

# Voltaje

## Conocimiento previo \_\_\_\_\_

Para comprender el voltaje o diferencia de potencial (ddp), antes hay que tener claro que se entiende en Física por **trabajo de una fuerza**. Para empezar, es un efecto que producen las fuerzas siempre que se cumplan ciertas condiciones, es decir, no todas las fuerzas realizan trabajo. Lo otro a tener presente, es que el trabajo establece una relación entre las fuerzas y la energía.

Diremos que una fuerza realiza trabajo si:

- desplaza cierta distancia a un cuerpo, o lo que es equivalente;
- aumenta o disminuye el **módulo** de la velocidad del cuerpo. Esto último conecta con la energía cinética del cuerpo, ya que al aumentar o disminuir el módulo de la velocidad del cuerpo, aumenta o disminuye su energía cinética proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad.

Por lo tanto, no realizan trabajo las fuerzas que no producen desplazamiento, o equivalentemente, no cambian el módulo de la velocidad.

Dado que el vector velocidad está en la dirección y en el sentido del desplazamiento del cuerpo, se deduce que las fuerzas que realizan trabajo son la que están en la dirección de la velocidad, o, al menos, tienen una componente en la dirección de la velocidad.

Más aun, el trabajo de una fuerza puede asumir valores positivos o negativos: si el ángulo entre el vector velocidad y el vector fuerza es...

- nulo o agudo, el trabajo es positivo (la fuerza acelera al cuerpo, pues está a “favor” de la velocidad; los vectores tienen igual sentido);
- obtuso o llano, el trabajo es negativo (la fuerza frena al cuerpo, pues está en “contra” de la velocidad; los vectores tienen sentidos contrarios).

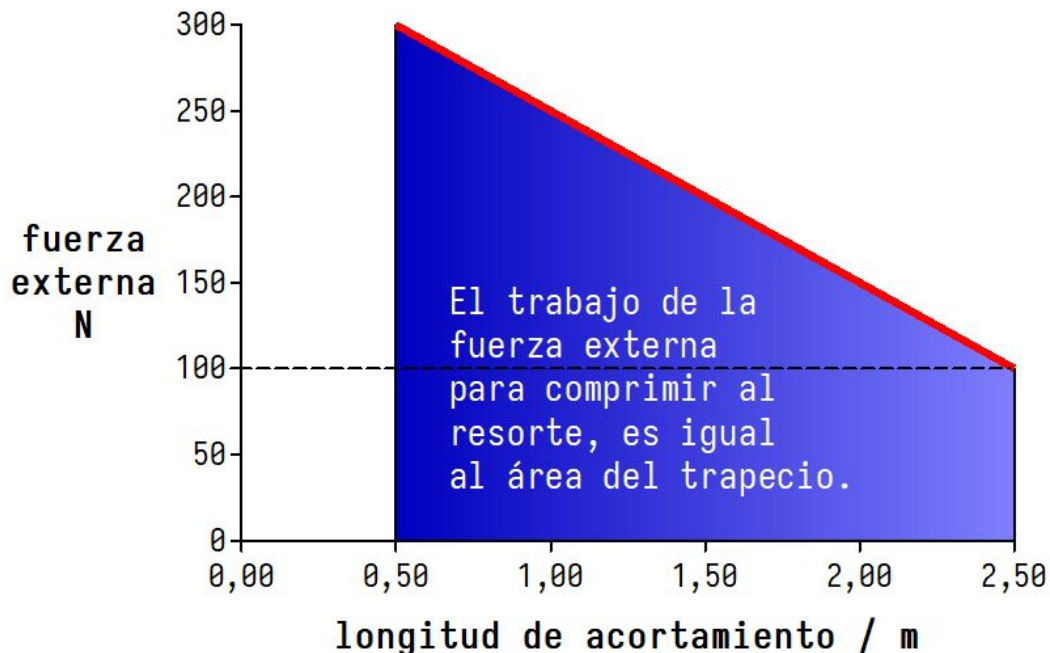
¿Y si el ángulo entre la fuerza y la velocidad es recto? **En tal caso, la fuerza no contribuye a desplazar al cuerpo, y por ende la fuerza no realiza trabajo**, otra manera de darnos cuenta si una fuerza realiza o no trabajo.

## Trabajo de la fuerza de un resorte (y de la externa)

Supongamos ahora que tenemos un resorte muuuuuuy largo. Su extremo izquierdo está unido a una bola grande y pesada, y su extremo derecho a una bolita liviana.



