

Guia 4: Electricidad: Curvas I-V y Circuitos RC

immediate

Agosto 2018

1 Curvas I-V:

1.1 Introducción:

Se dice que un material es conductor cuando posee una gran cantidad de cargas libres (negativas, electrones). Entonces, así como una cañería puede llevar cierto caudal de agua, a través de un material conductor se puede mover un ?caudal? de electrones, que llamaremos corriente (**I**). Para que el agua circule por las cañerías de una casa es necesario aplicar cierta diferencia de potencial gravitatorio, por ejemplo poniendo el tanque arriba de la casa; de la misma forma, para que los electrones circulen es necesario aplicar cierta diferencia de potencial eléctrico (**V**). En general, la analogía con las cañerías es buena para pensar a los circuitos eléctricos mientras no se tengan otras herramientas, aunque como toda analogía es limitada. En la práctica sucede al revés, y los circuitos eléctricos son utilizados para modelar una gran cantidad de flujos (como el sistema circulatorio o el sistema de irrigación en plantas o tierras). La corriente, como el caudal, puede ser positiva o negativa según el sistema de referencia que se tome y el sentido de circulación de las cargas. La diferencia de potencial también puede cambiar de signo según el sistema de referencia ¹. Cada material o combinación de materiales reacciona distinto ante el paso de una corriente o la aplicación de una diferencia de potencial, y generan una relación entre la diferencia de potencial entre sus extremos y la corriente que pasa a través de él. Un caso particular de estas relaciones es la Ley de Ohm (ec. 1), que junto con la Ley de Hooke para los resortes o los materiales elásticos, es probablemente una de las leyes experimentales más utilizadas, y plantea justamente una relación lineal entre diferencia de potencial y corriente.

$$V = R * I \tag{1}$$

Donde R se denomina resistencia y depende del material. En general, la validez de esta ley depende fuertemente del material, es así que hay materiales que se llaman óhmicos o no óhmicos, según si siguen o no dicha relación.

A su vez estos componentes del circuito pueden combinarse de distintas formas, generando otras relaciones sean también óhmicas o no dependiendo de los materiales utilizados.

¹Para pensar: ¿Cuándo y cómo definen el sistema de referencia?

A lo largo de esta práctica les proponemos explorar la relación entre la diferencia de potencial y la corriente para distintos posibles componentes de un circuito, o una combinación de ellos.

1.2 Actividades:

Se quiere estudiar la relación funcional entre la corriente y el voltaje, a partir de una curva I-V. Para ello, tomar una serie de mediciones (10 por ejemplo) que barran un rango amplio de voltaje, desde valores muy negativos hasta valores muy positivos. Luego, seleccionar la/las regiones que les resulten más interesantes y agregar más puntos a fin de poder describir mejor el comportamiento del sistema en esas regiones.

Para pensar: ¿Cómo lograr valores negativos de voltaje? ¿Qué ocurre si se conectan los cables a las distintas salidas de la fuente (-9V, TIERRA, +9V, VARIABLE)(ver figura 1)? ¿Qué sucede si se invierten los cables de la fuente una vez que ya están midiendo o ya midieron?



Fig. 1: Ejemplo de fuente de voltaje.

1.2.1 Resistencias

Comenzar trabajando con un circuito compuesto por una fuente y una resistencia ¿Siguen esta la Ley de Ohm propuesta? ¿Esta le vale en todo el rango de voltajes y corrientes que midieron?

1.2.2 Diodos

Repetir el procedimiento para un diodo en vez de una resistencia.

¿Pueden generar un modelo (una ecuación que represente la relación entre las variables)? ¿Este modelo vale en todo el rango de voltajes y corrientes que midieron?

Precaución: No debe cortocircuitarse la fuente, por lo que si creemos que esto puede ocurrir o no sabemos que es lo que va a ocurrir, debemos colocar una resistencia en serie con la fuente (¿por qué?).

1.2.3 Combinaciones de resistencias

Probar distintas configuraciones de resistencias (en serie o paralelo), utilizando distintos valores. Comparar los resultados obtenidos con las predicciones teóricas para cada configuración.

