TEMA 1 – ELECTROSTÁTICA. CARGAS Y CAMPOS.

Clase 1.1 Ley de Coulomb

Iniciaremos el estudio de las fuerzas electromagnéticas, considerando aquellas que se producen cuando las cargas están en reposo. A este tipo de análisis se le conoce como **electrostática.**

Iniciaremos el estudio de estas fuerzas cuando las cargas se encuentran en el vacío y consideraremos en temas sucesivos la presencia de materiales conductores. Más adelante consideraremos el efecto de los materiales no conductores (dieléctricos) sobre estas fuerzas.

Carga eléctrica

La **carga eléctrica** es una propiedad de la materia cuyo principal efecto es originar las fuerzas electromagnéticas.

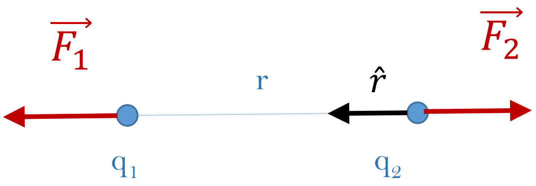
Las principales propiedades de la carga eléctrica son:

- Existen dos tipos de carga: positiva y negativa.
- La carga eléctrica no puede ser creada ni destruida, pero si puede ser transferida. (**Ley de conservación de la carga eléctrica**)
- Los objetos que no presentan carga eléctrica neta poseen igual cantidad de ambos tipos.
- Por frotamiento se puede producir una trasferencia de carga apareciendo exceso o defecto de uno de los tipos de carga, pasando el cuerpo a estar cargado.
- Cargas del mismo signo se repelen y cargas de distinto signo se atraen.

En el sistema internacional de unidades, la carga se mide en **culombios.** Un culombio es un amperio multiplicado por un segundo.

Expresión de la ley de Coulomb

La ley de Coulomb expresa la **fuerza existente entre dos cargas puntuales** (es decir que no ocupan un espacio apreciable) en el vacío.



Dadas dos cargas q_1 y q_2 la fuerza que hace la segunda sobre la primera se expresa como:

$$\vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$$

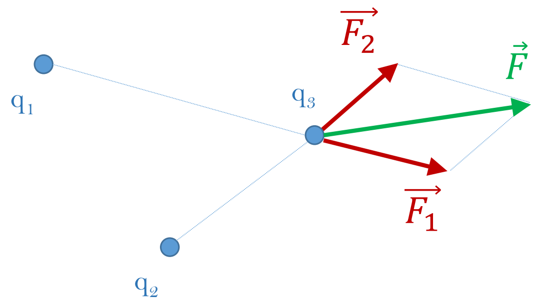
La fuerza tiene la dirección de la línea que une ambas cargas (representada por el vector unitario $\hat{r}$). Según la fórmula, el sentido es repulsivo si ambas cargas son del mismo signo y atractivo si los signos son distintos. El módulo es proporcional a las cargas q_1 y q_2, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r entre las cargas.

La constante de proporcionalidad se expresa por comodidad para resultados que se verán más adelante como $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. Este término en unidades del sistema internacional vale:

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

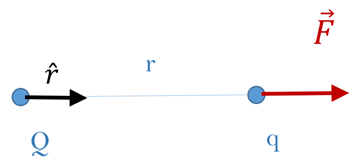
En esta expresión ε_0 se conoce como **permitividad del vacío.**

Principio de superposición de las fuerzas electrostáticas
Si hay más de una carga ejerciendo fuerza sobre otra carga, el efecto total de las fuerzas es la suma vectorial de las expresiones que se obtienen con la ley de Coulomb. Así, si tenemos una carga q_3 sobre la que ejercen fuerza dos cargas q_1 y q_2 como se muestra en la figura, la fuerza total será $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_1$



Campo eléctrico

El campo eléctrico es un concepto que nos permite estudiar la fuerza electrostática asignando a cada punto del espacio un vector $\vec{E}$, de forma que la fuerza que recibiría una carga puntual *q* situada en ese punto sea el valor de esta carga multiplicada por el campo. Veremos que este enfoque tiene muchas ventajas teóricas y prácticas.



