

# Física 3: Electricidad y Magnetismo

Pablo Dmitruk

Clase 6

## Conductores ideales

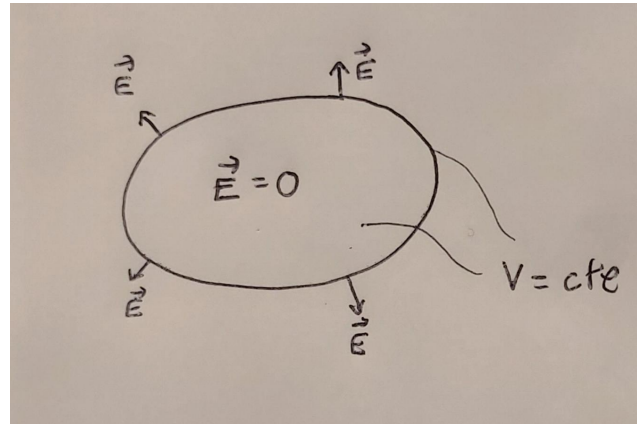
Un **conductor eléctrico** es un material, comúnmente **metálico**, que tiene **electrones “libres”** que pueden desplazarse en el material. Estos electrones son los más alejados del núcleo atómico del elemento, es decir los electrones en las capas más externas de cada átomo, del orden de 1 a 2 por átomo y pueden “*arrancarse*” más fácilmente de cada átomo y moverse en el material.

Además de los metales, otros conductores pueden ser las **soluciones salinas**, en donde existen iones positivos y negativos libres de moverse o los **plasmas**, que son gases a alta temperatura donde los átomos se ionizan y la carga (iones positivos y electrones) puede desplazarse más o menos libremente.

Considerando principalmente los metales, vamos a estudiar primero las propiedades de los conductores dentro de la electrostática (después más adelante vamos a extender el estudio a situaciones con carga en movimiento).

I) El campo eléctrico es nulo en todo punto interior al conductor,  $\vec{E} = 0$  int. cond.

Si el campo no fuese nulo dentro del material los electrones se moverían y no estaríamos en electrostática. Las cargas se tienen que acomodar entonces de forma que se anule el campo en el interior.



II) Como  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$  el interior del material es un volumen equipotencial y su superficie también.

III) El campo es perpendicular a la superficie del conductor,  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V \perp \text{sup. cond.}$

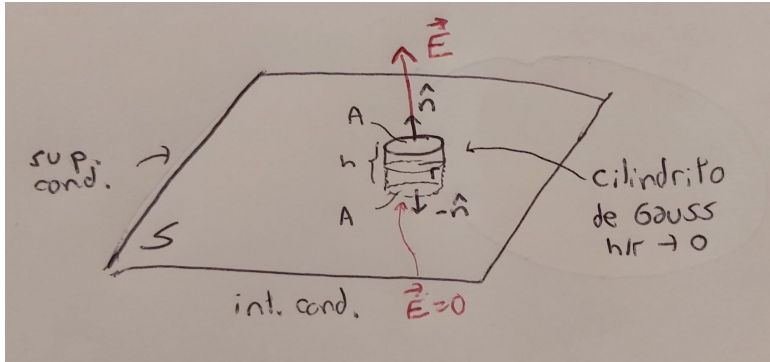
La componente tangencial del campo se anula ya que si la hubiese los electrones se moverían sobre la superficie y no estaríamos en electrostática.

IV) Toda la carga está en la superficie del conductor.

Tomando cualquier volumen interior en el conductor  $\oint_{S(V_{int})} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$  ya que el campo es nulo.

Por Gauss entonces la carga encerrada en cualquier volumen interior es 0, es decir, en cualquier punto interior la carga neta es nula,  $\rho_{int} = 0$

V) Para puntos próximos a la superficie S del conductor, en el exterior, el campo es  $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$ , donde  $\sigma$  es la densidad superficial de carga en el conductor y  $\hat{n}$  es la normal exterior a S.



