RESUMEN DIELÉCTRICOS

Dudas, sugerencias y correcciones a: danielneira99@gmail.com

Hasta el momento, hemos estudiado el campo eléctrico suponiendo que el espacio que hay entre las cargas eléctricas es el vacio. La presencia de un campo eléctrico externo produce que se aplique una fuerza a cada partícula cargada de un material y produce pequeños desplazamientos de las cargas positivas y negativas en direcciones opuestas. Estas cargas que se desplazan corresponden a **Cargas ligadas**. Estos desplazamientos producen dipolos eléctricos que polarizan el material dieléctrico, los cuales modifican el campo eléctrico dentro y fuera del material dieléctrico. Estos dipolos los llamaremos **dipolos eléctricos inducidos**.

A nivel macroscópico, definiremos el **vector de polarización P** para analizar el efecto de los dipolos inducidos:

$$\vec{P} = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\sum p_k}{\Delta v}$$

Donde p_k corresponde a los momentos dipolares inducidos en un volumen muy pequeño Δv. El vector $\vec{P}$ corresponde a la densidad de volumen del momento dipolar eléctrico. El momento dipolar dp produce un potencial electrostático de:

$$dV = \frac{\vec{P} \cdot u_r}{4\pi\epsilon_o R^2}$$

Luego, integrando en todo el volumen, se obtiene:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int_v \frac{\vec{P} \cdot \vec{u}_r dv}{R^2}$$

Con el vector P, podemos definir algunas cantidades que serán útiles:

- **Densidad superficial de carga polarizada**: Corresponde a la densidad de carga que se forma en la superficie del dieléctrico, producto de los dipolos formados por la presencia del campo eléctrico externo, $\hat{n}$ es el vector normal del dieléctrico, con lo cual:

$$\sigma_{pol} = \vec{P} \cdot \hat{n}$$

- **Densidad volumétrica de carga polarizada**: Al igual que la anterior, es producto de los dipolos formados, la relación que utilizaremos es:

$$\rho_{pol} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$$

Por lo tanto, si ρ_{pol} no se anula, entonces el dieléctrico aparentemente está polarizado. Pero suponiendo que el dieléctrico se encuentra solo en presencia de un campo eléctrico externo , la carga presente por la polarización debe ser cero.

Usando estas dos definiciones, podemos definir nuevamente el potencial eléctrico y el campo eléctrico (Recordando que $-\nabla V = \vec{E}$), a partir de estas cantidades, resultando en:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \oint_s \frac{\sigma_{pol} ds}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int_v \frac{\rho_{pol} dv}{R}$$

Al tener presencia de cargas inducidas, es de esperar que el campo eléctrico dentro de un dieléctrico sea modificado por estas cargas. Luego, la densidad de carga dentro del dieléctrico también es alterada, por lo cual, la **densidad de carga total** en un dieléctrico es:

$$\rho = \rho_{libre} + \rho_{pol}$$

Luego, la segunda ley de Maxwell nos habla sobre la divergencia del campo eléctrico, y sustituyendo la carga en un dieléctrico tenemos:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho_{libre} + \rho_{pol}}{\epsilon_o}$$

Usando la densidad volumétrica de carga polarizada, y con un poco de álgebra tenemos:

$$\vec{\nabla} \cdot (\epsilon_o \vec{E} + \vec{P}) = \rho_{libre}$$

Con esto, podemos definir el **vector densidad de flujo eléctrico** o también conocido como **vector desplazamiento eléctrico** $\vec{D}$ como:

$$\vec{D} = \epsilon_o \vec{E} + \vec{P}$$

Este vector nos permite hacer una relación entre las cargas libres del dieléctrico (cargas que son producto de cargar el material, no de un campo eléctrico externo) y la divergencia, sin tratar de manera explícita el vector P ni la densidad de carga polarizada. Luego, tenemos la siguiente relación con la divergencia de D:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_{libres}$$

Luego, integrando y aplicando el teorema de Gauss, obtenemos la **Ley de Gauss para dieléctricos**:

$$\oint_s \vec{D} \cdot ds = Q_{libre}$$

Materiales Lineales: La mayor parte de este curso hablaremos solo de materiales lineales, los cuales se caracterizan por presentar una polarización directamente proporcional a la intensidad del campo eléctrico, y la constante de proporcionalidad es independiente de la dirección de $\vec{E}$:

$$\vec{P} = \epsilon_o \chi_e E$$

Donde χ_e corresponde a la **supsceptibilidad eléctrica**, donde en materiales lineales es independiente de E. Si reemplazamos esta relación en la definición de D tenemos:

$$\vec{D} = \epsilon_o (1 + \chi_e) \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

Donde $\epsilon = \epsilon_o(1+\chi)$. De esta manera, definimos la cantidad ϵ como **permitividad del medio**, o también conocida como **constante dieléctrica del medio**. Es importante notar que estas últimas relaciones **SOLO son válidas para materiales lineales**, por lo que deben corroborar esta información antes de utilizarlas