

## Tema 5: Corriente Eléctrica

¿Qué vamos a ver este tema?

1. Introducción

2. ¿Qué es la intensidad y densidad de corriente?

3. La ecuación de continuidad

4. Conductividad y fuerza motriz

5. La Ley de Ohm. Resistencia.

6. La Ley de Joule.

7. Las leyes de Kirchhoff.

1

### Introducción

En continuación de nuestro estudio del ámbito electrostático de la Física (Tema 4), abordamos en este tema con profundidad el comportamiento de los conductores, en presencia de un campo eléctrico externo, en los instantes previos al alcance del estado estático (lo vimos en el tema anterior, apartado 7, conductores).

Estudiaremos el movimiento de las cargas libres de una perspectiva general, con vista a una posterior profundización y consecuente conclusión sobre el estado estacionario (las cargas se mueven sin que las propiedades varíen con el tiempo).

En temas posteriores, estudiaremos el efecto que producen las corrientes (Spoiler: campos magnéticos).

2

### Intensidad y densidad de corriente

Por norma general, existirán corrientes de carga cuando existan cargas en movimiento. Asumimos que en los conductores se mueven varios tipos de cargas, aunque con el avance del tema nos centremos en conductores con un solo tipo de carga útil, los electrones.

La **Intensidad de Corriente** es la cantidad de carga que atraviesa una determinada superficie por unidad de tiempo.

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

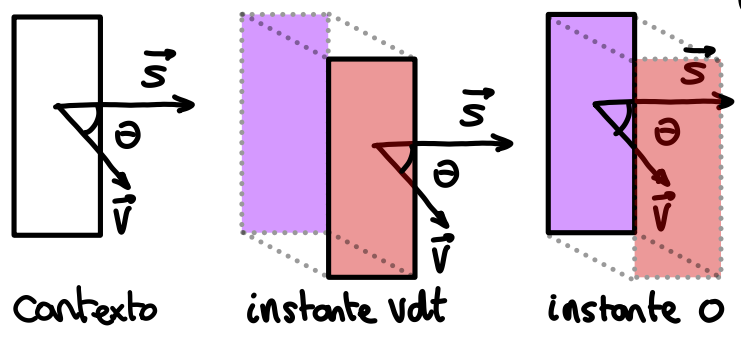
→ cogemos trozos infinitesimales de tiempo por la variación de cargas por instante.  
→ la superficie está implícita.

Esta asunción será fundamental ahora mismo para comprender a lo grande el concepto de Intensidad

La intensidad se mide en Amperios (Culombio/segundo)

Esta definición es cierta para corrientes lineales. Para las corrientes volúmicas o superficiales necesitamos saber más detalles. Empecemos con la volúmica:

Una carga libre se mueve con una determinada velocidad  $\vec{v}$ , atraviesa una superficie  $d\vec{S}$  en un tiempo  $dt$ . Para saber la carga, tenemos que saber la situación de la carga en un instante y transcurrido un tiempo  $dt$ . La partícula



ha recorrido el volumen, entre el rectángulo Rojo y Morado,  $dV = \vec{v} \cdot d\vec{S} dt$ . El volumen se calcula como BASE x ALTURA, siendo la base  $dS$  y la altura  $vdt \cos(\theta)$ , con  $\theta$  el ángulo de  $\vec{S}$  y  $\vec{v}$ , teniendo en cuenta que  $\vec{S}$  y  $\vec{v}$  formen un ángulo tal que  $dV > 0$ .

En términos generales, habrá una densidad de cargas libres por unidad de volumen  $n$ . Como suponemos que las cargas son iguales y de valor  $q$ , existirá una densidad volúmica de cargas libres  $\rho_v = q \cdot n$ .

Por tanto, la cantidad de carga que atraviesa una superficie  $d\vec{S}$  en un tiempo  $dt$ , correspondiéndose a un volumen  $dV$  por la densidad de cargas libres  $\rho_v$ , será:

$$dq = \rho_v dV = \rho_v \vec{v} \cdot d\vec{S} dt$$

Si la superficie no es diferencial, habrá que dividirla en trozos diferenciales y sumar las cargas que atraviesan cada pequeño trozo:

$$dq = \int_S \rho_v \vec{v} \cdot d\vec{S} dt \iff \frac{dq}{dt} = \int_S \rho_v \cdot \vec{v} d\vec{S} = I$$