1.3 Materiales:

Para esta práctica se utilizaran:

- Resistencias (entre $5K\Omega$ y $51K\Omega$) y diodos (4148).
- Fuente de Voltaje Continua: las fuentes de voltaje existentes en el laboratorio pueden funcionar tanto en un régimen continuo como en alterna (Fig. 1). Para esta práctica solo se utilizará el modo continuo. Con la perilla que aparece en la figura 1 es posible regular la tensión que entrega la fuente.
- Multímetro: Sirve para medir tanto corriente como voltaje (Fig. 2). En cada caso es necesario seleccionar el modo correcto (preguntar al docente), seleccionar la escala (pensar en cada caso qué escala utilizar y en base a eso cuál es el error de cada medición) y conectar correctamente los cables según vayan a medir corriente o voltaje.

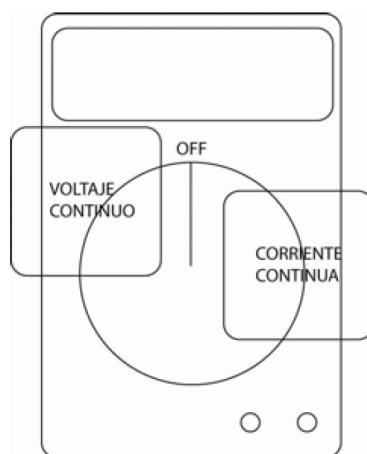


Fig. 2: Ejemplo de multímetro

Modo de conexiones del Multímetro para realizar las mediciones:

- *Voltaje (Voltímetro)*: Se mide la diferencia de potencial entre dos puntos (A y B) del circuito que no necesariamente deben ser adyacentes ni cercanos. Para ello se debe conectar el multímetro ?en paralelo? como indica la figura 3.a.
- *Corriente (Amperímetro)*: De mide la corriente que pasa por una rama del circuito. Para ello se debe conectar el multímetro ?en serie? como indica la figura 3.b.

1.3.1 Unidades:

Diferencia de Potencial o Voltaje o Tensión = Volts (V)

Carga = Coulomb (C)

Intensidad de Corriente = Ampere (A) = C/seg

Resistencia = Ω

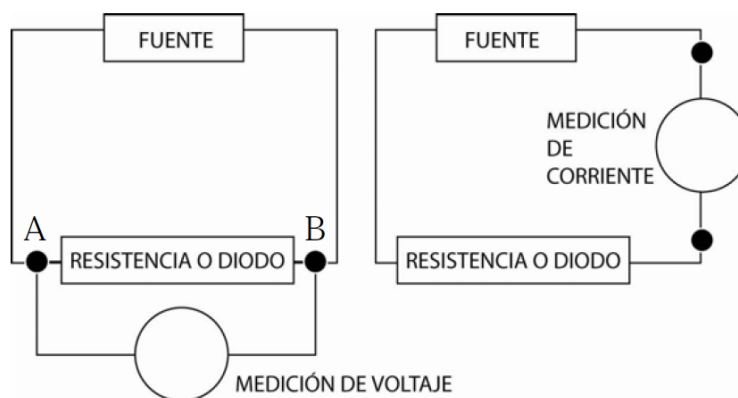


Fig. 3: Configuraciones para conectar el multímetro como: Izquierda: Voltímetro, y Derecha: Amperímetro



Fig. 4: Esquema de capacitor de placas paralelas.

2 Circuitos RC

2.1 Introducción:

Un capacitor está constituido por dos placas conductoras separadas por una distancia pequeña (respecto de las longitudes características de las placas). Generalmente, entre ellas hay un medio dieléctrico. Si se conecta el capacitor a una fuente, las cargas se distribuyen en las superficies, llegando a un equilibrio como se muestra en la Figura 4. En cada placa, hay igual cantidad de carga pero de signo contrario. La diferencia de potencial V que existe entre las dos placas conductoras es proporcional a la carga Q que hay en cada placa (medido en *Coulomb*). Esto se expresa de la forma:

$$Q = C * V \tag{2}$$

Donde C es la constante de proporcionalidad llamada *capacitancia*. Esta constante depende de las características del capacitor (la superficie de las placas, la distancia de separación y el material entre las mismas). La unidad de la capacitancia es el *faradio* (ec. 3).

$$Faradio = Coulomb/Volt \tag{3}$$

Para estudiar las propiedades de un capacitor, se puede armar el circuito que se muestra en la Figura 5.

