

Los campos \vec{E} y \vec{B} . Inducción electromagnética.

David Matellano

Departamento de Física y Química. IES Ángel Corella. (Colmenar Viejo)

28 de enero de 2020



Esta obra está bajo una licencia [Creative Commons "Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIgual 3.0 España"](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).



- 1 El campo electrostático
 - La ley de Coulomb
 - El campo \vec{E}
 - Energía potencial.
 - El potencial electrostático.
 - Superficies equipotenciales
 - El teorema de Gauss
 - Esfera cargada.
 - Hilo infinito cargado.
 - Plano infinito cargado
- 2 El campo inducción magnética
 - Líneas de campo \vec{B}
 - La Ley de Biot y Savart
 - Aplicación de la Ley de Biot y Savart
 - La Ley de Ampere
 - Campo \vec{B} creado por un hilo infinito.
 - La fuerza de Lorentz
 - Movimiento circular bajo dicha fuerza.

índice de contenidos II

- Fuerza de un elemento de corriente.
 - Fuerzas entre corrientes paralelas.

3 Inducción electromagnética

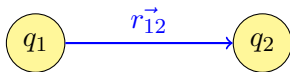
- La Ley de Lenz
- La Ley de Faraday
- El experimento de Henry

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



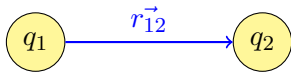
La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot r_{12}^{\hat{}} \quad (1)$$

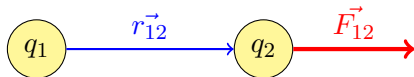
Dirección y sentido

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

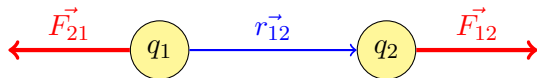
- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

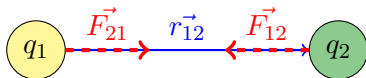
- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}
- Si las cargas son del mismo signo se repelen.

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}
- Si las cargas son del mismo signo se repelen.
- Si son de distinto signo se atraen.

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :

La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot r\hat{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}
- Si las cargas son del mismo signo se repelen.
- Si son de distinto signo se atraen.

El principio de acción y reacción

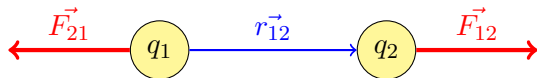
- Igualdad de módulos: $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}
- Si las cargas son del mismo signo se repelen.
- Si son de distinto signo se atraen.

El principio de acción y reacción

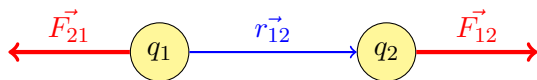
- Igualdad de módulos: $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$
- Misma dirección: $\vec{F}_{12} \parallel \vec{F}_{21}$

Fuerzas entre dos cargas.

La Ley de Coulomb.

Enunciado de la Ley de Coulomb

Sean dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia r :



La fuerza que crea q_1 sobre q_2 es:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Dirección y sentido

- La fuerza tiene la dirección de \vec{r}_{12}
- Si las cargas son del mismo signo se repelen.
- Si son de distinto signo se atraen.

El principio de acción y reacción

- Igualdad de módulos: $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$
- Misma dirección: $\vec{F}_{12} \parallel \vec{F}_{21}$
- Sentidos opuestos: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

El campo electrostático.

Campo \vec{E} creado por una carga puntual.

Es la fuerza por unidad de carga:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$

Figuras:

El campo electrostático.

Campo \vec{E} creado por una carga puntual.

Es la fuerza por unidad de carga:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$
- A partir de la Ley de Coulomb (1):

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}$$

Características de \vec{E}

Figuras:

El campo electrostático.

Campo \vec{E} creado por una carga puntual.

Es la fuerza por unidad de carga:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$
- A partir de la Ley de Coulomb (1):
$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}$$

Características de \vec{E}

- Su dirección es radial desde la carga.

Figuras:

El campo electrostático.

Campo \vec{E} creado por una carga puntual.

Es la fuerza por unidad de carga:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$

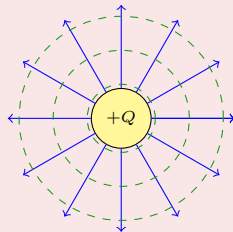
- A partir de la Ley de Coulomb (1):

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}$$

Características de \vec{E}

- Su dirección es radial desde la carga.
- Si $Q > 0 \Rightarrow$ su sentido es centrífugo.

Figuras:



El campo electrostático.

Campo \vec{E} creado por una carga puntual.

Es la fuerza por unidad de carga:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$

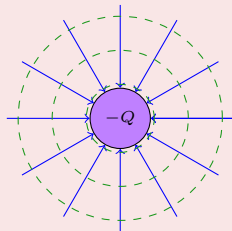
- A partir de la Ley de Coulomb (1):

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot \hat{r}$$

Características de \vec{E}

- Su dirección es radial desde la carga.
- Si $Q > 0 \Rightarrow$ su sentido es centrífugo.
- Si $Q < 0 \Rightarrow$ su sentido es centrípeto.

Figuras:



Líneas de campo \vec{E}

Concepto de líneas de campo:

Líneas de campo \vec{E}

Concepto de líneas de campo:

- Son líneas imaginarias que sirven para representar \vec{E} . Cumplen:

Propiedades:

Líneas de campo \vec{E}

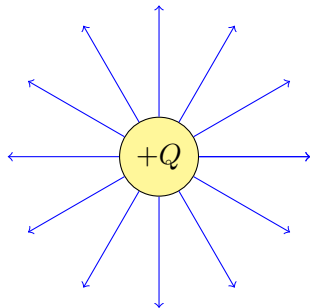
Concepto de líneas de campo:

- Son líneas imaginarias que sirven para representar \vec{E} . Cumplen:

Propiedades:

- 1 Salen desde las cargas positivas.

Figuras



Líneas de campo \vec{E}

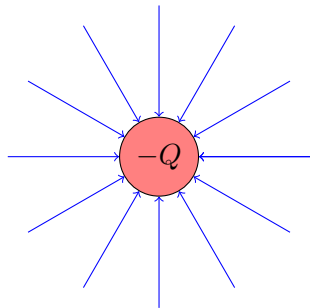
Concepto de líneas de campo:

- Son líneas imaginarias que sirven para representar \vec{E} . Cumplen:

Propiedades:

- 1 Salen desde las cargas positivas.
- 2 Entran hacia las cargas negativas.

Figuras



Líneas de campo \vec{E}

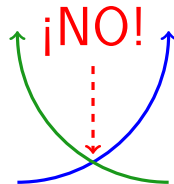
Concepto de líneas de campo:

- Son líneas imaginarias que sirven para representar \vec{E} . Cumplen:

Propiedades:

- 1 Salen desde las cargas positivas.
- 2 Entran hacia las cargas negativas.
- 3 Nunca se cortan.

Figuras



Líneas de campo \vec{E}

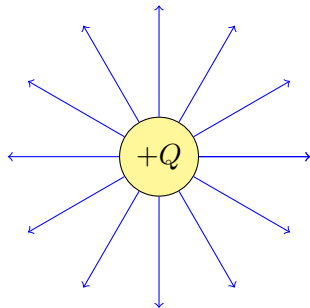
Concepto de líneas de campo:

- Son líneas imaginarias que sirven para representar \vec{E} . Cumplen:

Propiedades:

- 1 Salen desde las cargas positivas.
- 2 Entran hacia las cargas negativas.
- 3 Nunca se cortan.
- 4 Si $|\vec{E}|$ aumenta, están más próximas

Figuras



La energía potencial electrostática

Definición

Trabajo realizado por el campo \vec{E}

Para llevar una carga q' desde \vec{r} hasta el infinito:

La energía potencial electrostática

Definición

Trabajo realizado por el campo \vec{E}

Para llevar una carga q' desde \vec{r} hasta el infinito:

$$\bullet W = \int_r^\infty \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r^\infty \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot dr = -\frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \Big|_r^\infty = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Energía potencial en un punto \vec{r}

La energía potencial de una carga q' en presencia de una carga q distante r es:

La energía potencial electrostática

Definición

Trabajo realizado por el campo \vec{E}

Para llevar una carga q' desde \vec{r} hasta el infinito:

- $$W = \int_r^\infty \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r^\infty \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot dr = -\frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \Big|_r^\infty = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Energía potencial en un punto \vec{r}

La energía potencial de una carga q' en presencia de una carga q distante r es:

- $$E_p(\vec{r}) = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

La energía potencial electrostática

Definición

Trabajo realizado por el campo \vec{E}

Para llevar una carga q' desde \vec{r} hasta el infinito:

- $$W = \int_r^\infty \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r^\infty \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot dr = -\frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \Big|_r^\infty = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Energía potencial en un punto \vec{r}

La energía potencial de una carga q' en presencia de una carga q distante r es:

- $$E_p(\vec{r}) = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$
- Es el trabajo necesario para que el campo \vec{E} lleve a q' desde \vec{r} hasta ∞

