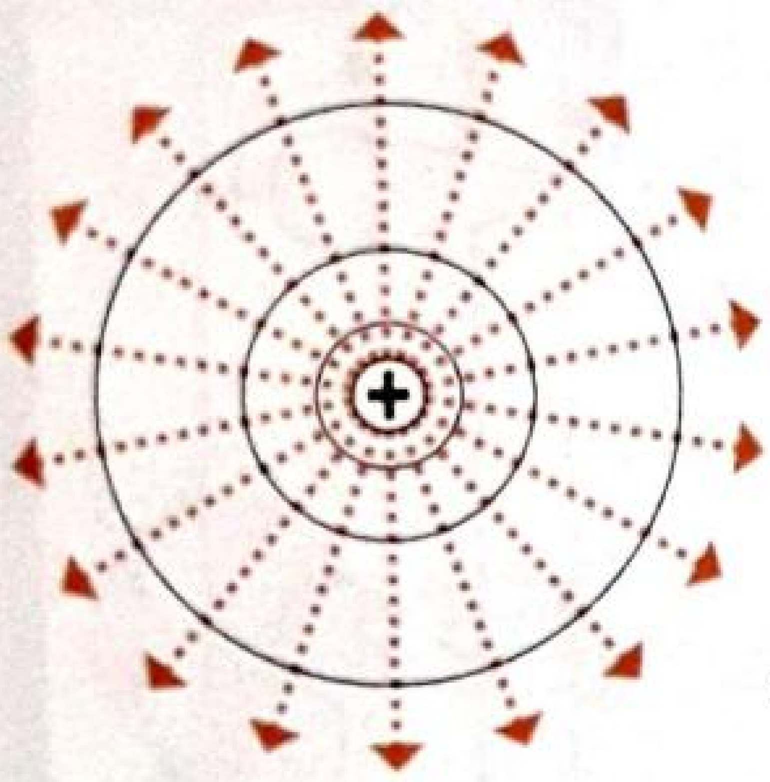
El campo eléctrico

El físico Faraday introdujo el concepto de *campo de fuerzas*, en contraposición a la idea de acción a distancia que había propuesto Isaac Newton.

Se define el *campo gravitatorio* como aquella zona del espacio en la cual se puede detectar la presencia de un cuerpo A, de cierta masa m_A, debido a las características que adquiere esa zona, diferentes a otros lugares del espacio. Colocando allí un cuerpo B, tanto A como B ejercerán fuerzas gravitatorias de atracción mutua. En otras palabras, el campo gravitatorio solo se manifiesta cuando aparece una masa y se produce una acción (en este caso, sobre el cuerpo B, de masa m_B).

Pero el concepto de campo no es exclusivo de las fuerzas gravitatorias, también es aplicable a las fuerzas eléctricas y a las magnéticas.

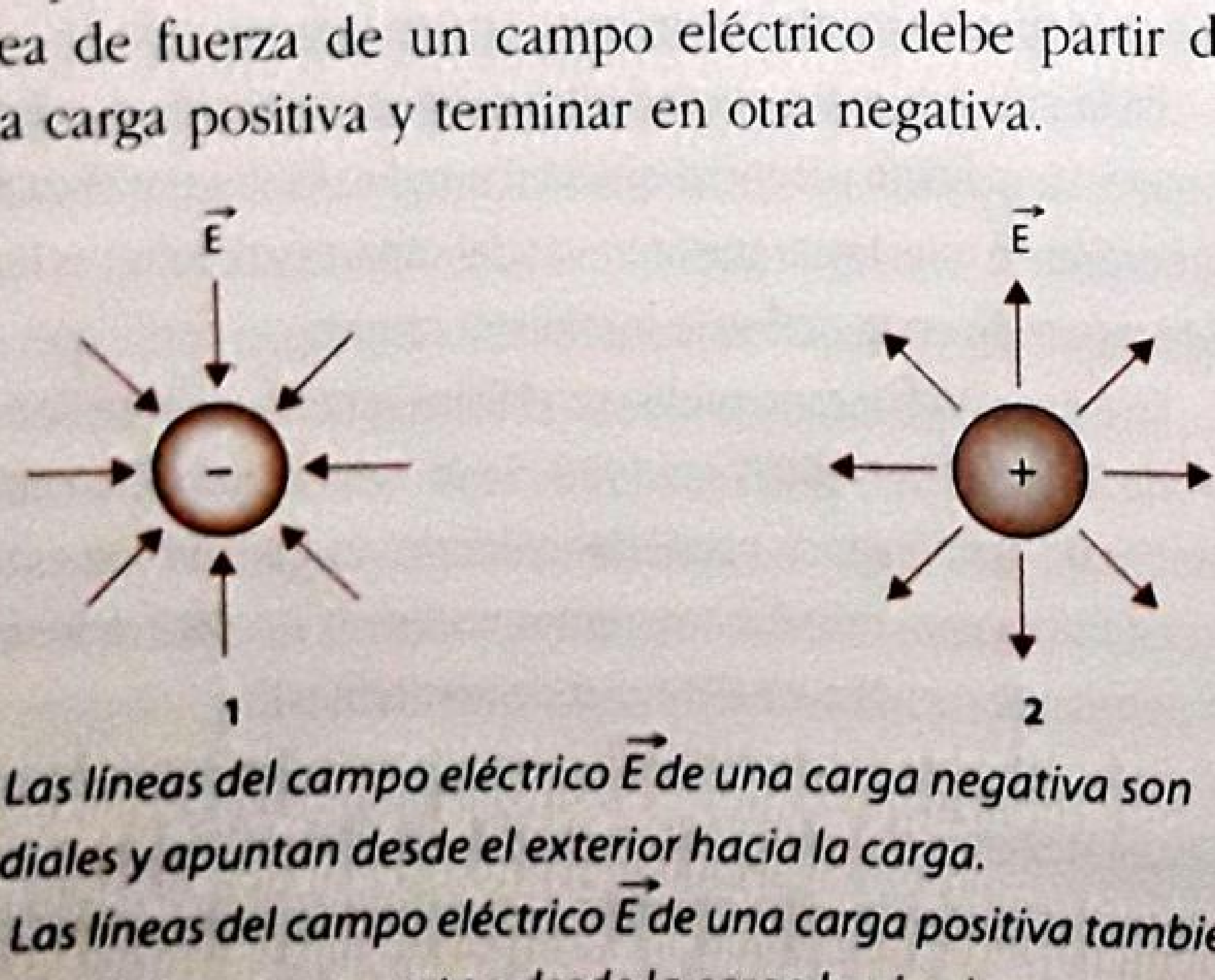


Esquema general de las líneas del campo eléctrico de una carga puntual positiva.

El campo eléctrico se produce en torno de una carga eléctrica puntual **q**. Existe allí una zona del espacio en la que, si se coloca otra carga **q'** (que se llama *carga de prueba*) se ejercerán fuerzas eléctricas mutuas.

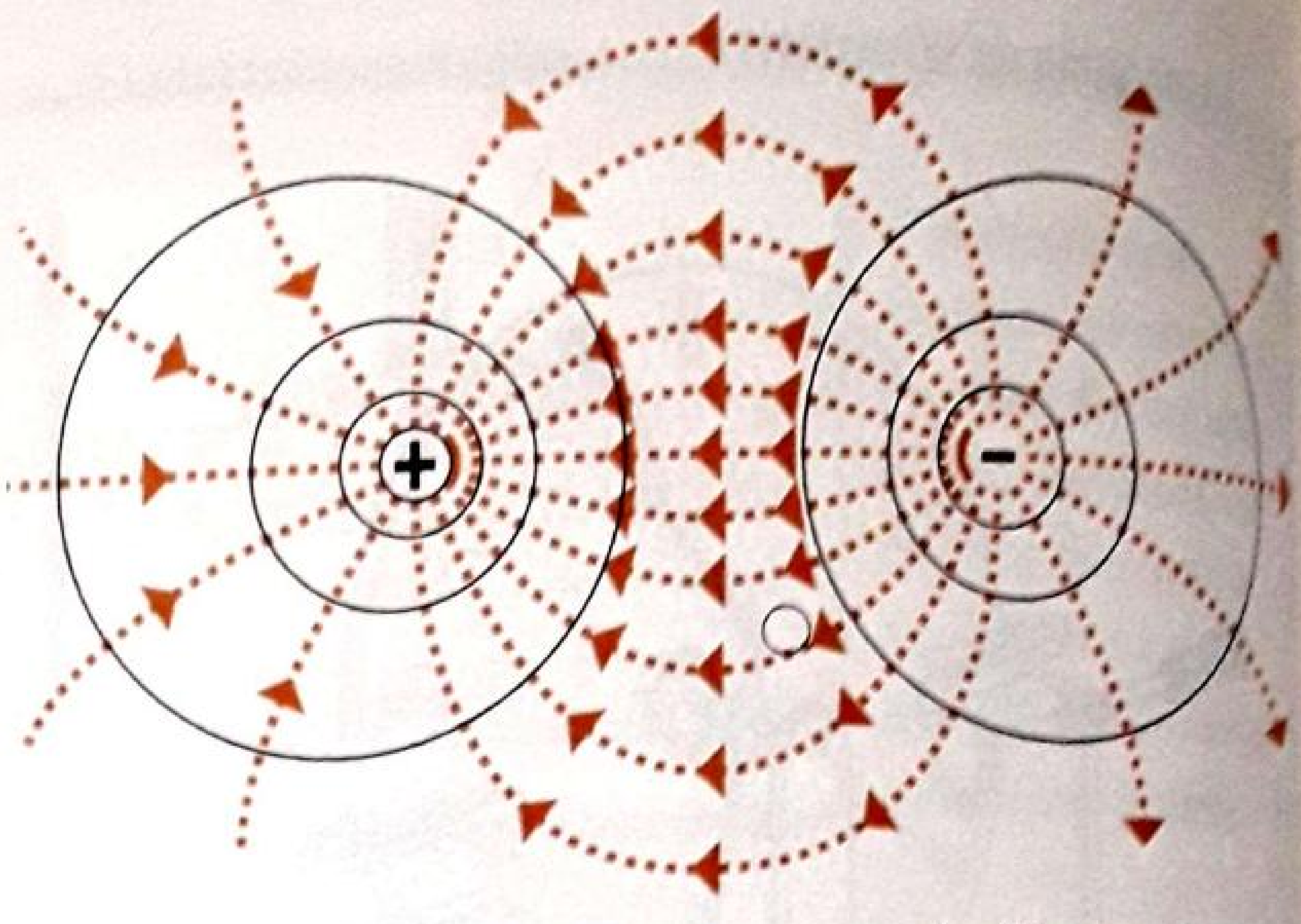
Como el gravitatorio, el campo eléctrico puede representarse por medio de líneas, las cuales indican la dirección del campo en cada punto; es decir, la dirección de la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba colocada en ese punto.