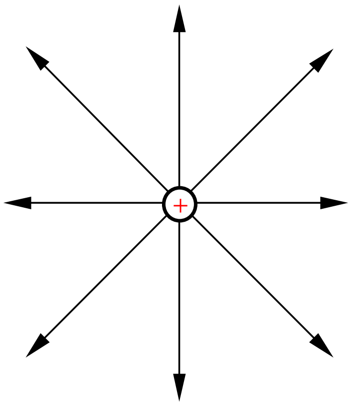
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Obviamente el valor del campo dependerá de la distribución de carga que lo produce y en general será distinto en cada punto del espacio. Para el ejemplo de la figura, el campo lo crea una única carga puntual *Q* y valdrá:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}$$

El campo eléctrico se puede entender también como la fuerza sobre una carga unitaria (1 culombio) que se denomina **carga de prueba.**

El campo eléctrico puede representarse de forma visual mediante **líneas de campo**. Las líneas de campo son líneas que tienen la propiedad de ser tangentes en todos los puntos al campo eléctrico.



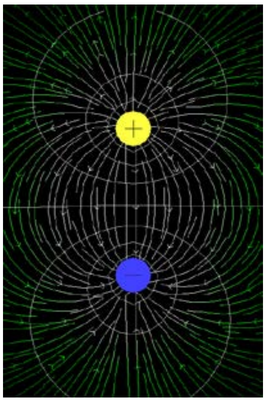
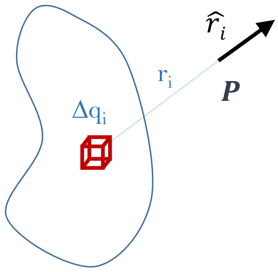


Imagen creada en www.falstad.com

Las unidades del campo eléctrico en el Sistema Internacional de unidades son newton/culombio o también voltio/metro.

Campo creado por una distribución de carga

Una forma alternativa a las cargas puntuales, para definir la localización de la carga es definir una distribución continua de carga. En ese contexto, aplicar superposición supone sumar las contribuciones al campo producidas por cada elemento de carga q_i.



En este caso hay que tener en cuenta que estamos definiendo un vector radial unitario distinto para cada carga $\hat{r}_i$ en la dirección que va desde el elemento de carga hasta el punto P donde se calcula el campo. Las distintas distancias r_i se miden desde la carga que produce el campo hasta el punto donde se calcula.

El campo de cada elemento vale:

$$\Delta\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\Delta q_i}{r_i^2}\hat{r}_i$$

Y el campo total será la suma de todos los campos elementales:

$$\vec{E} = \sum_i \Delta\vec{E}_i$$

Si llevamos al límite la expresión, haciendo los elementos de carga muy pequeños, esta expresión se convierte en la integral:

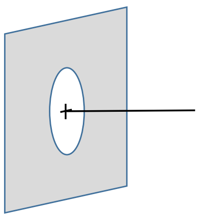
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r^2}\hat{r}$$

En esta expresión tanto la distancia *r* como el vector unitario $\hat{r}$ son variables que cambian de valor al desplazarnos en la zona donde está la carga. El vector $\hat{r}$ varía de forma continua, es unitario y su dirección va del diferencial de carga al punto donde se calcula el campo. La distancia *r* se mide desde cada carga infinitesimal que produce el campo hasta el punto *P* donde se calcula. *P* puede ser un punto genérico definido por sus coordenadas.

Los elementos diferenciales de carga pueden venir definidos usando una densidad de carga volumétrica, superficial o lineal y la integral se extiende a toda la distribución de carga que crea el campo.

Ejercicio

Tenemos una placa infinita con densidad de carga uniforme σ, que tiene un agujero circular de radio *R*. Se supone que se conoce la expresión del campo que crea una placa infinita (sin agujero) cargada uniformemente $\vec{E}_P = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{\imath}$, y la expresión del campo que crea un disco de radio R con carga uniforme sobre la línea perpendicular a la placa representada en la figura $\vec{E}_D = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2+x^2}}\right)\vec{\imath}$. (El origen de coordenadas se ha colocado en el centro del agujero y se ha considerado la línea perpendicular a la placa como eje *x*). Se pide calcular el campo creado por la placa con el hueco sobre la línea perpendicular a la placa de la figura, aplicando el principio de superposición.