La energía potencial electrostática

Definición

Trabajo realizado por el campo \vec{E}

Para llevar una carga q' desde \vec{r} hasta el infinito:

$$\bullet W = \int_r^\infty \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r^\infty \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \cdot dr = -\frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \Big|_r^\infty = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Energía potencial en un punto \vec{r}

La energía potencial de una carga q' en presencia de una carga q distante r es:

- $E_p(\vec{r}) = \frac{q \cdot q'}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$
- Es el trabajo necesario para que el campo \vec{E} lleve a q' desde \vec{r} hasta ∞
- $\lim_{r \rightarrow \infty} E_p(r) = 0$ (La energía potencial se anula en el infinito)

La energía potencial electrostática

Signo de la energía potencial

El signo de la energía potencial será:

La energía potencial electrostática

Signo de la energía potencial

El signo de la energía potencial será:

- Si $q \cdot q' > 0 \Rightarrow E_p > 0$ (cargas de **igual** signo)

La energía potencial electrostática

Signo de la energía potencial

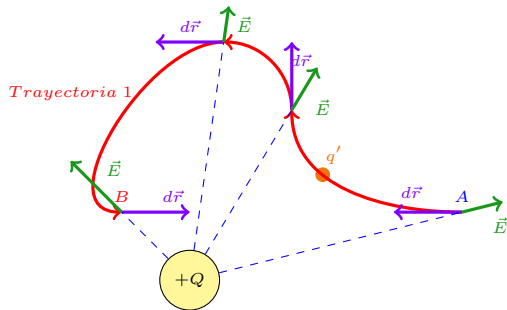
El signo de la energía potencial será:

- Si $q \cdot q' > 0 \Rightarrow E_p > 0$ (cargas de **igual** signo)
- Si $q \cdot q' < 0 \Rightarrow E_p < 0$ (cargas de **distinto** signo)

El campo \vec{E} es conservativo

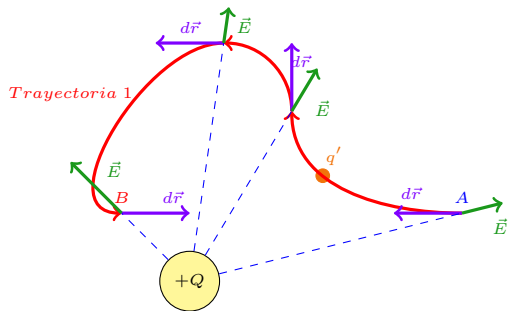
Sentido físico de ΔE_p

Trabajo para llevar q' desde A hasta B



El campo \vec{E} es conservativo

Sentido físico de ΔE_p

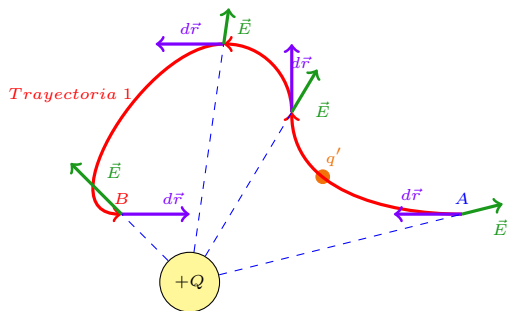


Trabajo para llevar q' desde A hasta B

$$\bullet W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$$

El campo \vec{E} es conservativo

Sentido físico de ΔE_p

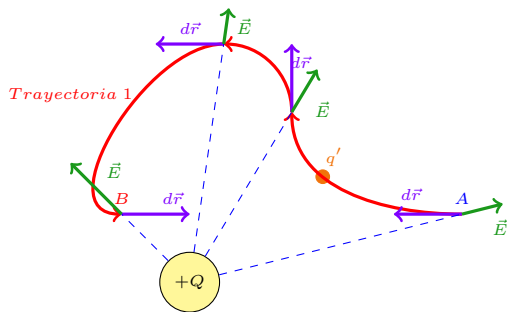


Trabajo para llevar q' desde A hasta B

- $W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$
- El trabajo no depende de la trayectoria:

El campo \vec{E} es conservativo

Sentido físico de ΔE_p

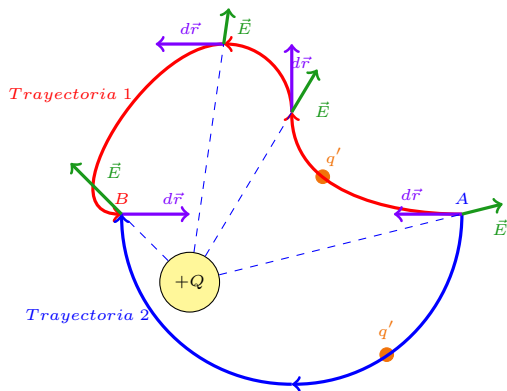


Trabajo para llevar q' desde A hasta B

- $W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$
- El trabajo no depende de la trayectoria:
 - ▶ $W_{A \rightarrow B} = \int_{T1} q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta E_p$

El campo \vec{E} es conservativo

Sentido físico de ΔE_p

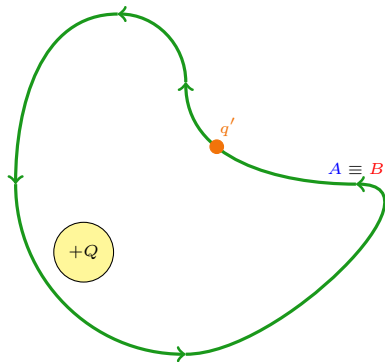


Trabajo para llevar q' desde A hasta B

- $W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$
- El trabajo no depende de la trayectoria:
 - ▶ $W_{A \rightarrow B} = \int_{T1} q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta E_p$
 - ▶ $W_{A \rightarrow B} = \int_{T2} q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta E_p$

El campo \vec{E} es conservativo

Sentido físico de ΔE_p



Trabajo para llevar q' desde A hasta B

- $W_{A \rightarrow B} = \int_A^B q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$
- El trabajo no depende de la trayectoria:
 - ▶ $W_{A \rightarrow B} = \int_{T1} q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta E_p$
 - ▶ $W_{A \rightarrow B} = \int_{T2} q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta E_p$

Trabajo sobre una trayectoria cerrada

- El trabajo realizado sobre cualquier trayectoria cerrada es nulo.
- $\oint q' \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$

El potencial electrostático.

Potencial creado por una carga Q .

Definición de V

El potencial electrostático.

Potencial creado por una carga Q .

Definición de V

- Se define como la energía potencial por unidad de carga.

El potencial electrostático.

Potencial creado por una carga Q .

Definición de V

- Se define como la energía potencial por unidad de carga.

- Así, para una carga puntual:
$$V = \frac{E_p}{q'} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

El potencial electrostático.

Potencial creado por una carga Q .

Definición de V

- Se define como la energía potencial por unidad de carga.

- Así, para una carga puntual:
$$V = \frac{E_p}{q'} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

- Su unidad en el S.I. es el Voltio:
$$1 V = \frac{1 J}{1 C}$$

Superficies equipotenciales

Definición

- Son aquellas superficies que contienen a los puntos de igual potencial.

Propiedades:

Superficies equipotenciales

Definición

- Son aquellas superficies que contienen a los puntos de igual potencial.

Propiedades:

- Las líneas de campo \vec{E} son perpendiculares a dichas superficies.

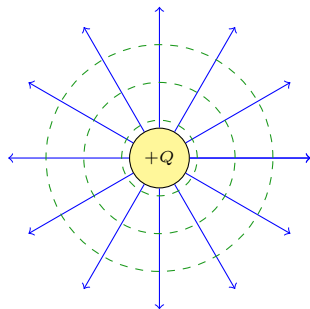
Superficies equipotenciales

Definición

- Son aquellas superficies que contienen a los puntos de igual potencial.

Propiedades:

- Las líneas de campo \vec{E} son perpendiculares a dichas superficies.
- Si el campo lo crea una carga puntual son esferas concéntricas.



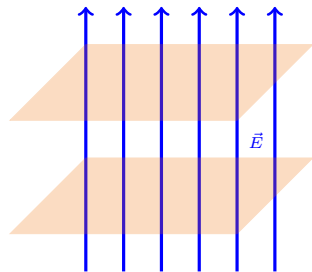
Superficies equipotenciales

Definición

- Son aquellas superficies que contienen a los puntos de igual potencial.

Propiedades:

- Las líneas de campo \vec{E} son perpendiculares a dichas superficies.
- Si el campo lo crea una carga puntual son esferas concéntricas.
- Si el campo es constante son planos paralelos entre sí.



El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.

Características de Φ

Figuras:

El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.
- Se calcula:
$$\Phi = \int_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Características de Φ

Figuras:

El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

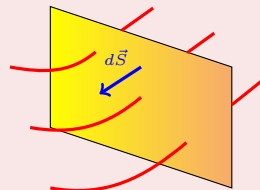
Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.
- Se calcula:
$$\Phi = \int_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Características de Φ

- Es proporcional al número de líneas de campo/unidad de superficie.

