

Física 3: Electricidad y Magnetismo

Pablo Dmitruk

Clase 12

Fuerza electromotriz (f.e.m.)

Supongamos trasladamos una cierta cantidad de carga δq en presencia de un campo eléctrico, desde un punto A a un punto B

→ hacemos trabajo contra el campo eléctrico $\delta W = -\delta W_E = -\delta q \int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}}$

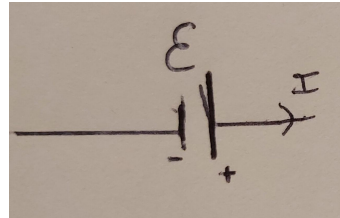
Este trabajo lo hacemos en general por algún método no-eléctrico: puede ser químico ([baterías](#)) o mecánico ([generador de van der Graaff](#)).

Llamamos f.e.m. (“*fuerza electromotriz*”) al trabajo por unidad de carga, $\varepsilon = \frac{\delta W}{\delta q} = - \int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}}$

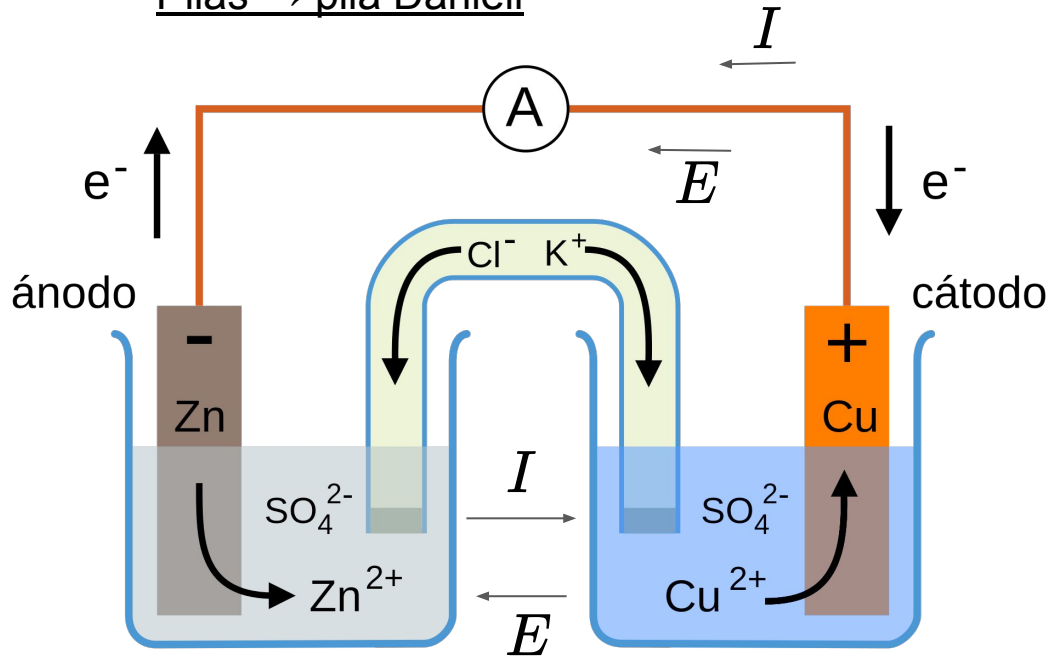
Este trabajo lo podemos realizar para mantener una diferencia de potencial a circuito abierto o para establecer una corriente eléctrica en un circuito cerrado.

$$[\varepsilon] = \frac{J}{C} = V$$

La simbolizamos así



Pilas → pila Daniell



Se genera una diferencia de potencial con una reacción química → en el **ánodo** (el borne negativo de la pila) ocurre una reacción llamada **oxidación** ($\text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$), mientras que en el **cátodo** (el borne positivo de la pila) ocurre una reacción llamada **reducción** ($\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$).

Si conectamos los bornes con un cable externo, los electrones van del borne negativo (ánodo) hacia el borne positivo (cátodo) dando una corriente externa I que va del cátodo al ánodo, a favor del campo eléctrico.

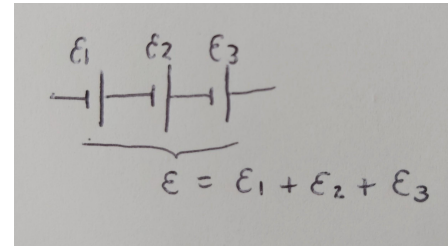
Por dentro de la pila, en el *punte salino* con cloruro de potasio, los iones negativos (Cl^-) van hacia el ánodo y los iones positivos (K^+) van hacia el cátodo. La corriente I por dentro de la pila entonces va desde el ánodo al cátodo, en contra del campo eléctrico. Este proceso interno es no-eléctrico y se hace trabajo contra el campo eléctrico, es decir, hay una f.e.m.

$$\varepsilon = - \int_A^C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = V_C - V_A$$

Otras tipo de diseño es con una membrana porosa y allí los iones sulfato (-) son los que conducen por dentro de la pila.