Solución: $\vec{E} = \vec{E}_P - \vec{E}_D$

Fuerza sobre una distribución de cargas

Si se conoce el campo y se quiere calcular la fuerza sobre una distribución de carga, será necesario en primer lugar calcular la fuerza sobre cada elemento de carga:

$$\Delta\vec{F}_i = \Delta q_i \vec{E}$$

Y después será necesario sumar todas las fuerzas elementales

$$\vec{F} = \sum_i \Delta\vec{F}_i$$

Nuevamente, si llevamos al límite la expresión, haciendo los elementos de carga muy pequeños, esta expresión se convierte en una integral extendida a toda la distribución de carga que crea el campo:

$$\vec{F} = \int \vec{E}.dq$$

Análisis asintótico

Las expresiones del campo eléctrico correspondientes a distribuciones de cargas que están en regiones limitadas del espacio se comportan como el campo de una carga puntual (equivalente a la carga total de la distribución) cuando estamos lejos de la distribución de carga. Esto es cierto para todas las distribuciones de carga que encontramos en la realidad y no lo es para distribuciones de carga infinitas que se consideran de forma teórica (por ejemplo, un hilo infinito cargado).

Ejemplo

Comprobar el comportamiento asintótico de la expresión del campo creado por un anillo cuyo eje es el eje z, a lo largo del propio eje z, sabiendo que la expresión es:

$$E_z(z) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{zQ}{(z^2+R^2)^{\,3/2}}$$

Solución: Cuando el valor de z se hace muy grande, el término entre paréntesis se puede aproximar por z^2, por tanto:

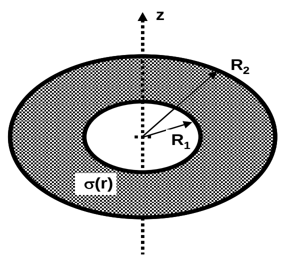
$$E_z(z) \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{zQ}{(z^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{z^2}$$

Efectivamente este es el campo lejano que crea el anillo, el mismo que una carga puntual *Q*.

Es importante ver la diferencia entre esta aproximación, para valores grandes de *z* y un límite. son cálculos diferentes. El límite de la expresión es cero, pero eso no nos da la información que queremos, sobre el comportamiento del campo lejano.

Ejercicio

Esta corona circular tiene una carga superficial no uniforme y desconocida.



El campo electrostático en el eje z vale:

$$E = \frac{A}{\pi\,\varepsilon_0 z}\left(\frac{R_2}{\sqrt{z^2+R_2^2}} - \frac{R_1}{\sqrt{z^2+R_1^2}}\right)$$

Calcula cuánto vale la carga total en la corona circular. Pista: utiliza análisis asintótico.

Solución: $\mathrm{Q} = 4\mathrm{A}(R_2 - R_1)$

Ejercicio

El campo en la mediatriz de un segmento cargado vale:

$$E = \frac{A}{\pi\,\varepsilon_0 z\sqrt{4z^2+L^2}}$$

Calcula cuánto vale la carga total en el segmento. Pista: utiliza análisis asintótico.

Solución: $\mathrm{Q} = 2\mathrm{A}$

Así que de esta clase nos quedamos con las siguiente ideas clave:

Ley de Coulomb

La fuerza y el campo electrostático dependen de la carga (proporcionalmente) y de la distancia ($\sim 1/r^2$).

Principio de superposición

El efecto (fuerza o campo) de un conjunto de cargas es la suma vectorial de sus efectos.

Análisis asintótico

Una expresión de campo eléctrico puede validarse mediante análisis asintótico, a partir del comportamiento del campo lejano, que debe ser decreciente con la distancia al cuadrado.

Clase 1.2 Flujo y ley de Gauss

Flujo del campo eléctrico

El flujo de un campo vectorial es una medida de cuánto atraviesa ese campo una determinada superficie (que puede ser abierta, como un rectángulo o cerrada, como una esfera). En la imagen se presenta un campo vectorial $\vec{v}$ horizontal, y una superficie rectangular caracterizada por su vector característico $\vec{a}$ (vector perpendicular a la superficie). Se observa que el flujo es máximo cuando el campo es perpendicular a la superficie, mínimo cuando va en la dirección paralela, y tiene un valor intermedio si campo y superficie forman un ángulo intermedio entre las dos situaciones anteriores.