Cuando la llave conecta a la fuente (en posición (1), Fig. 5) ecuación de mallas para el circuito puede escribirse de la siguiente forma:

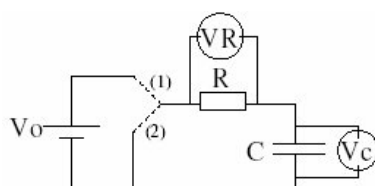


Fig. 5: Circuito RC. Dos posibles configuraciones: (1) conectado a la fuente de tensión, y (2) al desconectar la fuente. V_R y V_C indican las mediciones de diferencia de potencial sobre cada uno de los elementos.

$$V_0 = V_C + V_R \quad (4)$$

donde V_C es la diferencia de potencial sobre el capacitor y V_R es la diferencia de potencial sobre la resistencia. Reemplazando V_C con la ec. rc y V_R con la Ley de Ohm se obtiene:

$$V_0 = \frac{Q}{C} + R \cdot I \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que la corriente I es el caudal de carga, se puede escribir la siguiente ecuación diferencial ordinaria para la carga,

$$V_0 = \frac{Q}{C} + R \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (6)$$

Para hallar la solución a esta ecuación se plantea por un lado la solución particular:

$$Q_p = C \cdot V_0 \quad (7)$$

Y la solución homogénea:

$$Q_h(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (8)$$

Entonces,

$$Q(t) = Q_p + Q_h(t) = C \cdot V_0 + A \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (9)$$

Donde $\tau = R \cdot C$ se denomina el *tiempo característico* del circuito RC. Tomando como condición inicial que la llave se hallaba en posición (2) (Fig. 5), o sea $Q(t = 0) = 0$ ("capacitor descargado"), se obtiene:

$$Q(t) = C \cdot V_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) \quad (10)$$

Utilizando nuevamente la ec. 2 obtenemos una expresión para la diferencia de potencial sobre el capacitor en función del tiempo, durante la carga del capacitor:

$$V_C(t) = V_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) \quad (11)$$

Por otra parte, reemplazando esta expresión para V_C en la ec. 4 se puede obtener una expresión también para V_R , durante la carga del capacitor:

$$V_R(t) = V_0 - V_C = V_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (12)$$

Estas ecuaciones representan la evolución temporal de la diferencia de potencial sobre la resistencia y el capacitor cuando el capacitor estaba inicialmente descargado, se lo conecta a la fuente y se carga ²

Este circuito tiene particular importancia en biología porque se utiliza para modelar la membrana celular (Ver Apéndice).

Es importante destacar que si bien las soluciones halladas dependen del tiempo, tienen un comportamiento tal que a tiempos largos llegan a un equilibrio. Ese equilibrio se denomina *estado estacionario*, mientras que el tiempo que transcurre hasta alcanzar ese estado, se denomina *estado transitorio*. En la práctica anterior, donde se estudió la Ley de Ohm, se midió la corriente y la diferencia de potencial en un circuito en estado estacionario, es decir que no había que preocuparse por lo que pasaba cuando se cerraba una llave sino que se asumía que por el circuito instantáneamente circula una corriente igual a la medida o simplemente que se medía lejos del momento en que se encendía la llave (a tiempos en los cuales el sistema se encontraba en un estado estacionario). Ahora se espera ver que pasa a tiempos cortos o cercanos al momento en que se enciende o se apaga una llave, intentando estudiar como varía la carga en función del tiempo ($Q(t)$) en el capacitor durante los procesos de carga y de descarga del mismo. ¿Qué son tiempos cortos y tiempos largos? ¿Cuáles son las condiciones del circuito en estado estacionario?

El objetivo de la presente práctica es entonces estudiar el comportamiento no estacionario (transitorio) de un circuito compuesto por un capacitor y una resistencia; y determinar la constante τ del circuito.

2.2 Actividades

Para estudiar la dinámica del circuito se propone armar el dispositivo de la Fig. 5 para estudiar las transiciones de la configuración 1 a la 2 y viceversa; es decir, conectando y desconectando el circuito a la batería.