Al aplicar una fuerza externa ( $\vec{F}_{\text{ext}}$ ) a la bolita para comprimir el resorte, éste “reacciona” con una fuerza igual contraria ( $\vec{F}_{\text{res}}$ ). Al **desplazar** la bolita, la fuerza externa realiza un trabajo, pero al irse acortando la longitud del resorte, la fuerza del “resorte” se hace más intensa, lo que obliga a su vez a intensificar la fuerza externa. En definitiva, a medida que se comprime el resorte por acción de la fuerza externa, la intensidad (módulo) de la fuerza debe aumentar. Si este resorte cumple con la **ley de Hooke**, la intensidad de la fuerza externa **aumenta proporcionalmente con la longitud de acortamiento** del resorte, es decir: la gráfica intensidad de la fuerza vs longitud de acortamiento tiene la siguiente “forma<sup>1</sup>”



Debajo de la curva (línea roja) se forma un trapecio. El área del trapecio<sup>2</sup> es igual al trabajo realizado por la fuerza externa para desplazar<sup>3</sup> a la bolita desde los 2,50 m hasta los 0,50 m (ver gráfica). Más aun, el trabajo ( $W$ ) realizado por la fuerza externa, representa la **energía potencial elástica ganada** ( $\Delta U_{\text{ela}}$ ) por la bolita (y el resorte), es decir:

$$W = \Delta U_{\text{ela}}$$

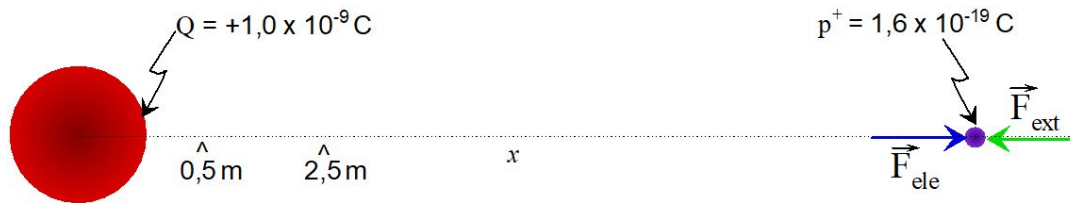
<sup>1</sup> Cuando la bolita se desplaza desde los 2,50 m hasta los 0,50 m, ya que el resorte se **comprime**.

<sup>2</sup> Notar que el trapecio está formado por un rectángulo y un triángulo rectángulo, dos figuras cuyas áreas se pueden calcular fácilmente.

<sup>3</sup> Y por tanto, acortar la longitud del resorte.

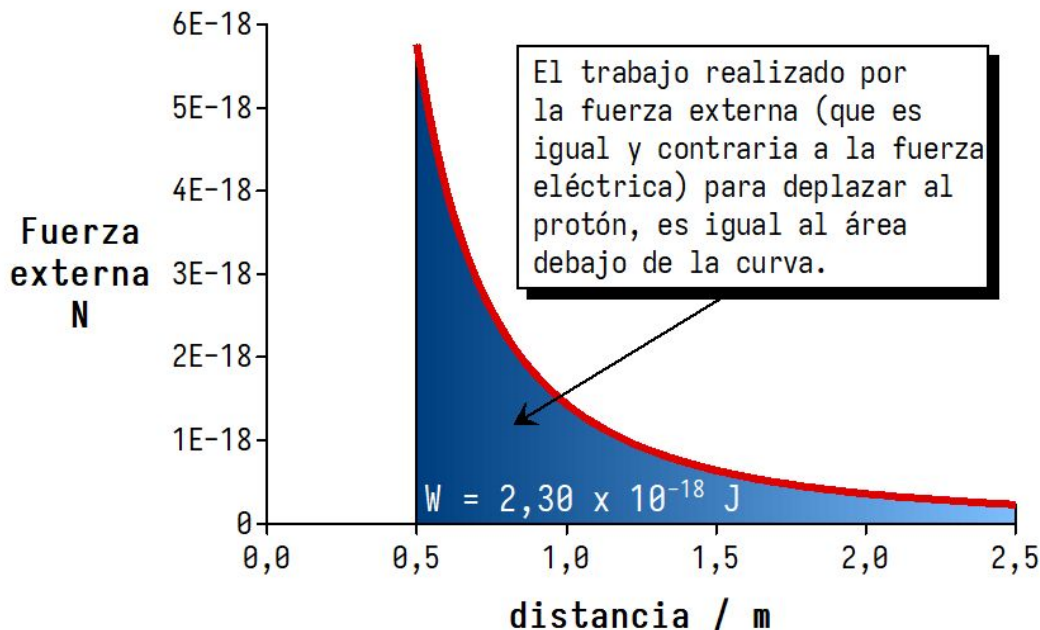
## Trabajo de una fuerza eléctrica (y de la externa)

Consideremos ahora una carga puntual positiva  $Q = 1,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ . Muuuuuy lejos de ahí, se sitúa un protón cuya carga eléctrica es  $p^+ = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ . Notar que la carga  $Q$  es iii6250 millones de veces mayor que la carga del protón!!!



Ademas, como ambas cargas son positivas, las fuerzas entre ellas serán de repulsión. Al principio, cuando el protón esta muuuuuuy lejos de la carga  $Q$ , la fuerza de repulsión aplicada sobre el protón es extremadamente débil, porque el campo eléctrico también ahí es extremadamente débil (recordar que la fuerzas eléctricas dependen de los campos eléctricos).