El sentido de las líneas se fija por el movimiento que adquiriría una carga positiva, ubicada en reposo en cualquiera de los puntos; de esto se deduce que toda línea de fuerza de un campo eléctrico debe partir de una carga positiva y terminar en otra negativa.

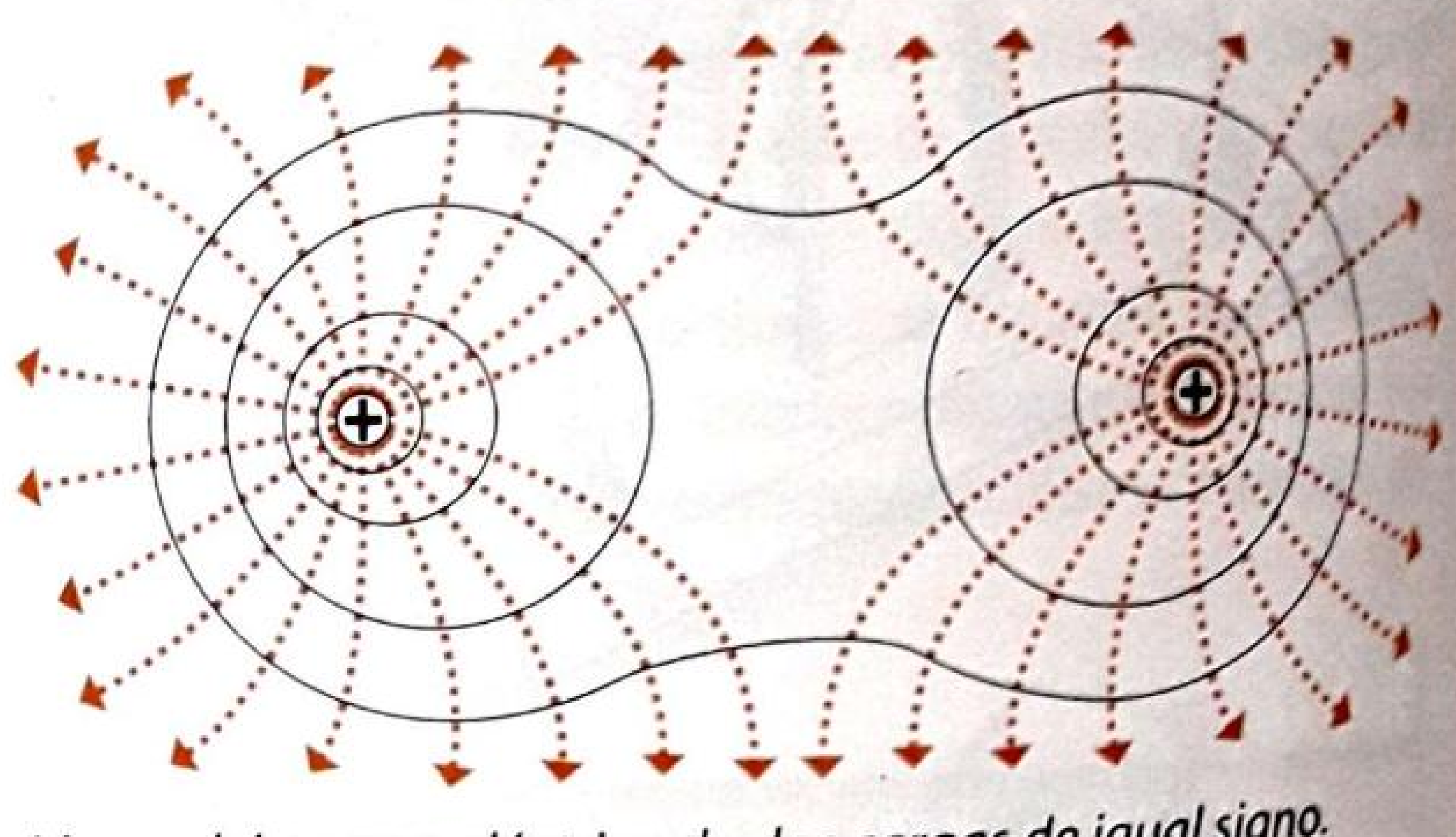


***1.** Las líneas del campo eléctrico $\vec{E}$ de una carga negativa son radiales y apuntan desde el exterior hacia la carga.*
***2.** Las líneas del campo eléctrico $\vec{E}$ de una carga positiva también son radiales, pero apuntan desde la carga hacia el exterior.*

Otra característica importante del campo es su intensidad, que puede estimarse por la densidad de las líneas, esto es, la cantidad de líneas por unidad de superficie. Puede decirse que a mayor densidad de líneas, mayor intensidad del campo eléctrico, y viceversa.



Líneas del campo eléctrico de dos cargas de diferente signo.



Líneas del campo eléctrico de dos cargas de igual signo.

Finalmente, debe destacarse que existe una importante diferencia entre el campo eléctrico y el gravitatorio: ambos indican zonas donde se ejercen fuerzas, pero mientras que en el gravitatorio una masa genera solo fuerzas atractivas, en el campo eléctrico, las fuerzas pueden ser repulsivas o atractivas, en función del signo de las cargas que intervienen.

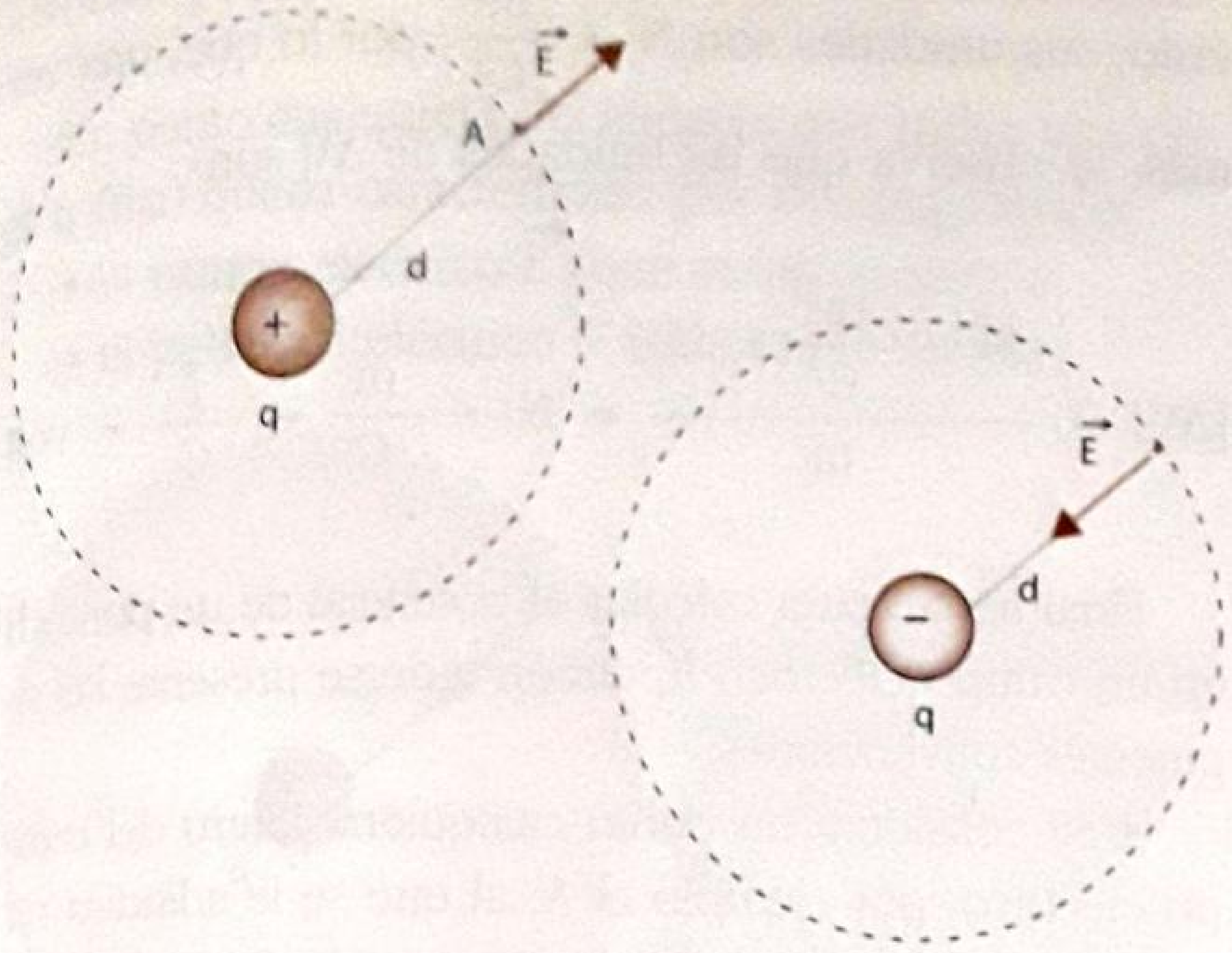
El vector campo eléctrico

Considérense dos cargas eléctricas **q** y **q'**. La primera genera un campo eléctrico (que se denotará por el vector $\vec{E}$), y la segunda es una carga de prueba que se coloca en ese campo.

Por la ley de Coulomb, la intensidad de la fuerza eléctrica entre ambas cargas se expresa:

$$\vec{F} = K \cdot \frac{q \cdot q'}{d^2}$$

donde **d** es la distancia que separa a **q** de **q'** y K, la constante electrostática.



Campo eléctrico $\vec{E}$ *medido en el punto* ***A****, ubicado a la distancia* ***d*** *de la carga* ***q*** *que lo genera. El sentido del campo depende del signo de* ***q****.*

En otras palabras, la carga de prueba **q'** experimenta una fuerza $\vec{F}$ que también puede expresarse vectorialmente de la siguiente manera:

$$\vec{F} = q' \cdot \vec{E} \qquad (1)$$

Puede deducirse que la intensidad del vector campo eléctrico es

$$\vec{E} = \frac{K \cdot q}{d^2} \qquad (2)$$

una magnitud cuyas unidades son las de fuerza sobre las de carga, esto es: $\frac{N}{C}$, newton por coulomb.