Figuras:



El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

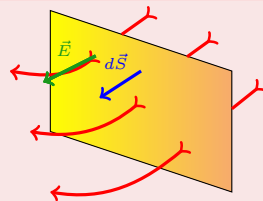
Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.
- Se calcula:
$$\Phi = \int_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Características de Φ

- Es proporcional al número de líneas de campo/unidad de superficie.
- Si las líneas salen de $S \Rightarrow \Phi > 0$

Figuras:



El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

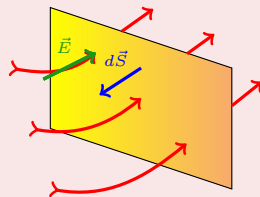
Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.
- Se calcula:
$$\Phi = \int_{S_{up}} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Características de Φ

- Es proporcional al número de líneas de campo/unidad de superficie.
- Si las líneas salen de $S \Rightarrow \Phi > 0$
- Si las líneas entran hacia $S \Rightarrow \Phi < 0$

Figuras:



El teorema de Gauss.

Definición de flujo de \vec{E}

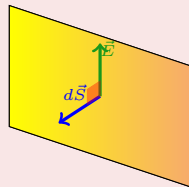
Flujo de \vec{E} a través de una superficie S

- Es una medida escalar proporcional a la intensidad de \vec{E} por unidad de superficie.
- Se calcula:
$$\Phi = \int_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Características de Φ

- Es proporcional al número de líneas de campo/unidad de superficie.
- Si las líneas salen de $S \Rightarrow \Phi > 0$
- Si las líneas entran hacia $S \Rightarrow \Phi < 0$
- Si $\vec{E} \perp d\vec{S} \Rightarrow \Phi = 0$

Figuras:



El teorema de Gauss

Enunciado

Flujo del campo \vec{E} a través de una superficie cerrada

El teorema de Gauss

Enunciado

Flujo del campo \vec{E} a través de una superficie cerrada

- El flujo del campo \vec{E} a través de una superficie cerrada es directamente proporcional a la carga encerrada por dicha superficie.

El teorema de Gauss

Enunciado

Flujo del campo \vec{E} a través de una superficie cerrada

- El flujo del campo \vec{E} a través de una superficie cerrada es directamente proporcional a la carga encerrada por dicha superficie.

- $$\Phi = \oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{enc.}}{\epsilon_0}$$

Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el exterior de la esfera. ($r > R$)

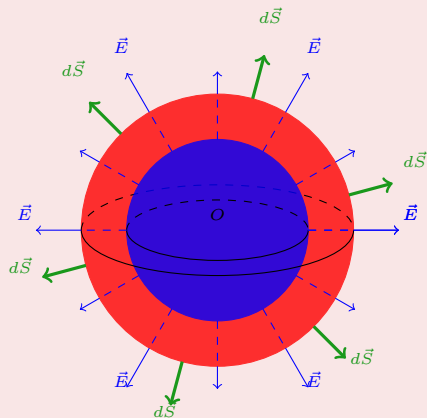
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el exterior de la esfera. ($r > R$)

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio r .

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

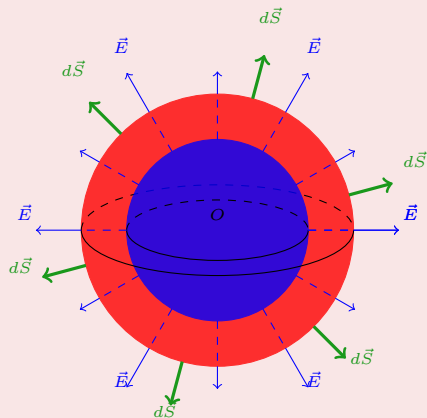
Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el exterior de la esfera. ($r > R$)

1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio r .

2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

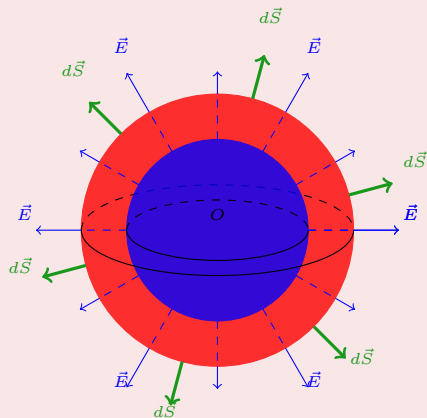
Campo en el exterior de la esfera. ($r > R$)

1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio r .

2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

3
$$|\vec{E}| \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el exterior de la esfera. ($r > R$)

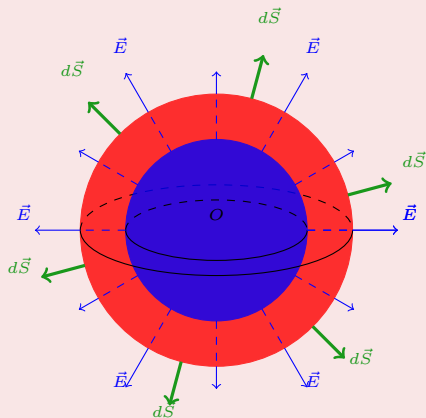
1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio r .

2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

3
$$|\vec{E}| \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

4
$$|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

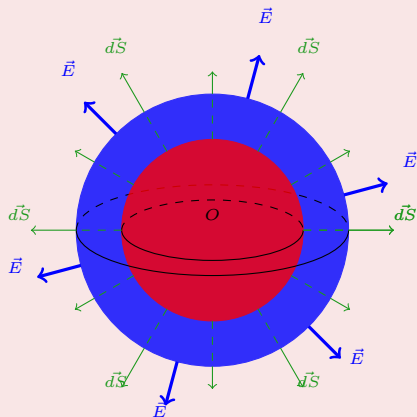
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

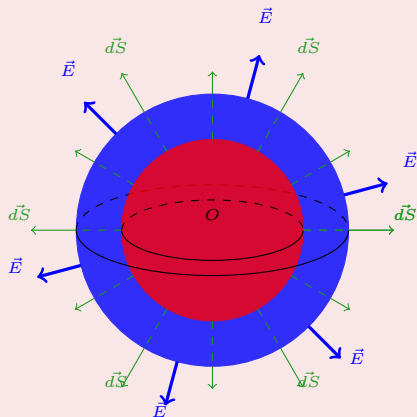
Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.

2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

Figuras:



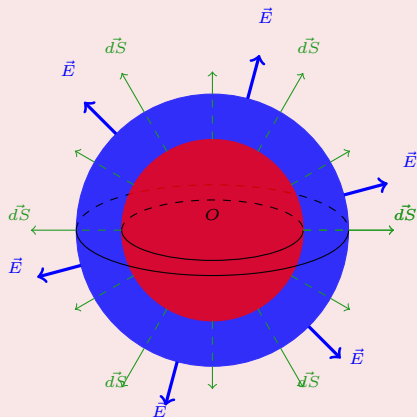
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera conductora cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.
- 2 $\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$
- 3 $|\vec{E}| \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = 0 \Rightarrow \vec{E} = 0$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera dieléctrica uniformemente cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

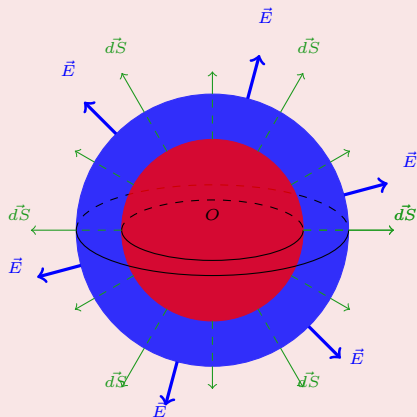
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera dieléctrica uniformemente cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

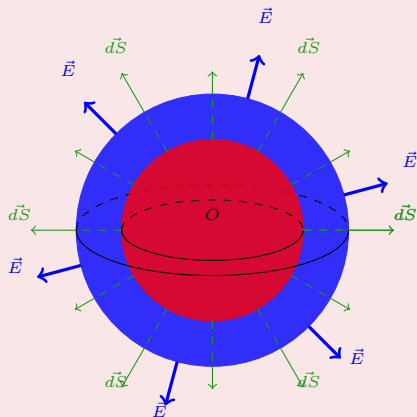
Esfera dieléctrica uniformemente cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.

2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

Figuras:



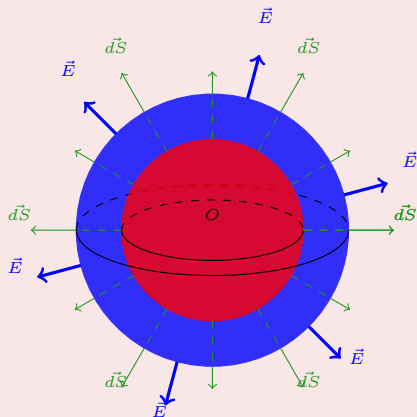
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera dieléctrica uniformemente cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.
- 2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$
- 3 Definimos:
$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{3Q}{4\pi \cdot R^3}$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera dieléctrica uniformemente cargada con carga Q y radio R .

