Guía Teórica N°1 – *Corriente Continua*

1. Objetivos

- Familiarizarse con normas de seguridad básicas en el Laboratorio
- Familiarizarse con el uso apropiado de fuentes de corriente continua y el multímetro
- Reconocer los conceptos de campo eléctrico, diferencia de potencial, intensidad de corriente, resistencia y potencia eléctrica
- Estudiar la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff
- Estudiar la caída de voltaje en elementos óhmicos y no óhmicos

2. Introducción

La siguiente guía, es una referencia rápida, a los conceptos usados en este laboratorio. Un tratamiento más detallado deberá ser buscado en libros de Electricidad y Magnetismo.

I) Fuerza de Coulomb

En 1785, Charles Coulomb describió la fuerza que existe entre cargas estáticas, dándole su nombre. Si tenemos dos partículas estáticas de cargas q_1 y q_2, separadas por una distancia r, se encuentra que la fuerza debido a sus cargas cumple con:

$$|\vec{F}|\alpha\frac{|q_1q_2|}{r^2} \qquad (1)$$

Si esta relación se expresa en unidades del S.I., o sea, cargas en Coulomb, C, distancia en metros, m, y fuerza en Newton, N, encontramos que en el vacío:

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1q_2|}{r^2} \qquad (2)$$

en donde $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9\times 10^9$ Nm^2/C^2 , y ϵ_0 se conoce como la permitividad del espacio vacío.

Consideremos que q_2 está fija y que se coloca q_1 a una cierta distancia de manera que esta puede moverse bajo una fuerza, en particular nos interesa la fuerza que q_2 ejerce sobre ella. Vectorialmente, la expresión anterior la podemos escribir como

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^3}\vec{r}_{12}, \tag{3}$$

válida en el S.I.[1], donde $\vec{r}_{12}$ es el vector posición, desde q_2 hacia q_1. Así, $\vec{F}_{12}$ es la fuerza que ejerce q_2 sobre q_1. Si las cargas son de signo contrario, $q_1 q_2 < 0$, entonces la fuerza apunta desde q_1 hacia q_2, por lo tanto es atractiva; en caso contrario, apunta desde q_2 hacia q_1, y es repulsiva. Por supuesto que por acción y reacción, $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$.

II) Campo Eléctrico

Coloquemos una carga puntual q_2 en el espacio, la cual dejaremos fija como en el párrafo anterior. El entorno de la carga se ve modificado por la aparición de un campo, conocido como campo eléctrico. Para notar su efecto, podemos obtener la interacción que genera este campo sobre otra carga q_1. La interacción, queda expresada por la fuerza

$$\vec{F}_{12} = q_1\vec{E}_{12}, \tag{4}$$

donde $\vec{E}_{12}$ es el campo eléctrico en la posición de q_1 debido a la presencia de q_2. De esta expresión, podemos obtener el campo eléctrico generado por la carga puntual q_2

$$\vec{E}_{12} = \frac{\vec{F}_{12}}{q_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_{12}^3}\vec{r}_{12} \tag{5}$$

donde otra vez $\vec{r}_{12}$ es el vector posición, desde la carga q_2 hacia la q_1. Si ubicamos q_2, que ahora llamaremos Q, en el origen, la expresión queda

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^3}\vec{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}, \tag{6}$$

donde $\hat{r} = \vec{r}/|\vec{r}|$ es el vector unitario que apunta desde el origen, donde colocamos la carga Q, hacia un punto del espacio dado por el vector posición $\vec{r}$. Aquí se ha simplificado la notación, $\vec{E}_{12} = \vec{E}(\vec{r})$.

Finalmente, si cambiamos la partícula de carga Q, por un continuo de carga de densidad $\rho = dq/dV$ en un volumen V, obtenemos que el campo es

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_V \frac{\rho dV}{r^3}\vec{r} = \int_V \frac{\rho dV}{r^2}\hat{r}. \tag{7}$$

En el S.I., la unidad de medida del campo eléctrico es N/C.

