

## AC 14 45

Introducción a las ciencias físico-naturales. Sin número de guión, fecha de emisión 11 del 5 del 79. El campo eléctrico.

Vamos a continuar hoy la charla que iniciamos en la emisión anterior y en la que terminábamos dando algunas precisiones sobre las características que definen el campo eléctrico. ¿Podría decirnos, señorita Mercedes, si recuerda estas características generales? Yo pienso que sí. Diremos que las fuerzas que se ejercen entre cargas eléctricas pueden describirse considerando las cargas situadas en un campo eléctrico.

Dicha región posee propiedades especiales a causa de la presencia de las cargas. Se define el campo eléctrico como una región en la cual se ejerce una fuerza sobre cualquier carga que a ella se lleve. Análogo al campo eléctrico es el campo gravitatorio terrestre.

Un cuerpo situado en el campo gravitatorio terrestre se haya sometido a dicho campo. La fuerza es el peso del cuerpo. ¿Recuerda algunas características? Un campo eléctrico tiene como características importantes la dirección, el sentido y la intensidad.

La dirección y sentido de un campo eléctrico en un punto se definen como la dirección y sentido de la fuerza que se ejercería sobre la unidad positiva de carga situada en dicho punto. En el caso del campo gravitatorio terrestre, la dirección y sentido de la fuerza que se ejerce sobre la masa próxima a la Tierra es la vertical dirigida hacia el centro de la Tierra. En el caso del campo eléctrico en la proximidad de una carga positiva, la fuerza que se ejercería sobre una carga positiva de prueba estaría dirigida en un sentido de alejamiento de la carga que origina el campo.

Mientras que si esta fuera negativa, pues la fuerza estaría dirigida hacia ella. Considero que es correcta la idea que nos ha dado Mercedes de campo eléctrico. Y ahora, antes de profundizar más en todo lo que se refiere al campo eléctrico, quisiera pedirle a usted, señorita Pilar, que nos recordara la ley de Coulomb de la electrostática y las unidades electrostáticas que se definen según esta ley.

Pues en todo ello hemos de basarnos para establecer magnitudes y unidades relativas al campo eléctrico. Pues creo que podré recordar todo lo que usted me pide. Vayamos despacio.

La ley de Coulomb dice que la fuerza  $F$  que se ejerce entre dos cargas puntuales  $Q$  y  $Q'$  es directamente proporcional a dichas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $S$  que las separa y es función de la naturaleza del medio que rodea las cargas. Simbólicamente la ley de Coulomb es  $F$  es igual a  $K$  multiplicado por  $Q$  por  $Q'$  y partido por  $S$  al cuadrado. Donde se introduce el factor dimensional  $K$  para tener en cuenta las unidades de  $F$ ,  $Q$  y  $S$  así como para tener en cuenta las propiedades del medio que rodea las cargas en cuanto estas propiedades afectan a la fuerza entre cargas.

En electrostáticas se emplean dos sistemas de unidades, el sistema internacional y el sistema de unidades electrostáticas, CGS, UES. En la ecuación de la ley de Coulomb aparecen dos nuevos conceptos que definir, los representados por los símbolos  $K$  y  $Q$ . En el sistema UES se toma arbitrariamente a  $K$  como fundamental asignándole el valor de una dina por centímetro cuadrado por unidad de carga al cuadrado para el vacío. La UES de carga es el stat Coulomb o Franklin que se define como una carga puntual que al colocarla en el vacío en presencia de otra igual situada a una distancia de un centímetro la repele con la fuerza de una dina.

Muy bien, todo lo expuesto hasta ahora por Pilar es correcto. ¿También recuerda cómo se procede en el sistema internacional? Creo que sí. En el sistema internacional ha resultado conveniente hacer la sustitución  $K$  igual a  $1$  partido por  $4\pi$  epsilon y escribir la ley de Coulomb en la forma  $F$  igual a  $1$  partido por  $4\pi$  epsilon y multiplicado por  $Q$  por  $Q$  prima partido por  $S$  al cuadrado.

Bien, ¿y el símbolo epsilon? Representa la permitividad del medio que rodea las cargas y se le puede considerar como una medida de la propiedad del medio que determina las fuerzas que ejercen las cargas que se hallan en él. En el sistema internacional el concepto de carga se considera como derivado del concepto de corriente eléctrica cuya unidad es el amperio. Y entonces la unidad de carga es el Coulombio que es la carga que atraviesa en un segundo una sección recta de un conductor recorrido por una corriente de un amperio de intensidad.

Tomando el Coulombio como unidad de carga el valor de la permitividad del vacío epsilon sub 0 es  $8.85 \times 10^{-12}$  a lo que corresponde un valor de  $K$  igual a  $9 \times 10^9$ . La permitividad en el aire es prácticamente igual que en el vacío. Me gustaría que en este punto nos diera Mercedes una descripción del campo eléctrico según sus conocimientos de la materia. ¿Puede hacerlo señorita? Trataré de hacerlo.