Campo en el interior de la esfera. ($r < R$)

1 Tomamos como superficie Gaussiana una esfera concéntrica de radio $r < R$.

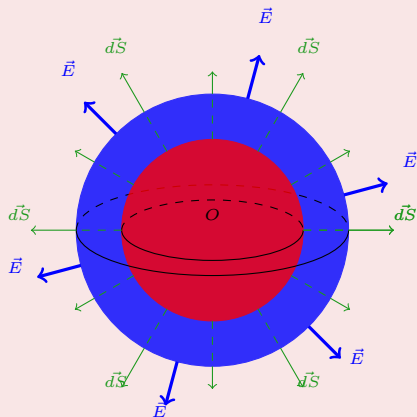
2
$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S$$

3 Definimos:
$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{3Q}{4\pi \cdot R^3}$$

4
$$|\vec{E}| \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{\rho \cdot 4\pi \cdot r^3}{3\epsilon_0} \Rightarrow$$

$$|\vec{E}| = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \cdot r$$

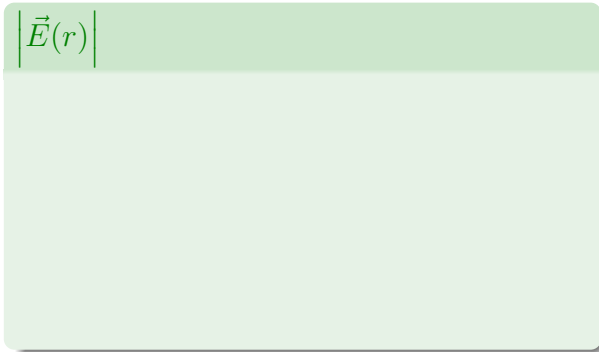
Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera cargada con carga Q y radio R .

- Si representamos el módulo de \vec{E} en función de $|\vec{r}|$



Ejemplos del Teorema de Gauss.

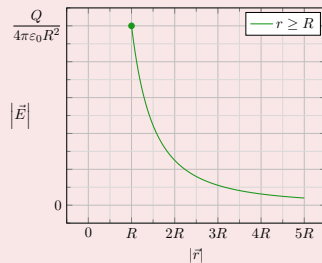
Esfera cargada con carga Q y radio R .

- Si representamos el módulo de \vec{E} en función de $|\vec{r}|$

$|\vec{E}(r)|$

1 $|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ si $r \geq R$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera cargada con carga Q y radio R .

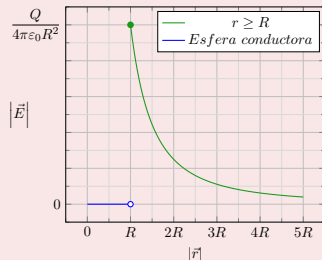
- Si representamos el módulo de \vec{E} en función de $|\vec{r}|$

$|\vec{E}(r)|$

1 $|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ si $r \geq R$

2 Si es hueca o conductora: $|\vec{E}| = 0$ si $r < R$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Esfera cargada con carga Q y radio R .

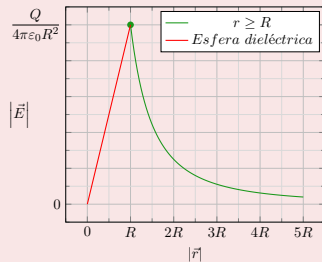
- Si representamos el módulo de \vec{E} en función de $|\vec{r}|$

$|\vec{E}(r)|$

1 $|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ si $r \geq R$

3 Si Q se distribuye homogéneamente en V :
 $|\vec{E}| = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \cdot r$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Hilo rectilíneo e infinito con una densidad lineal de carga λ .

Aplicamos el teorema de Gauss:

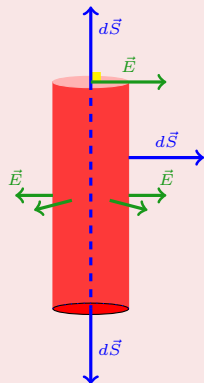
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Hilo rectilíneo e infinito con una densidad lineal de carga λ .

Aplicamos el teorema de Gauss:

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana un cilindro centrado en el hilo.

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

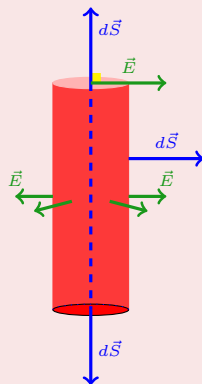
Hilo rectilíneo e infinito con una densidad lineal de carga λ .

Aplicamos el teorema de Gauss:

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana un cilindro centrado en el hilo.

- 2
$$\oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \overset{0 (\vec{E} \perp d\vec{S})}{\int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S}} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S_{lateral}$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Hilo rectilíneo e infinito con una densidad lineal de carga λ .

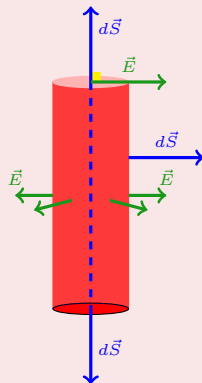
Aplicamos el teorema de Gauss:

- 1 Tomamos como superficie Gaussiana un cilindro centrado en el hilo.

- 2
$$\oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \overset{0 (\vec{E} \perp d\vec{S})}{\int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S}} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| \cdot S_{lateral}$$

- 3
$$|\vec{E}| \cdot 2\pi \cdot r \cdot \mathcal{K} = \frac{\lambda \cdot \mathcal{K}}{\epsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Figuras:



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Plano infinito cargado con una densidad superficial de carga σ

Aplicando Gauss:

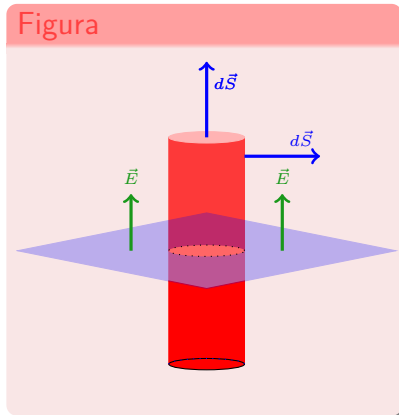
Ejemplos del Teorema de Gauss.

Plano infinito cargado con una densidad superficial de carga σ

Aplicando Gauss:

- 1 Aplicamos como superficie Gaussiana un cilindro. ^a

^aValdría cualquier superficie que cumpla el principio de Cavalieri.



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Plano infinito cargado con una densidad superficial de carga σ

Aplicando Gauss:

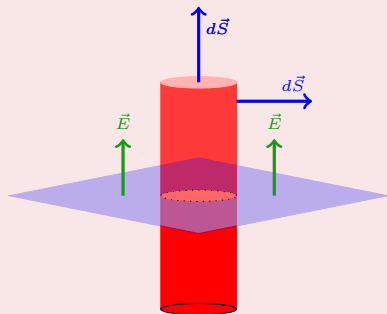
1 Aplicamos como superficie Gaussiana un cilindro. ^a

2 $\Phi = \oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} =$

$$\int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 2|\vec{E}| \cdot S$$

^aValdría cualquier superficie que cumpla el principio de Cavallieri.

Figura



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Plano infinito cargado con una densidad superficial de carga σ

Aplicando Gauss:

1 Aplicamos como superficie Gaussiana un cilindro. ^a

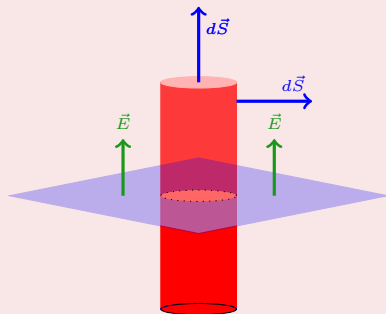
2
$$\Phi = \oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} =$$

$$\int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 2 |\vec{E}| \cdot S$$

3
$$\Phi = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \Rightarrow 2 \cdot |\vec{E}| \cdot S = \frac{\sigma \cdot S}{\epsilon_0}$$

^aValdría cualquier superficie que cumpla el principio de Cavallieri.

Figura



Ejemplos del Teorema de Gauss.

Plano infinito cargado con una densidad superficial de carga σ

Aplicando Gauss:

1 Aplicamos como superficie Gaussiana un cilindro. ^a

2 $\Phi = \oint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} =$

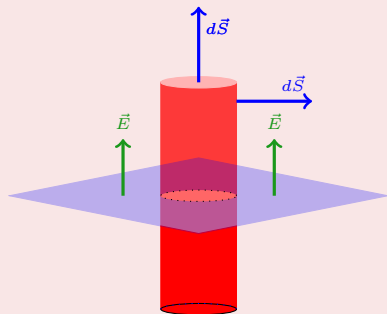
$$\int_{tapas} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{lateral} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 2|\vec{E}| \cdot S$$

3 $\Phi = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \Rightarrow 2 \cdot |\vec{E}| \cdot S = \frac{\sigma \cdot S}{\epsilon_0}$

4 $|\vec{E}| = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

^aValdría cualquier superficie que cumpla el principio de Cavallieri.

Figura



El campo inducción magnética

Fuentes del magnetismo

Podemos crear una campo \vec{B} a partir de:

El campo inducción magnética

Fuentes del magnetismo

Podemos crear un campo \vec{B} a partir de:

- 1 Fuentes naturales del magnetismo.