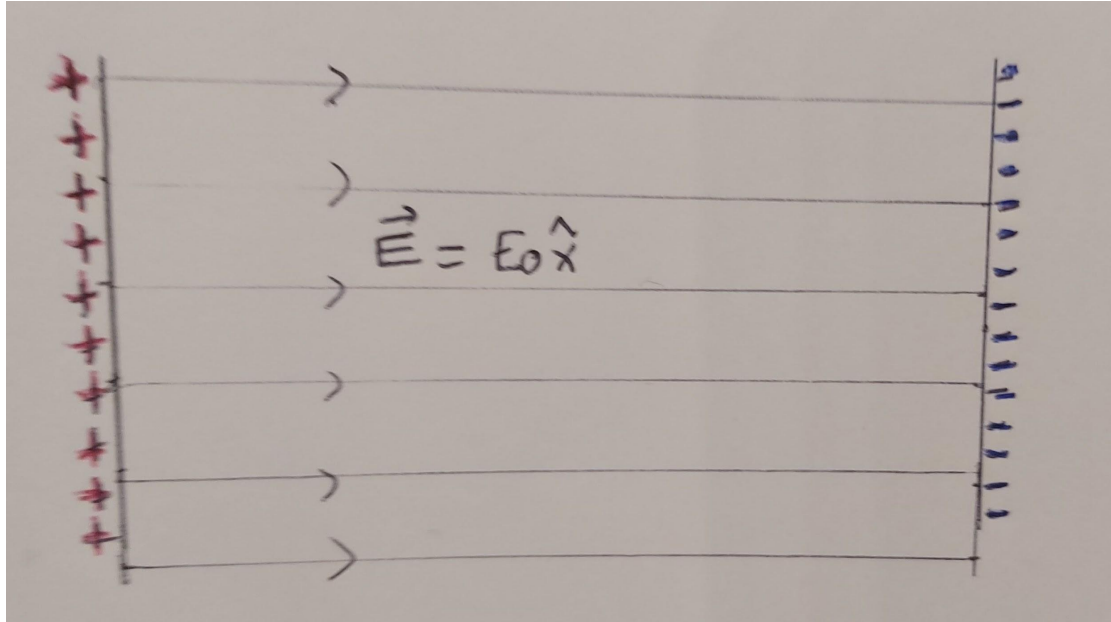
Por Gauss  $\oint_{S_{cil}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = E\hat{n} \cdot A\hat{n} + 0 \cdot A(-\hat{n}) = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$

Cancelamos  $A$  y queda  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

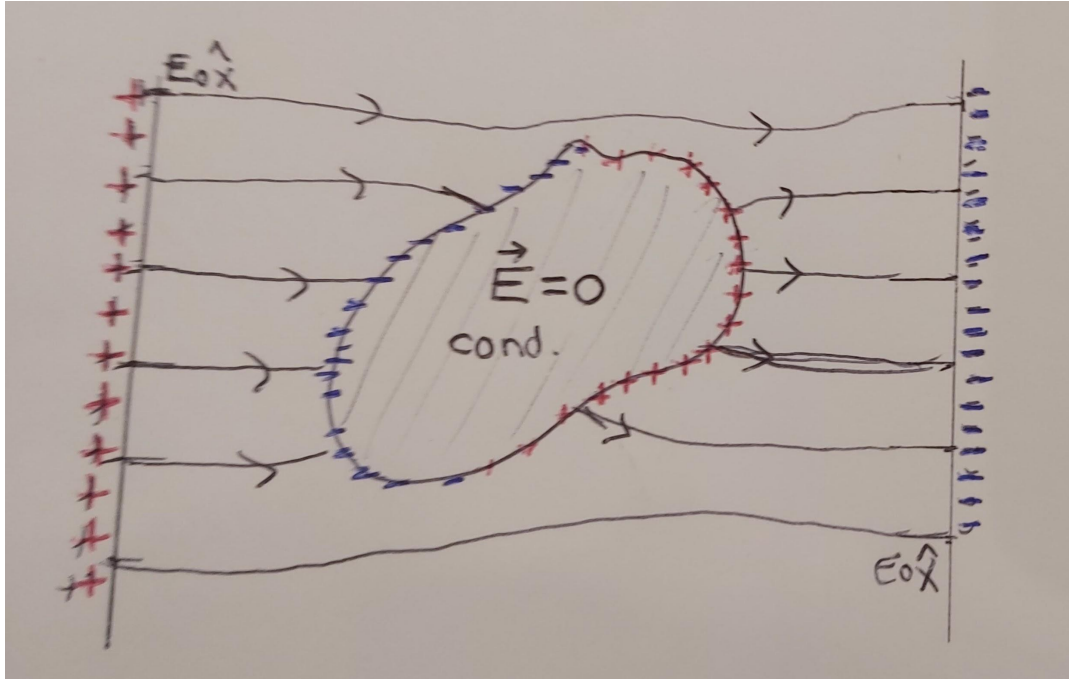
Notar que  $\sigma$  no es constante en general.

