

MEDICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

I. OBJETIVOS

- Conocer los conceptos básicos de medición de variables eléctricas.
- Conocer las características técnicas y el funcionamiento de algunos instrumentos de medición de variables eléctricas.
- Determinar la incertidumbre asociada a la medición.

II. MARCO TEÓRICO

Medición de una magnitud física:

Medir es comparar una magnitud de valor desconocido con una magnitud de referencia de igual especie, previamente elegida, que se denomina unidad de medida. Para medir se deben establecer los instrumentos de medición adecuados, las unidades, el método de medición. El reporte de la medición debe incluir siempre, el valor o tamaño de la variable (x), su error absoluto o incertidumbre (ΔX), y obviamente las unidades.

$$X = x \pm \Delta x \quad (1)$$

Lo anterior define un intervalo un intervalo asociado al resultado de una medición: $\bar{X} - \Delta X \leq x \leq \bar{X} + \Delta X$, en lugar de un único número.

Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición según la forma de mostrar la medición pueden ser analógicos o digitales.



Tipos de medición

Directa

Se mide directamente la magnitud física con un instrumento de medición adecuado.

Indirecta

Se mide indirectamente alguna o algunas magnitudes físicas que se relacionan con la magnitud a medir mediante una ecuación.

Ejemplo

Potencia eléctrica

Medición directa: instrumento de medición vatímetro

Medición indirecta: mide tensión y mide corriente y se relacionan mediante ley de Watt para obtener la potencia

