

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E} \quad (\text{en el SI})$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (\text{en el sistema de Gauss})$$

La definición general de \mathbf{D} , correcta para los medios no isotrópos, puede verse en III.5.3.4°.

Ejemplo. Para el campo de una carga eléctrica puntual q (III.1.2.3°),

$$\mathbf{D} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^3} \mathbf{r} \quad (\text{en el SI})$$

$$\mathbf{D} = \frac{q}{r^3} \mathbf{r} \quad (\text{en el sistema de Gauss})$$

La proyección de \mathbf{D} sobre la dirección del radio vector \mathbf{r} trazado desde la carga puntual al punto de un campo dado, constituye

$$D_r = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \quad (\text{en el SI})$$

$$D_r = \frac{q}{r^2} \quad (\text{en el sistema de Gauss})$$

2°. Se llama *flujo de desplazamiento elemental* $d\Phi_e$ a través de una porción de superficie de área dS , la magnitud física escalar definida por la igualdad

$$d\Phi_e = \mathbf{D} d\mathbf{S} = \cos(\mathbf{D} \wedge \mathbf{n}) = D_n dS = D dS$$

en la que \mathbf{D} es el vector de desplazamiento (p. 1°); \mathbf{n} , el versor normal a la superficie dS ; $dS = dS \mathbf{n}$, el vector de la superficie

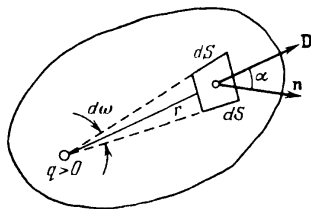


Fig. III.2.3.

§ 111.2.2. Principio de la superposición de los campos eléctricos

1°. El problema fundamental de la electrostática se formula del modo siguiente: dada la distribución en el espacio la magnitud de las fuentes del campo—cargas eléctricas—hallar la magnitud y la dirección del vector intensidad \mathbf{E} en cada punto del campo.

2°. Si el campo es creado por un sistema de cargas en reposo $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, la fuerza resultante \mathbf{F} que actúa sobre la carga de ensayo q_0 (111.2.1.2°) en cualquier punto del campo considerado, será igual a la suma vectorial de las fuerzas \mathbf{F}_i , que ejercen sobre la carga q_0 cada una de las cargas q_i :

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^{i=n} \mathbf{F}_i.$$

De acuerdo con (111.2.1.3°) $\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E}$ y $\mathbf{F}_i = q_0 \mathbf{E}_i$, donde \mathbf{E} es la intensidad del campo resultante, y \mathbf{E}_i , la intensidad del campo creado por la carga q_i . De las fórmulas precedentes se deduce el *principio de la independencia de la acción de los campos eléctricos o principio de la superposición* de dichos campos:

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i.$$

La intensidad del campo eléctrico de un sistema de cargas es igual a la suma vectorial de las intensidades de los campos que crean cada una de las cargas por separado. La intensidad del campo resultante se halla superponiendo las intensidades de los campos de cada carga.

Para las cargas distribuidas continuamente en el espacio (P. 3°), el principio de superposición tiene la forma

$$\mathbf{E} = \int d\mathbf{E},$$

Donde la integración se extiende a todas las fuentes de los campos, distribuidas de modo continuo y que crean los campos eléctricos de intensidad $d\mathbf{E}$.

Ejemplo. Un sistema de cargas puntuales en reposo q_1, q_2, \dots, q_n , crea un campo electrostático cuya intensidad \mathbf{E} es

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon r_i^3} \mathbf{r}_i \quad (\text{en el SI}),$$

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon r_i^3} \mathbf{r}_i \quad (\text{en el sistema CGSE}),$$

Siendo \mathbf{r}_i , el radio vector trazado desde la carga puntual q_i al punto que se analiza del campo. Cualquier cuerpo cargado, cuya carga Q (p. 3°) esté distribuida en él discretamente, se puede dividir en partes muy pequeñas que tengan, cada una de ellas, carga puntual. Por esto la fórmula anterior tendrá valor general para el cálculo de los campos electrostáticos en un medio homogéneo isotrópico que llene todo el campo.

