

Electricidad y Magnetismo

¿Qué es la electricidad?

Introducción

La palabra **electricidad** se escucha todos los días.

La usamos para encender una lámpara.

Para cargar un teléfono.

Para hacer funcionar una computadora.

Para mover un ventilador.

Para operar un refrigerador.

Pero...

¿Qué es realmente la electricidad?

La mayoría de las personas responde:

"Es la energía que sale del enchufe."

Aunque esa respuesta parece correcta, en realidad no explica qué está ocurriendo.

En este módulo descubriremos qué sucede dentro de un cable cuando encendemos un aparato.

Una pregunta interesante

Imagina que tienes un cable conectado a una batería.

Ahora conectas un foco.

El foco se enciende.

Pero...

¿Qué fue lo que realmente viajó por el cable?

¿Viajó luz?

¿Viajó energía?

¿Viajó algo invisible?

La respuesta es muy interesante.

Una comparación sencilla

Imagina una carretera.

Sobre ella circulan miles de automóviles.

Cuando todos los autos permanecen estacionados...

no ocurre nada.

Pero cuando comienzan a moverse...

aparece el tráfico.

La electricidad funciona de una manera parecida.
En lugar de automóviles existen partículas diminutas llamadas **electrones**.
Cuando permanecen quietos...
no hay corriente eléctrica.
Cuando empiezan a desplazarse...
aparece la corriente eléctrica.
Esta comparación no es perfecta, pero nos ayudará a construir una primera intuición.

¿Qué son los electrones?

Todo lo que existe está formado por átomos.
Cada átomo contiene partículas aún más pequeñas.
Entre ellas están los electrones.

Los electrones poseen una propiedad llamada **carga eléctrica negativa** y, en muchos materiales como el cobre, algunos de ellos pueden moverse con relativa facilidad. Ese movimiento es la base de la corriente eléctrica.

Son tan pequeños que nadie puede verlos directamente a simple vista.
Sin embargo...
su movimiento produce efectos que vemos todos los días.

Por ejemplo:

- Encienden focos.
- Hacen girar motores.
- Permiten que funcione una computadora.
- Hacen sonar una bocina.
- Cargan la batería de un teléfono.

¿Dónde existe la electricidad?

Una idea muy común es pensar que la electricidad solamente existe en los cables.
Eso no es cierto.

La electricidad está presente prácticamente en toda la materia.
Los electrones forman parte de los átomos de:

- las personas,
- los árboles,
- el agua,
- el aire,
- las piedras,
- los animales,
- los metales.

La diferencia es que en algunos materiales los electrones pueden desplazarse con facilidad y en otros permanecen mucho más ligados a sus átomos.

Un experimento muy sencillo

Seguramente alguna vez ocurrió esto.

Sales de un automóvil.

Cierras la puerta.

Tocas la carrocería.

¡Tac!

Recibes una pequeña descarga.

¿Qué ocurrió?

Durante el movimiento entre tu ropa y el asiento se acumularon cargas eléctricas. Al tocar el metal, esas cargas encontraron un camino para redistribuirse rápidamente y se produjo una pequeña chispa.

Ese fenómeno se llama **electricidad estática**.

Más adelante lo estudiaremos con detalle.

¿La electricidad siempre se mueve?

No.

Y este es un concepto muy importante.

Puede existir electricidad sin que haya corriente.

Por ejemplo:

Cuando frotas un globo contra tu cabello, el globo adquiere una carga eléctrica.

Los electrones no están recorriendo un circuito continuo como en un cable conectado a una batería.

Simplemente hay una acumulación de carga.

En cambio, cuando conectas una batería a un foco, los electrones sí tienen un camino para desplazarse dentro del circuito.

La idea más importante de este módulo

No memorices ninguna definición todavía.

Quédate únicamente con esta idea:

La electricidad está relacionada con la presencia y el comportamiento de los electrones.

Cuando los electrones pueden desplazarse de forma organizada por un conductor, aparece la corriente eléctrica.

Durante el resto del curso iremos descubriendo qué hace que esos electrones se muevan, cómo se controla su movimiento y cómo podemos aprovecharlo para producir luz, calor, sonido o movimiento.

El átomo: la fábrica de la electricidad

Una pregunta para comenzar

Mira a tu alrededor.

La mesa.

La silla.

Tu teléfono.

El aire.

El agua.

Una moneda.

Tu mano.

Parecen objetos completamente diferentes.

Sin embargo, todos tienen algo en común.

Todos están formados por átomos.

Podemos imaginar al átomo como el "ladrillo" con el que está construido todo lo que existe.

Así como una casa está hecha de ladrillos, el universo está hecho de átomos.

¿Qué es un átomo?

Durante mucho tiempo las personas pensaban que, si cortaban un objeto muchas veces, llegaría un momento en que ya no podría dividirse más.

A esa partícula extremadamente pequeña la llamaron **átomo**, palabra que significa "indivisible". Hoy sabemos que un átomo sí puede dividirse y que está formado por partículas aún más pequeñas.

Para este curso basta con conocer tres de ellas.

- Protones.
- Neutrones.
- Electrones.

El núcleo

En el centro del átomo existe una región llamada **núcleo**.

Podemos imaginarlo como el corazón del átomo.

Allí se encuentran dos tipos de partículas.

- Protones.
- Neutrones.

El núcleo es extremadamente pequeño comparado con el tamaño total del átomo, pero concentra casi toda su masa.

Los protones

Los protones poseen una característica muy importante.

Tienen **carga positiva**.

Para representarla se utiliza el signo:

+

Todos los protones tienen exactamente la misma carga positiva.

Los electrones

Alrededor del núcleo se encuentran los electrones.

Ellos poseen **carga negativa**.

Se representan mediante el signo:

-

Aquí aparece el personaje principal de todo este curso.

Los electrones.

Prácticamente toda la electricidad que utilizamos depende de ellos.

Los neutrones

También existen partículas llamadas neutrones.

No tienen carga eléctrica.

Ni positiva.

Ni negativa.

Su función principal es contribuir a la estabilidad del núcleo.

En este curso aparecerán muy poco, porque para entender la electricidad basta con conocer que existen.

¿Qué significa tener carga?

Todavía no es necesario definir matemáticamente qué es una carga eléctrica.

Por ahora basta con recordar algo muy sencillo.

Los protones son positivos.

Los electrones son negativos.

Más adelante veremos cómo estas cargas se atraen o se repelen.

Un átomo normalmente está equilibrado

Imagina un átomo con:

10 protones

10 electrones

Tiene la misma cantidad de cargas positivas y negativas.

Entonces decimos que el átomo es **eléctricamente neutro**.

No significa que no tenga cargas.

Sí las tiene.

Lo que ocurre es que unas compensan a las otras.

¿Qué ocurre si pierde un electrón?

Supongamos que el átomo tenía:

10 protones

10 electrones

Ahora pierde un electrón.

Queda con:

10 protones

9 electrones

Ahora hay una carga positiva "sobrante".

El átomo deja de ser neutro y adquiere una carga positiva.

¿Y si gana un electrón?

Ahora sucede lo contrario.

10 protones

11 electrones

Existe un electrón adicional.

Ahora predominan las cargas negativas.

El átomo adquiere una carga negativa.

Aquí nace la electricidad

Hasta este momento hemos descubierto algo muy importante.

Los protones permanecen firmemente unidos dentro del núcleo.

Los neutrones también.

Pero los electrones más externos, en ciertos materiales, pueden desprenderse y desplazarse.

Y precisamente ese movimiento es el que produce la corriente eléctrica.

Una comparación muy útil

Imagina un estadio lleno de personas.

Los espectadores de las primeras filas permanecen en sus lugares.

Pero las personas que están cerca de las salidas pueden abandonar el estadio con mayor facilidad.

Algo parecido ocurre en muchos materiales conductores.

Los electrones más externos son los que pueden moverse de un átomo a otro.

¿Por qué no salen todos los electrones?

Porque cada electrón está unido al átomo mediante fuerzas de atracción.

En algunos materiales esa unión es muy fuerte.

En otros es relativamente débil.

Por eso existen buenos conductores, como el cobre, y buenos aislantes, como el plástico.

Más adelante estudiaremos este fenómeno con detalle.

Curiosidad científica

Si un átomo tuviera el tamaño de un estadio de fútbol, el núcleo sería aproximadamente del tamaño de una canica colocada en el centro del campo. El resto del estadio estaría prácticamente vacío, ocupado por la región donde es más probable encontrar a los electrones.