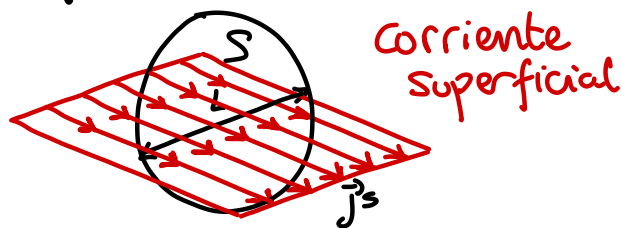
Definimos  $\vec{j}_v$  como el vector intensidad de corriente:  $\vec{j}_v = \rho_v \vec{v}$ , reescribiendo la integral como:  $I = \int_S \vec{j}_v d\vec{S}$

En el caso de las cargas desplazándose por una superficie, la integral se reescribe como  $I = \int_L \vec{j}_s d\vec{l}$ , donde  $\vec{j}_s = \rho_s \vec{v}$ .

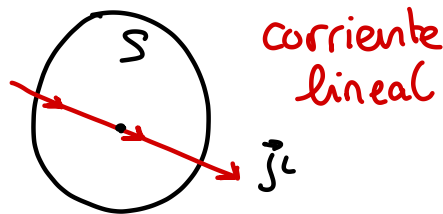
↑ amperio/metro<sup>2</sup>  
amperio/metro

Finalmente, para el caso de corrientes lineales, la intensidad será  $|\mathbf{I}| = |\mathbf{j}_L|$ , con

$$\mathbf{j}_L = \rho_L \mathbf{v}$$



Corriente superficial



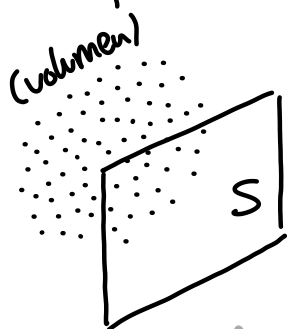
Corriente lineal

3

### Ecuación de continuidad

WTF?

La ecuación de continuidad es consecuencia del hecho que las cargas se conservan. Cuando una carga entra a una porción de volumen limitada por una superficie, el flujo de corriente a través de la superficie cerrada que define el volumen de carga que entra por unidad de tiempo aumenta: ★



$$\oint_S \mathbf{j}_v \cdot d\mathbf{S} = -\frac{dq}{dt}$$

negativo cuando entra, positivo cuando sale.

es el aumento de carga que ha habido.

Otra forma de escribir la ecuación de continuidad es haciendo uso de una carga libre en un determinado volumen:

$$q = \int_V \rho_v(\mathbf{r}, t) dV \Leftrightarrow \oint_S \mathbf{j}_v \cdot d\mathbf{S} = -\frac{d}{dt} \left( \int_V \rho_v(\mathbf{r}, t) dV \right) = -\int_V \frac{\partial \rho_v}{\partial t} dV,$$

donde V es el que encierra S.

### CONTINUIDAD EN CORRIENTES ESTACIONARIAS

"En este tema estamos ESPECIALMENTE interesados en las corrientes estacionarias". Son aquellas en las que las condiciones no varían con el tiempo, por lo que la ecuación ★ queda como  $\oint_S \mathbf{j}_v d\mathbf{S} = 0$ . No se acumula carga neta porque las variables varían con el tiempo y no se tendría una corriente estacionaria.

En una región del espacio circula una corriente, cuya velocidad tiene una dirección paralela a las paredes. Se denomina tubo de corriente, y si tomamos dos puntos cualesquiera de la región, las corrientes serán iguales.

4

### CONDUCTIVIDAD Y FUERZA ELECTROMOTRIZ

#### CONDUCTIVIDAD

Un conductor sometido a un campo eléctrico  $\vec{E}$  hará que sus partículas se muevan debido a la fuerza que sufren  $\vec{F} = q\vec{E}$ .

Las partículas llegan rápidamente a tener estado estacionario debido a la presencia de una resistencia intrínseca del material del conductor.

Esta resistencia será proporcional a la velocidad de las partículas:  $\vec{F}_r = -b\vec{v}$ .

En estas situaciones se alcanza la velocidad límite, es decir,  $\vec{F} = -\vec{F}_r$ :

$$v_{\text{lim}} = \frac{qE}{b}$$

Una vez alcanzado el estado estacionario, la velocidad será proporcional al campo eléctrico. Con  $\vec{j}_v = \rho_v \vec{v}$ , entonces  $\vec{j}_v = \sigma \vec{E}$ , donde  $\sigma$  es la conductividad, que se mide en siemens/metro.

Es la inversa de la ley de Ohm, en formato vectorial. No todos los conductores son Ohmicos.

La resistividad se define como la inversa de la conductividad:  $\frac{1}{\sigma}$  y dependerá del material y la temp.