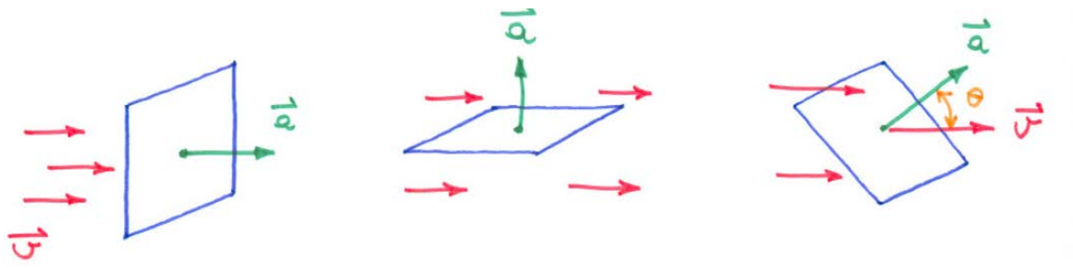
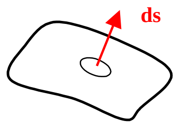


Imagen: JLRM

En general, cuando el campo varía con la posición y la superficie no es plana, dado un campo eléctrico $\vec{E}$ y una superficie S en el espacio, se denomina flujo del campo eléctrico que atraviesa la superficie a la integral:

$$\phi = \int_S \vec{E}.d\vec{s}$$

El elemento diferencial de superficie se representa mediante un vector perpendicular a la misma y de módulo el valor de la superficie.



En el caso de superficies cerradas, el vector *ds* se elige siempre hacia el exterior. La integral se extiende a toda la superficie *S*. Obsérvese que el flujo es un escalar.

Ley de Gauss

La ley de Gauss relaciona el flujo del campo eléctrico a través de cualquier superficie cerrada con la cantidad de carga contenida en su interior. En algunas configuraciones este resultado es muy útil para calcular el campo eléctrico.

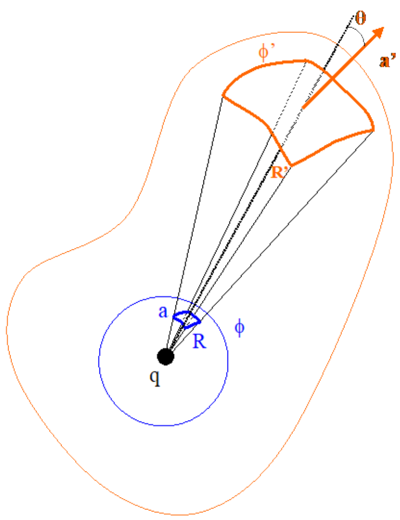
Flujo a través de una esfera de radio *R* del campo de una carga *q* situada en su centro

Como resultado previo veremos que este flujo se calcula fácilmente puesto que el módulo del campo es constante en toda la esfera y el campo es siempre perpendicular a la superficie de la esfera, por tanto:

$$\varphi = \int_S \vec{E}.d\vec{s} = E.A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R^2}.4\pi R^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Flujo a través de una superficie cerrada que contiene a una esfera de radio *R*

Vamos a ampliar el resultado anterior para una superficie cerrada con una forma cualquiera. Para ello colocaremos esfera con la carga en su centro dentro de la superficie cerrada y dividiremos la superficie de la esfera en pequeños trocitos cuadrados de superficie *a*. Uniendo el centro de la esfera con los puntos del cuadrado, se genera una superficie de forma piramidal, que al cortar con la superficie exterior nos define una superficie *A*. Llamamos θ al ángulo que forma la perpendicular a esta superficie *A* con la línea que une el centro de la esfera con el centro del cuadrado *a*.



El flujo que atraviesa a vale:

$$\varphi = E(R).a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R^2}.a$$

El flujo que atraviesa a', vale:

$$\varphi' = E(R').a'.\cos\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R'^2}.a'.\cos\theta$$

Las áreas a y $a'.cos\theta$ están relacionadas según el cuadrado de los radios así que podemos escribir:

$$\varphi' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R^2}.a'.\cos\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R^2}.a.\frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}.a = \varphi$$

Así pues, el flujo que atraviesa a es el mismo que el que atraviesa a'. El flujo total de la esfera se puede calcular descomponiéndola en muchos cuadrados como a y cada uno tendría su correspondiente en la superficie exterior hasta cubrirla por completo. Así pues, el flujo total es el mismo independientemente de la forma y tamaño de la superficie.

$$\phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Obsérvese que este resultado se puede aplicar a una esfera con una carga que no esté en su centro.