La pila Daniell entrega aproximadamente un voltaje de 1V. Las pilas comerciales de 1.5V son de tipo zinc-carbono.

Se pueden poner varias pilas en serie para aumentar el voltaje:



Así se hace por ejemplo en una batería de auto (hechas con plomo, óxido de plomo y ácido sulfúrico)

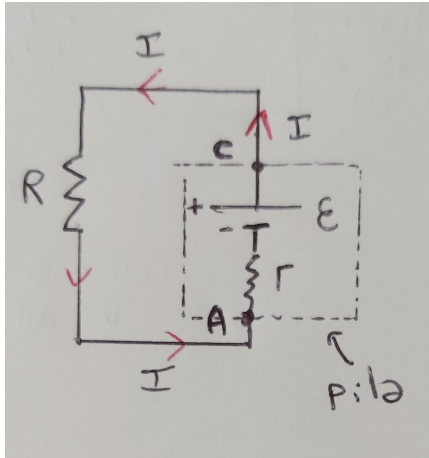


<https://www.youtube.com/watch?v=Arzhn9kkqcw>

Hay otros tipos de baterías, como las de [Ni-Cd](#), [NiMH](#) y las de [Li-Ion](#) todas de tipo *recargable* (se recargan conectándolas a una fuente externa y haciendo circular la corriente en forma inversa, es decir, del cátodo al ánodo en la parte interna de la pila).

En las pilas, en tanto se mantengan las reacciones químicas, existe una diferencia de potencial entre cátodo y ánodo, $\Delta V = V_C - V_A$, que puede ser utilizada para producir una corriente externa (que irá del cátodo + al ánodo -), si cerramos el circuito con una resistencia R exterior (llamada “carga”).

Pero si consideramos que la pila puede tener una resistencia interna r, al establecerse una corriente I en el circuito, en la pila habrá una caída de potencial adicional por la resistencia interna.



Por la ley de Ohm tenemos,

$$\varepsilon = I (R + r)$$

$$\varepsilon - I r = I R = V_C - V_A = \Delta V$$

Es decir que al existir una corriente, la pila, debido a su resistencia interna, entrega una diferencia de potencial entre cátodo y ánodo levemente menor.

De Ohm $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

Si $R \rightarrow 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r} = I_{max}$ (caso de “cortocircuito”)

Si $R \rightarrow \infty \Rightarrow I = 0$ y $\varepsilon = \Delta V$ (caso de “circuito abierto”)

Ley de Joule: potencia en la conducción de corriente

Si una cantidad de carga dq se mueve en un campo eléctrico $\vec{\mathbf{E}}$ entre dos puntos A y B, el trabajo realizado por el campo es

$$dW_E = dq \int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = dq (V_A - V_B)$$

La **potencia** entregada será entonces,

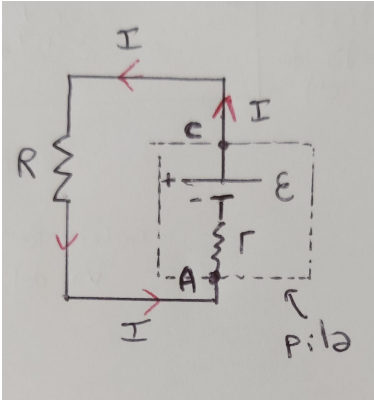
$$P = \frac{dW_E}{dt} = \frac{dq}{dt} (V_A - V_B) = I (V_A - V_B) = I \Delta V$$

Si en el conductor (o elemento) vale además la ley de Ohm, $\Delta V = I R \Rightarrow P = I^2 R$

La ecuación $P = I^2 R$ la podemos interpretar como la potencia disipada (en forma de calor) en la resistencia R cuando circula una corriente I y se conoce como la **Ley de Joule**.

La potencia se mide en **Watts (W)**.