Para la descripción del campo eléctrico se utiliza la característica vectorial de su fuerza que recibe el nombre de intensidad del campo eléctrico. En cada punto del campo la intensidad  $E$  tiene una dirección definida y su valor numérico correspondiente. Al desplazarse de un punto a otro del campo en tal forma que las direcciones de los vectores que representan la intensidad del campo sean siempre las tangentes a la dirección del recorrido, las trayectorias que así obtendremos reciben el nombre de líneas de fuerza del campo.

Las líneas de fuerza son una manera muy cómoda de representar el campo eléctrico en forma gráfica. Muy bien, está bien. Precisemos ahora más lo que se refiere a la intensidad del campo y sus unidades.

Se define la intensidad del campo eléctrico en un punto como la fuerza por unidad positiva de carga de prueba situada en dicho punto.  $E$  es igual a  $F$  partido por  $Q$ , donde  $E$  es la intensidad del campo eléctrico y  $F$  es la fuerza que se ejerce sobre la carga positiva de prueba  $Q$  situada en el punto en cuestión. Es importante señalar que la intensidad de campo eléctrico es siempre una cantidad vectorial.

Entonces creo que será correcto decir que la resultante de dos o más intensidades de campo se obtendrá sumando vectorialmente las distintas intensidades de campo. Claro. Y también que cuando cerca de un punto haya varias cargas, la intensidad de campo en dicho punto será la suma vectorial de las intensidades componentes.

Efectivamente, señorita Pilar, eso es totalmente correcto. Y en cuanto a las unidades de intensidad de campo, tenemos las siguientes. En el sistema internacional, la unidad de intensidad de campo es el newton por coulombio.

La US de intensidad de campo es la dina por stat coulombio. Se calcula fácilmente que una US de intensidad de campo es 3 por 10 elevado a 4 veces mayor que la correspondiente unidad internacional, el newton por coulombio. Creo que sería interesante, profesor, que pudiera darnos algún ejemplo que nos permitiera apreciar la magnitud de estas unidades.

Y lo mismo referido a un campo eléctrico en comparación con otro campo de fuerzas, como puede ser el gravitatorio. Pues sirvan como ejemplo los siguientes valores. El campo eléctrico en el espacio comprendido entre dos electrodos de un tubo luminoso es de 3,25 por 10 elevado a 4 newtons por coulombio.

Si situamos un protón en este campo eléctrico, se puede demostrar, teniendo en cuenta su masa, que la fuerza a que está sometido es 3,17 por 10 elevado a 11 veces mayor que su peso. Es decir, la fuerza ejercida por un campo eléctrico es mucho mayor que la debida a un campo gravitatorio. Estos datos los considero suficientemente expresivos.

¿Podría ahora hablarnos algo sobre las líneas de fuerza de un campo eléctrico? Creo que ya es momento de hacerlo. Y además es un concepto que es preciso conocerlo muy bien. La dirección de los campos eléctricos en distintos puntos puede representarse gráficamente mediante líneas de fuerza.

Una línea de fuerza en un campo eléctrico es una línea trazada de manera que su tangente en uno cualquiera de sus puntos indique la dirección del campo eléctrico. Como ejemplo de esta definición, hagamos el gráfico siguiente. Dibujemos sobre el papel dos pequeños círculos algo separados, A y B, que representan dos pequeñas esferas en el espacio.

Estas dos esferas las suponemos con cargas de igual magnitud, pero de signos opuestos. Entre los dos círculos dibujamos un conjunto simétrico de líneas curvas que van de uno a otro, señalando a manera de flechas que van de la carga positiva a la negativa. El conjunto obtenido representa una sección plana del campo eléctrico existente.

En un punto cualquiera, el campo es el resultante de los dos campos componentes debido a las cargas situadas en A y B. En un punto cualquiera que nosotros señalemos en este gráfico, la dirección de la fuerza resultante sobre una carga positiva sería la de la tangente a la línea de fuerza que pasa por dicho punto, tomada en el sentido de flecha señalado en el conjunto de las líneas de fuerza. Profesor, ¿y cómo sería la representación gráfica si las cargas son del mismo

signo? ¿Y en el caso de que las cargas no sean iguales? Si las dos cargas en A y B son iguales pero del mismo signo, pueden ser las dos positivas o las dos negativas, las líneas de fuerza salen de los pequeños círculos en direcciones contrarias y se repelen cambiando de sentido a la mitad de su recorrido. Todo ello en un conjunto simétrico.

Pero cuando las cargas A y B no son iguales, el dibujo representativo de las líneas de fuerza es semejante pero asimétrico, de tal forma que refleje esta asimetría los distintos valores de las cargas en A y B. Otro concepto que desearía conocer es el del flujo eléctrico, que entiendo está relacionado con las líneas de fuerza y la intensidad del campo. Efectivamente esto es así y vamos a tratar de explicarlo. Digamos que frecuentemente suele convenir representar gráficamente la intensidad, además de la dirección del campo eléctrico, mediante líneas de fuerza, flujo eléctrico.

