La densidad volumétrica de la energía del campo en el dieléctrico es igual a la suma de $W_{e(vac)}$ y $W_{e(d|e|)}$

$$W_e = W_{e(vac)} + W_{e(diel)} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \qquad \text{(en el SI)},$$

$$W_e = W_{e(vac)} + W_{e(diel)} = \frac{\varepsilon E^2}{8\pi} \qquad \text{(en el sistema CGSE)}$$

9º para un campo eléctrico alternativo no potencial, el concepto de potencial φ y las expresiones para la energía basadas en él, que se dan en los pp. $1^0 y 2^0$, carecen de sentido. No obstante, todo el campo eléctrico, de un modo semejante al campo electrostática potencial, posee energía, la cual puede calcularse siempre por la fórmula universal

$$W_e = \int_v w_E dV,$$

En la que

$$w_e = \frac{1}{2}\mathbf{DE} \quad \text{(en la SI) y}$$

$$w_e = \frac{1}{8\pi}\mathbf{DE} \quad \text{(en el sistema CGSE)}$$

§ III.6.2. Ley de conservación de la energía para un campo eléctrico en un medio no ferroeléctrico.

1°. La energía $\boldsymbol{W_e}$ del campo eléctrico creado por un sistema cualquiera de cuerpos cargados (conductores y dieléctricos) varía si los cuerpos del sistema se trasladan o si cambian sus cargas. En este caso realizan trabajo las fuerzas externas aplicadas a los cuerpos del sistema y las fuentes de energía eléctrica (baterías de acumuladores, generadores de corriente, etc.) conectadas a los conductores del sistema.

La ley de conservación de la energía para una variación pequeña del estado del sistema, a condición de que la temperatura de éste y la densidad del medio permanezcan constantes, tiene la forma

$$\delta \mathrm{A}' + \delta \mathrm{A}_{f.e.e} = dW_e + dW_c + \delta Q_{J-L}.$$

Aquí $\delta \boldsymbol{A}'$ es el trabajo de las fuerzas externas; $\delta A f_{e.e}$, el trabajo de las fuentes de energía eléctrica; dW_e, la variación de la energía del campo eléctrico del sistema; dW_c, la variación de la energía cinética del sistema; y δQ_{J-L}, el calor de Joule — Lenz (III.8.2.6°) debido al paso de las corrientes eléctricas por los conductores del sistema al variar o al redistribuirse sus cargas.

2°. Si la traslación de los cuerpos del sistema se efectúa cuasiestáticamente, es decir, muy despacio, en primer lugar se puede despreciar la variación de la energía cinética de los cuerpos del sistema ($d\boldsymbol{W}_c = 0$), y en segundo lugar podemos considerar que el trabajo de las fuerzas externas $\delta \boldsymbol{A}'$ es numéricamente igual y de signo contrario al trabajo $\delta \boldsymbol{A}$ que realizan en este proceso las fuerzas

que actúan sobre los cuerpos del sistema en el campo eléctrico, llamadas fuerzas *ponderomotrices*. En estos casos la ley de conservación de la energía tiene la forma siguiente:

$$\delta \mathrm{A}_{f.e.e} = dW + \delta \mathrm{A} + \delta Q_{J-L}.$$

El trabajo de las fuentes de energía eléctrica durante un intervalo infinitesimal de tiempo dt de variación del estado del sistema constituye

$$\delta \mathrm{A}_{f.e.e} = \sum_{i=1}^{\kappa} \mathcal{E}_i dq_i = \sum_{i=1}^{\kappa} \mathcal{E}_i I_i dt$$

donde k es el número total de fuentes de energía eléctrica que hay en el sistema que se considera; $\mathcal{E}_i$, la fem de la i-ésima fuente (III.8.2.2°); dq_i, la carga que pasa por esta fuente durante el tiempo dt; y $\boldsymbol{I_i} = dq_i/dt$, la intensidad de la corriente en la fuente. El trabajo $\boldsymbol{\mathcal{E}_i I_i dt}$ es positivo si la corriente I¡ circula dentro do la fuente del cátodo al ánodo (III.8.2.4°).