De la expresión (1) se deduce que, dividiendo la fuerza eléctrica $\vec{F}$ por la carga **q'**:

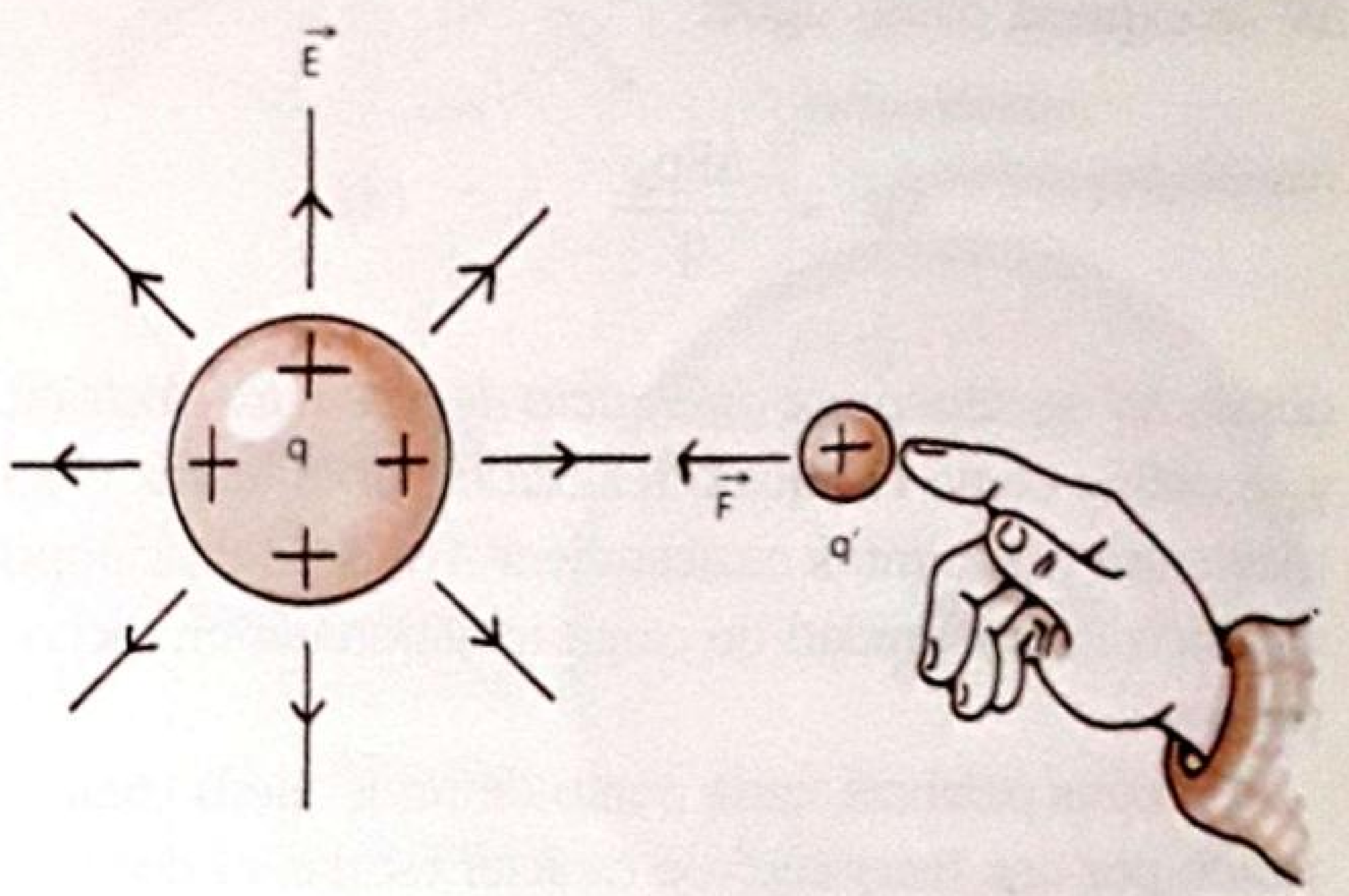
$$\frac{\vec{F}}{q'} = \vec{E} \qquad (3)$$

dicho cociente es igual a una magnitud vectorial ($\vec{E}$) que no depende de la carga de prueba **q'**; esto significa que el campo eléctrico queda determinado exclusivamente por la carga que lo produce (**q**). Debe destacarse que en el espacio alrededor de una carga, el $\vec{E}$ tiene idéntica dirección y sentido que la fuerza $\vec{F}$, que actuaría sobre una carga positiva ubicada en ese punto. Así, en la expresión (3) no se tuvo en cuenta el signo de la carga **q'**, que determina la dirección del campo eléctrico. Por lo tanto, si **q'** es positiva, el sentido de $\vec{E}$ es el mismo que el de $\vec{F}$; en cambio, si **q'** es negativa, el sentido de $\vec{E}$ es el opuesto al de $\vec{F}$ (entonces, es un campo de atracción). En otras palabras, en un punto cualquiera A alrededor de la carga **q**, si esta es positiva, el campo es de *repulsión eléctrica* y, si es negativa, el campo es de *atracción*.

Energía potencial eléctrica

La energía potencial gravitatoria es la capacidad de realizar trabajo (L) que tiene una masa colocada a cierto nivel dentro del campo gravitatorio terrestre.

Del mismo modo, para mover una carga **q'** dentro de un campo eléctrico $\vec{E}$ es preciso hacer cierto trabajo, el que se almacenará en **q'** como *energía potencial eléctrica*.



Se quiere que una carga de prueba ***q'*** *(positiva) se acerque a la carga* ***q*** *(también positiva) que genera el campo eléctrico* $\vec{E}$*. Para ello, debe producirse una fuerza* $\vec{F}$ *contra la propia que genera ese campo. Si deja de aplicarse la fuerza* $\vec{F}$*, la carga* ***q'*** *se moverá alejándose de* ***q****. Esto puede intrepretarse de la siguiente manera: en la aplicación de la fuerza* $\vec{F}$ *se realiza un trabajo* ***L*** *que es acumulado en* ***q'*** *como energía potencial eléctrica, la que se transformará en energía cinética de* ***q'*** *apenas deje de actuar* $\vec{F}$*.*

El potencial eléctrico

En la definición de campo eléctrico $\vec{E}$ se resaltó que se trataba de una magnitud que no dependía de la carga de prueba **q'**, sino solo de la carga **q** que define ese campo; así, el vector $\vec{E}$ pudo interpretarse como una fuerza por unidad de carga (3).

Del mismo modo, puede definirse una nueva magnitud que dé cuenta de la variación de la energía potencial eléctrica Ep_e por unidad de carga. Esa magnitud ΔV se expresa como sigue:

$$\Delta V = \frac{\Delta Ep_e}{q'} \qquad (4)$$

donde ΔV se denomina *diferencia de potencial eléctrico*, y se define como el trabajo realizado por la fuerza eléctrica entre dos puntos cualesquiera A y B de un campo eléctrico $\vec{E}$, por unidad de carga transportada en dichos puntos.

En otras palabras, cada punto de un $\vec{E}$ queda caracterizado por una magnitud (de carácter escalar, es decir, no vectorial) llamada potencial V, tal que:

$$\Delta V = V_B - V_A$$

De este modo, V representa la energía potencial eléctrica por unidad de carga en un punto determinado del campo eléctrico.

Midiendo la energía en joule (J) y la carga en coulomb (C), las unidades de potencial resultan:

$$\text{unidad de potencial} = \frac{J}{C} = \text{volt}$$

que se simboliza con la letra V. De este modo, una diferencia de potencial de un 1 V corresponde a una variación de un joule (1 J) cuando la carga transportada es de un coulomb (1 C).

Por otra parte, puede deducirse que la forma que adquiere la diferencia de potencial:

$$\Delta V = \frac{\Delta Ep_e}{q'}$$

es la siguiente:

$$\Delta V = \frac{K \cdot q}{d} \qquad (5)$$

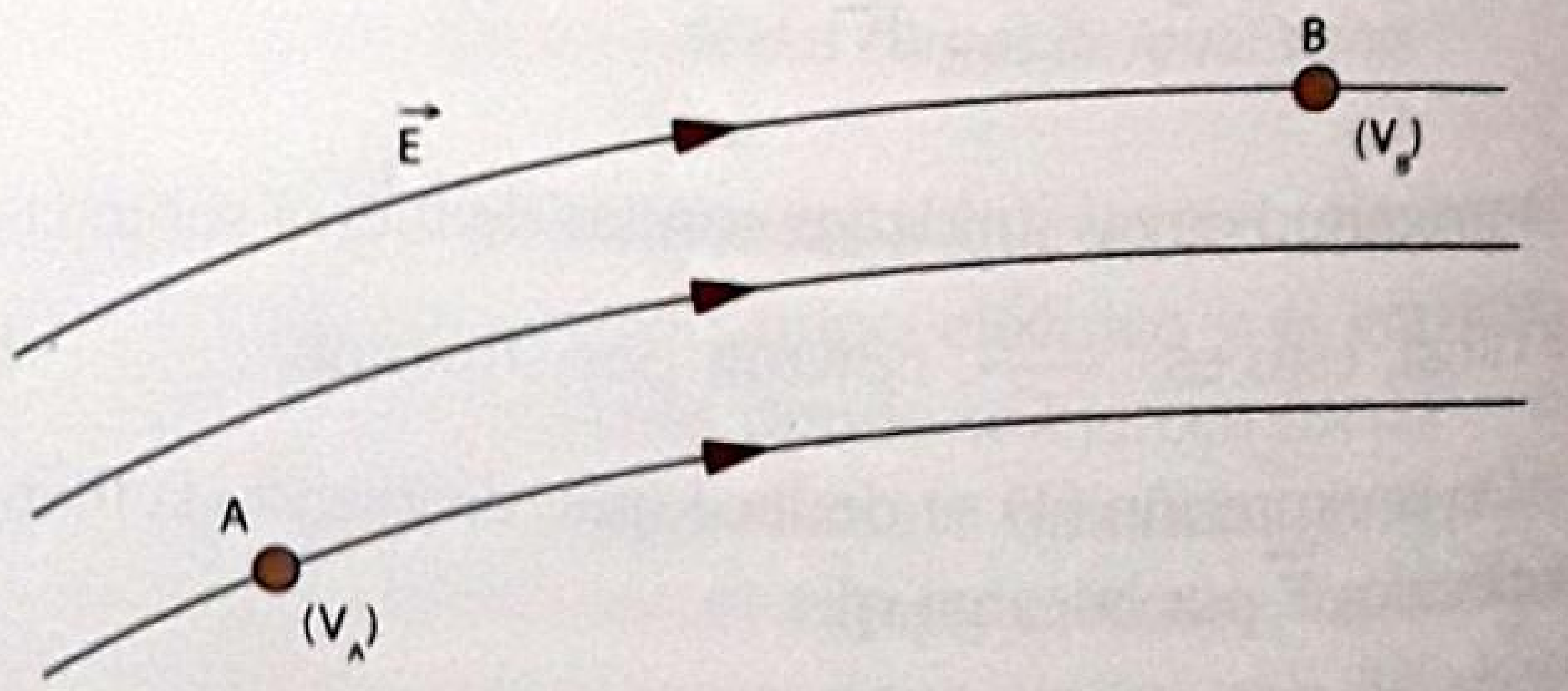
donde K es la constante electrostática, y, como habíamos visto, sus unidades son $N \cdot \frac{m^2}{C^2}$, por lo que, una vez más, se observa que las unidades de ΔV son:

$$[\Delta V] = \frac{N \cdot \frac{m^2}{C^2} \cdot C}{m} = N \cdot \frac{m}{C} = \frac{J}{C} = \text{volt}$$