Para ello se conviene que la intensidad de campo en un punto del espacio viene representada por un número de líneas de fuerza por unidad de superficie normal al campo en la proximidad de dicho punto. Se entiende por densidad de flujo eléctrico,  $D$ , el número de líneas de fuerza por unidad de superficie normal a la dirección del campo. Donde sea grande la intensidad del campo, las líneas de fuerza estarán apretadas.

Donde sea menos intenso, las líneas de fuerza estarán separadas. Se tendrá que  $D$  es igual a  $\psi$  partido por  $A \text{ sub } n$ . La densidad del flujo,  $D$ , es igual a  $\psi$ , número total de líneas de fuerza que atraviesan la superficie, dividido por  $A \text{ sub } n$ , que es el área normal, es decir, perpendicular al campo en el punto considerado. Digamos como ejemplo para tener una idea de magnitudes, que en el sistema de unidades electrostáticas, un campo de una dina por statculombio se representará con una densidad de flujo de una línea por centímetro cuadrado de una superficie que sea perpendicular al campo.

¿Podríamos ahora, profesor, pasar al estudio del potencial eléctrico, que además, estimo, es otro concepto de gran importancia dentro del campo eléctrico? No faltaba más, pues sí, estoy de acuerdo con usted. Y con esta cuestión daremos por terminada la conversación sobre el tema del campo eléctrico. Uno de los grandes conceptos unificadores de la física es el de la energía.

Se ha estudiado ya la idea de energía potencial de un cuerpo en un campo gravitatorio y se puede decir que muchos problemas se simplifican grandemente empleando consideraciones energéticas. Lo mismo ocurre en el campo eléctrico. Pueden evitarse muchas dificultades dimanantes de la naturaleza vectorial del campo eléctrico tratando con la energía potencial eléctrica y con el potencial eléctrico.

Entonces el potencial eléctrico está íntimamente relacionado con los niveles energéticos en el campo eléctrico. Justamente ocurre así. Si en un campo eléctrico creado por una carga positiva se lleva otra carga de prueba positiva  $Q$  de un punto B del campo a otro C, que está más cercano que B de la carga que crea el campo, y esto siguiendo un camino determinado, el movimiento se realizará contra las fuerzas del campo y deberá existir algún agente exterior que

realice trabajo para mover la carga.

Una de las propiedades más importantes del campo eléctrico estático es que este trabajo no depende del camino seguido. Así pues, si elegimos otro camino para la carga  $Q$ , el trabajo realizado será el mismo siempre que el punto inicial sea B y el punto final sea C. También se cumple que si lleva ahora la carga de C a B, el campo realizará un trabajo sobre ella, con lo que o la acelerará a lo largo del camino o realizará un trabajo sobre alguna gente que impida que la carga gane celeridad. Este trabajo será exactamente igual al necesario para llevarla de B a C. Yo pienso que esta situación es análoga a la de la masa que se mueve en un campo gravitatorio.

Como el trabajo realizado al elevar un objeto a cierta altura puede recuperarse cuando desciende, se considera que el trabajo se ha acumulado en forma de energía potencial a la altura considerada. Usted piensa y piensa usted muy bien. Por ello, podemos decir que cuando un agente exterior efectúa un trabajo para llevar una carga de un punto a otro en un campo eléctrico, se almacena una energía potencial.

Por esta razón, el campo eléctrico estático se dice que es un campo conservativo. Y el principio de la conservación de la energía es aplicable al movimiento de cuerpos cargados en dicho campo. La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo realizado por unidad de carga de un punto a otro.

$V$  es igual a  $W$  partido por  $Q$ . La diferencia de potencial es igual al trabajo realizado partido por la carga transportada. La unidad de diferencia de potencial es el voltio, que se define como la diferencia de potencial existente entre dos puntos de un campo eléctrico, tales que para llevar de uno a otro la carga de un colombio, hay que realizar el trabajo de un julio. ¿Y cuando existe un potencial cero? Análogamente al campo gravitatorio, en el campo eléctrico se elige arbitrariamente un potencial cero.

Este potencial cero, de referencia, se toma frecuentemente igual al potencial de la Tierra. Para otros fines, el cero de potencial se considera que es el potencial de un punto muy alejado de todas las cargas, es decir, el infinito. Cuando se conecta a Tierra un cuerpo conductor, se produce una circulación de cargas hasta que se anula la diferencia de potencial entre dicho cuerpo y la Tierra.

En vez de considerar la diferencia de potencial entre dos puntos, puede convenirnos a veces considerar el potencial  $v$  sub  $a$  de un punto determinado definido así. El potencial en un punto es la diferencia de potencial existente entre dicho punto y otro cuyo potencial se toma arbitrariamente nulo. El potencial en un punto será igual al cociente entre la energía potencial de una carga situada en dicho punto y la magnitud de dicha carga.

Bien, y con esta definición terminamos nuestras consideraciones sobre el campo eléctrico. Hemos procurado dar con claridad las ideas fundamentales y nos agradecería haber conseguido nuestro propósito. Subtítulos realizados por la comunidad de Amara.org