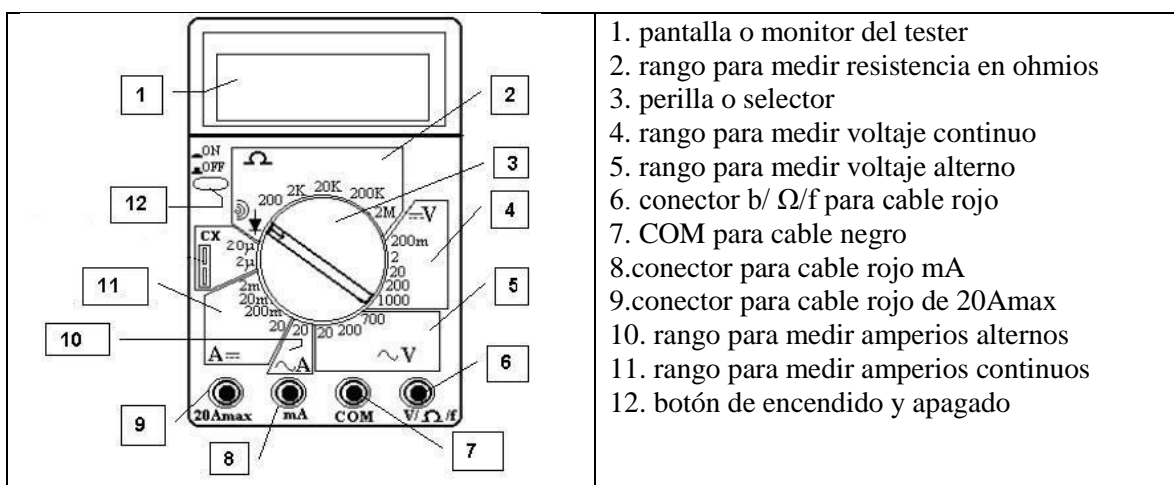
$$P = V.I \quad (2)$$

Variables Eléctricas

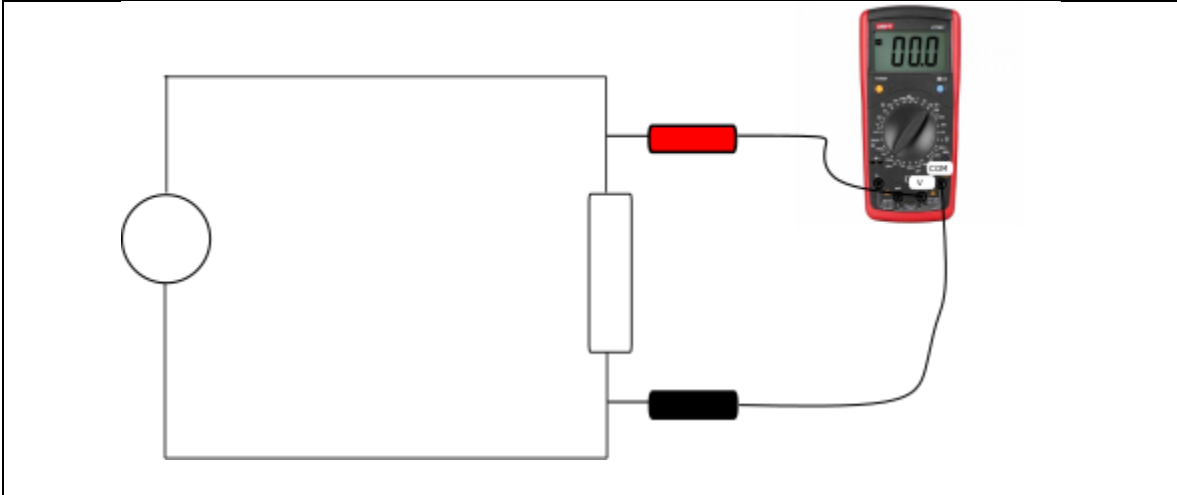
Tensión eléctrica o diferencia de potencial

Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Se puede medir con un voltímetro. Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el voltio.

Medición con multímetro o tester, se deben ubicar los extremos de las puntas de medición del lado del instrumento de medición (6 y 7), en la posición correcta y verificando que bajo ninguna circunstancia se exceda el valor máximo del instrumento.



Para medir la tensión en un circuito eléctrico, se debe seleccionar el instrumento adecuado en el rango adecuado, y ubicar las puntas de medición entre los puntos que se desea conocer la caída de potencial, por lo tanto, si se desea conocer la caída de potencial en un componente eléctrico las puntas de medición se ubican en paralelo con el componente.