Esto nos muestra que la materia no es un bloque compacto, sino que está formada por estructuras con enormes espacios a escala atómica.

A continuación nos haremos dos preguntas:

1. ¿Qué hace que se agreguen o se quiten electrones?

La respuesta corta es:

Los electrones pueden ganarse o perderse cuando un átomo interactúa con otro átomo o cuando recibe energía.

Veámoslo con ejemplos sencillos.

Caso 1. Al frotar dos materiales

Cuando frotas un globo contra tu cabello, ocurre algo muy interesante.

Algunos electrones pasan del cabello al globo.

No se crean electrones nuevos.

No desaparecen electrones.

Simplemente cambian de lugar.

Por eso:

- El globo gana electrones y queda con carga negativa.
- El cabello pierde electrones y queda con carga positiva.

Los electrones se conservaron; solo fueron transferidos.

Caso 2. En una batería

Dentro de una batería ocurren reacciones químicas.

Esas reacciones hacen que los electrones sean "empujados" de un material hacia otro.

Por eso existe una diferencia de carga entre sus terminales.

Cuando conectamos un circuito, esos electrones encuentran un camino para desplazarse.

Caso 3. La luz

Si un átomo recibe suficiente energía luminosa (por ejemplo, luz ultravioleta), un electrón puede escapar del átomo.

Este fenómeno se llama **efecto fotoeléctrico**.

Es la base del funcionamiento de muchos sensores y fue explicado por Albert Einstein en 1905.

Caso 4. El calor

Cuando un material se calienta mucho, algunos electrones adquieren suficiente energía para abandonar el átomo.

Esto ocurre, por ejemplo, en tubos electrónicos y en ciertos procesos industriales.

Caso 5. Un campo eléctrico muy intenso

Si el campo eléctrico es extremadamente fuerte, puede arrancar electrones de los átomos.

Eso sucede, por ejemplo, en un rayo.

Una idea muy importante

Los protones prácticamente nunca salen del núcleo del átomo durante los fenómenos eléctricos cotidianos.

Los que se mueven son los electrones.

Por eso toda la electricidad que usamos depende casi exclusivamente del movimiento de electrones.

¿Por qué unos electrones salen más fácilmente que otros?

No todos los electrones están igual de unidos al átomo.

Podemos imaginar el átomo como una casa.

Los electrones cercanos al núcleo son como personas durmiendo en una habitación cerrada.

Los electrones más externos son como personas sentadas junto a la puerta.

Si alguien abre la puerta...

Los primeros que salen son los que estaban cerca de ella.

En muchos metales, como el cobre, algunos electrones externos están poco ligados al átomo y pueden desplazarse con facilidad. A esos electrones se les suele llamar **electrones de conducción**.

2. ¿Qué es un ion?

Un **ion** es un átomo que **ya no tiene el mismo número de protones y electrones**.

Eso es todo.

Veamos algunos ejemplos.

Átomo neutro

Supongamos un átomo con:

8 protones

8 electrones

Tiene la misma cantidad de cargas positivas y negativas.

Resultado:

Es un átomo neutro.

Ion positivo

Ahora pierde un electrón.

Tiene:

8 protones

7 electrones

Hay más cargas positivas que negativas.

Resultado:

Tiene carga positiva.

Ahora se llama **ion positivo** o **catión**.

Ion negativo

Ahora imaginemos otro átomo.

Tiene:

8 protones

9 electrones

Ahora posee un electrón adicional.

Resultado:

Tiene carga negativa.

Se llama **ion negativo** o **anión**.

Un ejemplo cotidiano: la sal de mesa

La sal común no está formada por átomos neutros, sino por iones.

Cuando el cloruro de sodio se forma:

- El sodio pierde un electrón y se convierte en un catión (Na^+).
- El cloro gana ese electrón y se convierte en un anión (Cl^-).

Como uno es positivo y el otro es negativo, se atraen y forman un cristal de sal.

Resumen

Situación	Resultado
Mismo número de protones y electrones	Átomo neutro
Pierde electrones	Ion positivo (catión)
Gana electrones	Ion negativo (anión)

Una observación importante

En electricidad aprenderemos sobre el movimiento de los electrones dentro de los metales, donde normalmente no se forman iones de manera continua. Más adelante, cuando estudiemos baterías, electrólisis o soluciones conductoras, veremos que los **iones** también pueden moverse y transportar carga eléctrica.

En otras palabras, existen dos formas principales de transportar carga:

- **Por electrones**, como ocurre en un cable de cobre.
- **Por iones**, como ocurre en el interior de una batería o en una solución de agua con sal.

Comprender esta diferencia nos ayudará más adelante a entender cómo funcionan las pilas, las baterías y muchos dispositivos eléctricos.

La carga eléctrica

Introducción

En el módulo anterior aprendimos que los protones tienen carga positiva y los electrones tienen carga negativa.

Pero ahora surge una pregunta muy importante.

¿Qué es exactamente una carga eléctrica?

La respuesta puede parecer sorprendente.

La ciencia sabe **cómo se comporta** una carga eléctrica con gran precisión y puede describir sus efectos mediante experimentos y ecuaciones. Sin embargo, si preguntas qué "es" una carga en un sentido más profundo, no existe una definición simple como ocurre con una mesa o una piedra.

Podemos entenderla por lo que hace.

Y eso será suficiente para comprender toda la electricidad.

Una comparación

Imagina que existen dos tipos de imanes.

Uno rojo.

Uno azul.

Cuando acercas dos rojos...

se separan.

Cuando acercas dos azules...

también se separan.

Pero cuando acercas un rojo y un azul...

se atraen.

Con las cargas eléctricas ocurre algo parecido.

Existen dos tipos de carga.

Positiva (+)

Negativa (-)

Primera regla de la electricidad

Esta regla debe quedar grabada para siempre.

Cargas iguales se repelen.

(+) $\leftarrow \rightarrow$

(+)

Dos protones tienden a separarse.

También ocurre con dos electrones.

(-) $\leftarrow \rightarrow$

(-)

También se repelen.

Segunda regla

Cargas diferentes se atraen.

(+)

↓

↑

(-)

El protón y el electrón se atraen.

Esta atracción es una de las razones por las que los electrones permanecen ligados al átomo.

Una analogía con personas

Imagina una fiesta.

Hay personas con camiseta roja.

Hay personas con camiseta azul.

Supongamos que, por una regla imaginaria:

- Los de camiseta roja prefieren mantenerse alejados de otros de camiseta roja.
- Los de camiseta azul también se alejan entre sí.
- Pero las personas de camisetas de distinto color prefieren estar juntas.

No es exactamente lo que ocurre en la naturaleza, pero la idea ayuda a recordar las reglas de atracción y repulsión.

¿Por qué se atraen?

Esta es una pregunta muy interesante.

La respuesta honesta es:

No sabemos por qué existe la carga eléctrica en un sentido último.

Lo que sí sabemos es que:

- las cargas generan un **campo eléctrico** a su alrededor;
- ese campo ejerce fuerzas sobre otras cargas.

Más adelante dedicaremos un módulo completo a los campos eléctricos.

Por ahora basta con saber que las cargas pueden influirse mutuamente incluso sin tocarse.

Una demostración cotidiana

Seguramente alguna vez viste esto.

Frotas un globo contra tu cabello.

Después acercas el globo a la pared.

Y...

¡el globo se queda pegado!

¿Por qué?

Durante el frotamiento, el globo ganó electrones.

Ahora tiene carga negativa.

Al acercarlo a la pared, las cargas dentro de la pared se redistribuyen ligeramente, produciendo una atracción.

Aunque la pared siga siendo, en conjunto, neutra, esa redistribución basta para que el globo quede adherido.

Otra demostración

Rompe pequeños pedazos de papel.
Ahora frota un peine sobre tu cabello.
Acércalo al papel.
Los pedacitos de papel saltan hacia el peine.
No hay pegamento.
No hay imán.
Solo existe una fuerza eléctrica.

¿Qué ocurre cuando tocamos una perilla metálica?

A veces sucede esto.
Caminas sobre una alfombra.
Tocas una chapa metálica.
¡Tac!
Aparece una pequeña chispa.
Durante el movimiento sobre la alfombra acumulaste carga eléctrica.
Al tocar el metal, esa carga encontró un camino para redistribuirse rápidamente y se produjo la descarga.
Eso es **electricidad estática**.

Electricidad estática

Es importante no confundir dos conceptos.

