

# Índice general

<b>1. Sobre las mediciones</b>	<b>3</b>
1.1. Sistema Internacional de Unidades . . . . .	4
1.1.1. Unidades . . . . .	4
1.1.2. Prefijos . . . . .	5
1.1.3. Reglas . . . . .	5
1.2. Consideraciones para la lectura de mediciones . . . . .	6
1.2.1. Cifras significativas . . . . .	6
1.2.2. Redondeo . . . . .	6
1.2.3. Notación científica . . . . .	7
1.3. Instrumentos de medición . . . . .	8
<b>2. Errores</b>	<b>9</b>
2.0.1. Error absoluto . . . . .	9
2.0.2. Tolerancia . . . . .	9
2.0.3. Error relativo . . . . .	10
2.1. Clasificación de los errores . . . . .	10
2.1.1. Errores groseros . . . . .	10
2.1.2. Errores sistemáticos . . . . .	11
2.2. Clase de un instrumento . . . . .	11
<b>3. Magnitudes eléctricas</b>	<b>13</b>
3.1. El átomo . . . . .	13
3.1.1. Fuerza eléctrica . . . . .	14
3.2. Materiales conductores y aislantes . . . . .	15
3.3. Diferencia de potencial eléctrico o tensión . . . . .	15
3.4. Intensidad de corriente eléctrica . . . . .	16
3.5. Relación entre tensión y corriente: la resistencia . . . . .	17



# Capítulo 1

## Sobre las mediciones

Medir es **comparar el valor de una magnitud con otro**, al que se consideró **la unidad** de dicha magnitud, a través de un experimento físico.

Una **magnitud** es toda aquella propiedad de un cuerpo que pueda ser medida.

**Ejemplo 1.1** *Dada la expresión:  $\text{Altura} = 80 \text{ metros}$ ,*

- *Altura es la magnitud.*
- *80 es el valor.*
- *metro es la unidad.*

Las unidades se fijan según acuerdos internacionales por el Comité Internacional de Pesos y Medidas. Recientemente, en noviembre de 2018, se votó la redefinición de algunas de las unidades fundamentales, incluida el Ampere (para medir corriente eléctrica).

Durante este curso, usaremos el **Sistema Internacional de Unidades**, pero es posible que en otros contextos se utilicen otros, como el sistema inglés o el CGS.

## 1.1. Sistema Internacional de Unidades

### 1.1.1. Unidades

Magnitud (símbolo)	Unidad (símbolo)
longitud (L)	metro (m)
masa (M)	kilogramo (kg)
tiempo (T)	segundo (s)
corriente eléctrica (I)	ampere (A)
temperatura ( $\Theta$ )	kelvin (K)
intensidad lumínica (J)	candela (cd)
energía (E)	julio (J)
fuerza (F)	newton (N)
potencia (P)	vatio (W)
carga eléctrica (Q)	coulomb (C)
tensión eléctrica, diferencia de potencial (V)	voltio (V)
capacitancia	faradio (F)
resistencia eléctrica (R)	ohmio ( $\Omega$ )
flujo magnético	weber (Wb)
campo magnético	tesla (T)
inductancia (L)	henrio (H)
flujo luminoso	lumen (lm)
frecuencia	hertz (Hz)

**1.1.2. Prefijos**

Factor de multiplicación	Nombre	Símbolo
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto *	h
$10^1$	deka *	da
$10^{-1}$	deci *	d
$10^{-2}$	centi *	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

**1.1.3. Reglas**

1. Los símbolos son siempre impresos en letra tipo romana, indistintamente del tipo de letra usado en el resto del texto.
2. Los símbolos son escritos en minúscula excepto cuando el nombre de la unidad se deriva de un nombre propio.
3. Los símbolos de los prefijos se imprimen en letra tipo romana sin espacio entre los símbolos del prefijo y la unidad.
4. Los símbolos nunca se pluralizan.
5. Nunca use un punto después de un símbolo, excepto cuando el símbolo ocurre al final de una oración.
6. Siempre use un espacio entre el número y el símbolo, excepto cuando el primer caracter de un símbolo no es una letra.
7. Los símbolos se usan en conjunto con números en lugar de escribir el nombre completo de la unidad; cuando no hay números, las unidades se escriben con su nombre propio.

