto ≈0,01 kΩ) y otra de 0,056 kΩ (error absoluto ≈0,001 kΩ) escribiremos 1,06 kΩ (error absoluto ≈0,01 kΩ).
- Si en el cálculo de una resistencia con la ley de Ohm ($R = V/I$), las medidas directas de la intensidad y el voltaje son $I = 1,22$ A, $V = 9,0$ V (errores del orden del 1%) la calculadora nos presentará en pantalla 7,3770492 y nosotros escribiremos $R = 7,4$ Ω (error relativo ≈2% y absoluto ≈0,1 Ω).

Como en general, si las fórmulas son sencillas, el error relativo del resultado suele mantenerse entre el 1 y el 5% **los resultados finales, salvo excepciones, se expresan con 2 o 3 cifras significativas.**

2. PRESENTACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS MEDIDAS

2.1 Agrupación de las medidas en tablas

Cuando se estudia la dependencia entre dos magnitudes las medidas se deben disponer en forma de tabla indicando magnitud y unidades en el encabezamiento de cada columna.

Por ejemplo, en el estudio experimental de la dependencia de la corriente I que circula por una resistencia y por un diodo con el voltaje V aplicado entre sus terminales, las medidas se agrupan como se indica en las tablas de la derecha. En el estudio se han empleado instrumentos con un error relativo del orden del 2%.

Resistencia		Diodo	
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
0,100	6,6	0,45	0
0,200	13,2	0,50	0,210
0,30	20,1	0,55	0,68
0,40	26,5	0,60	1,76
0,50	33	0,65	4,9
0,60	40	0,70	13,4
0,70	46	0,75	39
0,80	53	0,80	97

En el laboratorio es habitual recurrir a las tablas para conocer el valor de una determinada magnitud. Sin embargo, en muchas ocasiones, las tablas sólo nos proporcionan los valores en unas condiciones determinadas. Para obtener un valor (x_i, y_i) que no aparece en la tabla se realiza una interpolación lineal a partir de los valores anterior (x_1, y_1) y posterior (x_2, y_2) mediante una regla de tres: $(x_2 - x_1) \rightarrow (y_2 - y_1)$

$$(x_i - x_1) \rightarrow (y_i - y_1)$$

Por ejemplo, si en la tabla se indican los valores de la viscosidad del agua a las temperaturas de 20 y 25°C son 1,002 y 0,891 mPa·s respectivamente, y se necesita la viscosidad del agua a la temperatura de 23°C (η_{23}), se hace una regla de tres con la variación de la viscosidad en 5°C para conocer la variación de la viscosidad en 3°C. Como la viscosidad del agua disminuye con la temperatura, el valor obtenido (0,067 mPa·s) hay que restárselo a la viscosidad a 20°C, es decir, $\eta_{23} = 1,002 - 0,067 = 0,935$ mPa·s.

2.2 Representación gráfica de las medidas

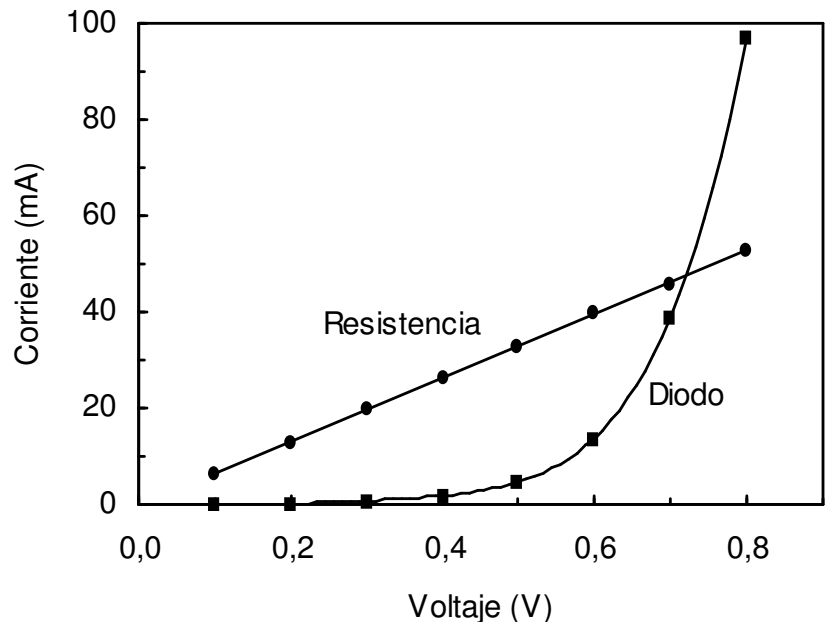
La representación gráfica de las medidas tiene la ventaja de que muestra la tendencia de las medidas de un vistazo aunque a veces se pierda algo de información. Es conveniente observar las normas siguientes:

— Si el error es el habitual (1-5%) el tamaño adecuado oscilará entre la cuarta parte y la mi-

tad de un papel A4.