Electricidad estática

Las cargas permanecen acumuladas.
No existe un flujo continuo.
Ejemplos:

- Globo frotado.
- Peine.
- Chispa al bajar del automóvil.
- Ropa que se pega al salir de la secadora.

Corriente eléctrica

Las cargas se desplazan continuamente por un circuito.
Ejemplos:

- Un foco encendido.
- Un ventilador funcionando.
- Un cargador de teléfono alimentando el dispositivo.

Un dato curioso

Un rayo también es una descarga eléctrica.

Las nubes pueden acumular enormes cantidades de carga.

Cuando la diferencia de carga es muy grande, el aire deja de comportarse como un buen aislante y aparece una descarga que iguala parcialmente esa diferencia.

La pequeña chispa que sientes al tocar una perilla y un rayo obedecen al mismo principio físico. La diferencia está en la cantidad de carga y energía involucradas.

La unidad de carga

La cantidad de carga eléctrica se mide en una unidad llamada **coulomb**, en honor a Charles-Augustin de Coulomb.

Por ahora no necesitamos hacer cálculos.

Solo recuerda que:

- la carga eléctrica puede medirse;
- más adelante aprenderemos cómo hacerlo.

La matemática de la carga eléctrica

Midiendo la cantidad de electricidad

La unidad de carga

La carga eléctrica se mide en

Coulomb

Su símbolo es

C

La unidad recibe ese nombre en honor al físico francés Charles-Augustin de Coulomb.

¿Qué representa un coulomb?

Aquí aparece un número enorme.

Un electrón posee una carga extremadamente pequeña.

Su valor es aproximadamente:

$-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

El signo menos indica que el electrón tiene carga negativa.

Un protón tiene una carga del mismo valor absoluto, pero positiva:

$+1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

¿Por qué el número es tan pequeño?

Porque un electrón es una partícula diminuta.

Sería muy incómodo medir la electricidad usando cantidades tan pequeñas.

Por eso utilizamos el coulomb.

¿Cuántos electrones forman un coulomb?

Aproximadamente:

6.24×10^{18} electrones.

Es decir:

6 240 000 000 000 000 000 electrones.

¡Más de seis trillones de electrones (escala larga en español)!

Este dato suele impresionar a los estudiantes y les ayuda a comprender que, aunque un electrón tiene una carga muy pequeña, en un conductor participan cantidades inmensas de ellos.

Una analogía

Imagina un grano de arena.

Es muy pequeño.

Ahora imagina todas las playas del mundo.

Hay una cantidad enorme de granos.

Con los electrones ocurre algo parecido.

Un solo electrón tiene una carga diminuta.

Pero cuando se mueven miles de billones de ellos, la carga total ya puede medirse fácilmente en coulombs.

Carga positiva y carga negativa

Supongamos un objeto que pierde electrones.

Ahora tiene más protones que electrones.

Su carga será:

Positiva.

Si el objeto gana electrones.

Tendrá más electrones que protones.

Su carga será:

Negativa.

La conservación de la carga

Existe una ley muy importante.

La carga eléctrica no se crea ni se destruye.

Solo puede transferirse de un cuerpo a otro.

Ejemplo

Frotas un globo contra tu cabello.

El globo gana electrones.

Tu cabello pierde exactamente esos mismos electrones.

No aparecieron electrones nuevos.

No desapareció ninguno.

Simplemente cambiaron de lugar.

La cantidad de carga

Supongamos un cuerpo con:

1 **C** de carga negativa.

Eso significa que posee un exceso de aproximadamente:

6.24×10^{18} electrones.

Si tuviera:

2 **C**

Tendría el doble.

Si tuviera:

0.5 C

Tendría la mitad.

Primera fórmula del curso

Llegó el momento de introducir la primera ecuación relacionada con la carga eléctrica.

$$Q = n \cdot e$$

Donde:

Q = carga eléctrica (C).

n = número de electrones o protones transferidos.

e = carga elemental.

La carga elemental vale:

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

El signo dependerá del tipo de partícula:

- Electrón → negativa.
- Protón → positiva.

Ejemplo 1

Si un objeto gana

1000 electrones

¿Cuál será su carga?

Sabemos que

$$Q = n \cdot e$$

Entonces

$$Q = 1000 \times (-1.602 \times 10^{-19})$$

Resultado

$$Q = -1.602 \times 10^{-16} \text{ C}$$

El signo negativo indica que el objeto ganó electrones.

Ejemplo 2

Un objeto pierde

500 electrones.

¿Cuál será su carga?

$$Q = 500 \times (+1.602 \times 10^{-19})$$

Resultado

$$Q = 8.01 \times 10^{-17} \text{ C}$$

El objeto queda cargado positivamente porque perdió electrones.

Una observación importante

En la práctica, cuando trabajemos con circuitos eléctricos, rara vez contaremos electrones uno por uno.

Normalmente trabajaremos con:

- Coulombs.
- Amperes.
- Voltios.

Pero es importante saber que todas esas magnitudes tienen su origen en la carga de los electrones.

Una relación muy importante

Ahora aparece una ecuación que será fundamental para todo el curso.

La corriente eléctrica se define como la cantidad de carga que atraviesa un punto por unidad de tiempo.

$$I = Q / t$$

Donde:

I = corriente (A).

Q = carga (C).

t = tiempo (s).

Ejemplo

Si por un conductor circulan

2 A

durante

5 segundos

¿Cuánta carga pasó?

$$Q = I \cdot t \text{ C}$$

Esto significa que en esos cinco segundos atravesaron el conductor **10 coulombs de carga**.

Conductores y aislantes

Introducción

Mira a tu alrededor.

Hay cables.

Enchufes.

Interruptores.

Electrodomésticos.

Todos utilizan electricidad.

Sin embargo, observa un cable eléctrico.

Tiene dos partes muy diferentes.

En el centro hay un alambre de cobre.

Por fuera hay una cubierta de plástico.

¿Por qué no se hace todo de cobre?

¿Por qué no se hace todo de plástico?

La respuesta está en el comportamiento de los electrones.

Imaginemos una ciudad

Supongamos que cada átomo es una casa.

Y cada electrón es una persona.

Ahora imaginemos dos ciudades.

Ciudad A

Todas las puertas están abiertas.

Las personas pueden caminar libremente de una casa a otra.

Moverse es fácil.

Esta ciudad representa un **material conductor**.

Ciudad B

Todas las puertas están cerradas con llave.

Las personas prácticamente no pueden salir de su casa.

Moverse es muy difícil.

Esta ciudad representa un **material aislante**.

¿Qué es un conductor?

Un conductor es un material en el que algunos electrones pueden desplazarse con facilidad.

No significa que todos los electrones estén moviéndose.

Solo algunos de ellos.

Y eso basta para transportar corriente eléctrica.

El cobre

El cobre es uno de los mejores conductores eléctricos.

¿Por qué?

Porque tiene electrones externos que están relativamente poco ligados al átomo.

Eso permite que puedan pasar de un átomo al siguiente con facilidad cuando existe una fuerza que los impulsa.

Imaginemos una fila de personas

Supongamos que cien personas están una detrás de otra.

Cada una sostiene una pelota.

Si la primera empuja su pelota hacia la segunda...

La segunda empuja la suya hacia la tercera.

Después la tercera.

Luego la cuarta.

Y así sucesivamente.

Aunque cada persona apenas movió una pelota, el efecto llegó rápidamente hasta el final de la fila. Algo parecido ocurre en un cable.

No es necesario que un mismo electrón recorra todo el cable desde un extremo hasta el otro para que un aparato empiece a funcionar. El movimiento colectivo de muchísimos electrones hace que la energía eléctrica se transmita a través del circuito.

¿Qué es un aislante?

Un aislante es un material cuyos electrones están mucho más fuertemente ligados a sus átomos.

Moverlos resulta muy difícil.

Por eso la corriente eléctrica prácticamente no puede circular.

Ejemplos de conductores

Los siguientes materiales son excelentes conductores:

- Cobre.
- Plata.
- Oro.
- Aluminio.
-

También el agua con sales disueltas conduce electricidad, porque contiene iones que pueden moverse.

Ejemplos de aislantes

Los siguientes materiales son muy buenos aislantes:

- Plástico.

- Hule (goma).
- Vidrio.
- Cerámica.
- Madera seca.
- Aire seco (en condiciones normales).

¿Por qué los cables tienen plástico?

Imagina un cable hecho únicamente de cobre.