Expresión general de la ley de Gauss

Vamos finalmente a generalizar la ley de Gauss para considerar qué ocurre si hay más de una carga en el interior de la superficie. Aplicando el principio de superposición, el flujo de una suma de campos es la suma de los flujos, así que es inmediato concluir que:

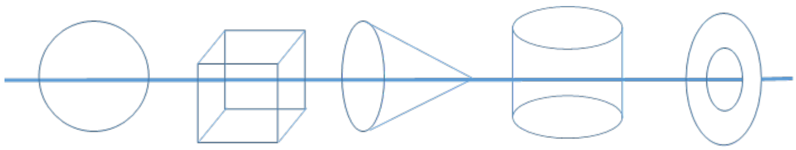
$$\phi = \frac{\sum_S q}{\varepsilon_0}$$

El flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada cualquiera es proporcional a la carga neta en su interior.

Nota: De lo anterior se deduce que, si no hay cargas en el interior, o la carga neta en el interior de una superficie es nula, el flujo del campo eléctrico a través de esa superficie es cero.

Ejemplo

Cinco figuras geométricas están atravesadas por su centro por un cable con densidad de carga uniforme λ. El radio de la esfera es R, el lado del cubo es 2R, el radio del cono es R y la altura 2R, el radio del cilindro es R y la altura 2R, el radio externo del toro es 2R y el radio interno es R. Calcula el flujo del campo eléctrico a través de cada figura.



Solución: Se trata de una aplicación inmediata de la Ley de Gauss. El flujo vale $2R\lambda/\varepsilon_0$ para las cuatro primeras figuras y cero para la última (no hay carga en el interior del toro).

Ley de Gauss

Relaciona el flujo a través de una superficie cerrada con la carga en su interior (son proporcionales).

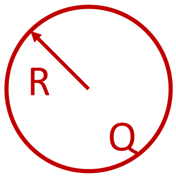
Clases 1.3 y 1.4. Aplicaciones de la ley de Gauss

La ley de Gauss permite calcular de forma inmediata el flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada a partir de la carga que contiene. El flujo del campo eléctrico (un escalar) no es lo mismo que el campo eléctrico (un campo vectorial). Sin embargo, en algunas situaciones de simetría la ley de Gauss permite calcular el campo eléctrico.

Cálculo del campo eléctrico a partir de la ley de Gauss

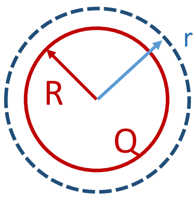
Se explica a continuación el método a partir de un ejemplo. Es importante tener en cuenta que este método es solo válido en algunas situaciones con ciertas simetrías.

El ejemplo que se plantea es calcular el campo eléctrico en el exterior de una esfera de radio *R* que tiene carga uniforme en su superficie (pero no en su interior). La carga total es conocida y vale Q.



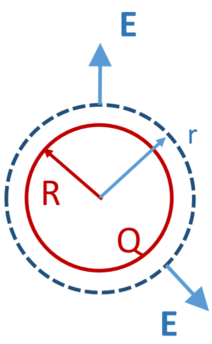
Paso1. Definir una superficie cerrada (se suele llamar gaussiana).

En este caso elegiremos una esfera de radio *r>R* (esfera azul discontinua). En el paso 2 se verá qué condiciones tiene que cumplir esta superficie cerrada. Si no se encuentra una superficie que cumple las condiciones requeridas en el paso 2, no se puede aplicar el método. (Se podrá calcular el flujo del campo utilizando la ley de Gauss, pero este resultado no será útil para calcular el campo).



Paso 2. Comprobar que la superficie gaussiana elegida es adecuada.

Paso 2A. Comprobar que el campo eléctrico tiene módulo constante en toda la superficie (o en parte de la superficie gaussiana si en el resto es cero). Llamaremos *E* a ese valor, que es el que queremos calcular.



En el ejemplo, dada la simetría del problema, esta condición se cumple. El campo debe valer lo mismo en cualquier punto de la esfera gaussiana.

Paso 2B. Comprobar que el campo eléctrico de módulo constante es perpendicular a la gaussiana.

En el ejemplo esto es cierto nuevamente debido a que la carga se reparte uniformemente en la esfera. Si el campo no fuera radial, tendría que ser porque la carga no está repartida uniformemente.

Si la gaussiana elegida no cumple las condiciones de los pasos 2A y 2B, no sirve para aplicar el método. En el ejemplo sí las cumple, así que podemos seguir adelante.