## 1.2. Consideraciones para la lectura de mediciones

### 1.2.1. Cifras significativas

Según el nivel de precisión que se requiera en una medición, será necesario utilizar una determinada cantidad de cifras significativas.

Existen magnitudes continuas, que son aquellas que, entre dos valores poseen infinitas posibilidades, y magnitudes discretas, que entre dos valores cualesquiera poseen una cantidad numerable y finita de posibilidades.

**Ejemplo 1.2**    ■ *La cantidad de conductores dentro de una caja es una magnitud discreta (puede haber uno, dos, diez o incluso ningún cable, pero no 1,3 cables).*

- *La longitud de un conductor es una magnitud continua (puede medir 0,5 m, o 0,554 m, o 0,5533223 m).*

Las mediciones de magnitudes continuas siempre serán aproximadas, y las mediciones de magnitudes discretas, en muchos casos, pueden ser exactas.

El número de cifras significativas determinan la precisión de una medición.

Siempre que se opere con dos medidas, la precisión de ambas deberá ser consistente. Esto significa que si se suma una medición con precisión de decimales con otra con precisión de milésimos, el resultado será impreciso. En estos casos, el número con menor precisión determinará la precisión de la solución.

### 1.2.2. Redondeo

En muchos casos, será necesario redondear las mediciones. Para ello, se toma la lectura hasta el último dígito significativo que se esté considerando, sumando 1 al mismo si el próximo dígito es mayor o igual que 5, o dejándolo como está (truncar) si el próximo dígito es menor que 5.

**Ejemplo 1.3** Si  $V_1 = 3,25V$ ,  $V_2 = 2,4201V$  y  $V_3 = 3,245V$ ,

- $V_1 + V_2 = 3,25V + 2,4201V = 5,6501V = 5,65V$
- $V_1 + V_3 = 3,25V + 3,245V = 6,495V$ . Como el número con menor precisión tiene dos dígitos decimales, deberá redondearse, sumando una unidad a las centésimas (porque el dígito de las milésimas es 5) obteniendo 6,50V o 6,5V.

### 1.2.3. Notación científica

En la sección 1.1.2, se han usado, como factores de multiplicación, potencias de 10.

A veces, cuando los valores con los que se trabaja son muy grandes o muy pequeños, suele ser cómodo utilizar potencias de 10. De ese modo, puede expresarse estos valores indicando sólo sus cifras significativas, multiplicadas por una potencia de 10.

Si la potencia es positiva, el factor de multiplicación será un 1 y tantos ceros como indique el exponente:

Valor	Potencia	Operación
1	$10^0$	$10/10$
10	$10^1$	10
100	$10^2$	$10 \times 10$
1000	$10^3$	$10 \times 10 \times 10$
...	...	...
1 y $n$ ceros	$10^n$	$10 \times 10 \times 10 \dots n$ veces

Si la potencia es negativa, debe recordarse la siguiente propiedad de las potencias:

$$\frac{1}{10^n} = 10^{-n}$$

Esto da lugar al siguiente razonamiento:

Valor	Potencia	Operación
0, 1	$10^{-1}$	$1/10$
0, 01	$10^{-2}$	$1/100$
0, 001	$10^{-3}$	$1/1000$
0, 0001	$10^{-4}$	$1/10000$
...	...	...
0, $(n-1)$ ceros y 1	$10^{-n}$	$1/1(n \text{ ceros})$

**Ejemplo 1.4**    ■  $3 \times 10^{-3} = 3 \times \frac{1}{1000} = 3 \times 0,001 = 0,003$

- $12 \times 10^4 = 12 \times 1000 = 12000$
- $3,25 \times 10^6 = 3,25 \times 1000000 = 3250000$
- $3,25 \times 10^{-4} = 3,25 \times 0,0001 = 0,000325$

En los ejemplos anteriores, se procedió a multiplicar un número por una potencia de 10, para obtener valores más pequeños o más grandes, y a simple vista resulta más legible.

Es una convención en notación científica, que la mantisa o coeficiente por el cual se multiplique la potencia de 10, debe estar entre 1 y 10.