III) Diferencia de Potencial

Al mover una carga q entre dos puntos a y b en una zona con un campo eléctrico $\vec{E}$, realizamos un trabajo W_{ab}. Como consecuencia, la energa potencial eléctrica se verá modificada en $-W_{ab}$. Se define

[1] En otros sistemas de unidades la forma de la ley es la misma, pero la constante $1/(4\pi\epsilon_0)$ cambia.

la diferencia de potencial eléctrico como el cuociente entre el cambio de energía eléctrica debido al movimiento de la carga q, y su valor q. Matemáticamente podemos obtener:

$$\Delta V_{ab} = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-W_{ab}}{q} = \frac{-1}{q}\int_a^b \vec{F}\cdot d\vec{r} = -\int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{r} \tag{8}$$

La unidad de medida en el S.I. de la diferencia de potencial eléctrica es el Volt, V. Habitualmente, al trabajar en circuitos, se usan los términos *caída de voltaje o caída de tensión eléctrica* para referirse a diferencia de potencial. Podemos definir el término potencial eléctrico en un punto, como la diferencia de potencial entre este punto e infinito, en donde consideramos que el potencial eléctrico es cero. Matemáticamente:

$$V(\vec{r}) = -\int_{\infty}^{\vec{r}} \vec{E}(\vec{r})\cdot d\vec{r} \tag{9}$$

En circuitos eléctricos, un aparato capaz de generar una diferencia de potencial eléctrica entre dos terminales (como por ejemplo, una pila) se denomina fuente de voltaje continuo y se simboliza como en los esquemas de la figura 1.

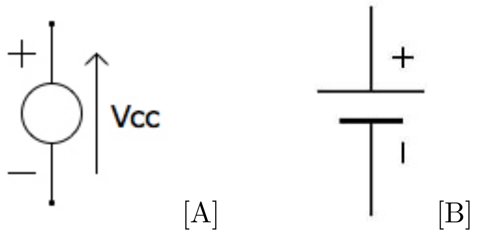

Figura 1: [A] y [B] Representaciones de una fuente de poder.

IV) Corriente Eléctrica

Al aplicar una diferencia de potencial sobre un conjunto de cargas, generamos un campo eléctrico dado por

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V. \tag{10}$$

A la vez, este campo genera una fuerza sobre las cargas, y su aceleración correspondiente. Definimos la corriente eléctrica como la variación de la cantidad de carga en el tiempo. Matemáticamente.

$$I = \frac{dq}{dt} \tag{11}$$

Si las cargas están en unidades de Coulomb, C, y el tiempo en segundos, s, la unidad de medida del S.I. para corriente eléctrica, es el Ampere, A = C/s.

IV) Potencia Eléctrica

¿Cuanta energía puede entregar un circuito eléctrico? ¿De qué depende?

Tomemos un circuito como el de la figura 2, en el cual se tiene algún elemento activo que genera una diferencia de potencial (como por ejemplo, una pila, una fuente, etc), y una “caja” que representa algún elemento que va a utilizar la energía. El terminal a está a mayor potencial que el terminal b. Si muevo un elemento de carga dq de a hacia b, esta carga disminuirá su energía potencial en dqV_{ab}, es decir

$$dU = dqV_{ab} = IdtV_{ab}. \tag{12}$$

La potencia eléctrica estará dada por la cantidad de energía consumida por la caja por unidad de tiempo

$$P = \frac{dU}{dt} = IV_{ab}. \tag{13}$$

Si en la fórmula anterior, I está en Ampere y V_{ab} en Volt, la potencia eléctrica se mide en Watt, W = A·V. La ecuación anterior es válida para corriente continua, es decir constante en el tiempo. Después veremos que también es válida en cualquier instante para corriente alterna, es decir para una corriente que varía con el tiempo.