Paso 2C. Calcular el flujo utilizando la definición. Resultará ser simplemente E.Superficie de la gausiana.

En el ejemplo el flujo vale $\Phi = E.4\pi r^2$

Paso 3. Calcular otra vez el flujo del campo eléctrico a través de la gausiana, pero ahora aplicado la ley de Gauss. El flujo a través de la superficie vale Q dentro de la gausiana /ε_0

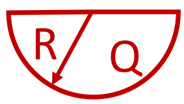
En el ejemplo el flujo valdrá $\Phi = Q/\varepsilon_0$

Paso 4. Igualar las dos expresiones del flujo y despejar el campo.

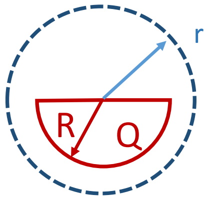
$$E.4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \quad \Rightarrow \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}$$

Situaciones en que no es posible el cálculo del campo eléctrico a partir de la ley de Gauss

Veremos ahora un ejemplo en el que no es posible emplear este método. Intentemos calcular el campo creado por media esfera con carga *Q* en su superficie.



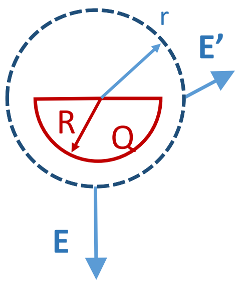
Paso 1. Elegir gaussiana. En este caso una esfera de radio *r* con el mismo centro que la semiesfera.



Paso 2A. Comprobar que el campo eléctrico tiene módulo constante en toda la superficie. No es obvio si este punto se cumple o no. Pasamos a 2B.

Paso 2B. Comprobar que el campo eléctrico de módulo constante es perpendicular a la gaussiana.

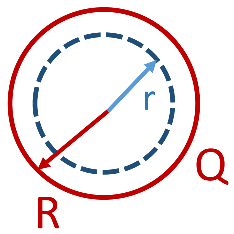
En este caso, en el dibujo puede verse que hay puntos de la esfera gaussiana en que el campo no es radial, por ejemplo, el indicado como E'. Esta gaussiana no es adecuada para aplicar el método.



Podemos intentar volver al paso 1 y definir otra gaussiana, por ejemplo, una semiesfera, pero volveremos a encontrarnos que no podemos garantizar las condiciones de los pasos 2A y 2B.

Ejemplo

Calcular el campo en el interior de una esfera de radio R con carga uniformemente distribuida en su superficie.



Solución: usaremos el método explicado.

Paso1. Definir una superficie cerrada (se suele llamar gaussiana).

En este caso elegiremos una esfera de radio *r<R* (esfera azul discontinua).

Paso 2. Comprobar que la superficie gaussiana elegida es adecuada.

Paso 2A. Comprobar que el campo eléctrico tiene módulo constante en toda la superficie (o en parte de la superficie gaussiana si en el resto es cero). Llamaremos *E* a ese valor, que es el que queremos calcular. En el ejemplo, dada la simetría del problema, esta condición se cumple. El campo debe valer lo mismo en cualquier punto de la esfera gaussiana. El razonamiento es similar al que se ha hecho para el exterior de la esfera. a priori no sabemos el sentido del campo, supondremos que es positivo (radial alejándose del centro).

Paso 2B. Comprobar que el campo eléctrico de módulo constante es perpendicular a la gaussiana.

En el ejemplo esto es cierto nuevamente debido a que la carga se reparte uniformemente en la esfera. Si el campo no fuera radial, tendría que ser porque la carga no está repartida uniformemente.

Paso 2C. Calcular el flujo utilizando la definición. Resultará ser simplemente E.Superficie de la gausiana.

En el ejemplo el flujo vale $E.4\pi r^2$

Paso 3. Calcular otra vez el flujo del campo eléctrico a través de la gausiana, pero ahora aplicado la ley de Gauss. El flujo a través de la superficie vale Q dentro de la gausiana /ε_0

En el ejemplo el flujo valdrá 0 porque no hay carga dentro de la esfera.

Paso 4. Igualar las dos expresiones del flujo y despejar el campo.

$$E.4\pi r^2 = 0 \Rightarrow \quad E = 0$$

Ejercicio

Calcular el campo en el exterior y en el interior de un cubo de lado L, con carga uniformemente distribuida en su superficie utilizando la ley de Gauss.