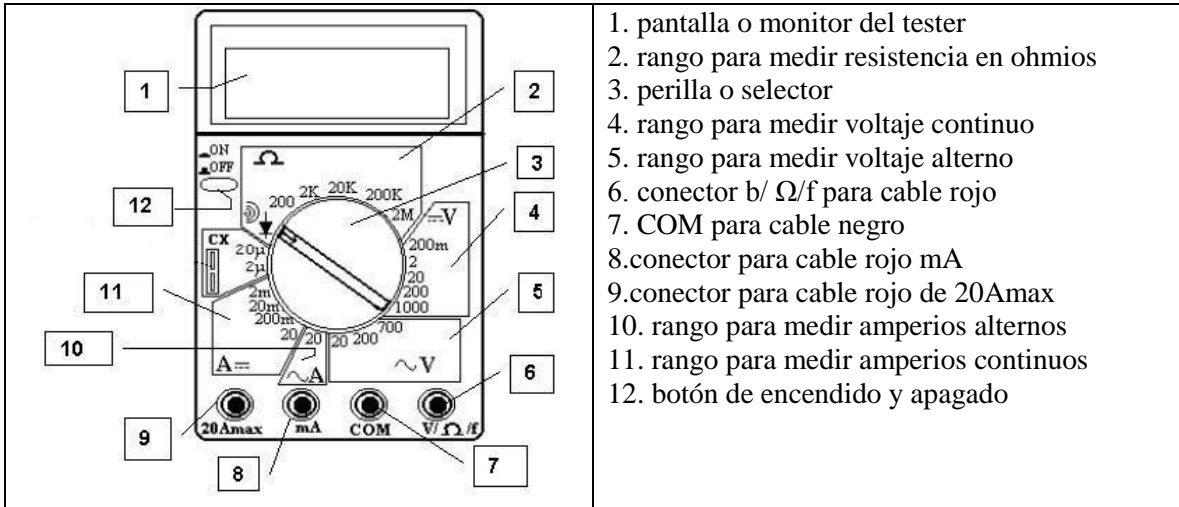


Corriente eléctrica

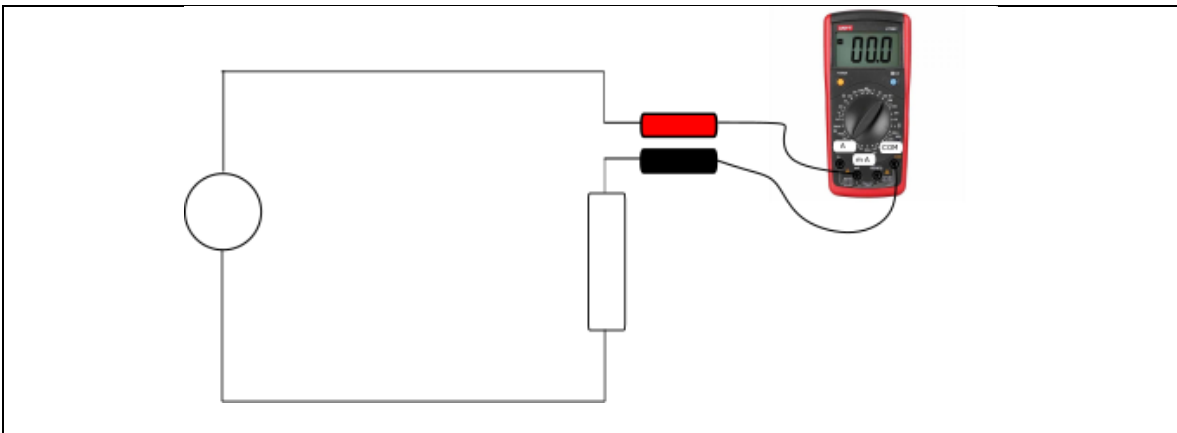
Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior de este. Al caudal de corriente (cantidad de carga por unidad de tiempo) se le denomina intensidad de corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios por segundo), unidad que se denomina amperio (A).

Para medir la corriente eléctrica existen dos posibilidades según el instrumento de medición que se utilice:

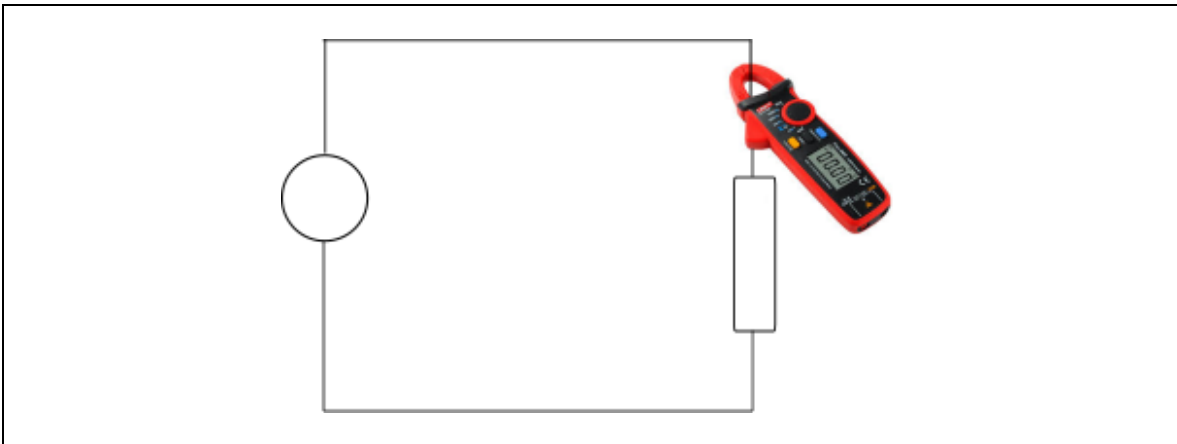
Medición con multímetro o tester, se deben ubicar los extremos de las puntas de medición del lado del instrumento de medición (7 y 8 ó 7 y 9), en la posición correcta y verificando que bajo ninguna circunstancia se exceda el valor máximo del instrumento.



Para medir la corriente en un circuito eléctrico, se debe seleccionar el instrumento adecuado en el rango adecuado, y ubicar las puntas de medición en serie abriendo el circuito eléctrico.