2.2.1 Fuente

Para no tener que utilizar una llave manual para cambiar de configuración, que además puede introducir ruido, se puede utilizar un generador de ondas con perfil cuadrado de base cero y voltaje máximo (con eso imita la llave).

Elija una frecuencia para la onda de manera tal que vea todo el comportamiento de carga y descarga del circuito. Cuando se emplea una onda cuadrada la fuente nos entrega una tensión fija V_0 (equivale a la conexión (1) de Fig. 5) durante un intervalo de tiempo relacionado con la frecuencia seleccionada, y en el intervalo de tiempo siguiente, entrega una tensión aprox. nula (equivale a la conexión (2) de Fig. 5). Entonces, el intervalo en que la onda cuadrada está en un estado debe ser suficientemente largo como para permitir llegar al estacionario antes de cambiar de configuración.

²Tarea para el hogar: Resolver el caso en el que el capacitor estaba originalmente cargado y se descarga. Ayuda: La ec. 4 se escribe $0 = V_C + V_R$ porque la fuente no está conectada y la condición inicial es $Q(t=0) = C \cdot V_0$ porque la fuente está inicialmente conectada.

2.2.2 Mediciones

A diferencia de la práctica de Ley de Ohm, en este caso se esperan obtener mediciones continuas. Para ello se utilizará el SensorDAQ con dos puntas sobre nodos del circuitos.

Al utilizar el generador de funciones, una de las puntas está conectada a la *tierra* (la tercer pata de cualquier enchufe), que es la misma que la *tierra* del SensorDAQ. Es decir, que ambas puntas (del generador y del SensorDAQ) están conectadas por fuera del circuito, por lo que si se conectan a distintos nodos una parte del circuito quedará aislada ("cortocircuitada" por la tierra). Discutir con el docente la función de la referencia de tierra en el laboratorio. ¿Qué significa "conectar a tierra"? ¿a dónde va la "tercera pata del enchufe"?

2.2.3 Medidas

Realizar la experiencia para un R y C dado, midiendo la carga y la descarga, y determinando a partir de ajustes de las curvas ³ la constante τ . A su vez, determinar este valor de forma independiente a través de mediciones directas de R y C con el multímetro y comparar. Repetir la experiencia para otros valores de R y C .

IMPORTANTE! Una conexión incorrecta puede causar cortocircuitos involuntarios y dañar el instrumental. Verifique la conexión del circuito con el docente antes de encender la fuente de tensión.

2.3 Apéndices

2.3.1 Analogía del circuito RC con membranas biológicas

En base a circuitos eléctricos con los elementos que si vieron en la práctica anterior -como resistencias y diodos- se pueden modelar una gran cantidad de fenómenos relacionados a sistemas de irrigación. Pero el caso del circuito RC es paradigmático en cuanto a la aplicación de un circuito (y una analogía) sencillo para modelar un fenómeno biológico. El fenómeno en cuestión es la membrana celular y le valió el premio nobel a John Eccles, Alan L. Hodgkin y Andrew F. Huxley en 1963. En su trabajo desarrollaron los mecanismos iónicos de la excitación e inhibición sináptica y conducción señales a través del axón, lo cual sentó las bases de la neurofisiología actual.

En primer lugar, debe considerarse a la bicapa lipídica como un capacitor que separa a las cargas diluidas en el medio externo e interno de la célula, por un medio dieléctrico (lípidos). Luego, los canales iónicos que la atraviesan funcionan como conductores con una resistencia (o permeabilidad) específica para un ion. Y a su vez, existen fuentes que representan el potencial de equilibrio de Nerst de cada ion. Esto puede verse la Fig. 6 tomada de la presentación del Nobel de Eccles [1].

Este modelo puede extenderse condiserando no sólo todos los canales al mismo tiempo (en vez de una sola resistencia equivalente), si no lo que se llaman canales activos que dan lugar al potencial de acción como se muestra en la Fig. 7 (simbolizados con resistencias cruzadas por una flecha) en un modelo no mucho más complejo [2].

³Linealizando y realizando un ajuste lineal.