Estudiamos la potencia cuando conectamos una pila (con resistencia interna r),

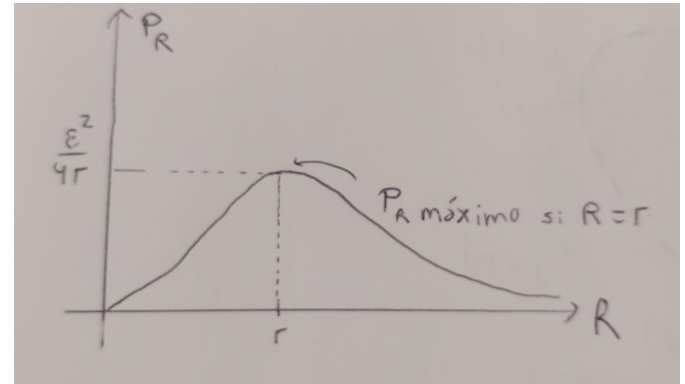


$$P = I^2(R + r) = I I (R + r) = I \varepsilon$$

Decimos que $I \varepsilon$ es la potencia entregada por la pila.

Se llama la “*potencia transferida a la carga*” a $P_R = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$

La potencia transferida es máxima cuando $R = r$



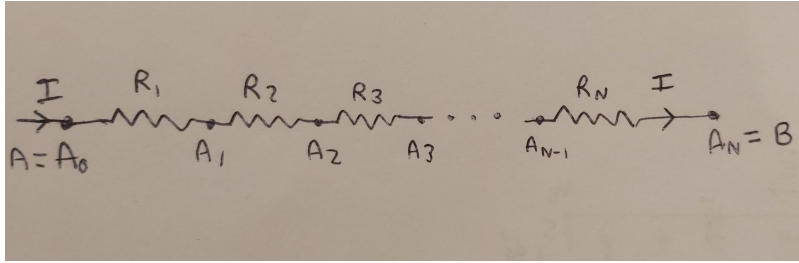
Si cortocircuitamos la batería ($R=0$) vemos que la corriente que circula es máxima $I_{max} = \varepsilon/r$ y la potencia se disipa toda en la batería $P = \frac{\varepsilon^2}{r}$ y la batería se puede recalentar \rightarrow ojo !

Aunque puede servir para hacer un “*fuego de supervivencia*”....

<https://www.youtube.com/watch?v=4aUqWzX7Fa4>

Conexiones simples de resistencias

En serie:



$$V(A_0) - V(A_1) = I R_1$$

$$V(A_1) - V(A_2) = I R_2$$

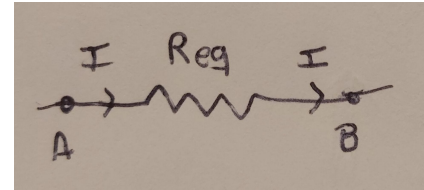
$$V(A_2) - V(A_3) = I R_3$$

...

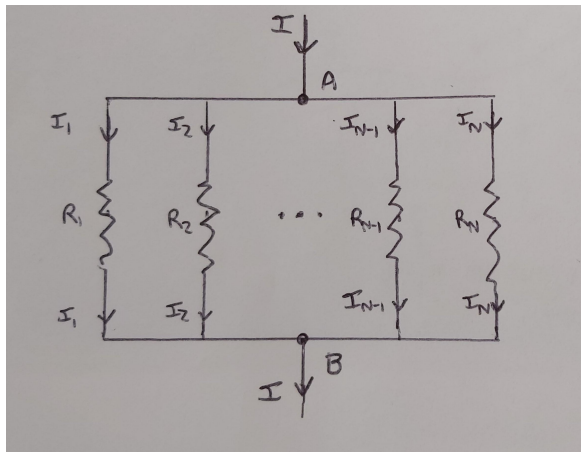
$$V(A_{N-1}) - V(A_N) = I R_N$$

sumando $\Rightarrow V(A_0) - V(A_N) = I \sum_{k=1}^N R_k$

$$\Rightarrow V(A) - V(B) = I R_{eq}, \text{ con } R_{eq} = \sum_{k=1}^N R_k$$



En paralelo:



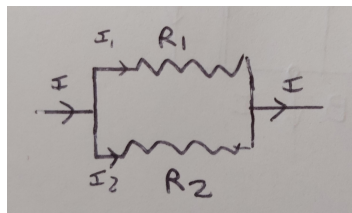
$$V(A) - V(B) = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \dots = I_N R_N \Rightarrow I_k = \frac{V(A) - V(B)}{R_k}$$

Por conservación de la carga (corrientes estacionarias),

$$I = \sum_{k=1}^N I_k \Rightarrow I = \sum_{k=1}^N \frac{V(A) - V(B)}{R_k} = [V(A) - V(B)] \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k}$$

$$\Rightarrow V(A) - V(B) = I R_{eq} , \text{ con } R_{eq} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k}}$$

Para el caso de dos resistencias en paralelo $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} < R_1, R_2$



$$\text{Si } R_1 = R_2 = R \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{2}$$