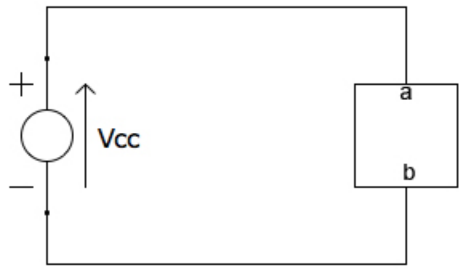

Figura 2: Esquema de un circuito compuesto por una fuente de voltaje continuo y una “caja” que utiliza la energía eléctrica.

V) Resistencia Eléctrica

Un conductor eléctrico contiene portadores de carga (iones, electrones, etc.) libres de movimiento, es decir, no enlazados a ningún átomo en particular. Si se aplica un voltaje (diferencia de potencial) entre los dos extremos de un trozo de metal, los electrones libres se moverán bajo la influencia del campo eléctrico. El flujo de electrones es obstaculizado por colisiones con desordenes en la red del metal, átomos de otro material, superficies, etc. Estas colisiones producen calor (efecto Joule), o sea, la energía eléctrica se disipa en energía térmica. La oposición a la movilidad de los electrones se conoce como resistencia eléctrica (R), y está definida por la relación:

$$R = \frac{V}{I} \tag{14}$$

en donde V representa el voltaje e I la corriente. Si las unidad de medida de V es Volt y de I es Ampere, entonces la resistencia eléctrica se mide en Ohm y se simboliza por Ω.

En un circuito eléctrico, una resistencia tiene un símbolo como el que se presenta en la figura 3.

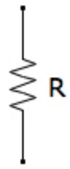

Figura 3: Representación de una resistencia eléctrica.

Las resistencias que se emplean en circuitos eléctricos se fabrican en valores que cubren un amplio rango. Para caracterizarlas, además de Ohm se usan los prefijos griegos:

nano $(n) \rightarrow$ x10^{-9}
micro $(\mu) \rightarrow$ x10^{-6}
mili $(m) \rightarrow$ x10^{-3}
Kilo $(k) \rightarrow$ x10^{3}
Mega $(M) \rightarrow$ x10^{6}
Giga $(G) \rightarrow$ x10^{9}

El valor nominal de la resistencia, aparece etiquetado sobre la resistencia con bandas de color según un código. Los dos primeros colores indican dígitos, y el tercero el exponente de la potencia de 10 por la cual se multiplica el número anterior. Una cuarta banda se agrega para indicar la tolerancia (porcentaje máximo de error) del valor nominal. La equivalencia entre colores y números, la encontrará en el laboratorio en tablas pegadas en la muralla. El valor real de la resistencia es el medido por el multímetro.

VI) Ley de Ohm

Si la variación del voltaje sobre un dispositivo, genera una variación linealmente dependiente sobre la corriente, decimos que el dispositivo se encuentra en el rango Óhmico o que sigue la ley de Ohm. Matemáticamente la ley de Ohm queda expresada por la relación:

$$V = IR \tag{15}$$

VII) Asociación de Componentes

Cuando tenemos dos o más elementos formando un circuito, podemos diferenciar dos maneras comunes de conectarlos: en serie y en paralelo. Conectar en serie quiere decir que entre cada par de elementos existe un sólo punto común, y sin conexión al resto. Una conexión en paralelo quiere decir que a ambos lados de cada elemento, existe un punto común, a todo el resto. Un ejemplo de conexión en serie, está dado en la figura 4[A] con dos resistencias. En la figura 4 [B], se muestra una conexión en paralelo de dos resistencias.

VIII) Las leyes de Kirchhoff

Estas leyes tratan sobre el comportamiento de circuitos eléctricos con asociaciones de componentes. La base para una deducción rigurosa de estas leyes está en la conservación de la carga eléctrica y la

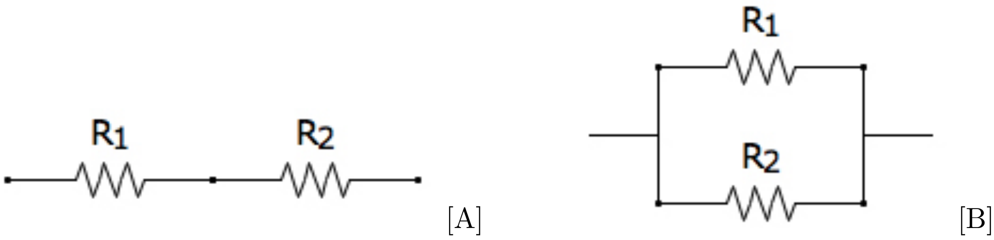

Figura 4: [A] Resistencias en serie. [B] Resistencias en paralelo

energía.