Si lo tocaras mientras estuviera conectado a una fuente de energía, podrías recibir una descarga. Por eso el cobre se cubre con plástico.

El cobre permite el paso de la corriente.

El plástico evita que esa corriente llegue hasta tu mano.

Gracias a esa combinación podemos utilizar la electricidad con mucha más seguridad.

¿El agua conduce electricidad?

Esta es una pregunta muy común.

La respuesta correcta es:

El agua completamente pura conduce muy poco la electricidad.

Pero el agua que encontramos normalmente contiene minerales y sales disueltas.

Esas sustancias liberan iones que pueden desplazarse.

Por eso el agua de la llave, el agua del mar o una solución con sal sí pueden conducir la electricidad mucho mejor que el agua pura.

¿Por qué las aves no se electrocutan al posarse en un cable?

Es una duda muy frecuente.

Cuando un pájaro se posa sobre un solo cable, ambas patas quedan prácticamente al mismo potencial eléctrico.

Como no existe una diferencia de potencial apreciable entre una pata y la otra, no circula una corriente importante a través de su cuerpo.

Si al mismo tiempo tocara otro cable con distinto potencial o una estructura conectada a tierra, entonces sí podría circular corriente y el riesgo sería muy diferente.

Más adelante entenderemos este fenómeno cuando estudiemos el voltaje.

Materiales intermedios

No todos los materiales son excelentes conductores ni excelentes aislantes.

Algunos tienen un comportamiento intermedio.

Los llamamos **semiconductores**.

El ejemplo más famoso es el silicio.

Gracias a él funcionan:

- computadoras,
- teléfonos celulares,
- televisores,
- memorias USB,
- microcontroladores,
- procesadores.

Más adelante dedicaremos un tema completo a los semiconductores.

Curiosidad científica

La **plata** conduce la electricidad incluso mejor que el cobre.

Entonces, ¿por qué casi todos los cables son de cobre?

Porque la plata es mucho más cara y el cobre ofrece una combinación excelente de conductividad, resistencia mecánica, facilidad de fabricación y costo.

Por eso el cobre se convirtió en el material más utilizado para instalaciones eléctricas.

El voltaje

¿Qué hace que los electrones se muevan?

Comencemos con una pregunta

Ya sabemos que el cobre tiene electrones que pueden moverse.

Pero...

¿Por qué habrían de moverse?

Imagina una fila de cien personas.

Todas están de pie.

Quietas.

Nadie avanza.

Ahora alguien empuja a la primera persona.

Inmediatamente toda la fila comienza a moverse.

Entonces aparece otra pregunta.

¿Quién dio el primer empujón?

En un circuito eléctrico ese "empujón" lo produce el voltaje.

Una analogía con una montaña

Esta es probablemente la comparación más útil para entender el voltaje.

Imagina una montaña.

En la parte más alta colocas una pelota.

¿Qué ocurrirá?

La pelota tenderá a bajar.

No porque alguien la empuje constantemente.

Simplemente existe una diferencia de altura.

Mientras mayor sea la altura...

más energía puede adquirir la pelota al descender.

Ahora imaginemos electrones

En lugar de una pelota, imaginemos electrones.

Una batería crea una diferencia que hace que los electrones tengan tendencia a desplazarse cuando existe un camino cerrado.

A esa diferencia la llamamos **diferencia de potencial** o, más comúnmente, **voltaje**.

¿Qué hace realmente una batería?

Muchas personas imaginan que una batería "fabrica" electrones.
Eso no ocurre.

Los electrones ya existen en los cables.
La batería no los crea.

Lo que hace es separarlos parcialmente mediante reacciones químicas.
En un extremo de la batería se acumula un exceso de electrones.
En el otro extremo hay una deficiencia de electrones.

Mientras los terminales estén desconectados, los electrones no pueden pasar de un lado al otro porque el circuito está abierto.

Cuando conectamos un cable y cerramos el circuito, aparece un camino para redistribuir esa diferencia y comienza la corriente.

Una analogía con un depósito de agua

Imagina un tanque lleno de agua.
Está colocado sobre una torre.
En la parte inferior hay una llave cerrada.

Mientras la llave permanezca cerrada...
el agua no circula.

Pero el agua tiene la capacidad de hacerlo.
Existe una diferencia de altura.
Cuando abres la llave...
el agua comienza a fluir.

Comparación completa

Tanque elevado → Batería.
Altura del agua → Voltaje.
Agua → Electrones (como analogía).
Tubería → Cable.
Llave → Interruptor.
Flujo de agua → Corriente eléctrica.

Esta comparación no es perfecta, pero es una de las mejores para empezar a comprender cómo funcionan los circuitos.

¿Qué significa "12 voltios"?

Cuando una batería dice:

12 V

No significa que tenga 12 electrones.

Tampoco significa que entregue siempre la misma corriente.

Significa que mantiene una diferencia de potencial de aproximadamente 12 voltios entre sus terminales.

Esa diferencia es la que puede impulsar a los electrones cuando el circuito se cierra.

Entonces...

¿Más voltaje significa más corriente?

No necesariamente.

Aquí aparece un error muy común.

Supongamos dos circuitos.

Primer circuito:

12 V

Cable muy grueso.

Segundo circuito:

12 V

Cable extremadamente delgado y muy resistente.

Ambos tienen el mismo voltaje.

Sin embargo, no circulará la misma corriente.

¿Por qué?

Porque el material y el circuito también influyen.

Más adelante conoceremos la resistencia y veremos cómo el voltaje, la corriente y la resistencia están relacionados.

¿Puede existir voltaje sin corriente?

Sí.

Y este es uno de los conceptos más importantes del curso.

Imagina una batería nueva sobre una mesa.

No está conectada a nada.

Si mides con un voltímetro entre sus terminales, encontrarás un voltaje.

Sin embargo, no está circulando corriente porque el circuito está abierto.

Hay una diferencia de potencial, pero no existe un camino cerrado para que los electrones se desplacen continuamente.

¿Puede existir corriente sin voltaje?

En un circuito eléctrico convencional, no.

Debe existir alguna causa que impulse el movimiento de las cargas.

Esa causa puede ser una batería, un generador, una celda solar o cualquier otra fuente que establezca una diferencia de potencial.

¿Por qué un foco no enciende?

Supongamos una batería.

Supongamos un foco.

Pero uno de los cables está desconectado.

¿Qué ocurre?

No pasa nada.

La batería tiene voltaje.

El foco está en buen estado.

Pero el circuito está abierto.

No existe un camino completo para que los electrones se desplacen de forma continua.

Por eso el foco permanece apagado.

Una idea importante

La batería no "empuja" físicamente a cada electrón desde un extremo del cable hasta el otro.

Lo que hace es establecer una diferencia de potencial que provoca que los electrones libres del conductor comiencen a desplazarse de forma organizada cuando el circuito se cierra.

Es un movimiento colectivo de una enorme cantidad de electrones.

Un ejemplo cotidiano

Imagina una fila de canicas dentro de un tubo.

El tubo ya está completamente lleno.

Empujas una canica por un extremo.

Casi inmediatamente sale otra canica por el extremo opuesto.

No fue la misma canica la que recorrió todo el tubo en ese instante.

El movimiento se transmitió a través de toda la fila.

Esta imagen ayuda a entender por qué un foco puede encender casi de inmediato al cerrar un interruptor, aunque los electrones individuales se desplacen lentamente.

¿Qué produce el voltaje?

Existen varias formas de producir una diferencia de potencial.

Por ejemplo:

- Reacciones químicas (pilas y baterías).
- Movimiento de un imán dentro de una bobina (generadores).
- Luz sobre ciertos materiales (celdas solares).
- Diferencias de temperatura (efecto termoeléctrico).
- Fricción entre materiales (electricidad estática).

Más adelante estudiaremos cada una de ellas.

Curiosidad científica

La unidad de voltaje es el **voltio (V)**, llamada así en honor a Alessandro Volta, quien desarrolló una de las primeras pilas eléctricas capaces de producir una diferencia de potencial continua.

La corriente eléctrica

El movimiento organizado de los electrones

Recordemos el módulo anterior

Una batería produce una diferencia de potencial (voltaje).

Pero todavía falta responder una pregunta.

¿Qué ocurre cuando conectamos un cable entre los dos terminales de la batería?

La respuesta es sencilla.

Los electrones comienzan a desplazarse.

A ese movimiento organizado lo llamamos **corriente eléctrica**.

Una analogía con una autopista

Imagina una autopista.