Finalmente, para calcular el potencial de un punto B en un campo eléctrico $\vec{E}$, deben tenerse presente las siguientes convenciones:

- Se considera un punto cualquiera dentro del campo eléctrico, por ejemplo el A, al que se le adjudica un valor arbitrario de potencial eléctrico V_A. Ese valor será usado como referencia para medir el potencial en el punto B, como así también en cualquier otro sitio dentro del mismo campo $\vec{E}$.
- Se considera que el punto tomado como referencia (en este caso, el punto A) se halla muy lejano de donde se desea medir el potencial (punto B). En general, para expresar esta condición se dice que el punto de referencia A se halla en el *infinito*.
- Se considera que el potencial del punto de referencia es cero. Esta convención se establece al solo efecto de simplificar los cálculos. Por lo tanto, en este caso, es

$$A \longrightarrow \infty \Rightarrow V_A = 0 \Rightarrow \Delta V = V_B - V_A \Rightarrow \Delta V = V_B$$

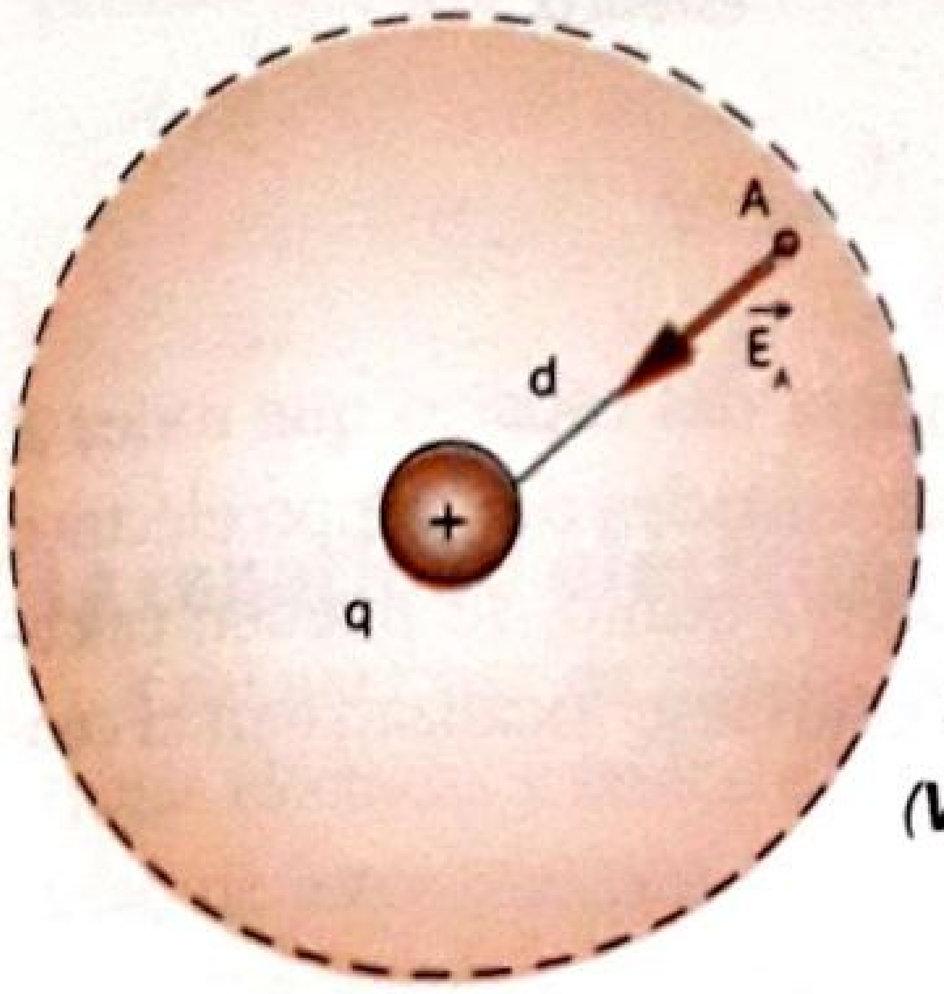


*En el esquema se marcaron los puntos **A** y **B** de un campo eléctrico **$\vec{E}$**. Cada uno de ellos, en diferentes líneas de fuerza, quedan determinados por el valor de su potencial eléctrico **V_A** y **V_B**, respectivamente.*

Líneas y superficies con igual potencial

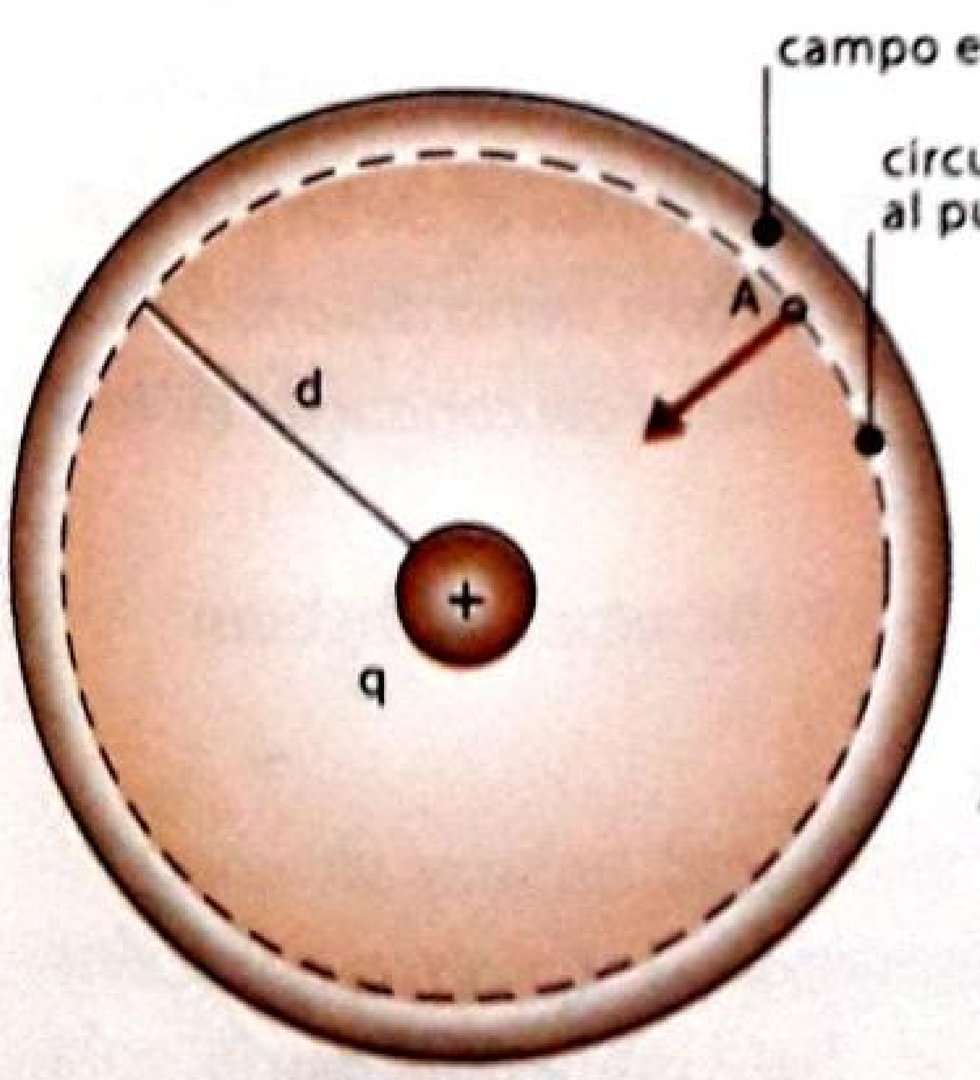
Un punto cualquiera del espacio que rodea una carga **q** (fija) queda caracterizado por dos magnitudes:

- el campo eléctrico $\vec{E}$ (que es un vector), y
- el potencial eléctrico V (que es un escalar).



*En el campo que genera la carga **q** en el punto **A**, ubicado a la distancia **d** de dicha carga, se define un vector ($\vec{E}_A$) y un escalar (**V**).*

Si se toman todos los puntos que rodean a **q** a la misma distancia, la línea que resulta es una circunferencia en la cual todos sus puntos tienen el mismo valor de potencial V, ya que por (5) la diferencia de potencial depende solo del valor de la carga y de la distancia a la misma. Por lo tanto, tales circunferencias se denominan *líneas equipotenciales* (o de igual potencial). El campo eléctrico $\vec{E}$, por su parte, dado que es una magnitud vectorial, varía su dirección y sentido en cada punto.