La notación de ingeniería es similar, excepto que los exponentes de la potencia de 10 deben ser múltiplos de 3 y la mantisa debe estar entre 1 y

1000. Esto permite utilizar prefijos de magnitud como los que se enunciaron en la sección 1.1.2.

**Ejemplo 1.5** *Convertir las siguientes medidas para eliminar los prefijos, según la tabla de la sección 1.1.2.*

$$3\mu F = 3 \times 10^{-6} F = 0,000003 F$$

- $1,2 mA = 1,2 \times 10^{-3} A = 0,0012 A$
- $120 pF = 120 \times 10^{-12} F = 0,000000000120 F$
- $22 M\Omega = 22 \times 10^6 \Omega = 22000000 \Omega$

### 1.3. Instrumentos de medición



## Capítulo 2

# Errores

Las mediciones no son exactas, ya que, suponiendo que no exista ningún error humano en el proceso de medición, dependen de la precisión del instrumento. En otras palabras, toda medida estará afectada por un error.

### 2.0.1. Error absoluto

Si se supone una medida  $X_v$  teórica ideal exacta y  $X_m$  el valor medido real, el error absoluto  $E_{abs}$  se define como la diferencia entre ambos:

$$E_{abs} = X_m - X_v$$

### 2.0.2. Tolerancia

En la mayoría de los casos, es posible calcular el mayor error absoluto posible (límite de error) en una medición, recurriendo al análisis de las características de los instrumentos y de las técnicas utilizadas. Así, se podría expresar una medición con su respectiva tolerancia, para indicar el grado de precisión de dicha medida.

**Ejemplo 2.1** *Un capacitor posee una capacidad de  $10\mu F \pm 0,1\mu F$ . Esto significa que su valor real estará comprendido entre  $10,1\mu F$  y  $9,9\mu F$ .*

**Ejemplo 2.2** *Un resistor posee una resistencia de  $1000\Omega \pm 5\%$ . Esto significa que su valor real estará comprendido entre  $950\Omega$  y  $1050\Omega$ .*

### Valor verdadero probable

Debido a que se desconoce el valor verdadero original, se tomará el valor verdadero probable  $X'_v$ , que considerará todas las causas de error posibles (por el operador, por el método y por el instrumento utilizado).

De ese modo, se puede redefinir el error absoluto como:

$$E_{abs} = X_m - X'_v$$

### 2.0.3. Error relativo

El error relativo permite conocer la magnitud de un error cometido. Se calcula efectuando el cociente entre el error absoluto y el valor real.

$$E_{rel} = \frac{X_m - X'_v}{X'_v}$$

#### Error relativo porcentual

Suele ser útil expresar el error relativo como porcentaje. Para eso, multiplicamos el error relativo  $E_{rel}$  por 100:

$$e \% = 100 \times E_{rel}$$

**Ejemplo 2.3** *Se tomó la medición de la tensión de una rama de un circuito, obteniendo un valor de 30V, y un valor real de 27V.*

*Hallar el error absoluto, el error relativo y el error relativo porcentual.*

Solución:

$$E_{abs} = 30V - 27V = 3V$$

$$E_{rel} = \frac{3V}{27V} \approx 0,1111V$$

$$e \% = 100 \times 0,1111V = 11,11 \%$$

**Ejemplo 2.4** *Se tomó la medición de la tensión de una rama de un circuito, obteniendo un valor de 233V, y un valor real de 230V.*

*Hallar el error absoluto, el error relativo y el error relativo porcentual.*

Solución:

$$E_{abs} = 233V - 230V = 3V$$

$$E_{rel} = \frac{3V}{230V} \approx 0,01304V$$

$$e \% = 100 \times 0,01304V = 1,3 \%$$

Nótese que, si bien en ambos ejemplos el error absoluto es el mismo, el error relativo del ejemplo 2.3 es mucho mayor que la del ejemplo 2.4; por lo que la segunda medición es mucho más precisa.

## 2.1. Clasificación de los errores

### 2.1.1. Errores groseros

Son los errores producidos por una mala elección del instrumento o del método, por una mala interpretación del operario (como por ejemplo una transposición de cifras), o bien por una implementación errónea (una lectura en escala incorrecta).