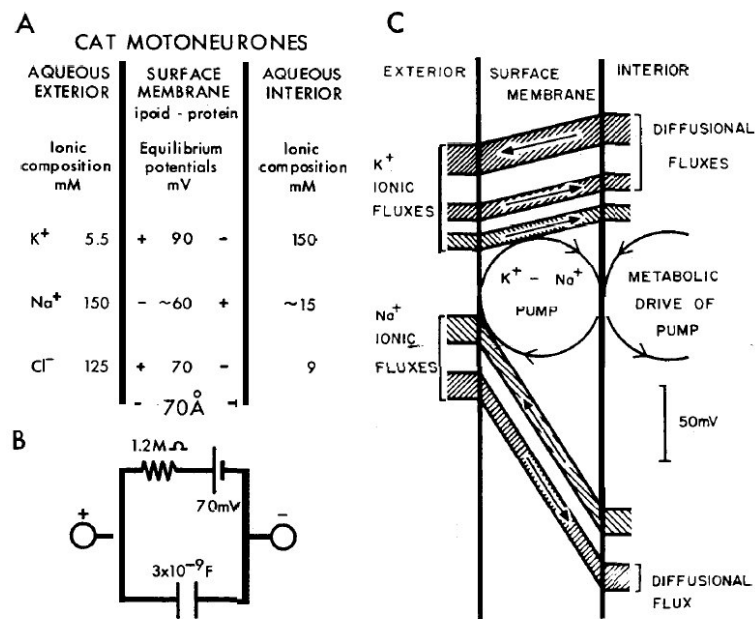


Fig. 6: Circuito equivalente de membrana para motoneuronas de gato. (A) Concentraciones intra- y extra-celulares aproximadas para los distintos iones y sus correspondientes potenciales de equilibrio, (B) Circuito equivalente de membrana, y (C) Diagrama de los flujos a través de la membrana.

2.3.2 Unidades

Diferencia de Potencial o Voltaje o Tensión = Volts (V)

Carga = Coulomb (C)

Intensidad de Corriente = Ampere (A) = C/seg

Resistencia = Ω

Capacitancia = Faradio (F) = C/V

References

- [1] John Eccles, *The Ionic Mechanism of Postsynaptic Inhibition*, Nobel Lecture in Physiology or Medicine, 1963 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1963/eccles-lecture.pdf
- [2] Andrew F. Huxley, *The Quantitative Analysis of Excitation and Conduction in Nerve*, Nobel Lecture in Physiology or Medicine, 1963 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1963/huxley-lecture.pdf

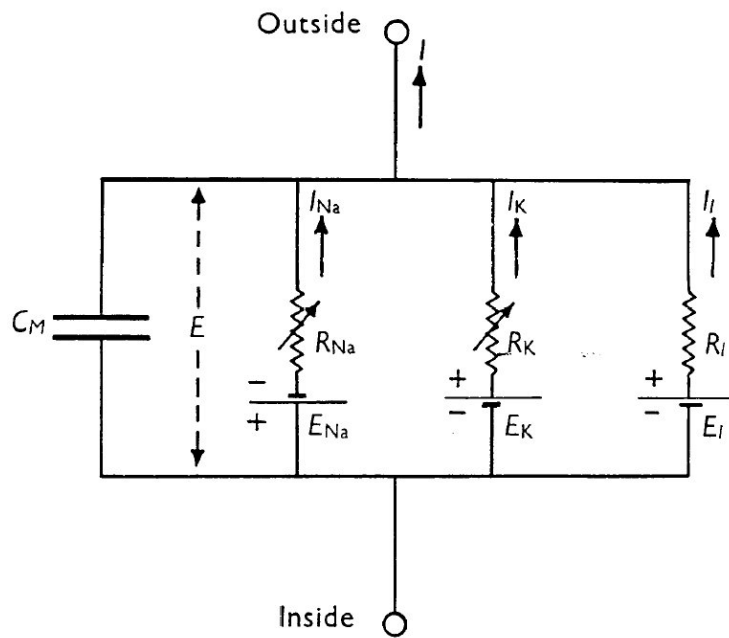


Fig. 7: Circuito equivalente de membrana para el axon gigante del calamar.