Por ejemplo, si la carga neta total en el conductor es cero,  $\oint_S \sigma dS = 0 \rightarrow \sigma \neq cte$

Supongamos una región con campo eléctrico uniforme (entre dos placas cargadas)



Traemos un conductor (sin carga neta) y esperamos que se reacomoden las cargas.

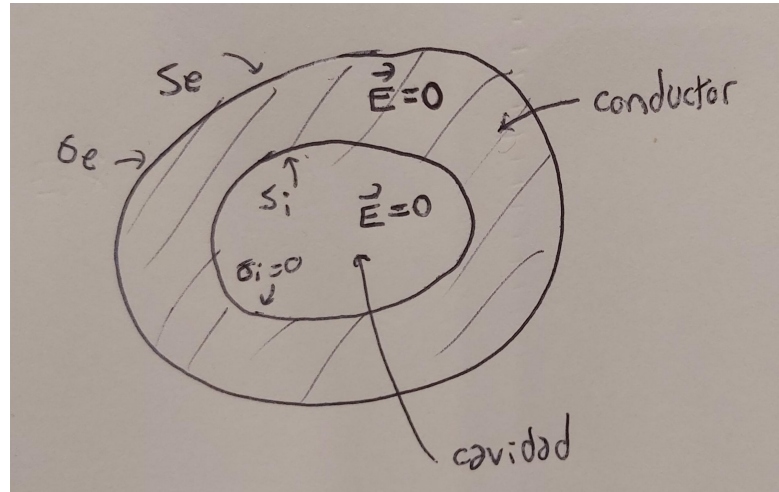


Las cargas en el conductor se acomodan en la superficie de forma tal que en el interior el campo eléctrico se anule.

Se llama el efecto de **apantallamiento** que da lugar al **blindaje**.

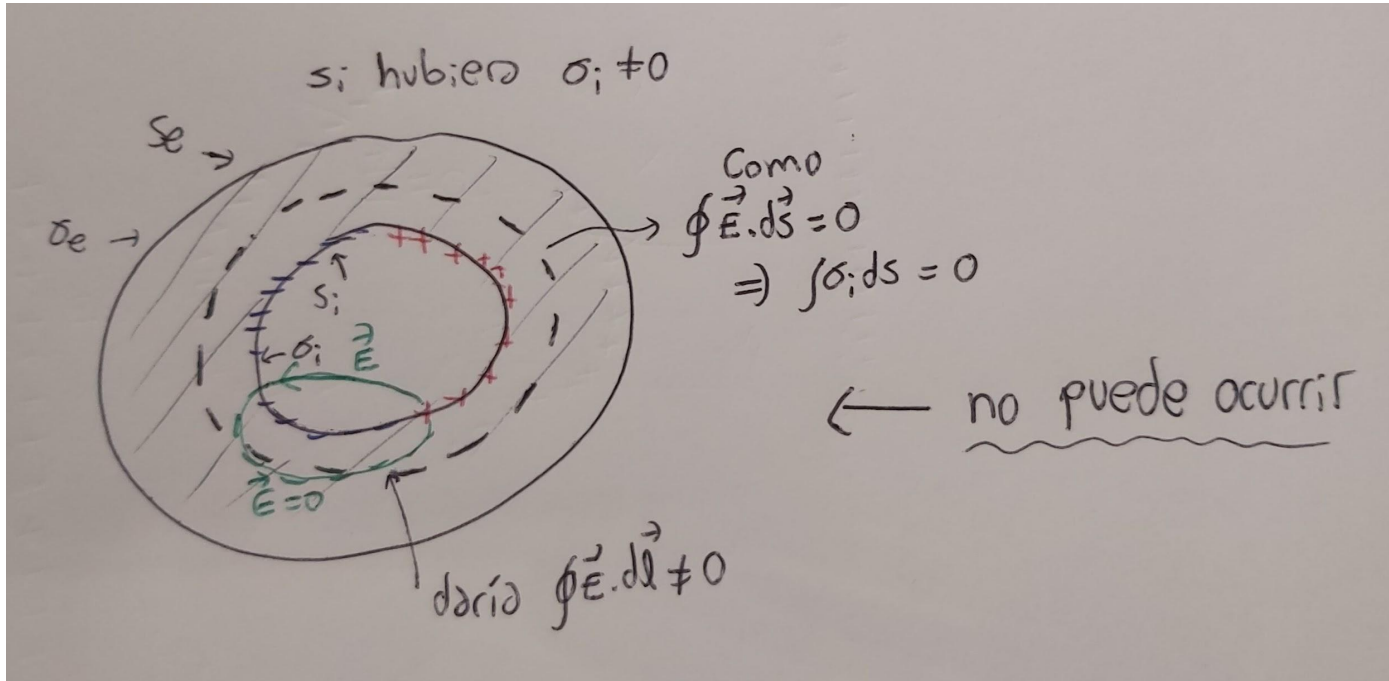
En la superficie del conductor las líneas de campo entran o salen en forma perpendicular a la superficie.