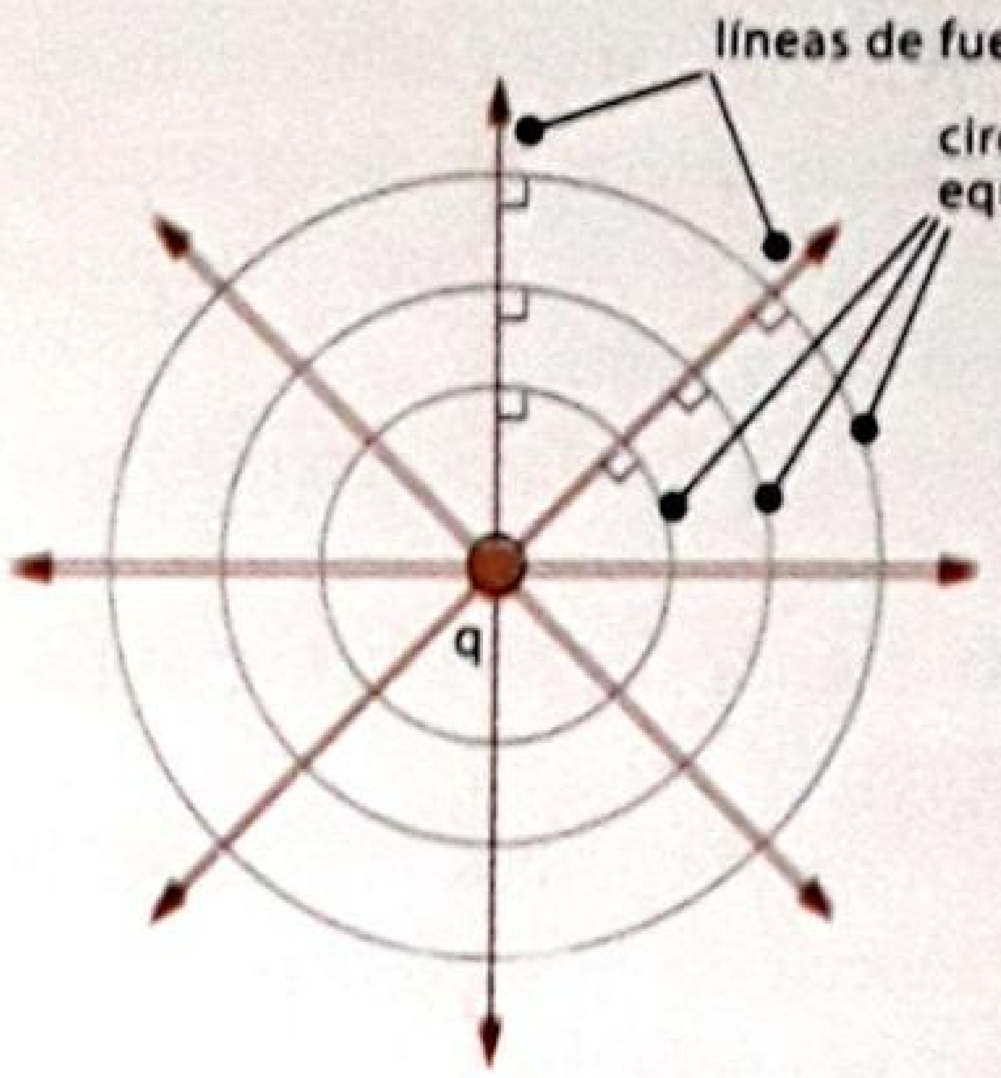
*En el campo eléctrico $\vec{E}$ generado por **q**, la circunferencia de radio **d**, centrada en **q**, es una línea equipontencial.*

En un plano, entonces, cuando se considera una carga puntual (fija), las líneas equipotenciales que se generan conforman circunferencias alrededor de la carga que crea el campo.

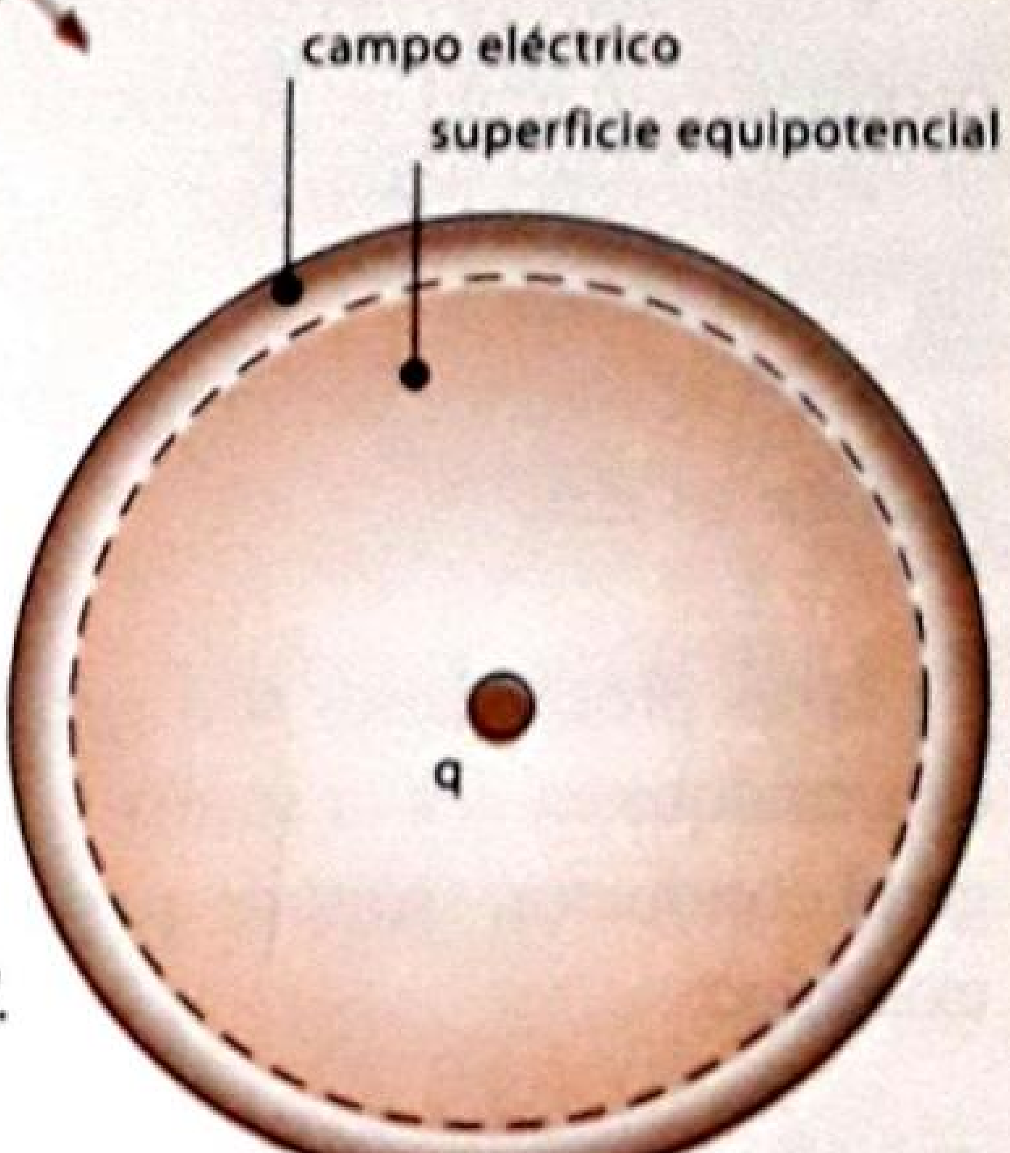
Pueden considerarse diferentes circunferencias alrededor de una misma carga. Cada una de ellas será una equipotencial de diferente valor, ya que sus radios serán distintos (cuanto menor sea el radio **d**, mayor será el potencial V).

Así, en el espacio, una esfera se define como el conjunto de puntos que están a la misma distancia de otro, considerado su centro. Si en ese centro se coloca una carga **q**, la esfera representa una superficie equipotencial dentro del campo eléctrico que genera esa **q**.

En el espacio, las superficies equipotenciales que se generan alrededor de una carga puntual fija definen esferas.



*Circunferencias equipotenciales de una carga **q**.*



*Superficie esférica alrededor de una carga **q**. En todos los puntos de esa superficie se mide idéntico potencial: es una superficie equipotencial.*

Ahora bien, si se coloca una carga de prueba **q'** en diferentes puntos de una superficie equipotencial (como la esfera mencionada), la energía potencial eléctrica Ep_e será siempre la misma, cualesquiera sean los puntos de esa superficie. Por lo tanto, la variación de energía potencial es nula, esto es

$$\Delta Ep_e = 0 \Rightarrow L = 0$$

es decir, el trabajo de las fuerzas eléctricas también es nulo.

De lo expuesto, se deduce que cuando una carga se desplaza a lo largo de una superficie equipotencial, las fuerzas eléctricas no realizan trabajo sobre ella.

Por su definición mecánica, el hecho de que el trabajo L sea nulo, se explica porque la fuerza eléctrica $\vec{F}$ y, por lo tanto, el campo eléctrico $\vec{E}$, no presentan una componente en la dirección del desplazamiento de la carga **q'**.

En otras palabras, $\vec{F}$ y $\vec{E}$ siempre son perpendiculares a una superficie equipotencial.

Propiedades de los conductores

Los conductores son materiales en los cuales las cargas se mueven fácil y libremente. Ahora bien, el movimiento de las cargas eléctricas puede ser desordenado u ordenado; en el primer caso, se dice que el material se encuentra en equilibrio electrostático.

En esas condiciones, se constatan las siguientes propiedades:

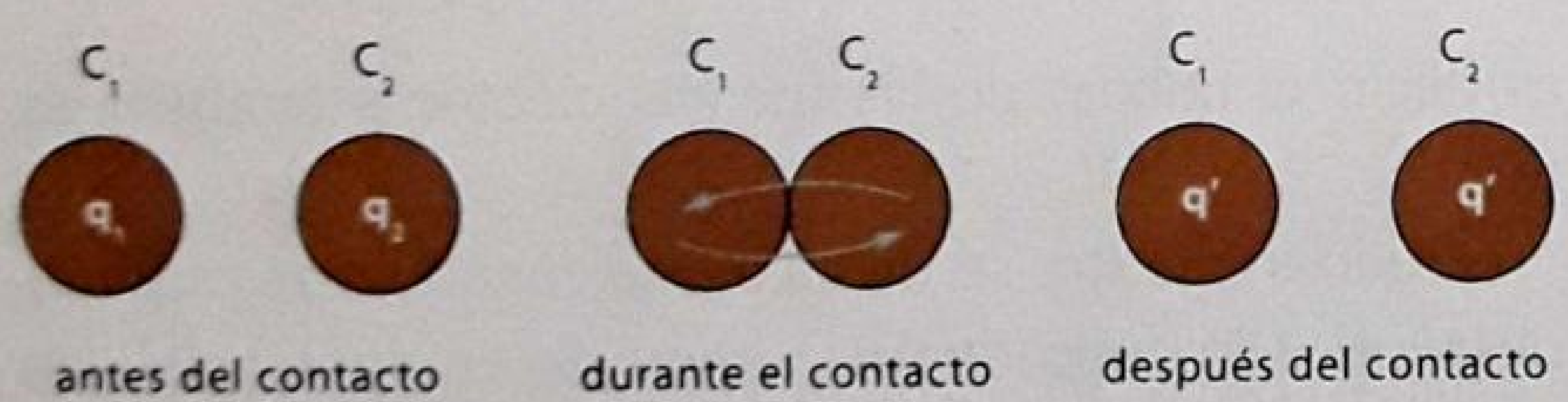
- En cualquier punto interior del conductor, el potencial eléctrico es constante ($V = cte.$).
- El potencial eléctrico de los puntos interiores del conductor es igual al potencial de su superficie.
- Las cargas eléctricas se encuentran en la superficie del conductor.
- En el interior del conductor, el campo eléctrico resultante es nulo ($\vec{E} = 0$).

Estas propiedades son generales, es decir, se verifican cualquiera sea la forma y las dimensiones que tenga el conductor, siempre que se halle en equilibrio electrostático.