El campo inducción magnética

Fuentes del magnetismo

Podemos crear un campo \vec{B} a partir de:

- 1 Fuentes naturales del magnetismo.
- 2 Imanes permanentes.

El campo inducción magnética

Fuentes del magnetismo

Podemos crear un campo \vec{B} a partir de:

- 1 Fuentes naturales del magnetismo.
- 2 Imanes permanentes.
- 3 Corrientes eléctricas.

Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

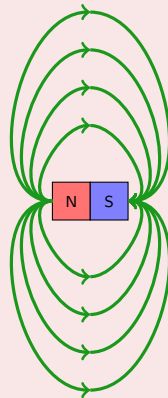
Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

- 1 Son siempre **líneas cerradas**.

Figuras



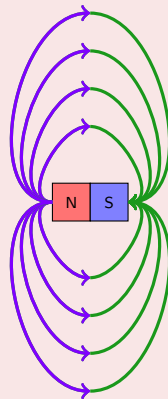
Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

- 1 Son siempre **líneas cerradas**.
- 2 Nacen en los llamados *polo norte*. (Fuentes)

Figuras



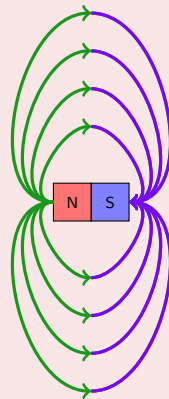
Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

- 1 Son siempre **líneas cerradas**.
- 2 Nacen en los llamados *polo norte*. (Fuentes)
- 3 Mueren en los *polo sur*. (Sumideros)

Figuras



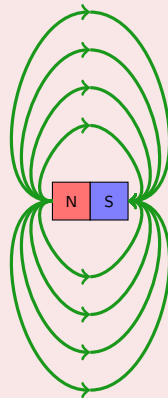
Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

- 1 Son siempre **líneas cerradas**.
- 2 Nacen en los llamados *polo norte*. (Fuentes)
- 3 Mueren en los *polo sur*. (Sumideros)
- 4 Nunca se cortan.

Figuras



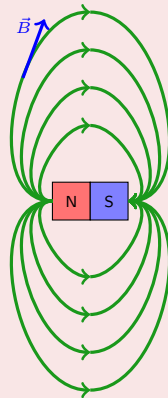
Líneas de campo \vec{B}

Propiedades:

Las líneas de campo \vec{B} cumplen:

- 1 Son siempre **líneas cerradas**.
- 2 Nacen en los llamados *polo norte*. (Fuentes)
- 3 Mueren en los *polo sur*. (Sumideros)
- 4 Nunca se cortan.
- 5 \vec{B} es tangente en cada punto.

Figuras



Campo creado por un elemento diferencial de corriente.

La Ley de Biot y Savart

Enunciado de la Ley:

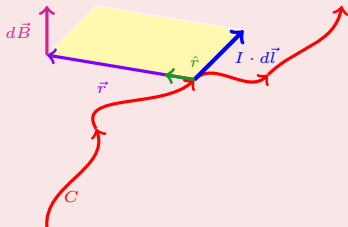
Campo creado por un elemento diferencial de corriente.

La Ley de Biot y Savart

Enunciado de la Ley:

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Figuras



Características de $d\vec{B}$

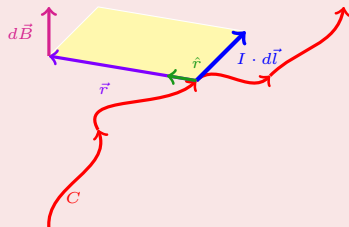
Campo creado por un elemento diferencial de corriente.

La Ley de Biot y Savart

Enunciado de la Ley:

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Figuras



Características de $d\vec{B}$

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} \text{ es } \perp \text{ a } d\vec{l} \text{ y } \vec{r}$$

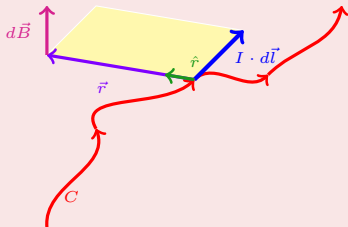
Campo creado por un elemento diferencial de corriente.

La Ley de Biot y Savart

Enunciado de la Ley:

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Figuras



Características de $d\vec{B}$

- $d\vec{B}$ es \perp a $d\vec{l}$ y \vec{r}
- Su sentido lo toma de $I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}$

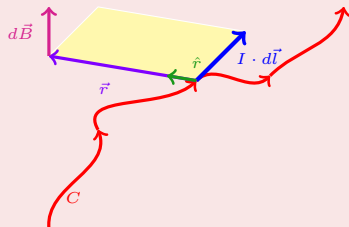
Campo creado por un elemento diferencial de corriente.

La Ley de Biot y Savart

Enunciado de la Ley:

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Figuras



Características de $d\vec{B}$

- $d\vec{B}$ es \perp a $d\vec{l}$ y \hat{r}
- Su sentido lo toma de $I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}$
- $$\vec{B} = \int_C d\vec{B} = \int_C \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Aplicación de la Ley de Biot y Savart

Campo \vec{B} creado por una espira circular en su centro.

Aplicamos la Ley sobre la espira:

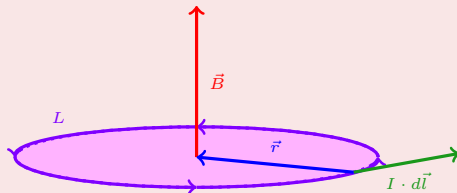
Aplicación de la Ley de Biot y Savart

Campo \vec{B} creado por una espira circular en su centro.

Aplicamos la Ley sobre la espira:

$$\textcircled{1} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

figura:



Aplicación de la Ley de Biot y Savart

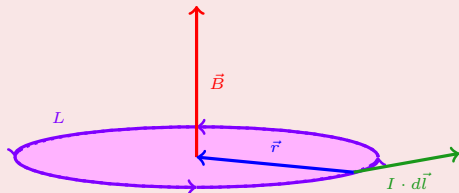
Campo \vec{B} creado por una espira circular en su centro.

Aplicamos la Ley sobre la espira:

$$① \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$② \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot dl \cdot \vec{k}$$

figura:



Aplicación de la Ley de Biot y Savart

Campo \vec{B} creado por una espira circular en su centro.

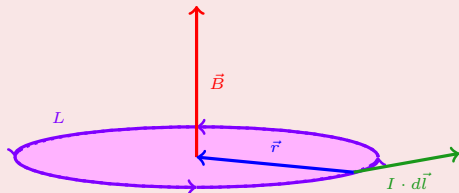
Aplicamos la Ley sobre la espira:

$$① \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$② \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot dl \cdot \vec{k}$$

$$③ \quad \vec{B} = \oint_L d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot r^2} \cdot 2\pi \cdot r \cdot \vec{k}$$

figura:



Aplicación de la Ley de Biot y Savart

Campo \vec{B} creado por una espira circular en su centro.

Aplicamos la Ley sobre la espira:

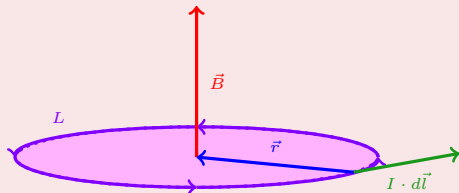
$$① \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$② \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot dl \cdot \vec{k}$$

$$③ \quad \vec{B} = \oint_L d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot r^2} \cdot 2\pi r \cdot \vec{k}$$

$$④ \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2r} \cdot \vec{k}$$

figura:



La Ley de Ampere

Circulación de \vec{B} en un circuito cerrado.

Enunciado de la Ley:

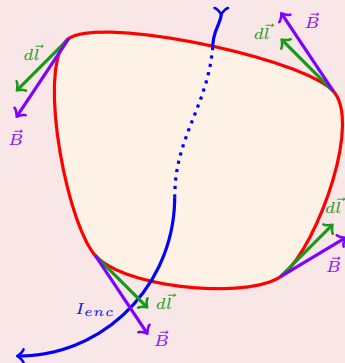
La Ley de Ampere

Circulación de \vec{B} en un circuito cerrado.

Enunciado de la Ley:

- La circulación de \vec{B} a través de una **trayectoria cerrada** es proporcional a la corriente que atraviesa a la superficie delimitada por dicha trayectoria.

figura



La Ley de Ampere

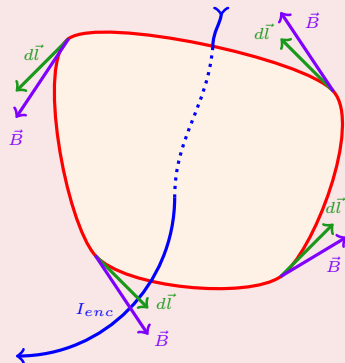
Circulación de \vec{B} en un circuito cerrado.

Enunciado de la Ley:

- La circulación de \vec{B} a través de una **trayectoria cerrada** es proporcional a la corriente que atraviesa a la superficie delimitada por dicha trayectoria.