Si tenemos un conductor hueco, es decir, con una cavidad y en esa cavidad no hay carga, entonces el campo eléctrico es 0 tanto en el interior del conductor como dentro de la cavidad.

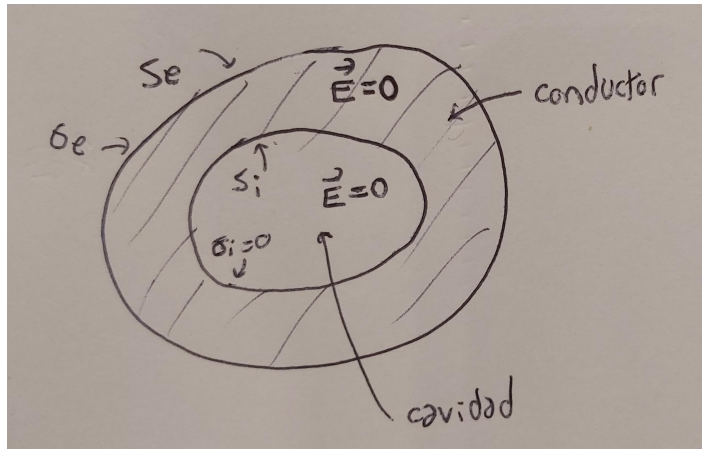


La densidad superficial de carga en la cavidad interior  $\sigma_i = 0$

Si hubiera  $\sigma_i \neq 0$







En la cavidad interior entonces el campo eléctrico es nulo, gracias al **efecto blindaje** del conductor que la rodea.

Esto se utiliza en la llamada **“jaula de Faraday”** para aislarse (o aislar algo) de campos eléctricos en el exterior a la jaula.



Demo en un labo [https://www.youtube.com/watch?v=cldP1zX\\_0-8](https://www.youtube.com/watch?v=cldP1zX_0-8)

Otra demo en labo <https://www.youtube.com/watch?v=7RKh2JWXx30>

Pruebas en un auto <https://www.youtube.com/watch?v=CW6fJd20gRI>

Rayo natural en un auto <https://www.youtube.com/watch?v=UvIbTN1wmWE>

Rayo en auto (ver a partir de 4:00) <https://www.youtube.com/watch?v=ve6XGKZxYxA>

Rayo en apollo 12: <https://www.youtube.com/watch?v=5GJhtyI2Fj0>

Y si hay una carga  $q$  en la cavidad ?

The diagram shows a hollow conductor with a central charge  $q$ . The conductor has an inner surface  $S_i$  and an outer surface  $S_e$ . Surface charge densities are  $\sigma_i$  and  $\sigma_e$ . A dashed Gaussian surface is shown inside the conductor with  $\vec{E} = 0$ . Red crosses represent positive charges on the outer surface.

$S_i$   $Q_{\text{total cond}} = 0$

$$\Rightarrow \int_{S_e} \sigma_e ds + \int_{S_i} \sigma_i ds = 0$$
$$\Rightarrow \int_{S_e} \sigma_e ds = - \int_{S_i} \sigma_i ds = q$$
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 = \frac{1}{\epsilon_0} \left( q + \int_{S_i} \sigma_i ds \right)$$
$$\Rightarrow \int_{S_i} \sigma_i ds = -q, \quad \sigma_i \neq 0$$

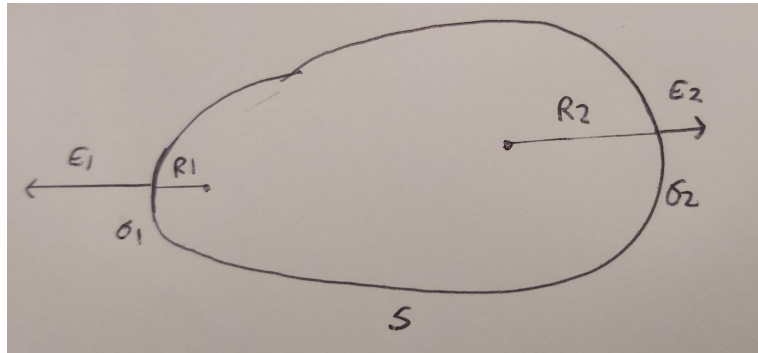
Franklin (1753)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Pararrayos>



## Efecto de puntas

Se puede ver que el campo eléctrico es más intenso en regiones de mayor curvatura en la superficie de un conductor, por ejemplo, en regiones con forma de punta.