Es posible detectar errores groseros controlando de forma permanente la coherencia de los valores dentro de una serie de mediciones. Si existe un valor que resulte sospechoso para el contexto en el cual se tomó, entonces debería revisarse.

### 2.1.2. Errores sistemáticos

Son errores que se producen en todas las mediciones tomadas. Pueden producirse por:

- Errores en el método utilizado.
- Errores en los instrumentos, ya sea por la clase de los mismos como por el desgaste natural o el uso en condiciones inadecuadas.
- Errores por tendencia del observador, ya sea en exceso o en defecto.
- Errores condicionados por el ambiente. Aspectos como la temperatura, humedad, vibraciones o presión, pueden afectar la precisión de un instrumento o de la técnica utilizada.

## 2.2. Clase de un instrumento

La clase de un instrumento es uno de los indicadores de la precisión del mismo. Es el valor porcentual que expresa la relación entre el error absoluto y el alcance del mismo:

$$Clase = \frac{E_{absmax}}{Alcance} \times 100$$

**Ejemplo 2.5** En la figura 2.1, se puede apreciar que la clase del instrumento es 2,5. Como se ve, el alcance máximo es de 50 V. ¿Cuál es el error absoluto máximo que puede producirse?

Solución: Reemplazando en la ecuación de clase:

$$2,5 = \frac{ErrorAbsMax}{50V} \times 100 \rightarrow ErrorAbsMax = \frac{2,5 \times 50V}{100} = 1,25V$$

Clase del instrumento	Aplicación
0.05 a 0.1	Patrones de referencia. Calibración de instrumentos. Ensayos de laboratorio muy precisos.
0.2 a 0.5	Ensayos de laboratorio. Contraste de instrumentos de una clase al menos 5 veces mayor
>1	Tableros, paneles de escala vertical, instrumentos portátiles de baja precisión.

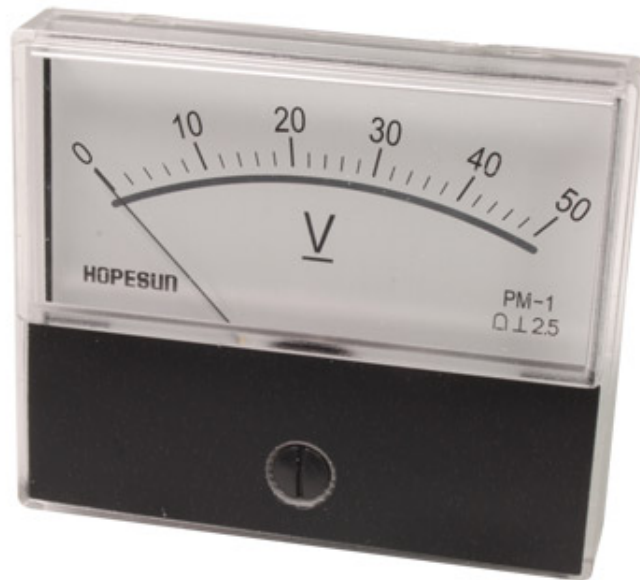


Figura 2.1: Voltímetro Clase 2,5

## Capítulo 3

# Magnitudes eléctricas

En este capítulo, arribaremos a definir **intensidad de corriente eléctrica**, **tensión eléctrica**, **resistencia eléctrica**, y veremos cómo estas tres magnitudes se encuentran relacionadas. Para ello, será necesario contar con nociones acerca de los átomos y su estructura. Tranquilo... no nos detendremos demasiado en estas ideas, pero debés saber que son fundamentales para poder construir una base sólida en la comprensión de los fenómenos eléctricos.

### 3.1. El átomo

La materia está constituida por unidades muy pequeñas (del orden de los picómetros) llamadas **átomos**.

Para tener una noción más clara de la pequeñez de los átomos, *el diámetro de un átomo es al diámetro de una manzana como el diámetro de una manzana es al diámetro de la Tierra*.