Ahora supongamos que se aplica una fuerza externa sobre el protón, con tal de acortar la distancia con la carga puntual  $Q$ . A medida que el protón se acerca a  $Q$ , la fuerza de repulsión cada vez se hace más intensa, lo que a su vez obliga a la fuerza externa hacerse también más intensa<sup>4</sup> (igual a la fuerza de repulsión). En el caso de estas fuerza eléctrica, sus intensidades no son de “proporcionalidad<sup>5</sup>” como en el caso del resorte, sino que varían con el **inverso del cuadrado de la distancia**. La gráfica que figura a continuación, muestra como varía la intensidad de la fuerza externa<sup>6</sup> (curva roja), cuando el protón se acerca a la carga puntual  $Q$  (donde se sitúa el “cero metro”) desde los  $2,50 \text{ m}$  hasta los  $0,50 \text{ m}$ .



Como la fuerza externa **desplaza** al protón, realiza un trabajo. El trabajo ( $W$ ) realizado por la fuerza externa es igual al área que queda debajo de la curva (roja), y a su vez, este trabajo es

<sup>4</sup>Similarmente a lo que ocurría cuando se desplazaba la bolita para comprimir el resorte.

<sup>5</sup>No es una proporcionalidad directa, pues la gráfica no pasa por el origen de coordenadas (ver gráfica anterior).

<sup>6</sup>Y la de la fuerza eléctrica.

igual a la variación de energía potencial eléctrica ( $\Delta U_{\text{ele}}$ ) **del protón en el campo eléctrico de la carga puntual  $Q$** , es decir:

$$W = \Delta U_{\text{ele}}$$

En el ejemplo que estamos considerando, el trabajo realizado por la fuerza externa, para desplazar al protón dentro del campo eléctrico de  $Q$ , desde los 2,50 m hasta los 0,50 m (el protón se acerca a  $Q$ ), es  $W = 2,30 \times 10^{-18}$  J, y por lo tanto se cumple que:

$$\Delta U_{\text{ele}} = W = 2,30 \times 10^{-18} \text{ J}$$

es decir: el protón ganó  $2,30 \times 10^{-18}$  J de energía potencial eléctrica, al moverse entre esos dos puntos del campo eléctrico debido a  $Q$ .

Voltaje (o diferencia de potencial) \_\_\_\_\_

El voltaje o diferencia de potencial ( $\Delta V$ ), es una **característica energética del campo eléctrico**<sup>7</sup>, y se relaciona con la variación de la energía potencial eléctrica ( $\Delta U_{\text{ele}}$ )<sup>8</sup> de la carga eléctrica  $q$ , cuando se desplaza entre dos puntos del campo eléctrico de  $Q$ , por la ecuación:

$$\Delta V = \frac{\Delta U_{\text{ele}}}{q}$$

En el ejemplo anterior,  $\Delta U_{\text{ele}} = 2,30 \times 10^{-18}$  J, y la carga del protón es  $q = 1,6 \times 10^{-19}$  C, y por lo tanto:

$$\Delta V = \frac{\Delta U_{\text{ele}}}{q} = \frac{2,30 \times 10^{-18} \text{ J}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} \cong 14,4 \text{ V}$$

que es el voltaje (en este ejemplo) entre los puntos situados a las distancias de 0,50 m y 2,50 m, respecto a la carga puntual  $Q$ .

Notar que la ecuación anterior se puede escribir equivalentemente como:

$$\Delta U_{\text{ele}} = q \cdot \Delta V$$

Una propiedad que tienen las equipotenciales<sup>9</sup>, es que **el voltaje entre cualquier par de puntos pertenecientes a la misma equipotencial es cero** ( $\Delta V = 0$ ). Entonces, se deduce de la ecuación anterior, que si la carga  $q$  se mueve dentro de una misma equipotencial, no gana ni pierde energía potencial eléctrica ( $\Delta U_{\text{ele}} = 0$ ), es decir, **su energía potencial eléctrica permanece constante** ( $U_{\text{ele}} = \text{cte}$ ). Para que la carga  $q$  gane o pierda energía potencial eléctrica, debe moverse entre distintas equipotenciales del campo eléctrico.

<sup>7</sup>El campo eléctrico para poder existir debe tener cierta energía.

<sup>8</sup>Hablando en general,  $\Delta U_{\text{ele}}$  representa la **variación** de energía potencial eléctrica, ya sea “ganada” o “perdida” por cierta carga eléctrica  $q$ , cuando se desplaza entre dos puntos dentro de un campo eléctrico generado por  $Q$ .

<sup>9</sup>Lineas equipotenciales si estamos en un plano, y superficies equipotenciales si estamos en el espacio, aunque, en honor a la verdad, siempre se trata de superficies equipotenciales.