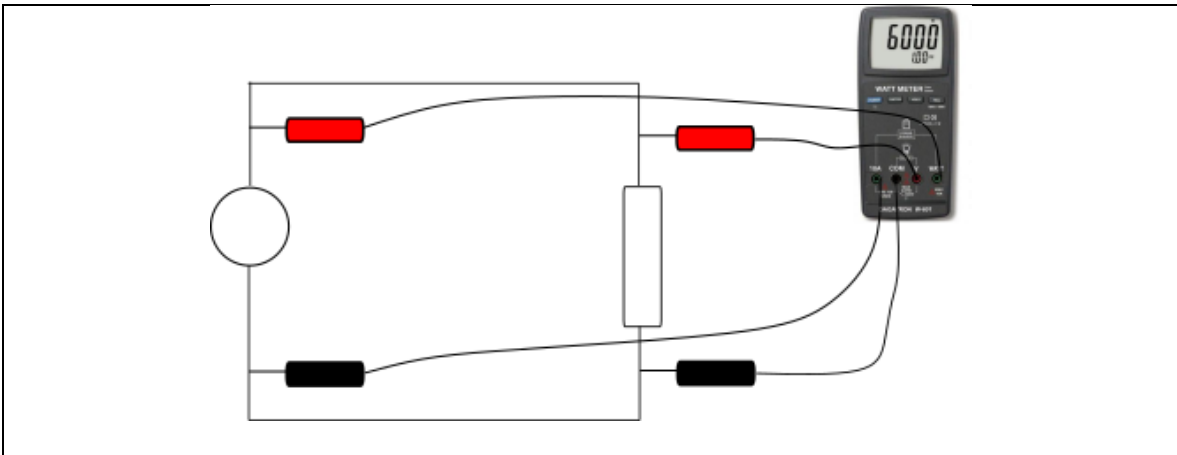
Medición con pinza voltiamperimétrica, se debe ubicar uno de los conductores pasando entre las pinzas. La ventaja de realizar la medición con este tipo de instrumento de medición, es que no se tiene que interrumpir el circuito eléctrico.



Potencia Eléctrica

Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W). La potencia eléctrica se puede obtener medir directa o indirectamente.

Medición directa. Para medir la potencia que consume un componente eléctrico se debe utilizar un vatímetro, el cual puede ser analógico o digital. Para este caso se tienen 4 puntas, las cuales dos se conectan en paralelo con la fuente de alimentación y las otras dos se conectan en paralelo con el componente.



Medición indirecta. Se obtiene realizando las mediciones directas de tensión y corriente explicadas anteriormente y se relacionan mediante la ley de Watt (Ec. 2)

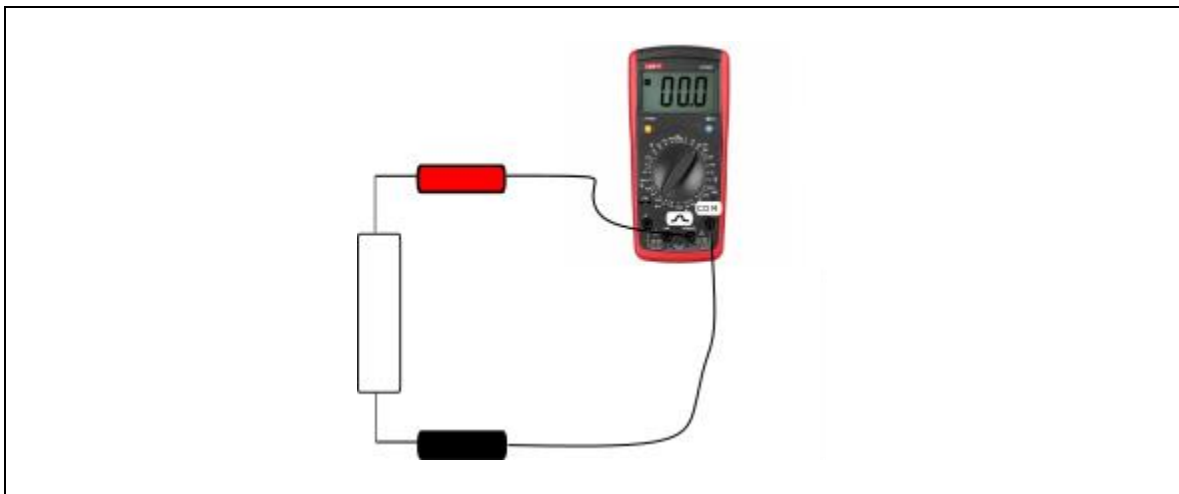
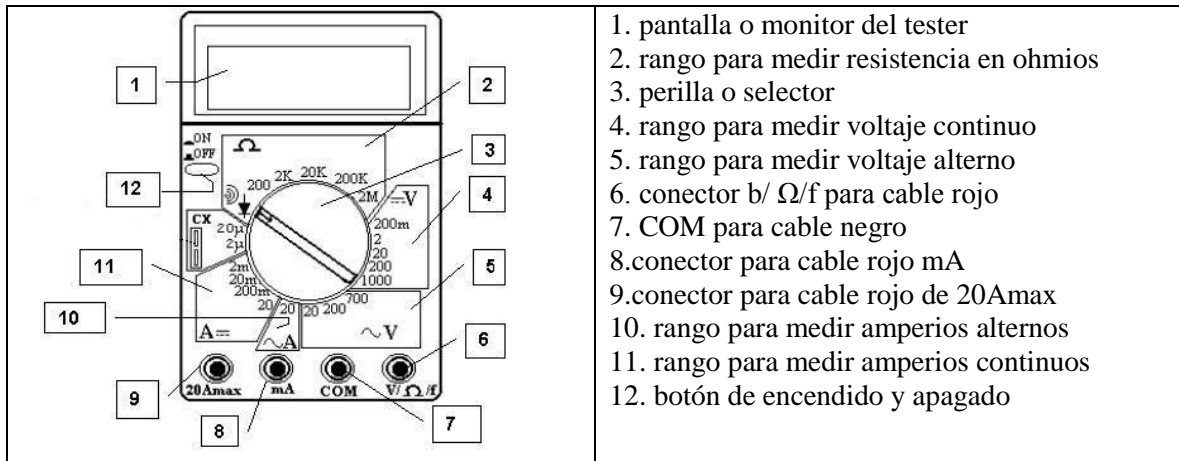
Resistencia eléctrica