A su vez, estos átomos poseen un **núcleo**, formado por **protones** y **neutrones**, y uno o varios **electrones**; todos atraídos o repelidos por lo que se conoce con el nombre de **fuerza eléctrica**.

Imaginemos por un segundo que en el Universo, todas las partículas se atrayeran entre sí... Toda la materia estaría comprimida en un único bloque compacto.

Si, por el contrario, todas las partículas se repelieran, el Universo sería un gas en permanente expansión.

Es deducible entonces, que estos tres tipos de partículas (protones, neutrones y electrones), se encuentran atraídas o repelidas entre sí de manera equilibrada para que el Universo pueda subsistir tal y como lo conocemos.

Se dice que los protones tienen carga eléctrica positiva, que repele cargas positivas pero que atrae cargas negativas. Entonces, estos protones positivos en el núcleo, atraen a una nube de electrones negativos a su alrededor para constituir el átomo.

Los electrones, con carga negativa, son atraídos por el núcleo positivo de protones, pero se rechazan entre sí. Son muy ligeros y se mueven muy rápido.

Debido a este rechazo entre los electrones, no atravesamos una pared al tocarla.

Si bien la masa de un protón es mucho mayor a la de un electrón, ambos poseen la misma carga eléctrica (es decir que un electrón es tan negativo como positivo es un protón). Por este motivo, las fuerzas eléctricas de atracción y repulsión, harán que las cargas de un átomo se encuentren balanceadas. En otras palabras: un átomo tendrá la misma cantidad de protones que de electrones, y entonces es eléctricamente neutro.

Aunque los átomos tengan carga neutra, a veces los electrones de un átomo son atraídos por el núcleo de otros átomos, provocando una "sociación" que da lugar a la formación de moléculas.

### 3.1.1. Fuerza eléctrica

Según la cantidad de electrones que se encuentren atraídos al núcleo de un átomo, se organizarán en diferentes capas o niveles de energía. Mientras la distancia al núcleo sea mayor, la **fuerza eléctrica** será menor.

La fuerza eléctrica es una magnitud vectorial, que aparece entre dos cuerpos cargados eléctricamente, y puede ser de atracción o de repulsión.

Para comprender mejor la fuerza eléctrica, podemos recurrir a una analogía con la fuerza magnética, con la que hemos experimentado toda la vida: A medida que acercamos un imán fijo a un metal, podemos percibir que la fuerza de atracción entre ambas piezas es mayor, y a medida que lo alejamos, la fuerza es menor.

La fuerza eléctrica entre dos cuerpos cargados se calcula mediante la Ley de Coulomb:

$$F = k \times \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

- $k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$
- $q_1$  y  $q_2$  son las cantidades de carga de ambos cuerpos, expresados en Coulombs.
- $d$  es la distancia que separa ambos cuerpos.

Con respecto a la unidad de carga, *1 Coulomb* equivale a aproximadamente  $6,241509 \times 10^{18}$  electrones, o 6,24 millones de billones de electrones... que si bien es una cantidad enorme, sólo representa a la carga que pasa por un cargador de teléfono celular durante unos pocos segundos.

### 3.2. Materiales conductores y aislantes

Aplicando esta Ley, puede deducirse que los electrones de un átomo pueden estar fuerte o débilmente atraídos por el núcleo según la distancia que mantengan con respecto al núcleo.

Si la atracción entre el núcleo y alguno de sus electrones es débil, ese material es conductor. Si, por el contrario, todos los electrones del átomo se encuentran fuertemente atraídos por el núcleo, no se podrán desprender con facilidad del átomo y por lo tanto son materiales aislantes.

Pero la atracción de los electrones con los núcleos de sus respectivos átomos no depende sólo de su cercanía al núcleo sino también de la completitud de las capas: los átomos con capas completas suelen ser estables y los átomos con capas incompletas suelen tener más facilidad para ceder electrones (recordando que un material que cede electrones con facilidad es un conductor).

Una capa de electrones puede contener hasta  $2n^2$  electrones, donde  $n$  es el número de capa.

Tomemos como ejemplo el cobre, cuyos átomos poseen 29 protones y 29 electrones.