Por ella circulan automóviles.

Si en un minuto pasan cinco automóviles...

hay poco tráfico.

Si pasan cinco mil automóviles...

hay mucho tráfico.

La corriente eléctrica es algo parecido.

No contamos automóviles.

Contamos carga eléctrica que atraviesa un punto del circuito.

Mientras más carga pasa por segundo...

mayor es la corriente.

Una analogía con una tubería

Imagina una manguera.

Por ella circula agua.

Si apenas sale un pequeño hilo de agua...

el flujo es pequeño.

Si sale un gran chorro...

el flujo es grande.

Con los electrones ocurre algo semejante.

Mientras mayor sea la cantidad de carga que atraviesa un punto del conductor cada segundo, mayor será la corriente eléctrica.

¿Qué significa un ampere?

La unidad de corriente eléctrica es el **ampere** o **amperio**, cuyo símbolo es **A**.

Un ampere mide la cantidad de carga eléctrica que atraviesa un punto del circuito en un segundo.

En términos más precisos:

1 ampere = 1 coulomb de carga por segundo.

No es necesario memorizar esta definición todavía.

Lo importante es entender la idea:

El ampere mide **qué tan intenso es el flujo de carga eléctrica.**

¿Todos los electrones viajan a gran velocidad?

Aquí encontramos una de las ideas más sorprendentes del curso.

La mayoría de las personas imagina que los electrones salen disparados por el cable casi a la velocidad de la luz.

No es así.

En un conductor metálico, los electrones tienen un movimiento desordenado incluso cuando no hay corriente. Al aplicar un voltaje, adquieren además un **desplazamiento promedio muy lento**, llamado **velocidad de deriva**.

Entonces surge una pregunta.

¿Por qué el foco enciende casi instantáneamente?

Porque el efecto del campo eléctrico se establece muy rápidamente a lo largo del circuito. Es parecido a empujar una fila de canicas: cada canica apenas avanza un poco, pero el efecto del empujón llega casi de inmediato al otro extremo.

Una comparación con un tren

Imagina un tren muy largo.

Todos los vagones están unidos.

Si la locomotora comienza a tirar, el movimiento se transmite a toda la formación.

Cada vagón se desplaza.

Pero ninguno necesita recorrer toda la longitud del tren para que el último también comience a moverse.

Con los electrones ocurre algo parecido.

¿Qué ocurre dentro de un cable?

Observemos un cable de cobre.

Antes de conectar la batería:

Los electrones ya están allí.

Se mueven continuamente debido a la temperatura, pero de manera completamente desordenada.

El resultado es que, en promedio, no existe un movimiento neto en ninguna dirección.

Ahora conectamos la batería.

El campo eléctrico aparece dentro del conductor.

Los electrones siguen chocando constantemente con los átomos del metal.

Pero ahora existe una dirección preferente.

Comienzan a desplazarse lentamente en conjunto.

Eso es la corriente eléctrica.

Un dato curioso

En los metales, los electrones se desplazan desde el terminal negativo hacia el positivo.

Sin embargo, cuando se desarrolló la teoría eléctrica todavía no se conocían los electrones.

Por esa razón se adoptó una convención:

La corriente se dibuja desde el terminal positivo hacia el negativo.

A esto se le llama **corriente convencional**.

Más adelante explicaremos por qué se sigue utilizando esta convención en los diagramas y circuitos.

Corriente continua (CC)

En una batería, el movimiento promedio de los electrones mantiene siempre la misma dirección.

A este tipo de corriente la llamamos **corriente continua**.

Ejemplos:

- Pilas.
- Baterías de automóvil.
- Power banks.
- Fuentes de alimentación de corriente continua.

Corriente alterna (CA)

En las instalaciones eléctricas de las casas ocurre algo diferente.

Los electrones no avanzan continuamente en un solo sentido.

Su movimiento promedio cambia de dirección muchas veces por segundo.

En muchos países esa inversión ocurre 50 o 60 veces por segundo, dependiendo del sistema eléctrico.

Más adelante dedicaremos un módulo completo a la corriente alterna.

¿Puede haber mucha corriente?

Sí.

Por ejemplo:

Una lámpara LED pequeña puede consumir una corriente relativamente baja.

En cambio, un motor industrial puede requerir cientos de amperes.

No significa que el voltaje sea necesariamente mucho mayor.

Significa que está circulando mucha más carga por segundo.

Curiosidad científica

La unidad de corriente lleva el nombre de André-Marie Ampère, uno de los científicos que sentó las bases del estudio del electromagnetismo.

La resistencia eléctrica

¿Por qué los electrones no se mueven libremente?

Recordemos lo que ya sabemos

Ya descubrimos que:

- El voltaje impulsa a los electrones.
- La corriente es el movimiento organizado de esos electrones.

Ahora aparece una nueva pregunta.

Si el voltaje los empuja... ¿por qué no todos los electrones avanzan con la misma facilidad?

Porque encuentran obstáculos.

A esa oposición al movimiento la llamamos **resistencia eléctrica**.

Una analogía con un pasillo

Imagina un pasillo muy ancho.

Solo hay cinco personas caminando.

Todos avanzan sin problemas.

Ahora imagina el mismo pasillo completamente lleno de gente.

Todos intentan caminar.

Se empujan.

Se detienen.

Avanzan lentamente.

No es que las personas hayan perdido las ganas de caminar.

Simplemente encuentran más obstáculos.

Con los electrones ocurre algo parecido.

¿Qué ocurre dentro del cobre?

Podría parecer que el interior de un cable de cobre es un tubo vacío por donde los electrones pasan libremente.

No es así.

El cobre está formado por una enorme cantidad de átomos organizados en una estructura cristalina.

Los electrones de conducción avanzan entre esos átomos, pero durante su recorrido interactúan continuamente con ellos y cambian de dirección una y otra vez.

Por eso su desplazamiento promedio es lento.

¿Qué produce esa oposición?

Cada vez que un electrón interactúa con los átomos del material, pierde parte de la energía que había adquirido del campo eléctrico.

Esa energía no desaparece.

Se transforma principalmente en calor.
Por eso muchos dispositivos eléctricos se calientan cuando funcionan.

Una comparación con una carrera

Imagina que corres por un bosque.
Si no hay árboles...
corres muy rápido.
Pero si el bosque está lleno de troncos...
debes esquivarlos.
Tu velocidad disminuye.
Los electrones viven una situación parecida.
En su recorrido encuentran continuamente obstáculos dentro del material.

Entonces...

¿Qué es exactamente la resistencia?

La resistencia es la **oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica**.

No significa que la corriente se detenga por completo.
Simplemente resulta más difícil que circule.

La unidad de resistencia

La resistencia se mide en **ohms**, cuyo símbolo es:

Ω

Se pronuncia:
"ohm".

La unidad lleva ese nombre en honor al físico alemán Georg Simon Ohm.

Un ejemplo sencillo

Supongamos dos tubos para transportar canicas.

Tubo A

Es muy ancho.
Las canicas pasan fácilmente.
Tiene poca resistencia.

Tubo B

Es muy estrecho.
Las canicas se atorán con frecuencia.
Tiene mucha resistencia.
Con los cables ocurre algo parecido.

¿De qué depende la resistencia?

Existen cuatro factores principales.

1. El material

Cada material ofrece una oposición distinta al paso de los electrones.

Por ejemplo:

- Plata → Muy baja resistencia.
- Cobre → Baja resistencia.
- Aluminio → Baja resistencia.
- Hierro → Mayor resistencia.
- Grafito → Mucho mayor que el cobre.

2. La longitud

Imagina dos pasillos.

Uno mide dos metros.

El otro mide cien metros.

¿En cuál encontrarás más personas y obstáculos?

En el más largo.

Con los cables ocurre lo mismo.

Mientras más largo sea un cable, mayor será su resistencia.

3. El grosor

Ahora imagina dos carreteras.

Una tiene un carril.

La otra tiene ocho carriles.

¿Por cuál circularán más automóviles?

Por la más ancha.

Lo mismo ocurre con un cable.

Mientras más grueso sea, más espacio tienen los electrones para desplazarse.

Por eso los cables gruesos presentan menor resistencia que los delgados.

4. La temperatura

Este fenómeno sorprende a muchas personas.

Cuando un conductor metálico se calienta, los átomos vibran con mayor intensidad.

Eso hace que los electrones encuentren más interacciones durante su recorrido.

Como resultado, la resistencia suele aumentar.