Conductores esféricos

Considérense un par de conductores C_1 y C_2 construidos con esferas de metal, de igual radio; C_1 fue electrizado con la carga q_1 y C_2, con una carga q_2. Algunas de sus características electrostáticas son las siguientes:

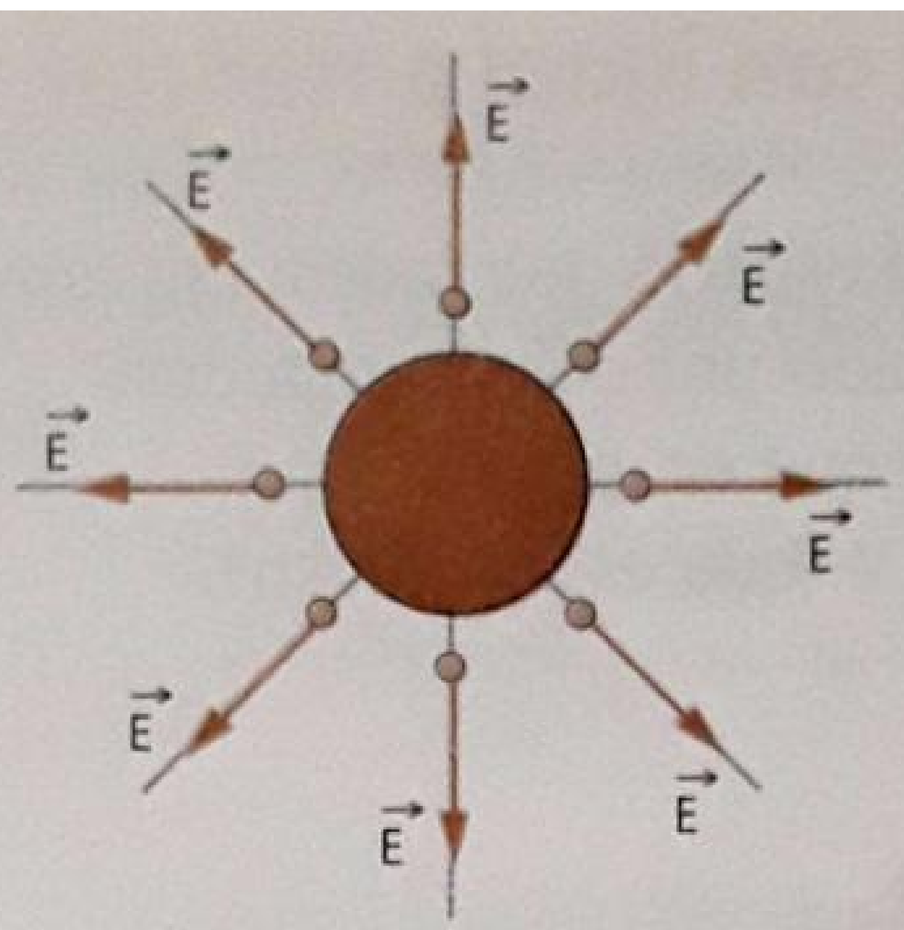
- Cuando C_1 y C_2 se colocan en contacto, se produce una redistribución de sus cargas, de modo tal que la carga final de uno de ellos es exactamente igual a la del otro (consecuencia directa del Segundo Principio de la Electrostática, es decir, el de conservación de la carga eléctrica).



La esfera conductora C_1, que tiene una carga q_1, toma contacto con la esfera C_2, de carga q_2. La carga final q' es idéntica en C_1 y C_2 e igual a:

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

- En cualquier punto exterior del conductor, el campo eléctrico $\vec{E}$ y la línea de fuerza correspondiente son perpendiculares a la superficie.



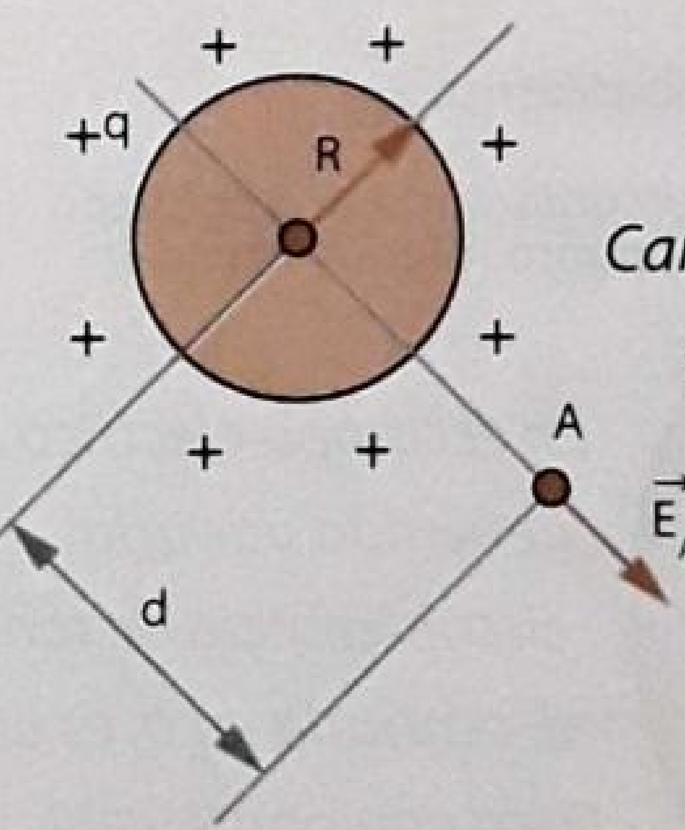
Representación del campo eléctrico de un conductor esférico.

- En un punto cualquiera del espacio que rodea al conductor esférico, las intensidades del campo eléctrico $\vec{E}$ y del potencial V, en dicho punto, se pueden calcular como si toda su carga estuviese localizada en el centro de la esfera. Esto es:

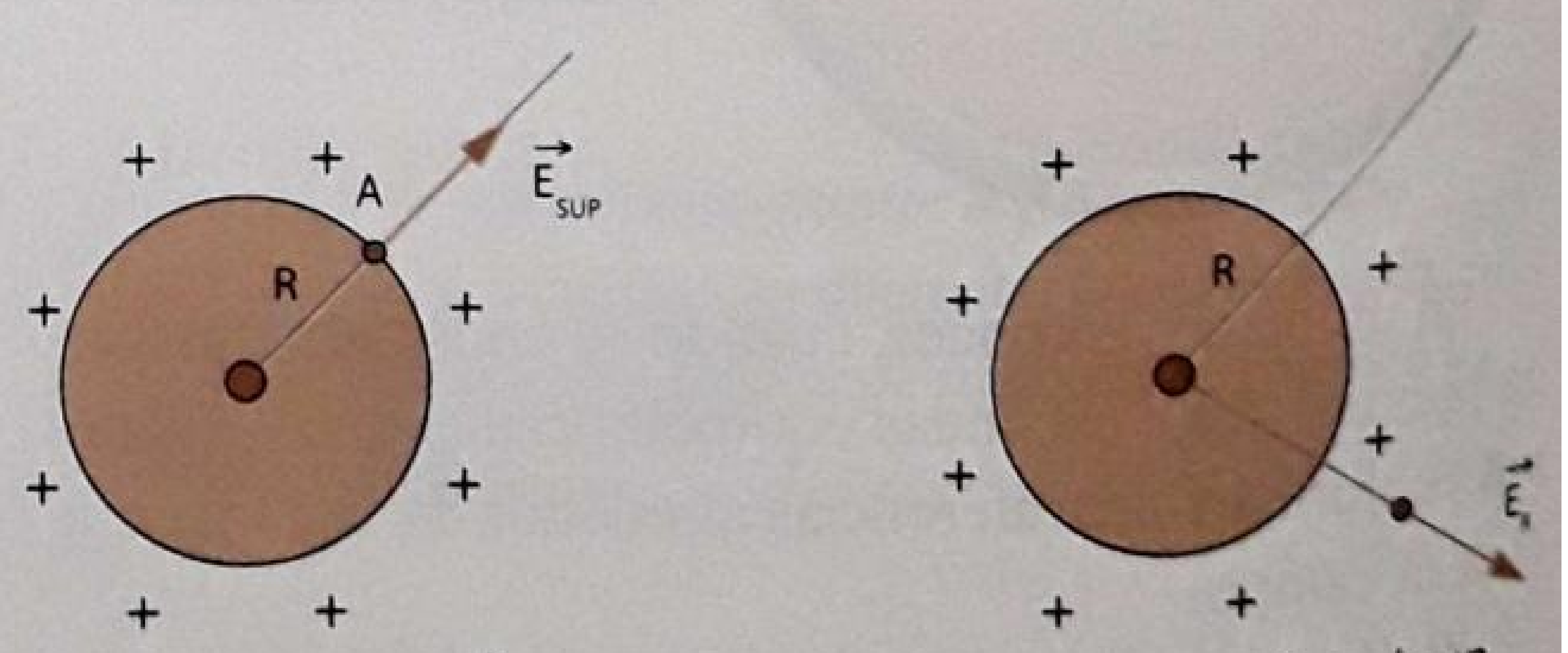
$$\vec{E}_A = \frac{K \cdot q}{d^2}$$

$$V_A = \frac{K \cdot q}{d}$$

donde K es la constante electrostática, **q** es la carga que genera el campo $\vec{E}$ y **d** es la distancia de A al centro del conductor esférico.



*Campo eléctrico $\vec{E}_A$ de un punto **A** ubicado a cierta distancia **d** del centro del conductor esférico.*



Campo eléctrico $\vec{E}_R$ en un punto cercano a la superficie de un conductor esférico y en su superficie ($\vec{E}_{SUP}$).

En puntos del campo eléctrico $\vec{E}$ de un conductor esférico, muy próximos a su superficie, la intensidad $\vec{E}_R$ puede calcularse como: $\vec{E}_R = \frac{K \cdot q}{R^2}$, donde R es el radio de la esfera conductora.

La intensidad del campo eléctrico en los puntos ubicados sobre la superficie de un conductor esférico resulta la mitad del valor que se halla en puntos cercanos a la misma: $E_{SUP} = \frac{E_R}{2}$, es decir, $E_{SUP} = \frac{K \cdot q}{2 \cdot R^2}$

El potencial eléctrico V de un punto interno o superficial de un conductor esférico se expresa:

$$V = \frac{K \cdot q}{R}$$

La capacidad eléctrica

Cualquier par de conductores es capaz de almacenar cargas eléctricas y recibe el nombre de *capacitor*. La cualidad de estos cuerpos se denomina *capacidad eléctrica* y se la determina por intermedio de una magnitud C_{ap}, que relaciona el potencial eléctrico de un conductor V con su carga **q**. En símbolos:

$$C_{ap} = \frac{q}{V} \quad \text{o bien} \quad q = C_{ap} \cdot V \qquad (6)$$

Así, cuanto mayor sea el valor de C_{ap} mayor es la capacidad que tiene el conductor de acumular carga para un determinado potencial. Por definición, la carga y el potencial se consideran positivos, por lo que C_{ap} siempre resulta una magnitud positiva.