Es la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega (Ω).

El valor de la resistencia eléctrica de un componente depende del material y de su geometría, y es directamente proporcional a la resistividad (ρ) y a la longitud (l), e inversamente proporcional al área de la sección transversal del elemento (A).

$$R = \rho l / A \quad (3)$$

Para realizar la medición con un multímetro o tester, se deben ubicar los extremos de las puntas del lado del instrumento de medición en las posiciones (6 y 7), y los extremos de las puntas de medición en paralelo con el componente aislado y desenergizado. Procurar no realizar contacto con partes del cuerpo humano ya que pueden alterar el resultado.



Características generales de los instrumentos de medida

Exactitud: es una medida de la calidad de la calibración de nuestro instrumento respecto de *patrones de medida* aceptados internacionalmente. Es la cercanía del valor obtenido con el denominado valor “real”, para hacer referencia a la exactitud se tienen que tener en cuenta dos conceptos fundamentales patrones de medida y trazabilidad en las mediciones. Es decir, una medida es exacta entre menor sea la discrepancia o separación entre lo obtenido con el instrumento de trabajo y el valor leído con el etalón

Precisión del instrumento: Está relacionada con la repetibilidad que él proporciona en sus medidas, es decir que diferentes medidas de una misma cantidad bajo condiciones aproximadamente iguales conducen a resultados muy parecidos. A más parecidas las medidas, más preciso el instrumento.

No se debe confundir exactitud con precisión La Figura 1 ilustra de modo esquemático estos dos conceptos. *Ejemplo, un cronómetro es capaz de determinar centésimas de segundo, pero adelanta dos minutos por hora, mientras que un reloj de pulsera con apreciación nominal de 1 segundo, no lo hace. En este caso decimos que el cronómetro es más preciso que el reloj común, pero menos exacto.*

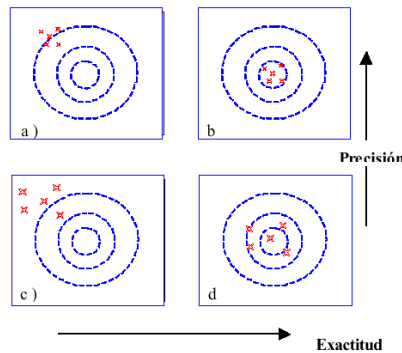


Figura 1. Ilustración de los conceptos de precisión y exactitud. a) es una determinación precisa pero inexacta, mientras d) es más exacta pero imprecisa; b) es una determinación más exacta y precisa; c) es menos precisa que a).