3°. La expresión de la ley de conservación de la energía para la variación cuasiestática del estado de un sistema (p. 2°) en el que la carga de cada conductor no varía ni se redistribuye, de modo que $\delta \boldsymbol{A}_{f.e.e} = 0$ y $\delta Q_{J-L} = 0$, tiene la forma

$$dW_e + \delta A = 0.$$

Por consiguiente, en el proceso considerado, el trabajo de las fuerzas ponderomotrices es igual a la disminución de la energía del campo eléctrico del sistema. Esta relación puede utilizarse para hallar las fuerzas ponderomotrices basándose en el cálculo de la variación de la energía del sistema. Es el caso en que el cálculo directo de las fuerzas ponderomotrices tropieza con bastantes dificultades debidas a la aparición, en el campo eléctrico, de cargas de polarización (III.5.2.6°), y también a las deformaciones mecánicas de los cuerpos del sistema.

4°. Ejemplo. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre las placas de un condensador piano cargado (la distancia entre las placas x <<√c, siendo S el área de la lámina).
El condensador está cargado y desconectado de la fuente de tensión do manera que la carga del condensador q = σS = const.; δ es la densidad superficial de la carga. Si la distancia entre las placas aumenta en dx, la fuerza ponderomotriz F, aplicada a la placa que se desplaza, realiza el trabajo δA = - Fdx. La variación de la energía del campo electrostático en el condensador, dWe = WeSdx; donde We es la densidad volumétrica de la energía del campo en la capa de espesor dx adyacente a la lámina. De este modo, de la ley de conservación de la energía (p. 3°) se deduce que la fuerza ponderomotriz

$$F = w_e S.$$

Son posibles dos casos:
- **a)** el condensador tiene dieléctrico gaseoso o líquido entre las armaduras;
- **b)** el condensador esta completado por una placa de dieléctrico solidó.

En el primer caso todo el espacio entre las placas del condensador, independientemente de la magnitud de la distancia entre ellas, esta lleno de un mismo dieléctrico cuya permitividad relativa es *E*. Por lo tanto,

$$W_e = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V \qquad \text{(en el SI)},$$

$$W_e = \frac{\varepsilon E^2}{8\pi} V \qquad \text{(en el sistema CGSE.)},$$

Donde V = Sd es el volumen del campo del condensador. La energía del campo homogéneo está distribuida uniformemente por su volumen. *La densidad volumétrica* de esta *energía* es

$$w_e = \frac{w_e}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} \qquad \text{(en el SI)},$$

$$w_e = \frac{\varepsilon E^2}{8\pi} = \frac{ED}{8\pi} \qquad \text{(en el sistema CGSE.)},$$

4º. *La densidad volumétrica de la energía de un campo heterogéneo* es

$$w_e = \frac{dW_e}{dV},$$

en la que dWe es la energía del volumen infinitesimal dV del campo (**véase el p.5º**). Para un campo electrostático en un medio isótropo, we viene expresada por las fórmulas del p. 3º. Si el medio es eléctricamente anisótropo, entonces

$$w_e = \frac{1}{8\pi} DE \qquad \text{(en el SI)},$$

$$w_e = \frac{1}{2} DE \qquad \text{(en el sistema CGSE).}$$

5º. La energía dWe del volumen infinitesimal dV del campo electrostático en un medio isótropo dentro de cuyos limites we = idem, constituye

$$dW_e = w_e dV = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} dV \qquad \text{(en el SI)},$$

$$dW_e = w_e dV = \frac{\varepsilon E^2}{8\pi} dV \qquad \text{(en el sistema CGSE).}$$

y la energía We de todo el campo electrostático.

$$W_e = \int_{V_{campo}} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} dV \qquad \text{(en el SI)},$$

$$W_e = \int_{V_{campo}} \frac{\varepsilon E^2}{8\pi} dV \qquad \text{(en el sistema CGSE).}$$

Donde la integral se extiende a todo el volumen del campo V_{campo}. Φ

6º. La energía del campo electrostático de un cuerpo cargado arbitrario es igual a la energía de dicho cuerpo (**p. 1º**).

$$\int_{V_{campo}} w_e dV = \frac{C\varphi^2}{2}.$$