La primera ley se conoce también como la ley de las corrientes. Ésta dice que la suma de intensidades de corriente que llegan a un punto común es igual a la suma de intensidades que salen de él. Si consideramos positivas las corrientes que llegan y negativas las que salen, esta ley establece que la suma algebraica de las intensidades de todas las corrientes sobre un punto común es cero.

$$\sum_i I_i = 0. \tag{16}$$

La segunda ley se conoce también como la ley de los voltajes. Ésta dice que en un circuito cerrado, la suma algebraica de las subidas de tensión es igual a la suma algebraica de las caídas de tensión en todos los elementos pasivos, entonces:

$$\sum \text{subida de voltaje} = \sum \text{caida de voltaje} \tag{17}$$

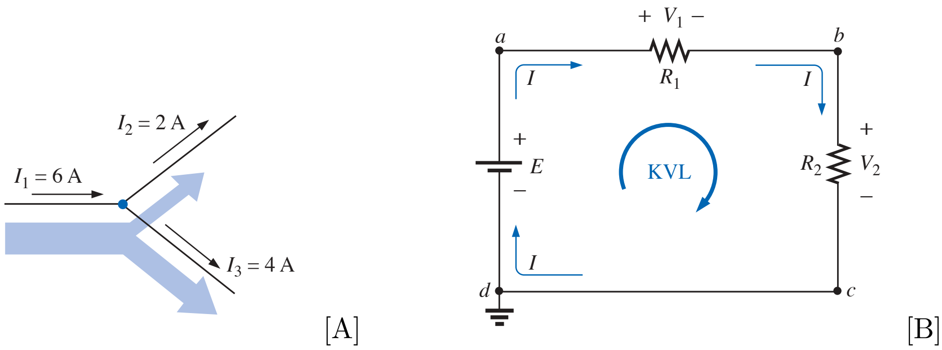

Figura 5: [A] Aplicación de la primera ley de Kirchhoff a un nodo, en este ejemplo $I_1 = I_2 + I_3$ se cumple que $-6A + 4A + 2A = 0$. [B] Aplicación de la ley de voltaje de Kirchhoff a un circuito en serie, en este ejemplo se tiene $E = V_1 + V_2$ por lo que se cumple que $-E + V_1 + V_2 = 0$.

IX) Aplicaciones de las leyes de Kirchhoff y de Ohm

- Mediciones de corriente:

  El aparato que mide corriente se llama amperímetro. Para medir la corriente que pasa por alguna componente, basta conectar en serie el amperímetro con la componente. Un amperímetro ideal tiene resistencia cero para no afectar al circuito.

- Mediciones de voltaje:

  El aparato que mide voltaje se llama voltímetro. Para medir la caída de voltaje que produce alguna componente, basta conectar en paralelo el voltímetro a la componente. Un voltímetro ideal, tiene resistencia infinita para no afectar al circuito.

- Resistencia equivalente:

  Llamamos resistencia equivalente a una resistencia imaginaria, que puede reemplazar a una serie de otras interconectadas, logrando la misma corriente de alimentación del circuito. Por ejemplo, al conectar en serie n resistencias $R_1, R_2, ...R_n$, su resistencia equivalente vale
  $Req_{serie} = \sum_{k=1}^{n} R_k = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$.

  Si en vez de conectarlas en serie, lo hacemos en paralelo, entonces, obtenemos
  $\frac{1}{Req_{paralelo}} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$.