## FUERZA ELECTROMOTRIZ

El movimiento de las cargas no es trivial. De hecho, no debería producirse siquiera. En un circuito cerrado, la circulación de campo necesaria será:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{\sigma} \oint_C \vec{j}_v \cdot d\vec{r} \quad \text{ó} \quad \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{\sigma} \oint_C \rho_v \vec{v} \cdot d\vec{r}$$

$\vec{v}$  y  $d\vec{r}$  tienen misma dirección y sentido y su producto es positivo, entonces  $\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} \neq 0$ , pero debería ser nula.

Esto significa que  $\vec{E}$  no es de naturaleza electrostática, o al menos no en su totalidad.

La ley de Lorentz (lo vemos en el próximo tema) sostiene que los campos tienen un componente conservativo  $\vec{E}^c$  y no conservativo  $\vec{E}^{nc}$ , siendo esta última aquella que permite mantener la corriente circulando en circuito cerrado.

la fuerza electromotriz (f.e.m.) produce el movimiento de las cargas a través de un camino cerrado  $C$  y se define como el trabajo por unidad de carga que una fuerza de origen no electrostático ejerce sobre las cargas en movimiento, teniendo que:

$$\mathcal{E}(\text{f.e.m.}) = \frac{W_{nc}}{q} = \oint_C \vec{E}_{nc} \cdot d\vec{r}$$

↙ se mide en voltios  
(no es una diferencia de potencial).

El campo  $\vec{E}_{nc}$  puede tener distinta naturaleza. Las fuentes más comunes son de origen electroquímico o consecuencia de la inducción magnética. En circuitos, las fuentes suelen ser los generadores.

5

### LA LEY DE OHM

La resistencia eléctrica se define para las regiones de circuitos en las que no existen campos no conservativos (generadores). La resistencia entre dos puntos de un conductor óhmico se define como:

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I} = \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}}{\int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}} = \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}}{\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}}$$

Siendo  $S$  la sección transversal de la resistencia y  $d\vec{S}$  apunta donde la intensidad de corriente.

La ley de Ohm se expresa como  $-\Delta V = RI$  en forma escalar.

6

### PÉRDIDA DE ENERGÍAS. LEY DE JOULE

El trabajo realizado por el campo eléctrico, al enfrentar la fuerza de rozamiento del material, para mantener las cargas en movimiento será igual al que se pierde por la fuerza de rozamiento.

El trabajo que realiza la fuerza eléctrica sobre una carga  $q$  para llevarla de  $A \rightarrow B$ , por fuera del generador, será:

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q \vec{E} \cdot d\vec{r} = q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = q(V_1 - V_2)$$

En situación estacionaria,  $q\vec{E} = b\vec{v}$ , entonces, el trabajo realizado por la  $\vec{F}_R$  será

el mismo de fuerza eléctrica, pero cambiado de signo. La energía de la  $\vec{F}_R$  se disipa en forma de calor:  $W_R = -q(V_1 - V_2)$ .

Si lo que mueve es una cantidad de carga  $dq$ , la energía perdida será:  
 $dW_R = -dq(V_1 - V_2)$ .

La potencia perdida en una corriente circulando entre dos puntos es:

$P_R = \frac{dW_R}{dt} = -\frac{dq}{dt}(V_1 - V_2) = -I(V_1 - V_2)$ , que será igual a  $-RI^2$  si el elemento es una resistencia.

7

## LEYES DE KIRCHHOFF

### PRIMERA LEY

Esta ley nos dice que la Intensidad que entra y la que sale de un nodo es la misma. Si en un nodo salen  $N$  ramas, entonces se verifica que:

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0$$

donde las intensidades que entran son positivas, y las que salen negativas.

👉 más ampliado en el libro (pag 187)

### SEGUNDA LEY

A partir de la conservación de la energía en una malla (trozo cerrado dentro de un circuito) por el que existe un rozamiento durante la conducción, utilizando la definición de f.e.m ( $\Delta E_K + q\Delta V = W^{nc} = W_R + q\mathcal{E}$ ) y la condición de corriente estacionarias ( $\Delta E_K = W_R$ ), se deduce que:

$$\sum_{i=1}^N \Delta V_i = \sum_{j=1}^M \mathcal{E}_j$$

donde  $\Delta V_i$  es la caída de potencial en el elemento  $i$  de la malla y  $\mathcal{E}_j$  la f.e.m del generador  $j$

👉 la suma de tensiones positivas en una malla debe igualarse a la suma de las tensiones negativas.

¿Algun comentario o sugerencia para mejorar este recurso?



SCAN ME