La unidad de capacidad se denomina *faradio* (F) y resulta de combinar la unidad de carga (coulomb) con la de potencial (voltio); esto es:

$$\text{unidad de capacidad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ voltio}} = 1 \text{ F}$$

Como la unidad faradio resulta muy grande, en las aplicaciones prácticas, generalmente se usan submúltiplos: el *microfaradio* ($1\mu F = 10^{-6}$ F), el *nanofaradio* ($1\eta F = 10^{-9}$ F) y el *picofaradio* ($1pF = 10^{-12}$ F).

Capacidad de un conductor esférico

Una esfera electrizada y aislada tiene un potencial igual a

$$V = \frac{K \cdot q}{R}$$

Por lo tanto, su capacidad toma la forma

$$C_{ap} = \frac{q}{\frac{K \cdot q}{R}} = \frac{R}{K}$$

una expresión que permite deducir las siguientes propiedades:

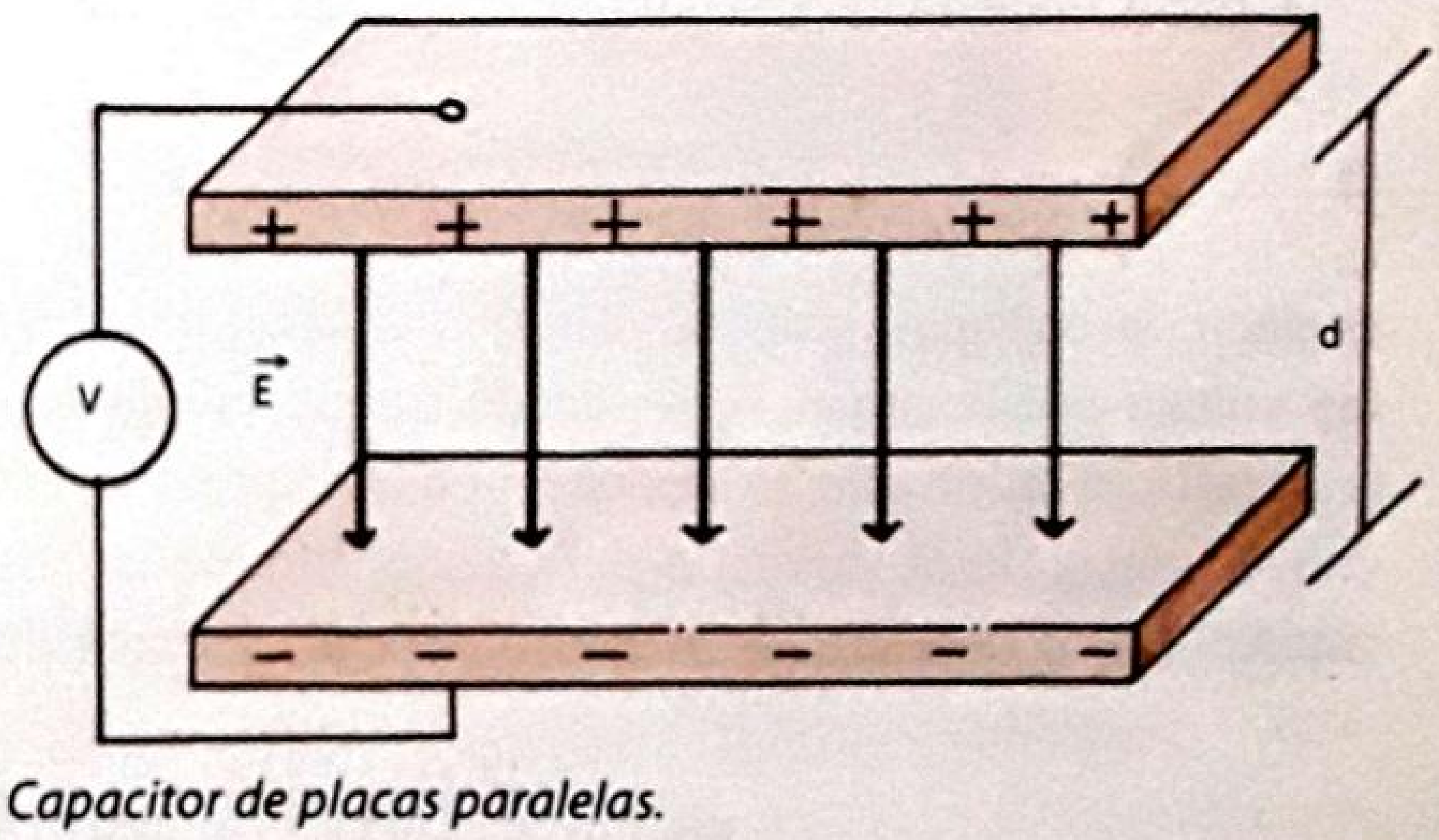
- La capacidad es directamente proporcional a su radio.
- La capacidad es una propiedad geométrica del conductor (en este caso, depende de su radio únicamente).
- La capacidad no depende de su carga (**q**).
- La capacidad depende del medio en el que la esfera está inmersa (se visualiza en su dependencia con K).

Capacitor de placas paralelas

El capacitor más sencillo se construye con un par de placas paralelas, hechas de material conductor, separadas entre sí por un distancia pequeña **d**. Las dimensiones de las placas deben ser mucho mayores que su separación; estas representan sendas superficies equipotenciales. Su capacidad C_{ap} es directamente proporcional a la superficie de sus placas S, e inversamente proporcional a su separación **d**. En símbolos:

$$C_{ap} = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}$$

donde ε es una constante propia del medio que se coloque entre las placas (puede haber vacío o bien algún otro medio aislante).



Capacitor de placas paralelas.

Por otra parte, puede comprobarse que entre las placas del capacitor existe cierto campo eléctrico $\vec{E}$: colocando una carga de prueba **q'**, se verá que esta se mueve hacia alguna de las placas, según el signo que tenga dicha carga. El campo $\vec{E}$ apuntará en el sentido de la placa negativa, es decir, si se coloca una **q'** positiva, se acelerará hacia esa placa, indicando que el $\vec{E}$ apunta en el mismo sentido.

Los dieléctricos

En un capacitor de caras planas cargado, se observa que, al introducir una sustancia aislante, disminuye la diferencia de potencial (V, también llamada *voltaje*) entre las placas, lo que significa que su capacidad C_{ap} ha aumentado, ya que la carga **q** ha permanecido constante (6).

Por ejemplo, si se introduce aceite de oliva, su capacidad es aproximadamente tres veces mayor de la que tenía en el aire; en cambio, la C_{ap} de un capacitor en el aire y en el vacío es casi la misma.

Es decir, si el potencial del capacitor es V, luego de introducir la sustancia aislante, el potencial resulta V_ε y se hallará siempre que $V_\varepsilon < V$; si se retira esa sustancia, el potencial vuelve a ser V.

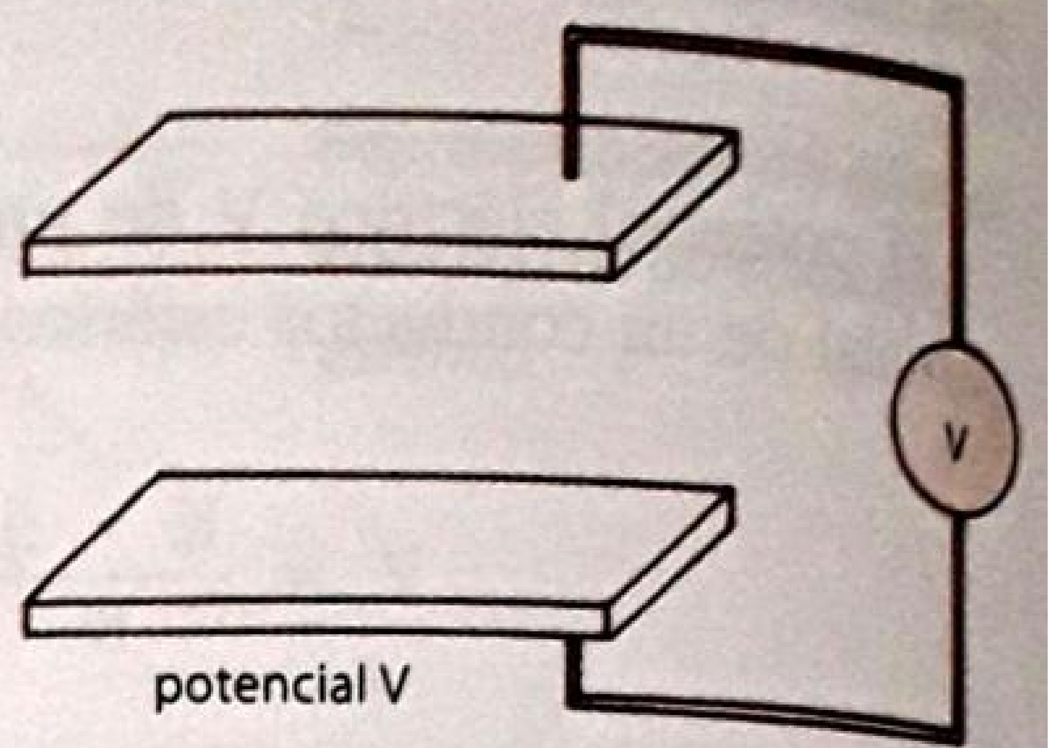
Así, se define como la *constante dieléctrica* κ_{SUST} de una sustancia a la relación entre la capacidad de un capacitor en el que se ha introducido esa sustancia y la capacidad del mismo en el vacío.