Fidelidad: Cuando las características del instrumento no cambian apreciablemente en el tiempo

Sensibilidad: Todo instrumento siempre tiene un mínimo del valor de la cantidad a medir. Esta mínima cantidad se denomina la apreciación nominal del instrumento

Rango de escala: Diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo (X_m)

Constante del instrumento: Depende del número de divisiones usadas para dividir el rango de escala. La distancia entre dos divisiones sucesivas se denomina división de escala. Se determina en términos de dos valores consecutivos marcados con raya y número y el número de divisiones que hay entre ellos

$$C = \frac{X'' - X'}{n_u} \quad (5)$$

Ejemplo la constante de instrumento de un amperímetro analógico es en la escala de 100 mA, es

$$C = \frac{40mA - 20mA}{10div} = 2mA/div$$

Se puede decir que la constante de un instrumento es el valor que hay entre dos divisiones consecutivas marcadas y no numeradas

Sensibilidad: La sensibilidad del instrumento es mayor cuanto menor es la constante del instrumento esto es:

$$S = \frac{1}{C} \quad (6)$$

En el ejemplo del amperímetro mencionado antes tenemos una sensibilidad de

$$S = \frac{1}{2mA/div} = 0,5 div/mA$$

; Un cronómetro de laboratorio que tiene una constante $C=0.01s/div$ es

decir el valor mínimo de división es una centésima de segundo, tiene un sensibilidad

$$S = \frac{1}{0,01s/div} = 100div/s ; \text{ un reloj que tenga una } C= 1s/div \text{ tiene un sensibilidad}$$

$$S = \frac{1}{1s/div} = 1div/s$$

La clase de exactitud: es un tipo de error instrumental que es reportado por el fabricante se obtiene de la mayor separación entre el valor medido de una cantidad con el instrumento dado y el valor obtenido con un etalón¹ (instrumento patrón), lo representaremos por $\Delta X''$. Si este error se multiplica por 100 y se divide por el rango de la escala del instrumento, se obtiene la clase de exactitud del instrumento que representaremos por k; esto es

$$k = \frac{100\Delta X''}{Xm} . \tag{7}$$

Según recomendaciones de los organismos internacionales de pesos y medidas de los instrumentos eléctricos se clasifican de acuerdo con su número de clase k, las siguientes categorías

Categoría	Clase de exactitud
1. etalones	K= 0,1 %
2. precisos	K= 0,2 y k= 0,5 %
3. de Laboratorio	K= 1 y k = 1,5 %
4. de taller	K= 2,5 y k = 5 %

Tabla 1. Categorías de instrumentos por clase de exactitud

¹ Palabra en francés que significa patrón

Análisis estadístico de mediciones de variables eléctricas

Media aritmética

El valor más probable de una variable medida es la media aritmética del número de lecturas tomadas. Cuando el número de lecturas de la misma cantidad es muy grande, se obtiene la mejor aproximación. En teoría, un número infinito de lecturas daría el mejor resultado. Aunque en la práctica solo se puede ejecutar un número finito de mediciones. La media aritmética está dada por la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{n} = \frac{\Sigma X}{n}$$

Desviación estándar

La desviación estándar (S) es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio en una distribución. De hecho, específicamente la desviación estándar es "el promedio de lejanía de los puntajes respecto del promedio".

La desviación estándar de un conjunto de datos es una medida de cuánto se desvían los datos de su media. Esta medida es más estable que el recorrido y toma en consideración el valor de cada dato.

En análisis estadísticos de errores aleatorios, la raíz media cuadrática de las desviaciones o desviación estándar es una ayuda muy valiosa. Por definición, la desviación estándar o de un número infinito de datos es la raíz cuadrada de la suma de todas las desviaciones cuadradas individuales, divididas entre el número de lecturas. Expresadas en términos matemáticos. Su fórmula es:

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

Incertidumbre en la medición (error)

1 Errores burdos: Son equivocaciones (en lecturas, registro de datos, conversión de unidades, al transcribir los valores medidos a las planillas de los protocolos de ensayos, a la desconexión fortuita de alguna parte del circuito de medición, etc.); se deben evitar. En general se originan en la fatiga del observador o por la falta de meticulosidad en los procedimientos, o de rigurosidad en el manejo de las unidades y los equipos. Se caracterizan por su gran magnitud y se pueden detectar fácilmente. *“Un ejemplo de este tipo de error es el que se cometió en el Mars Climate Explorer a fines de 1999, al pasar de pulgadas a cm. se cometió un error que costo el fracaso de dicha misión a Marte”.*

2. Errores sistemáticos: Se llaman así porque se repiten constantemente, tanto en presencia como en valor en todas las mediciones que se efectúan en iguales condiciones.