Más adelante veremos que algunos materiales especiales se comportan de manera diferente.

¿Por qué se calienta un cable?

Cuando la corriente circula por un conductor con resistencia, parte de la energía eléctrica se transforma en calor.

Por eso:

- Un tostador se calienta.
- Una estufa eléctrica se calienta.
- Un calefactor produce calor.
- Incluso un cable puede calentarse si circula demasiada corriente.
-

Este fenómeno se conoce como **efecto Joule**, y lo estudiaremos más adelante.

Una analogía completa

Podemos resumir los tres conceptos principales utilizando el agua como ejemplo:

- **Voltaje** → Es la presión que impulsa el agua.
- **Corriente** → Es la cantidad de agua que circula.
- **Resistencia** → Es la dificultad que encuentra el agua para pasar por la tubería.

Aunque esta comparación no es perfecta, ayuda mucho al comenzar.

Curiosidad científica

¿Sabías que las resistencias eléctricas no siempre son un problema?

En muchos aparatos se diseñan precisamente para producir calor de manera controlada.

Por ejemplo:

- Una plancha.
- Un secador de cabello.
- Una cafetera.
- Una estufa eléctrica.
- Un horno eléctrico.
-

En todos ellos, la resistencia eléctrica es el componente que convierte la energía eléctrica en energía térmica.

La Ley de Ohm

Descubriendo una ley de la naturaleza

Imaginemos un experimento

Supongamos que tenemos un circuito muy sencillo.

Solo contiene:

- Una batería.
- Un interruptor.
- Un foco.
- Un amperímetro.
- Un voltímetro.

Comenzamos con una batería de **1.5 V**.

Observamos el amperímetro.

Marca una corriente pequeña.

Ahora cambiamos la batería por una de **3 V**.

La corriente aumenta.

Luego colocamos una batería de **6 V**.

La corriente vuelve a aumentar.

Entonces surge una pregunta.

¿Será casualidad?

Hagamos una tabla

Supongamos que el circuito siempre tiene la misma resistencia.

Voltaje	Corriente
1.5 V	0.15 A
3 V	0.30 A
6 V	0.60 A
9 V	0.90 A
12 V	1.20 A

¿Qué observas?

Cada vez que duplicamos el voltaje...

la corriente también se duplica.

Parece existir una relación muy clara.

Ahora hagamos otro experimento

Dejemos fija la batería.

Siempre será de **12 V**.
Ahora cambiemos la resistencia.

Resistencia	Corriente
6 Ω	2 A
12 Ω	1 A
24 Ω	0.5 A
48 Ω	0.25 A

¿Qué ocurrió?
La batería sigue siendo la misma.
El voltaje no cambió.
Sin embargo...
al aumentar la resistencia...
la corriente disminuyó.

¿Qué descubrió Georg Ohm?

Después de realizar muchos experimentos, Georg Simon Ohm encontró que, para muchos materiales y bajo determinadas condiciones, existía una relación constante entre estas tres magnitudes. Podía expresarse mediante una ecuación muy sencilla.

La famosa fórmula

$$V=I \times R$$

Donde:

V = Voltaje (Voltios)

I = Corriente (Amperes)

R = Resistencia (Ohms)

¿Qué significa realmente?

Esta ecuación no es una receta.
Es una descripción de cómo se comportan muchos circuitos eléctricos.

Nos dice que:

- Si la resistencia permanece constante y aumentamos el voltaje, la corriente aumenta.
- Si el voltaje permanece constante y aumentamos la resistencia, la corriente disminuye.

Es exactamente lo que observamos en los experimentos anteriores.

Una analogía con el agua

Imagina una manguera.

La presión del agua representa el voltaje.

La cantidad de agua que circula representa la corriente.

El diámetro de la manguera y las pérdidas por fricción representan la resistencia.

Si aumentas la presión...

sale más agua.

Si haces la manguera más estrecha...

sale menos agua.

La Ley de Ohm expresa esa relación de manera matemática.

Despejando la fórmula

Una de las ventajas de la Ley de Ohm es que podemos calcular cualquiera de las tres magnitudes.

Si conocemos dos de ellas, podemos obtener la tercera.

Para calcular la corriente

$$I = V/R$$

Para calcular la resistencia

$$R = V/I$$

Para calcular el voltaje

$$V = IR$$

No son tres leyes diferentes.

Es la misma relación escrita de tres maneras.

Ejemplo 1

Tenemos una batería de **12 V**.

Conectamos una resistencia de **6 Ω** .

¿Cuál será la corriente?

Aplicamos la fórmula.

$$I = V/R$$

Sustituimos:

$$I = 12 / 6$$

Resultado:

$$I = 2A$$

La corriente será de **2 amperes**.

Ejemplo 2

Tenemos una batería de **9 V**.

La corriente es de **3 A**.

¿Cuál es la resistencia?

$$R = V/I$$

Sustituimos:

$$R = 9 / 3$$

Resultado:

$$R = 3\Omega$$

Ejemplo 3

Una resistencia es de **20 Ω** .

La corriente es de **0.5 A**.

¿Cuál es el voltaje?

$$V = I \times R$$

Sustituimos:

$$V = 0.5 \times 20$$

Resultado:

$$V = 10V$$

El triángulo de Ohm

Muchos estudiantes utilizan un truco para recordar las fórmulas.

$$\begin{array}{c} V \\ \hline I \quad R \end{array}$$

Si tapas la magnitud que deseas calcular:

Tapas **V**

Queda:

$$I \times R$$

Tapas **I**

Queda:

$$V / R$$

Tapas **R**

Queda:

$$V / I$$

Este recurso es útil para recordar la fórmula, aunque lo importante es comprender el significado físico de cada magnitud.

¿La Ley de Ohm siempre funciona?

No.

Y esto es muy importante.

La Ley de Ohm describe muy bien el comportamiento de muchos conductores y resistencias cuando las condiciones son adecuadas.

Pero existen dispositivos cuyo comportamiento no es lineal.

Por ejemplo:

- Diodos.
- LED.
- Transistores.
- Lámparas incandescentes cuando cambian mucho de temperatura.
- Termistores.
- Varistores.

Los estudiaremos más adelante.

Curiosidad científica

Cuando Georg Simon Ohm publicó sus investigaciones, muchos científicos de la época no aceptaron sus resultados. Con el tiempo, otros investigadores repitieron los experimentos y comprobaron que sus observaciones eran correctas para una gran variedad de materiales, por lo que hoy su ley es una de las bases de la ingeniería eléctrica.

La matemática de la electricidad

Introducción a las unidades eléctricas

Hasta este momento hemos hablado de tres cantidades muy importantes:

- Voltaje
- Corriente
- Resistencia

Pero todavía no hemos aprendido a **medirlas matemáticamente**.

A partir de este módulo comenzaremos a trabajar con números, unidades y cálculos, exactamente igual que ocurre en matemáticas.

No te preocupes.

Iremos paso por paso.

¿Qué es una magnitud?

En física, una **magnitud** es cualquier cantidad que puede medirse.

Por ejemplo:

La longitud.

La masa.

El tiempo.

La temperatura.

Y también:

el voltaje,

la corriente,

la resistencia.

¿Qué es una unidad?

Supongamos que alguien dice:

"Esta mesa mide 2."

Inmediatamente preguntaríamos:

¿Dos qué?

Dos metros.

Dos centímetros.

Dos kilómetros.

El número por sí solo no tiene significado.

Necesita una unidad.

Lo mismo ocurre en electricidad.

No basta con decir:

"La corriente vale 5."

Debe decirse:

"La corriente vale **5 amperes.**"

Las tres unidades fundamentales

Voltaje

Se mide en

Voltios

Símbolo:

V

Ejemplos

1.5 V

5 V

9 V

12 V

127 V

220 V

Corriente

Se mide en

Amperes

Símbolo

A

Ejemplos

0.1 A

2 A

15 A

100 A

Resistencia

Se mide en

Ohms

Símbolo

Ω

Ejemplos

10 Ω

100 Ω

470 Ω

1000 Ω

Una comparación

Imagina una carretera.

Voltaje

Es como la fuerza con la que intentamos mover los automóviles.

Corriente

Es la cantidad de automóviles que pasan por minuto.

Resistencia

Son los obstáculos de la carretera.

Cada una mide algo completamente diferente.

Los múltiplos y submúltiplos

En electricidad aparecen números muy pequeños y muy grandes.

Sería incómodo escribirlos completos.