Los electrones se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- Capa 1: 2
- Capa 2: 8
- Capa 3: 18
- Capa 4: 1

El electrón de la cuarta capa, se encuentra alejado del núcleo, y además, está en una capa incompleta, porque la cuarta capa puede contener hasta  $2,4^2 = 32$  electrones, y por estos motivos el cobre es buen conductor de corriente eléctrica.

Si hubiera, en las inmediaciones del átomo de cobre, una fuerza de atracción lo suficientemente fuerte, el electrón de la cuarta capa se liberaría del átomo padre, quedando el átomo con 29 protones y 28 electrones y carga positiva. Cuando esto ocurre, el átomo se convierte en un ion positivo.

### 3.3. Diferencia de potencial eléctrico o tensión

Algo similar ocurre en todas las baterías: una separación de cargas positivas y cargas negativas, a través de medios químicos.

Una fuente de tensión no es más que un dispositivo con regiones de carga positiva y carga negativa. Mientras mayores sean estas cargas, mayor será la tensión o voltaje.

Para efectuar este proceso de separación de cargas, es necesario gastar cierta energía. Así, la **diferencia de potencial** se define como el trabajo necesario para mover estas cargas.

$$\text{Dif. de potencial eléctrico} = \frac{\text{energía potencial}}{\text{carga}} \quad (3.1)$$

Si utilizamos las unidades del S.I., se dice que *1 Volt de potencial equivale a 1 Joule de energía por 1 Coulomb de carga*

$$1V = 1 \frac{J}{C}$$

**Ejemplo 3.1** *Determinar la tensión entre dos puntos si se requieren 80 J de energía para mover 20 C de carga.*

Solución: *Aplicando la ecuación 3.1, se tiene*

$$\frac{80J}{20C} = 4V$$

**Ejemplo 3.2** *Determinar la energía consumida para mover una carga de 0,05 C entre dos puntos si la tensión entre los mismos es de 10 V.*

Solución: *De la ecuación 3.1, se despeja*

$$\text{Energía potencial} = \text{Potencial eléctrico} \times \text{carga}$$

*Luego*

$$0,05C \times 10V = 0,5J$$

### 3.4. Intensidad de corriente eléctrica

La corriente eléctrica o intensidad de corriente eléctrica, es el flujo de cargas eléctricas; es decir, el movimiento de electrones a lo largo del tiempo.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (3.2)$$

La unidad que utilizamos para la corriente es el Ampere, y equivale a 1 Coulomb de carga fluyendo durante 1 segundo de tiempo:

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

**Ejemplo 3.3** *Determinar la corriente eléctrica en Amperes si la carga que fluye es de 0,01 C durante 5 mS.*



### 3.5. RELACIÓN ENTRE TENSIÓN Y CORRIENTE: LA RESISTENCIA17

Solución: De la ecuación 3.2 se sabe que las unidades deberán ser Coulomb para las cargas y segundos para el tiempo. Por ello, debe realizarse la conversión  $5mS = \frac{5}{1000}S = 0,005S$ , y a continuación, aplicar la ecuación, obteniendo:

$$I = \frac{0,01C}{0,005S} = 2A$$

**Ejemplo 3.4** Calcular cuánto tiempo deberá pasar para que circule 1 C de carga si la corriente en un circuito es de 0,3 A.

Solución: De la ecuación 3.2 se despeja el tiempo, obteniendo:

$$t = \frac{Q}{I} \quad (3.3)$$

Y luego, es inmediato que

$$t = \frac{1C}{0,3A} = (1/3)S \approx 0,333S$$

### 3.5. Relación entre tensión y corriente: la resistencia

Es común confundir tensión con corriente, pero son dos términos completamente diferentes.

Aplicar una tensión a un material conductor hará que fluya corriente eléctrica por el mismo.

La tensión es la causa, mientras que la corriente es la consecuencia.

Sin tensión no puede haber corriente eléctrica, pero sí puede existir tensión entre dos puntos sin una corriente que circule entre los mismos (esto ocurre, por ejemplo, entre los bornes de una pila que no está conectada en un circuito, ya que existe tensión pero no hay corriente circulando entre los mismos).

Si la tensión es la causa de la corriente, evidentemente una modificación de los valores de tensión alterará la corriente obtenida.