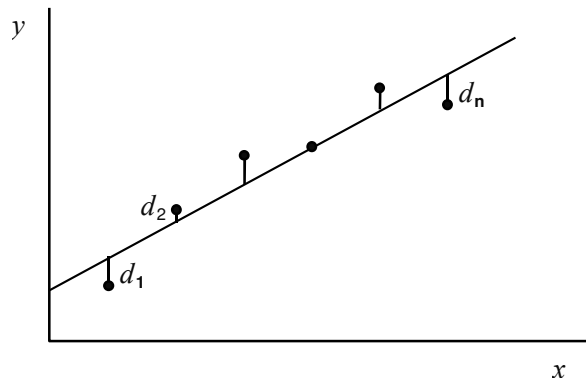
- La variable independiente que es la cantidad cuyos valores se eligen, se suele representar sobre el eje horizontal y la dependiente o función, cantidad cuyo valor es entonces determinado, en el vertical. En cada eje se indica la magnitud y unidades y se escribe sólo un pequeño número de valores correspondientes a las divisiones enteras de la escala, sin señalar las correspondientes a las medidas realizadas.
- Las escalas de los ejes deben abarcar aproximadamente el intervalo de medidas realizadas aunque para ello el origen de coordenadas no coincida con el cero de la escala. Para facilitar la lectura la escala debe ser simple: se divide el eje en partes que correspondan preferiblemente a 1, 2 ó 5 unidades de la magnitud o a un múltiplo o submúltiplo decimal de estas cantidades.
Las escalas logarítmicas son útiles para representar variables en intervalos mayores de un orden de magnitud.
- Cada par de valores se representa por un punto. Para mostrar la tendencia de las medidas se traza la línea continua (nunca quebrada) que mejor se ajusta a los puntos.

Siguiendo estas normas comparamos el comportamiento eléctrico de la resistencia y del diodo cuyas características $I-V$ recogían las tablas anteriores.



2.3 Ajuste

Cuando las medidas, representadas en forma gráfica, se ajustan a una ley física hay que obtener como resultado final los valores de las constantes que aparecen en dicha ley. Para ello se utiliza un ajuste por el método de mínimos cuadrados, que consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados de las diferencias $\sum_{i=1}^n (d_i^2)$ entre las medidas y las cantidades calculadas utilizando la fórmula de prueba. Los cálculos se suelen realizar con la ayuda de un ordenador.



El caso más común, indicado en la figura es cuando la función es una línea recta $y = ax + b$.

Las constantes que se obtienen tras el ajuste son la pendiente a y la ordenada en el origen b .

Otra función que utilizaremos en el laboratorio para ajustar los resultados mediante el método de mínimos cuadrados es la exponencial $y = ae^{bx}$. En este caso también se obtienen dos parámetros: a y b . Además, si la función es exponencial también se pueden ajustar las medidas por una recta utilizando una escala logarítmica.

3. COMPARACIÓN CON LOS VALORES ESPERADOS

Cuando se utiliza un instrumento por primera vez o se quiere poner a punto una técnica de medida se empieza midiendo algunas magnitudes cuyo valor se conoce. Esta situación también se da en la mayoría de las prácticas que realizamos en el laboratorio. En todos estos casos **los resultados finales se deben comparar con los valores esperados calculando la desviación relativa,**

$$\text{Desviación relativa} = \left| \frac{\text{Valor medido} - \text{Valor esperado}}{\text{Valor esperado}} \right| \quad (6)$$

que se suele expresar en tanto por ciento.

Por ejemplo, en una de las prácticas del laboratorio se calcula la tensión superficial del alcohol. Si el resultado obtenido a 23°C es $23 \cdot 10^{-3}$ N/m al comparar con el valor esperado $22,1 \cdot 10^{-3}$ N/m se obtiene una desviación relativa de un 4%.

4. CUADERNO DE LABORATORIO

Se utilizará un cuaderno como diario de laboratorio (no hojas sueltas) trasladando inmediatamente a él lo que se va realizando.

En el cuaderno debe constar:

- Título de la práctica y fecha de realización.
- Objetivos: indicación de forma clara y concisa de lo que se desea hallar o verificar en la práctica.
- Procedimiento experimental: descripción esquemática del montaje y los aparatos de medida.
- Resultados: Medidas agrupadas en tablas, representaciones gráficas, cálculos y resultados correctamente expresados.
- Si es posible, comparación de los resultados con los valores esperados.

Los objetivos y el procedimiento experimental se facilitan mediante guiones detallados de cada una de las prácticas. De este modo, las indicaciones en el cuaderno pueden ser breves aunque deben ser suficientes para que, transcurrido un tiempo, las anotaciones sean inteligibles.