Nota:  $\text{curvatura} = 1/(\text{radio de curvatura})$ , o sea, mayor curvatura es menor radio de curvatura

En primera aproximación en puntos próximos a la superficie  $S$  el potencial  $V(r)$  no difiere mucho del potencial generado por un casquete esférico de radio igual al radio de curvatura de la región de la superficie que estoy considerando.

En la región de radio  $R_1$  con densidad de carga  $\sigma_1$  tenemos  $V \approx k \frac{\sigma_1 \Delta S_1}{R_1}$ , con  $\Delta S_1 = R_1^2 \Delta \Omega$ .

Idem en la región de radio  $R_2$  con densidad  $\sigma_2$  tenemos  $V \approx k \frac{\sigma_2 \Delta S_2}{R_2}$ , con  $\Delta S_2 = R_2^2 \Delta \Omega$ .

Como el potencial es el mismo  $\Rightarrow \sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2$  y usando que  $E = \sigma / \epsilon_0 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1} \gg 1$

$$E_1 \gg E_2$$

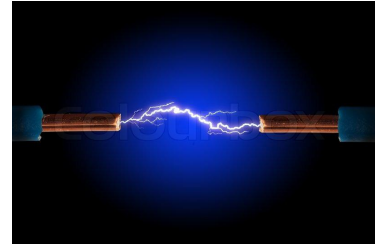
En las puntas donde el campo eléctrico es muy intenso se puede dar el fenómeno de la *ruptura eléctrica* (o rigidez dieléctrica).

Esto se da cuando los electrones se mueven debido a los altos campos eléctricos y producen *ionización* de las moléculas de aire (oxígeno, nitrógeno). Esta ionización se ve (y se escucha !) como chispazos.

El e<sup>-</sup> recorre una distancia media  $\Delta x = 1 \mu = 10^{-6} m$  entre colisiones, y se requieren energías del orden de  $\Delta U = 10 eV = q\Delta V$  para ionizar las moléculas ( $1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$ ), con lo cual el campo eléctrico requerido es del orden de  $E = \Delta V / \Delta x \sim 10^7 V/m$ . En la práctica en el aire alcanza con  $3 \cdot 10^6 V/m$  valor de campo eléctrico que se conoce como la *rigidez dieléctrica* del aire (a 1 atm).

En los mastiles de los barcos → Arco eléctrico [https://www.youtube.com/watch?v=VrY\\_k\\_pdlCs](https://www.youtube.com/watch?v=VrY_k_pdlCs)  
→ fuego de San Telmo (St. Elmo's fire) , en aviones (por rozamiento) o globos, dirigibles (desastre del Hindenburg)

En líneas de alta tensión --> Efecto corona <https://www.youtube.com/watch?v=7dhvcSDIUJk>

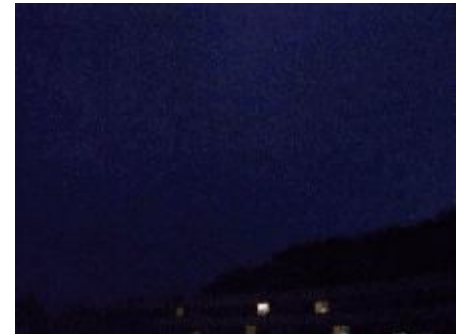


Un fenómeno natural relacionado con esto y muy espectacular son los rayos

Electricidad en la atmósfera (contada por Richard Feynman)

[https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II\\_09.html#Ch9-S6](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_09.html#Ch9-S6)

<https://science.howstuffworks.com/nature/natural-disasters/lightning.htm>

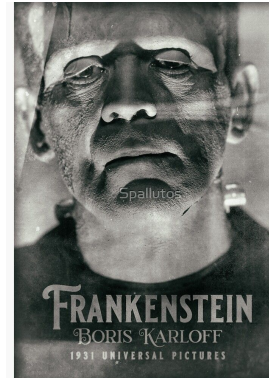


Rayos en el cine:

Volver al futuro !



Frankenstein



El aprendiz de brujo (esta con una Jaula de Faraday)