Por eso utilizamos prefijos.

mili

Símbolo

m

Significa

una milésima parte.

Matemáticamente

$$1 \text{ m} = 1/1000$$

Ejemplos

$$1 \text{ mA} = 0.001 \text{ A}$$

$$500 \text{ mA} = 0.5 \text{ A}$$

$$250 \text{ mA} = 0.25 \text{ A}$$

kilo

Símbolo

k

Significa

mil veces.

$$1 \text{ k} = 1000$$

Ejemplos

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$$

$$10 \text{ k}\Omega = 10000 \Omega$$

$$47 \text{ k}\Omega = 47000 \Omega$$

mega

Símbolo

M

Significa

un millón.

$$1 \text{ M} = 1,000,000$$

Ejemplos

$$1 \text{ M}\Omega = 1000000 \Omega$$

$$2.2 \text{ M}\Omega = 2200000 \Omega$$

micro

Símbolo

μ

Significa

una millonésima parte.

$$1 \mu = 1 / 1,000,000$$

Ejemplos

$$100 \mu\text{A} = 0.0001 \text{ A}$$

$$50 \mu\text{A} = 0.00005 \text{ A}$$

Tabla resumen

Prefijo	Símbolo	Multiplica por
micro	μ	0.000001
mili	m	0.001
unidad	—	1
kilo	k	1000
mega	M	1000000

Resistencias en serie

Introducción

Hasta ahora hemos estudiado una sola resistencia.

Pero en los circuitos reales casi nunca encontramos una sola.

Normalmente existen muchas resistencias conectadas entre sí.

La primera forma de conectarlas se llama:

Conexión en serie.

¿Qué significa "en serie"?

Observa este circuito.

+ — R1 — R2 — R3 — -

Existe un solo camino.

Los electrones no pueden escoger otra ruta.

Todos deben pasar por:

Primero R1.

Después R2.

Después R3.

Es exactamente igual que una carretera con un solo carril.

Una analogía

Imagina un corredor.

Debe atravesar tres puertas.

Entrada

↓

Puerta 1

↓

Puerta 2

↓

Puerta 3

↓

Salida

No puede brincar ninguna.

No existe otro camino.

Debe pasar por las tres.

Los electrones hacen exactamente eso.

¿Qué ocurre con la corriente?

Supongamos que por el circuito circula 2 amperes.

Los electrones atraviesan R1.

Después llegan a R2.

Finalmente llegan a R3.

Entonces aparece una pregunta.

¿Se pierden electrones dentro de R1?

No.

Las resistencias no almacenan electrones como si fueran un depósito.

Los electrones que entran salen prácticamente en la misma cantidad.

Por eso:

La corriente es exactamente la misma en todas las resistencias conectadas en serie.

Este es uno de los principios más importantes del análisis de circuitos.

Un ejemplo

Supongamos que un amperímetro marca:

2 A

Antes de R1.

¿Cuánto marcará entre R1 y R2?

También:

2 A

¿Y después de R3?

Nuevamente:

2 A

Mientras el circuito no tenga ramificaciones, la corriente es la misma en todos los puntos.

¿Qué ocurre con la resistencia?

Aquí viene la parte interesante.

Imagina una persona caminando.

Debe atravesar una puerta.

Le cuesta trabajo.

Ahora agregamos otra puerta.

Ahora debe atravesar dos.

Después agregamos una tercera.

Cada nueva puerta aumenta la dificultad del recorrido.

Con las resistencias ocurre exactamente lo mismo.

Cada resistencia añade oposición al paso de la corriente.

Una analogía con una carretera

Supongamos una carretera.

Cada caseta de peaje obliga a disminuir la velocidad.

Una caseta.



Dos casetas.



Tres casetas.

Mientras más casetas existan, más difícil será avanzar.

Cada resistencia es como una nueva "caseta" para los electrones.

Descubriendo la fórmula

Hagamos un experimento.

Colocamos:

$$R1 = 10 \, \Omega$$

Después medimos.

Ahora agregamos otra.

$$R2 = 20 \, \Omega$$

Volvemos a medir.

Después agregamos otra.

$$R3 = 30 \, \Omega$$

Observamos que la oposición total es:

$$10 + 20 + 30 = 60 \, \Omega$$

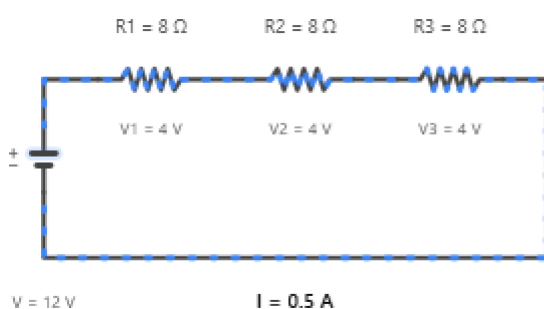
Después repetimos el experimento muchas veces con otros valores.

Siempre obtenemos el mismo patrón.

Llegamos a la conclusión de que la resistencia equivalente es la suma de todas las resistencias.

$$R_{\text{total}} = R1 + R2 + \dots$$

$$R_T = 8 + 8 + 8 = 24 \, \Omega$$



¿Por qué se suman?

No es una casualidad.

Cada resistencia ofrece una oposición al movimiento de los electrones.

Como el único camino pasa por todas ellas, las oposiciones se acumulan.

Es parecido a caminar por un pasillo con varios obstáculos consecutivos.

Cada obstáculo añade una dificultad adicional.

Ejemplo 1

Tenemos:

$$R1 = 5 \Omega$$

$$R2 = 10 \Omega$$

$$R3 = 15 \Omega$$

Entonces

$$RT = 5 + 10 + 15 = 30 \Omega$$

Ejemplo 2

Cinco resistencias iguales.

Cada una vale

$$100 \Omega$$

Entonces

$$RT = 100 + 100 + 100 + 100 + 100$$

$$RT = 500 \Omega$$

Una observación importante

Muchos alumnos creen que al colocar varias resistencias:

"La corriente aumenta."

En realidad ocurre lo contrario.

Si el voltaje permanece constante y la resistencia total aumenta, la corriente disminuye.

Veamos un ejemplo.

Una batería de **12 V** conectada a una sola resistencia de **6 Ω** :

$$I = 12 / 6 = 2^A$$

Ahora conectamos otra resistencia de **6 Ω** en serie.

La resistencia total es **12 Ω** .

Entonces:

$$I = 12 / 12 = 1^A$$

La corriente se redujo a la mitad.

Esto demuestra que **agregar resistencias en serie hace más difícil el paso de la corriente.**

¿Qué ocurre con el voltaje?

Aquí aparece un concepto nuevo.

La corriente es la misma en todas las resistencias.

Pero...

el voltaje no.

Cada resistencia produce una caída de voltaje.

Imagina una batería de **12 V** y tres resistencias iguales de **4 Ω** .

Como son iguales, la caída de voltaje se reparte por igual:

$R_1 \rightarrow 4 \text{ V}$

$R_2 \rightarrow 4 \text{ V}$

$R_3 \rightarrow 4 \text{ V}$

Si sumamos:

$$4 + 4 + 4 = 12 \text{ V}$$

Toda la energía entregada por la batería se distribuye entre las resistencias.

Más adelante estudiaremos cómo calcular esas caídas cuando las resistencias tienen valores diferentes.

El divisor de voltaje

¿Cómo se reparte el voltaje en un circuito en serie?

Anteriormente aprendimos dos cosas muy importantes:

1. La corriente es la misma en todas las resistencias conectadas en serie.
2. La resistencia total es la suma de todas ellas.

Pero todavía queda una pregunta.

¿Cómo se reparte el voltaje de la batería?

Una analogía

Imagina una persona que baja una escalera.

Al iniciar está a una altura de **12 metros**.

Debe bajar tres escalones.

Cada escalón representa una pérdida de altura.

Cuando llega al suelo, ya no queda altura por perder.

Con el voltaje ocurre algo muy parecido.

La batería entrega una diferencia de potencial.

Cada resistencia provoca una caída de parte de ese voltaje.

Al final del circuito ya no queda diferencia de potencial.

¿Qué es una caída de voltaje?

Cuando la corriente atraviesa una resistencia, parte de la energía eléctrica se transforma en calor.

Como consecuencia, el potencial eléctrico disminuye.

A esa disminución la llamamos:

Caída de voltaje.

No significa que desaparezca la corriente.

La corriente sigue siendo la misma.