3°. Las fuentes de los campos electrostáticos —cargas eléctricas— pueden estar distribuidas en el espacio *discretamente* (*distribución discreta, de las cargas*), es decir

5°. Junto con el principio de superposición de los campos (111.2.2.1°), el teorema de Ostrogradski — Gauss se utiliza para calcular los vectores \mathbf{D} de los campos eléctricos. Para esto hay que elegir de tal modo la superficie cerrada, que en la expresión del flujo de desplazamiento pueda sacarse \mathbf{D} fuera del signo de la integral de superficie. Para los campos creados por cargas muy simples, simétricamente situadas (línea, plano, esfera, etc. cargados), esto se puede hacer.

Capítulo III.2. Intensidad y desplazamiento del campo eléctrico

§ 111.2.1. Campo eléctrico. Intensidad del campo

1°. Se llama *campo de fuerzas* una de las formas de la materia que estudia la física a la par que la substancia. La peculiaridad más importante de los campos de fuerzas es la de que con su ayuda se efectúan las interacciones de diversos tipos. Así, el campo de gravitación (1.6.2.1°) efectúa la interacción gravitatoria de las masas que se encuentran en él. Todos los campos poseen propiedades muy importantes que caracterizan su materialidad, en primer lugar energía. Entre el campo y la substancia no existen límites infranqueables, se pueden transformar el uno en la otra y viceversa (VIII.2.5.5°).

El campo físico no puede determinarse como el espacio en que actúan ciertas fuerzas. El espacio, lo mismo que el tiempo, es una forma de existencia de la materia. Del hecho de que los campos existan en el espacio no se deduce, ni mucho menos, que el campo pueda identificarse con el espacio, ya que una forma de existencia de la materia no puede confundirse con la materia misma.

2°. La interacción coulombiana (III.1.2.2°) entre las partículas o cuerpos eléctricamente cargados y en reposo, se efectúa por medio del *campo electrostático* que ellos crean. El campo electrostático es el campo invariable con el tiempo, o sea, el *campo eléctrico estacionario* creado por las cargas eléctricas en reposo. Este campo es una de las formas de *campo electromagnético*, el cual efectúa la interacción entre las partículas (o cuerpos) eléctricamente cargados que se mueven, en el caso general, de un modo arbitrario con respecto al sistema de referencia elegido. La propiedad característica de un campo eléctrico arbitrario, que lo distingue de otros campos físicos, es la de actuar tanto sobre las cargas eléctricas (partículas y cuerpos con carga) en movimiento, como sobre las que están en reposo.

3°. Para caracterizar cuantitativamente la fuerza con que actúa el campo eléctrico sobre las partículas y cuerpos cargados, sirve el vector *intensidad del campo eléctrico* \mathbf{E} . La intensidad del campo eléctrico en un punto dado del mismo es igual a la razón de la fuerza \mathbf{F} , que actúa por parte del campo sobre una *carga eléctrica puntual* (111.1.2.3°) *de ensayo* situada en el punto considerado del campo, a la magnitud q_0 de esta carga:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} .$$

Se admite que la «carga de ensayo» q_0 es tan pequeña, que su presencia no provoca la redistribución en el espacio de las cargas que crean el campo sujeto a investigación. En otras palabras, la carga de ensayo no distorsiona el campo que se estudia con su ayuda. Un campo eléctrico se dice que es *homogéneo* (*campo eléctrico homogéneo o uniforme*) si en cualquier punto del mismo el vector intensidad \mathbf{E} tiene magnitud y dirección constantes.

4°. La intensidad del campo electrostático de una carga puntual q en un punto situado a la distancia r de ella, será