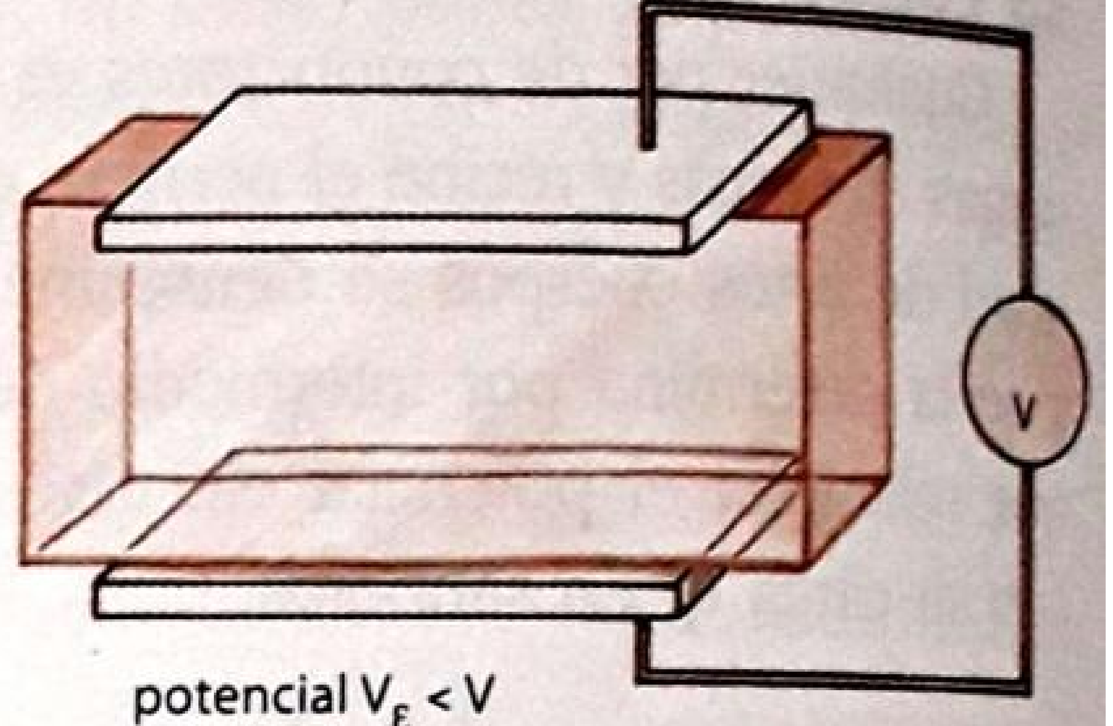
$$\kappa_{SUST} = \frac{C_{ap}\ (\text{sustancia})}{C_{ap}\ (\text{vacío})}$$

que puede escribirse también como:

$$\kappa_{SUST} = \frac{V}{V_\varepsilon}$$

que resulta un número diferente para cada sustancia.





*Un capacitor en el que se introduce un dieléctrico disminuye su potencial. La constante dieléctrica del agua es κ_{AGUA} = 81; la del vidrio, κ_{VIDRIO}, se encuentra entre 5 y 7, y la del ámbar κ_{AMBAR} = 2,8; finalmente, la del vacío es la unidad (κ_{AIRE} = 1). Por este motivo, a los materiales aisladores también se los conoce como **dieléctricos**.*

Energía de un capacitor

A partir de la expresión (4), puede escribirse que:

$$Ep_e = V \cdot q \qquad (7)$$

es decir, la energía potencial eléctrica podría calcularse como el producto del voltaje por la carga. Pero sucede que, en realidad, la Ep_e solo alcanza la mitad del valor que se deduce por la expresión (6); este fenómeno es consecuencia de la variación del voltaje durante la carga y la descarga del capacitor. Por lo tanto, la energía potencial eléctrica de un capacitor es:

$$Ep_e = \frac{V \cdot q}{2} \qquad (8)$$

que, en función de la capacidad (6), puede formularse:

$$Ep_e = \frac{q^2}{2 \cdot C_{ap}} \qquad (9)$$

o bien

$$Ep_e = \frac{C_{ap} \cdot V}{2} \qquad (10)$$

En otras palabras, si en un capacitor se duplica el voltaje, almacenará cuatro veces más energía que la que correspondía a un voltaje simple.

Efecto de los dieléctricos

Si se coloca un dieléctrico en una zona del espacio donde existe un campo eléctrico $\vec{E}$, se produce un debilitamiento de ese campo, con la consecuente disminución de la energía potencial almacenada.

Consideremos una vez más un capacitor de caras planas, cargado. Ahora, su potencial eléctrico (sin dieléctrico, es decir, en el vacío) puede escribirse, del siguiente modo:

$$V = \frac{q}{2 \cdot C_{ap}\,(\text{vacío})} \qquad (11)$$

mientras que el potencial, cuando se introduce una sustancia dieléctrica, resulta:

$$V_\varepsilon = \frac{q}{2 \cdot C_{ap}\,(\text{sustancia})} \qquad (12)$$

Haciendo el cociente entre la (11) y la (12), se obtiene:

$$\frac{V}{V_\varepsilon} = \frac{C_{ap}\,(\text{sustancia})}{C_{ap}\,(\text{vacío})} = \kappa_{SUST} \qquad (13)$$

donde κ_{SUST} es la constante dieléctrica. Esa última expresión permite escribir $V_\varepsilon = \frac{V}{\kappa_{SUST}}$, una expresión de la que se infiere que la energía del capacitor disminuye por la presencia del dieléctrico en un factor $\frac{1}{\kappa_{SUST}}$. En otras palabras, el capacitor entrega energía cuando se introduce un dieléctrico en su interior.

Con los mismos potenciales V y V_ε se determina el valor de la intensidad del campo eléctrico E, antes y después de colocar el dieléctrico E_ε, esto es:

$$E = \frac{V}{d} \text{ y } E_\varepsilon = \frac{V_\varepsilon}{d}$$

donde **d** es la distancia entre sus placas. Realizando el cociente entre E y E_ε, se obtiene:

$$\frac{E}{E_\varepsilon} = \frac{\frac{V}{d}}{\frac{V_\varepsilon}{d}} = \frac{V}{V_\varepsilon} = \kappa_{SUST}$$

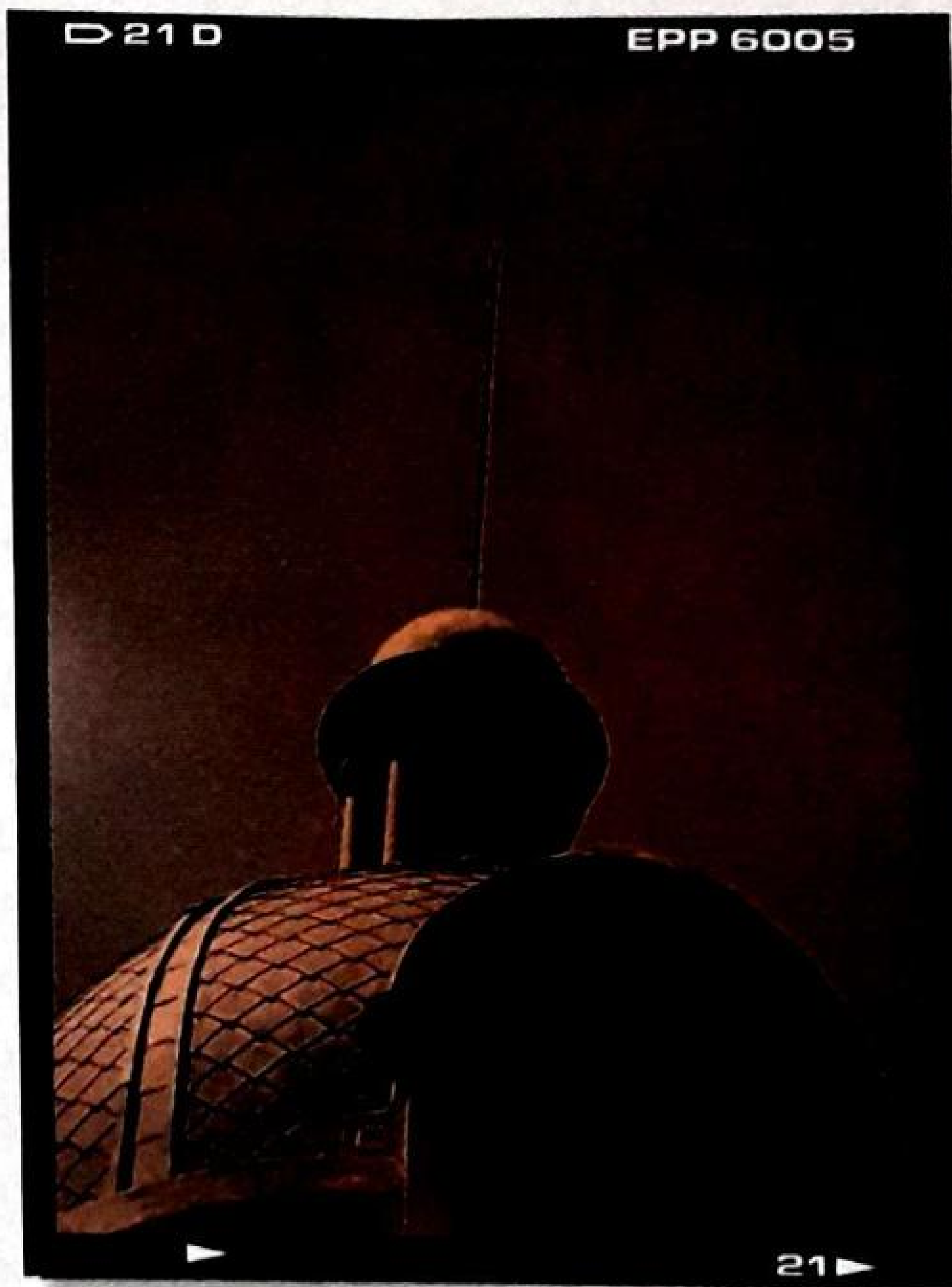
por lo tanto, $E_\varepsilon = \frac{E}{\kappa_{SUST}}$, que, evidentemente, muestra cómo disminuye la intensidad del campo eléctrico.

Efectos de descarga eléctrica

Cuando la electricidad atraviesa bruscamente el medio dieléctrico colocado entre dos conductores, cuyo voltaje es suficientemente grande, se produce una chispa.

La chispa se visualiza como un efecto luminoso y uno sonoro. Los relámpagos son chispas gigantescas que saltan entre dos nubes cargadas con electricidades contrarias. El rayo, en cambio, se produce cuando las chispas saltan entre una nube y la superficie terrestre.

Si el pasaje de la electricidad se produce en forma continua, se genera una descarga silenciosa aunque luminosa, llamada *efluvio eléctrico.*



Las cargas del mismo signo se repelen y se acumulan en los extremos agudos de los objetos conductores. A este fenómeno se lo denomina poder de las puntas. Este efecto fue utilizado por Benjamin Franklin para inventar el pararrayos, cuyo objetivo es eliminar las cargas en lugar de conservarlas.

El pararrayos

El pararrayos es una barra de metal terminada en punta en el extremo superior, mientras que el otro extremo se adhiere al suelo. Se usa para proteger a los edificios de las descargas eléctricas que se producen, por ejemplo, durante las tormentas. Si una nube cargada positivamente se acerca al lugar donde se halla un pararrayos, producirá electricidad negativa en el suelo, que tratará de escapar por la punta del pararrayos; de ese modo, en algunos casos se logra neutralizar la carga de la nube o, si se produce la descarga, se consigue que la electricidad circule por la barra del pararrayos hasta el suelo, y no por otro lugar.