Solución: la configuración en forma de cubo no permite utilizar este método. No tiene la simetría necesaria. El campo en el exterior del cubo no depende solo de la distancia al centro o a la superficie del cubo. Lo mismo pasa con el campo en el interior del cubo, que no es nulo. Ambos campos tienen formas complejas y para calcularlos hay que utilizar métodos más complicados que los presentados aquí.

Ejercicio

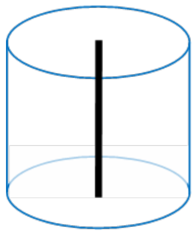
Utilizando la ley de Gauss, si se puede, calcular el campo creado por las siguientes configuraciones de carga:

- Lámina infinita con carga superficial uniforme.
- Esfera maciza con carga volumétrica uniforme.
- Línea infinita con carga lineal uniforme.
- Cilindro de altura indefinida con carga volumétrica uniforme.
- Prisma cuadrado de altura indefinida con carga volumétrica uniforme.
- Segmento con carga lineal uniforme.

Solución: el método es válido para las cuatro primeras configuraciones, pero no para el resto. Para el caso del segmento, ver el ejercicio siguiente.

Ejercicio

Tenemos un segmento cargado con carga Q de longitud 2R. Definimos una superficie en forma de cilindro (radio R, altura 2R) alrededor del segmento. ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles falsas?

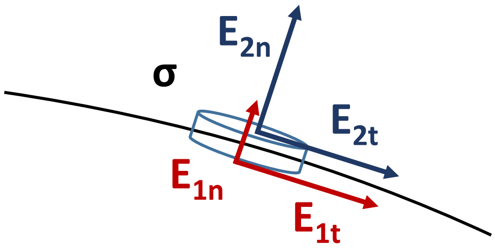


a) El campo eléctrico tiene módulo E en toda la superficie lateral del cilindro (E constante).
b) El campo eléctrico es radial respecto al eje del cilindro (o sea perpendicular al cilindro en toda la superficie lateral y tangente en las dos bases del cilindro).
c) El flujo a través del cilindro vale Q/ε_0
d) El campo en la superficie del cilindro vale $Q/(4\pi\varepsilon_0 R^2)$

Solución: sólo es cierta la afirmación (c). De las afirmaciones anteriores se concluye que no es posible usar la Ley de Gauss para calcular el campo de esta configuración. En cambio, puede usarse la Ley de Gauss para calcular el flujo.

Discontinuidad del campo eléctrico en superficies cargadas

Veremos que la ley de Gauss nos ayuda a analizar cómo cambia el campo eléctrico cuando pasamos de un lado a otro de una superficie cargada con carga superficial que valdrá σ en cada punto de la superficie (puede ser variable al movernos en la superficie). Para eso descompondremos los campos a un lado y a otro de la superficie en la componente normal a la superficie y la componente tangente a la superficie.



Definimos como gaussiana un cilindro con área de las bases A y de altura muy pequeña, de forma que el flujo a través de la superficie lateral pueda despreciarse. Si aplicamos la definición de flujo a través del cilindro, obtenemos:

$$\Phi = \mathrm{E}_{2n}.A - \mathrm{E}_{1n}.A$$

Por otro lado, aplicando la ley de Gauss el flujo resulta:

$$\Phi = \frac{\sigma.\mathrm{A}}{\varepsilon_0}$$

Igualamos ambas expresiones y despejando obtenemos:

$$\Delta E = \mathrm{E}_{2n} - \mathrm{E}_{1n} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Es decir, que cuando atravesamos una superficie cargada, la componente normal tiene una discontinuidad (un “salto”) que vale $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, es decir, proporcional a la densidad de carga en el punto por el que atravesamos la superficie.

Ejercicio

Comprobar la expresión de la discontinuidad del campo eléctrico en superficies cargadas en el caso de una esfera de radio R cargada uniformemente.

Solución: usando resultados anteriores sabemos que el campo en la superficie de la esfera pasa de valer cero en el interior de la esfera a valer $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{R}^2}$ en el exterior. Como La densidad de carga, que es uniforme, es $\sigma = \mathrm{Q}/4\pi\mathrm{R}^2$, se cumple que la discontinuidad del campo vale $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$.

Aplicación de la ley de Gauss para calcular el campo eléctrico

En algunas situaciones con simetrías, la ley de Gauss permite calcular el campo eléctrico.