- $$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

figura



Campo \vec{B} creado por un hilo rectilíneo e infinito.

Aplicando la Ley de Ampere.

Tomando una circunferencia como L :

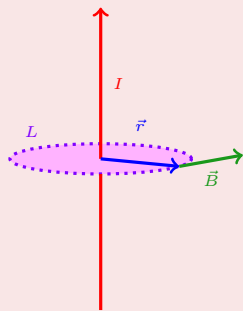
Campo \vec{B} creado por un hilo rectilíneo e infinito.

Aplicando la Ley de Ampere.

Tomando una circunferencia como L :

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

Figuras:



Campo \vec{B} creado por un hilo rectilíneo e infinito.

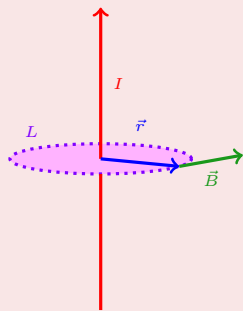
Aplicando la Ley de Ampere.

Tomando una circunferencia como L :

$$\textcircled{1} \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

$$\textcircled{2} |\vec{B}| \cdot L = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

Figuras:



Campo \vec{B} creado por un hilo rectilíneo e infinito.

Aplicando la Ley de Ampere.

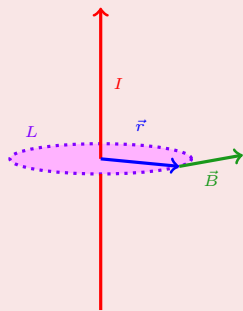
Tomando una circunferencia como L :

$$\textcircled{1} \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

$$\textcircled{2} |\vec{B}| \cdot L = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

$$\textcircled{3} |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

Figuras:



Campo \vec{B} creado por un hilo rectilíneo e infinito.

Aplicando la Ley de Ampere.

Tomando una circunferencia como L :

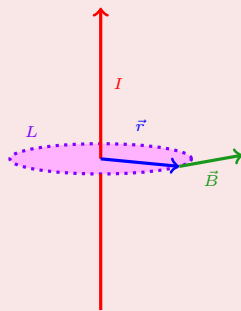
$$1 \quad \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

$$2 \quad |\vec{B}| \cdot L = \mu_0 \cdot I_{enc}$$

$$3 \quad |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

$$4 \quad \text{Dirección y sentido: } \vec{B} \propto \vec{I} \times \vec{r}$$

Figuras:



La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

Expresión matemática

La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

Expresión matemática

- $\vec{F}_l = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Consideraciones:

La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

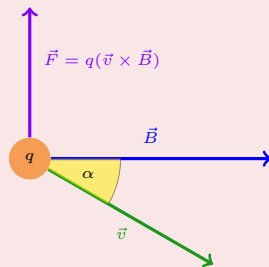
Expresión matemática

- $\vec{F}_l = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Consideraciones:

- 1 \vec{F}_l es \perp a \vec{v} y \vec{B}

Figura



La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

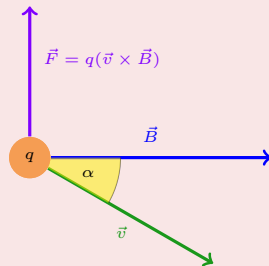
Expresión matemática

- $\vec{F}_l = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Consideraciones:

- 1 \vec{F}_l es \perp a \vec{v} y \vec{B}
- 2 El sentido es:

Figura



La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

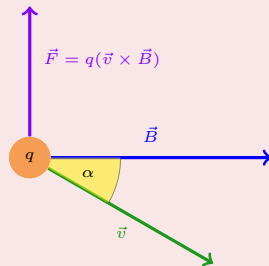
Expresión matemática

- $\vec{F}_l = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Consideraciones:

- 1 \vec{F}_l es \perp a \vec{v} y \vec{B}
- 2 El sentido es:
 - ▶ Si $Q > 0 \Rightarrow \vec{v} \times \vec{B}$

Figura



La fuerza de Lorentz

Fuerza sobre partículas móviles y cargadas en presencia de \vec{B}

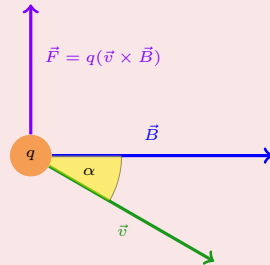
Expresión matemática

- $\vec{F}_l = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Consideraciones:

- 1 \vec{F}_l es \perp a \vec{v} y \vec{B}
- 2 El sentido es:
 - ▶ Si $Q > 0 \Rightarrow \vec{v} \times \vec{B}$
 - ▶ Si $Q < 0 \Rightarrow \vec{B} \times \vec{v}$

Figura



La fuerza de Lorentz como fuerza centrípeta.

Movimiento de una carga si $\vec{B} = cte$ y $\vec{B} \perp \vec{v}$

Sea una carga $+Q$:

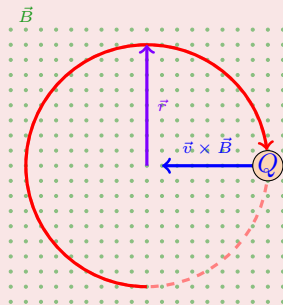
La fuerza de Lorentz como fuerza centrípeta.

Movimiento de una carga si $\vec{B} = cte$ y $\vec{B} \perp \vec{v}$

Sea una carga $+Q$:

$$\bullet \vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

figura:



La fuerza de Lorentz como fuerza centrípeta.

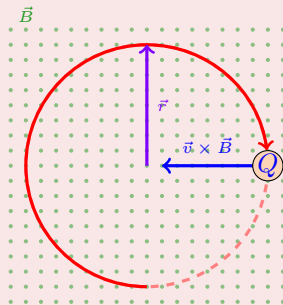
Movimiento de una carga si $\vec{B} = cte$ y $\vec{B} \perp \vec{v}$

Sea una carga $+Q$:

$$1 \quad \vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$2 \quad |\vec{F}_L| = |\vec{F}_c| \Rightarrow |Q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

figura:



La fuerza de Lorentz como fuerza centrípeta.

Movimiento de una carga si $\vec{B} = cte$ y $\vec{B} \perp \vec{v}$

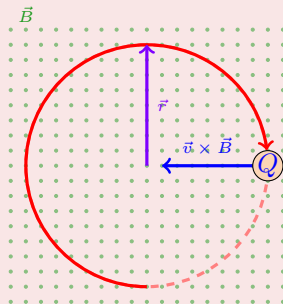
Sea una carga $+Q$:

$$1 \quad \vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$2 \quad |\vec{F}_L| = |\vec{F}_c| \Rightarrow |Q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$3 \quad r = \frac{m \cdot v}{|Q| \cdot B}$$

figura:



La fuerza de Lorentz como fuerza centrípeta.

Movimiento de una carga si $\vec{B} = cte$ y $\vec{B} \perp \vec{v}$

Sea una carga $+Q$:

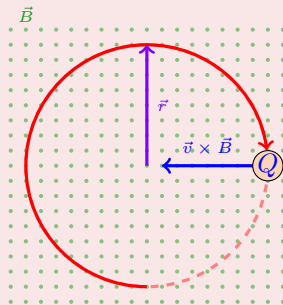
$$1 \quad \vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$2 \quad |\vec{F}_L| = |\vec{F}_c| \Rightarrow |Q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$3 \quad r = \frac{m \cdot v}{|Q| \cdot B}$$

$$4 \quad T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m \cdot v}{|Q| \cdot B \cdot v} = \frac{2\pi m}{|Q| \cdot B}$$

figura:



Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

$$\textcircled{1} \quad d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

$$\textcircled{1} \quad d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\textcircled{2} \quad d\vec{F} = I \cdot dt \cdot \left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \right)$$

Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

$$① \quad d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$② \quad d\vec{F} = I \cdot dt \cdot \left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \right)$$

$$③ \quad d\vec{F} = I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B})$$

Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

$$① \quad d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$② \quad d\vec{F} = I \cdot dt \cdot \left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \right)$$

$$③ \quad d\vec{F} = I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B})$$

$$④ \quad \vec{F} = \int I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B})$$

Fuerza de un elemento de corriente en un campo \vec{B}

Deducción a partir de la fuerza de Lorentz

Sea un elemento de corriente $I \cdot d\vec{l}$

$$① \quad d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$② \quad d\vec{F} = I \cdot dt \cdot \left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \right)$$

$$③ \quad d\vec{F} = I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B})$$

$$④ \quad \vec{F} = \int I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B})$$

Aplicaciones:

- Una aplicación básica es la creación de motores eléctricos.

Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

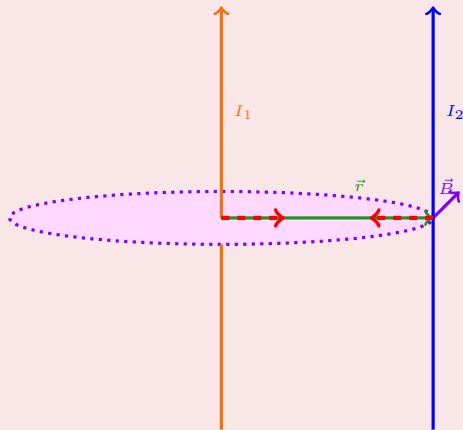
Fuerzas entre corrientes rectilneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

1 I_1 crea \vec{B} sobre I_2 : $|\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r}$

Figuras



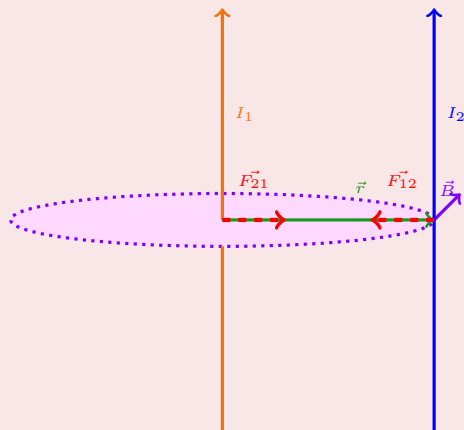
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

- 1 I_1 crea \vec{B} sobre I_2 : $|\vec{B}| = \left| \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r} \right|$
- 2 I_2 sufre una fuerza: $|\vec{dF}| = I_2 \cdot |\vec{dl} \times \vec{B}|$

Figuras



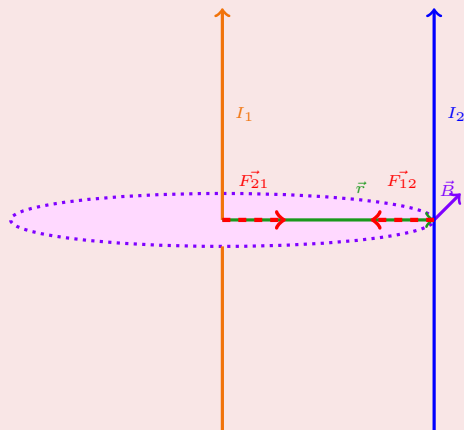
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

- 1 I_1 crea \vec{B} sobre I_2 : $|\vec{B}| = \left| \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r} \right|$
- 2 I_2 sufre una fuerza: $|\vec{dF}| = I_2 \cdot |\vec{dl} \times \vec{B}|$
- 3 $dF = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot dl$

Figuras



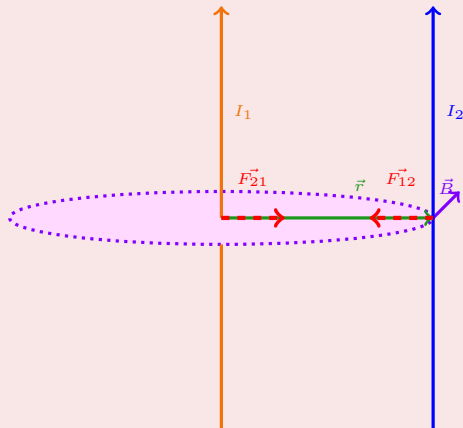
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

- 1 I_1 crea \vec{B} sobre I_2 : $|\vec{B}| = \left| \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r} \right|$
- 2 I_2 sufre una fuerza: $|d\vec{F}| = I_2 \cdot |d\vec{l} \times \vec{B}|$
- 3 $dF = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot dl$
- 4 $|\vec{F}| = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot L$

Figuras



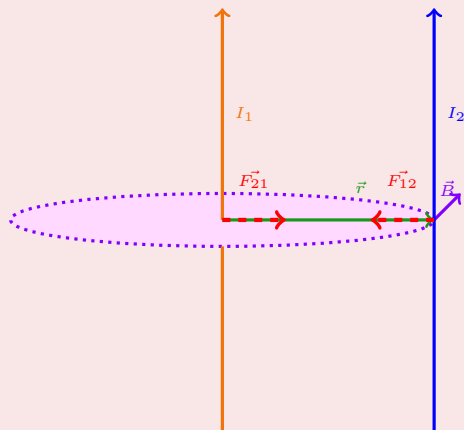
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Sean dos corrientes I_1 e I_2 distantes $|\vec{r}|$:

Fuerza por unidad de longitud:

- 1 I_1 crea \vec{B} sobre I_2 : $|\vec{B}| = \left| \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r} \right|$
- 2 I_2 sufre una fuerza: $|d\vec{F}| = I_2 \cdot |d\vec{l} \times \vec{B}|$
- 3 $dF = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot dl$
- 4 $|\vec{F}| = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot L$
- 5 $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r}$

Figuras



Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Dirección y sentido

Dirección y sentido de \vec{F}

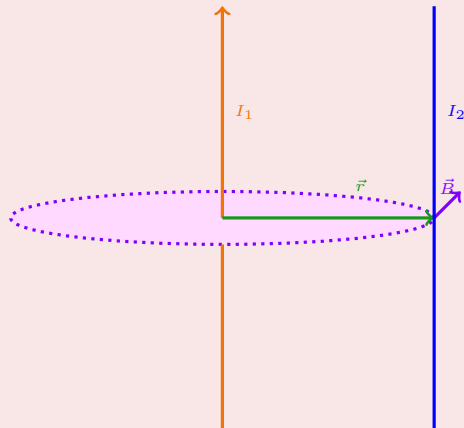
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Dirección y sentido

Dirección y sentido de \vec{F}

① $\vec{F} \parallel \vec{r}$

Figuras



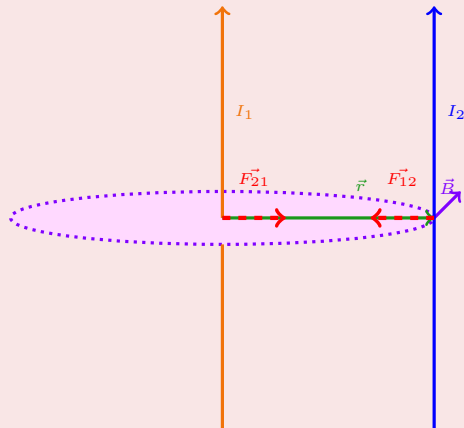
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Dirección y sentido

Dirección y sentido de \vec{F}

- 1 $\vec{F} \parallel \vec{r}$
- 2 Igual sentido de corrientes: \Rightarrow F. Atractiva.

Figuras



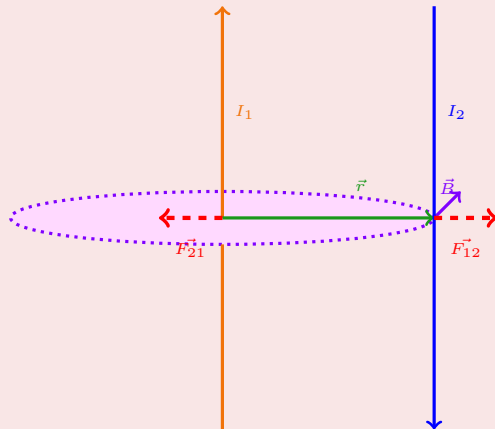
Fuerzas entre corrientes rectilíneas, infinitas y paralelas.

Dirección y sentido

Dirección y sentido de \vec{F}

- 1 $\vec{F} \parallel \vec{r}$
- 2 Igual sentido de corrientes: \Rightarrow F. Atractiva.
- 3 Distinto sentido de corrientes: \Rightarrow F. Repulsiva.

Figuras



Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

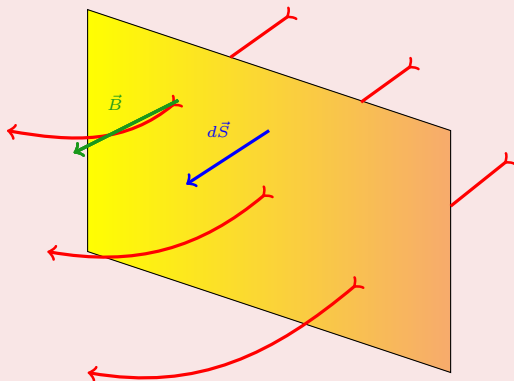
Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

- Definición: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

Figura:



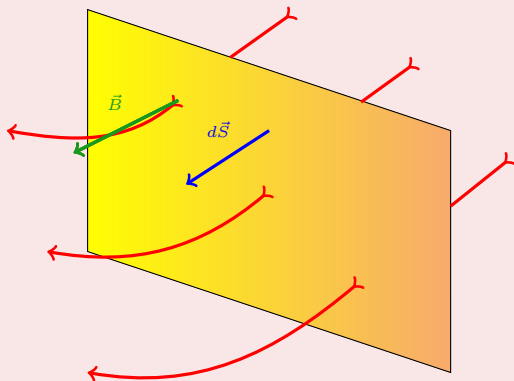
Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

- Definición: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
- Es proporcional a $|\vec{B}|$

Figura:



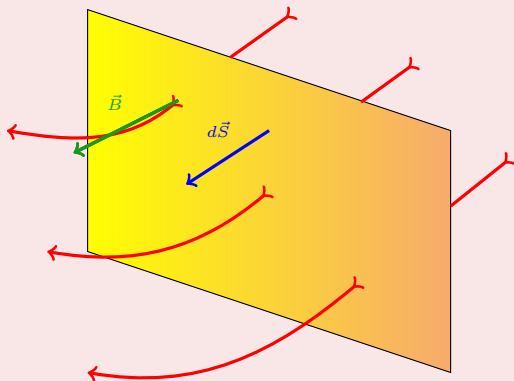
Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