Aunque se deben tratar de minimizar siempre van a existir y deben ser cuantificados y reportados. En algunos casos se pueden determinar factores de corrección cuantificándolos mediante una *incertidumbre tipo B*.

Por sus causas pueden subdividirse en:

2.1 los errores instrumentales de lectura o también llamado de apreciación

2.2 errores instrumentales de exactitud (en el proceso de calibración)

2.3 errores instrumentales de ajuste

2.4 por las imperfecciones de los métodos de medición Errores debidos a la conexión de los instrumentos o errores de método proviene de la interacción del método de medición con el objeto a medir. Errores por causas externas o errores por efecto de las magnitudes de influencia.

2.5 Errores por la modalidad del observador o ecuación personal

3. Errores estadísticos o aleatorios: Son los que se producen al azar. En general son debidos a causas múltiples y fortuitas. Estos errores pueden cometerse con igual probabilidad por defecto como por exceso. Por tanto, midiendo varias veces y promediando el resultado, es posible reducirlos considerablemente. Estos errores son imposibles de eliminar y para disminuir su influjo se repite muchas veces la medición, de manera que puedan ser tenidos en cuenta determinando su ley de distribución, y mediante el tratamiento estadístico determinar la llamada *Incertidumbre tipo A*.

3.1 Rozamientos internos.

3.2 Acción externa combinada. (Fluctuaciones propias de las variables a medir, etc)

3.3 Errores de apreciación de la indicación.

Forma de expresar la lectura de una magnitud eléctrica

Se puede decir que, en un ensayo correctamente planteado y ejecutado, los errores burdos no deben presentarse. Los errores sistemáticos pueden ser cuantificados por medio del cálculo de la *incertidumbre tipo B*. Y la cuantificación de los errores aleatorios, por medio del tratamiento estadístico de los datos (determinación de la *incertidumbre tipo A*).

La tarea del tratamiento de los resultados de un ensayo se resume a la cuantificación del valor medio y del error aleatorio de la magnitud medida. Esta tarea es estándar para el tratamiento de datos de cualquier medición de magnitudes eléctricas.

La media aritmética por sí misma también es una magnitud aleatoria, que obedece a la ley de distribución normal, según la Teoría de Probabilidades la media coincide con el valor real de la magnitud medida sólo cuando se tiene un conjunto de datos de cantidad infinita. Es por eso por lo que se debe indicar el intervalo de confianza. La magnitud del intervalo de confianza está determinada por la media aritmética \bar{x} , por la desviación media cuadrática S y una constante de cobertura que puede calcularse mediante el criterio t-Student (seudónimo del matemático y químico inglés Sealey Gosste), el cual depende del nivel de la probabilidad de confianza escogido P (nivel de confianza) y el número de grados de libertad $k = n - 1$.

$$\bar{x} - t \frac{S}{\sqrt{n}} < N < \bar{x} + t \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad N = \bar{x} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

El valor de t está tabulado para distintos niveles de confianza y grados de libertad $k = n - 1$ (tabla 1). Cuando el volumen de la muestra no supera $n < 20$, por lo general el nivel de confianza se toma igual

a 0,8; 0,9; 0,95; 0,98; 0,99. En las mediciones de magnitudes eléctricas se usa por lo común un nivel de confianza $P = 0,95$.

k	Nivel de confianza (P)							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845

Tabla t-Student

PRÁCTICA 1. INFORME DE LABORATORIO: MAGNITUDES ELÉCTRICAS REPORTANDO LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA Y CARACTERIZACIÓN DE UN RESISTOR EN C.C. Y MEDICIONES

Nombres:

I. Realizar la medición en el circuito propuesto de tensión, corriente, potencia y resistencia. Reportar la medición teniendo en cuenta la incertidumbre tipo A asociada a la medición.

Dato-variable	Tensión (V)	$x_i - \bar{x}$	Corriente (A)	$x_i - \bar{x}$	Potencia (W)	$x_i - \bar{x}$	Resistencia (Ω)	$x_i - \bar{x}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
\bar{x}								
S								
$N = \bar{x} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$								

II. Calcular la máxima corriente que puede circular por el resistor según las características del mismo.

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

Dividir este valor de tal forma que se tomen al menos 10 datos aumentando la tensión en la fuente.

Dato-variable	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Resistencia (Ω)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				