- Definición: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
- Es proporcional a $|\vec{B}|$
- Es máximo si $\vec{B} \parallel d\vec{S}$

Figura:



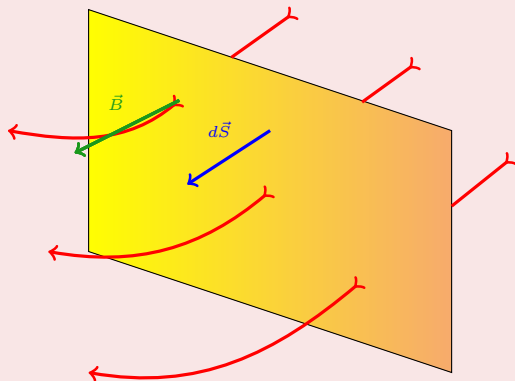
Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

- Definición: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
- Es proporcional a $|\vec{B}|$
- Es máximo si $\vec{B} \parallel d\vec{S}$
- Es nulo si $\vec{B} \perp d\vec{S}$

Figura:



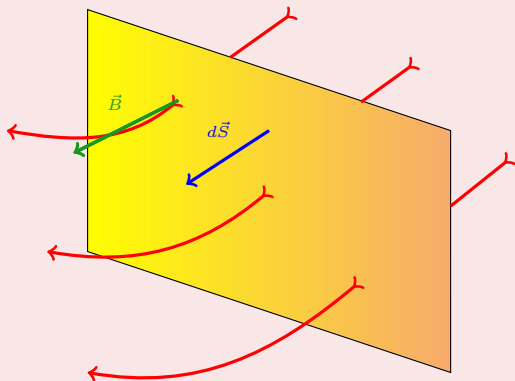
Inducción electromagnética

Flujo del campo \vec{B}

Flujo del campo \vec{B}

- Definición: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
- Es proporcional a $|\vec{B}|$
- Es máximo si $\vec{B} \parallel d\vec{S}$
- Es nulo si $\vec{B} \perp d\vec{S}$
- Unidades: $1 \text{ Wb} \equiv 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$

Figura:



Ley de inducción electromagnética.

La Ley de Lenz

Enunciado

Ley de inducción electromagnética.

La Ley de Lentz

Enunciado

- Si a través de un circuito **cerrado** varía el flujo magnético con el tiempo, se induce una *f.e.m.* que se opone a la variación de dicho flujo.

Sentido de la corriente inducida

Ley de inducción electromagnética.

La Ley de Lenz

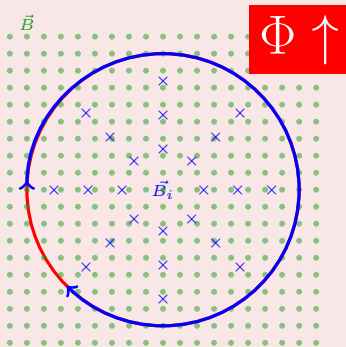
Enunciado

- Si a través de un circuito **cerrado** varía el flujo magnético con el tiempo, se induce una *f.e.m.* que se opone a la variación de dicho flujo.

Sentido de la corriente inducida

1 Si $\frac{d\Phi(t)}{dt} > 0 \Rightarrow \vec{B}_i \propto -\vec{B}$

Figura:



Ley de inducción electromagnética.

La Ley de Lenz

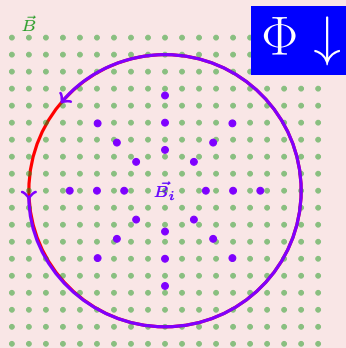
Enunciado

- Si a través de un circuito **cerrado** varía el flujo magnético con el tiempo, se induce una *f.e.m.* que se opone a la variación de dicho flujo.

Sentido de la corriente inducida

- 1 Si $\frac{d\Phi(t)}{dt} > 0 \Rightarrow \vec{B}_i \propto -\vec{B}$
- 2 Si $\frac{d\Phi(t)}{dt} < 0 \Rightarrow \vec{B}_i \propto +\vec{B}$

Figura:



La Ley de Faraday

Cálculo de la ε_i inducida

Enunciado

La Ley de Faraday

Cálculo de la ε_i inducida

Enunciado

- La ε_i en un circuito cerrado es directamente proporcional a la variación del flujo magnético que sufre dicho circuito.

La Ley de Faraday

Cálculo de la ε_i inducida

Enunciado

- La ε_i en un circuito cerrado es directamente proporcional a la variación del flujo magnético que sufre dicho circuito.

- $\varepsilon_i = - \frac{d\Phi_B(t)}{dt}$

La Ley de Faraday

Cálculo de la ε_i inducida

Enunciado

- La ε_i en un circuito cerrado es directamente proporcional a la variación del flujo magnético que sufre dicho circuito.

- $\varepsilon_i = - \frac{d\Phi_B(t)}{dt}$

- Ley de Lentz. *

El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

Descripción

El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m* entre los extremos de la varilla.

Explicación

El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

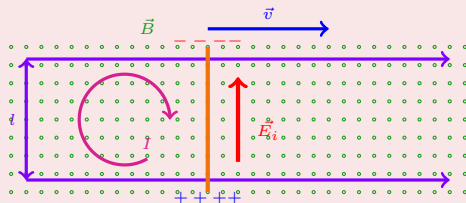
Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m.* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- 1 Aplicando la F. de Lorentz:

Figura



El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

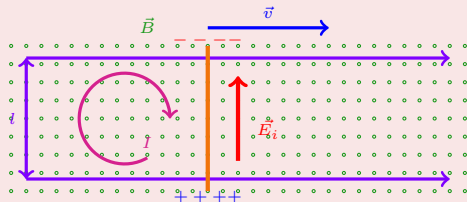
Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- 1 Aplicando la F. de Lorentz:
 - ▶ Se alcanza equilibrio si: $\vec{E}_i = \vec{B} \times \vec{v}$

Figura



El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

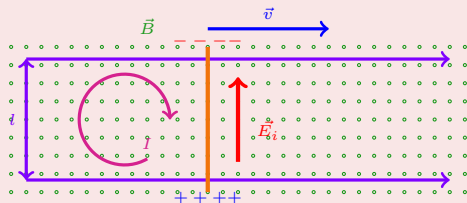
Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- 1 Aplicando la F. de Lorentz:
 - ▶ Se alcanza equilibrio si: $\vec{E}_i = \vec{B} \times \vec{v}$
 - ▶ $\varepsilon_i = -\vec{E}_i \cdot l = -B \cdot v \cdot l$

Figura



El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

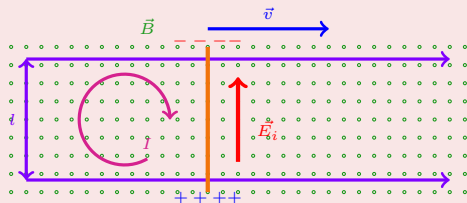
Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m.* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- Aplicando la F. de Lorentz:
 - Se alcanza equilibrio si: $\vec{E}_i = \vec{B} \times \vec{v}$
 - $\varepsilon_i = -\vec{E}_i \cdot l = -B \cdot v \cdot l$
- Aplicando Faraday:

Figura



El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

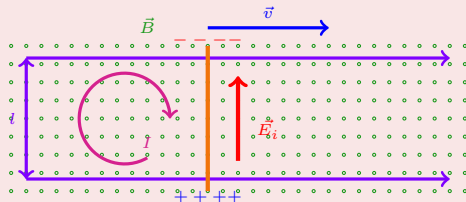
Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- Aplicando la F. de Lorentz:
 - Se alcanza equilibrio si: $\vec{E}_i = \vec{B} \times \vec{v}$
 - $\varepsilon_i = -\vec{E}_i \cdot l = -B \cdot v \cdot l$
- Aplicando Faraday:
 - $\Phi_B = |\vec{B}| \cdot l \cdot (x_0 + v \cdot t)$

Figura



El experimento de Henry

Movimiento de una varilla con $\vec{v} \perp \vec{B}$

Descripción

- Si se despalza una varilla de longitud l con velocidad perpendicular a su longitud y a un campo \vec{B} , se induce una *f.e.m* entre los extremos de la varilla.

Explicación

- Aplicando la F. de Lorentz:
 - Se alcanza equilibrio si: $\vec{E}_i = \vec{B} \times \vec{v}$
 - $\varepsilon_i = -\vec{E}_i \cdot l = -B \cdot v \cdot l$
- Aplicando Faraday:
 - $\Phi_B = |\vec{B}| \cdot l \cdot (x_0 + v \cdot t)$
 - $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -B \cdot v \cdot l$

Figura