Lo que disminuye es el potencial eléctrico disponible.

Primer ejemplo

Tenemos una batería de:

12 V

Tres resistencias iguales:

$R_1 = 4 \, \Omega$

$R_2 = 4 \, \Omega$

$R_3 = 4 \, \Omega$

Paso 1

Calculamos la resistencia total.

$R_T = 4 + 4 + 4 = 12 \, \Omega$

Paso 2

Calculamos la corriente.

Usamos la Ley de Ohm.

$$I = VR = 12 \times 12, I = 1A$$

La corriente será de **1 ampere** en todo el circuito.

Paso 3

Calculamos el voltaje en cada resistencia.

Como por cada resistencia circula **1 A**, aplicamos nuevamente la Ley de Ohm:

$$V = I \times R$$

Para R1:

$$V1 = 1 \times 4 = 4V$$

Para R2:

$$V2 = 1 \times 4 = 4V$$

Para R3:

$$V3 = 1 \times 4 = 4V$$

Comprobación

Sumamos todas las caídas:

$$4 + 4 + 4 = 12 V$$

Observa que el resultado coincide exactamente con el voltaje de la batería.

Esto no es una casualidad.

En cualquier circuito en serie:

La suma de todas las caídas de voltaje es igual al voltaje de la fuente.

Segundo ejemplo

Ahora usamos resistencias diferentes.

Batería:

$$24 V$$

Resistencias:

$$R1 = 3 \Omega$$

$$R2 = 5 \Omega$$

$$R3 = 4 \Omega$$

Paso 1

Resistencia total

$$RT = 3 + 5 + 4 = 12\Omega$$

Paso 2

Corriente

$$I = 24 / 12 = 2A$$

Paso 3

Voltajes

R1

$$V1 = 2 \times 3 = 6V$$

R2

$$V2 = 2 \times 5 = 10V$$

R3

$$V3 = 2 \times 4 = 8V$$

Verificación

$$6 + 10 + 8 = 24 V$$

Nuevamente coincide.

Descubriendo un patrón

Observemos los resultados.

Resistencia	Voltaje
3 Ω	6 V
5 Ω	10 V
4 Ω	8 V

¿Qué observas?

La resistencia más grande recibió la mayor caída de voltaje.

La más pequeña recibió la menor.

Esto ocurre porque la corriente es la misma en todas las resistencias. Según la Ley de Ohm, una resistencia mayor necesita una caída de voltaje mayor para mantener esa misma corriente.

La fórmula del divisor de voltaje

Ahora ya podemos escribir una expresión general.

Si queremos conocer el voltaje en una resistencia cualquiera:

$$V_n = V_T / R_n$$

Donde:

V_n = voltaje en la resistencia que queremos analizar.

V_T = voltaje total de la fuente.

R_n = valor de esa resistencia.

R_T = resistencia total del circuito.

Esta fórmula recibe el nombre de **fórmula del divisor de voltaje**.

Ejemplo usando la fórmula

Tenemos:

- Fuente = 18 V
- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 4 \Omega$

Primero:

$$R_T = 2 + 4 = 6 \Omega$$

Ahora queremos conocer el voltaje en R_2 .

$$V_2 = 18 \cdot (4 / 6) = 12 \text{ V}$$

Por lo tanto, el voltaje en R_1 será:

$$18 - 12 = 6 \text{ V}$$

También podríamos calcularlo directamente:

$$V_1 = 18 \cdot (2 / 6) = 6 \text{ V}$$

Una idea muy importante

Muchos estudiantes imaginan que la batería "empuja" 12 V hasta la primera resistencia y allí desaparecen.

No es así.

Lo correcto es imaginar un descenso gradual del potencial eléctrico.

Por ejemplo, si una batería de 12 V alimenta tres resistencias iguales, los puntos del circuito tendrán aproximadamente estos potenciales:

$$(+12 \text{ V}) \text{ — } R_1 \text{ — } (+8 \text{ V}) \text{ — } R_2 \text{ — } (+4 \text{ V}) \text{ — } R_3 \text{ — } (0 \text{ V})$$

Cada resistencia hace que el potencial disminuya un poco, hasta llegar al terminal negativo de la batería, que tomamos como referencia de **0 V**.

Resistencias en paralelo

Cuando la corriente tiene varios caminos

Hasta ahora todos los circuitos que hemos estudiado tenían un solo camino.

Los electrones no podían elegir.

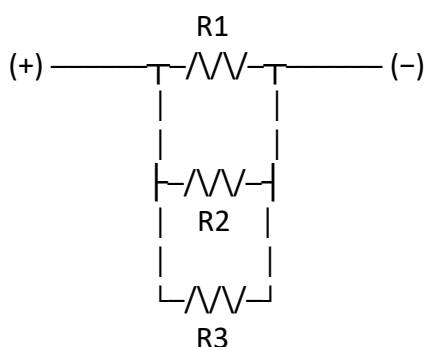
Todos pasaban por las mismas resistencias.

A ese tipo de conexión la llamamos: **Serie**.

Pero ahora construiremos un circuito diferente.

Un nuevo circuito

Observa el siguiente diagrama.



Ahora ocurre algo completamente distinto.

Cuando la corriente llega al punto donde el conductor se divide, **ya no existe un solo camino**.

Existen tres.

Los electrones pueden circular por cualquiera de ellos.

Una analogía

Imagina una carretera.

Durante varios kilómetros existe un solo carril.

De pronto aparecen tres carriles paralelos.

Los automóviles ya no necesitan usar el mismo.

Cada conductor puede escoger uno diferente.

La cantidad total de automóviles sigue siendo la misma.

Lo único que cambia es que ahora se distribuyen entre varios caminos.

Con los electrones sucede exactamente lo mismo.

¿Qué ocurre con la corriente?

Supongamos que desde la batería salen:

6 amperes.

Cuando la corriente llega a la bifurcación...

se divide.

Por ejemplo:

Rama 1 $\rightarrow$ 2 A

Rama 2 $\rightarrow$ 1 A

Rama 3 $\rightarrow$ 3 A

Si sumamos:

$$2 + 1 + 3 = 6 \text{ A}$$

La corriente que sale de la batería es igual a la suma de las corrientes de todas las ramas.

Una idea muy importante

En un circuito en serie aprendimos:

La corriente era la misma en todas las resistencias.

En un circuito en paralelo ocurre lo contrario.

La corriente puede ser diferente en cada rama.

Lo que permanece igual ahora es el voltaje.

¿Por qué el voltaje es igual?

Volvamos a la analogía de la carretera.

Supongamos que tres caminos distintos conectan exactamente las mismas dos ciudades.

No importa cuál carretera tomes.

Siempre comienzas en la misma ciudad.

Siempre terminas en la misma ciudad.

La diferencia de altura entre ambas ciudades es la misma.

En un circuito ocurre algo parecido.

Todas las resistencias están conectadas entre los mismos dos puntos eléctricos (los mismos nodos).

Por eso todas experimentan exactamente la misma diferencia de potencial.

Primer ejemplo

Tenemos una batería de:

12 V

Tres resistencias conectadas en paralelo.

¿Cuál es el voltaje en R1?

12 V.

¿Cuál es el voltaje en R2?

12 V.

¿Cuál es el voltaje en R3?

También:

12 V.

No importa el valor de cada resistencia.

Mientras estén conectadas entre los mismos dos nodos, el voltaje será el mismo.

¿Qué ocurre con la corriente?

Aquí sí aparece una diferencia.

Aplicamos la Ley de Ohm a cada rama.

Supongamos:

$$R1 = 6 \, \Omega$$

$$R2 = 12 \, \Omega$$

La batería es de:

$$12 \, \text{V}.$$

Entonces:

Corriente en R1:

$$I1 = 12 / 6 = 2 \, \text{A}$$

Corriente en R2:

$$I2 = 12 / 12 = 1 \, \text{A}$$

La corriente total será:

$$IT = 2 + 1 = 3 \, \text{A}$$

Observa que **cada rama conduce una corriente diferente**, porque las resistencias no tienen el mismo valor.

Una observación interesante

La rama con menor resistencia deja pasar más corriente.

La rama con mayor resistencia deja pasar menos corriente.

Es parecido a una autopista.

Si un carril es muy ancho y otro muy angosto, la mayoría de los vehículos circularán por el carril más ancho.

Descubriendo la resistencia equivalente

Ahora viene la parte que más sorprende.

Conectemos una sola resistencia:

$$10 \, \Omega$$

Medimos la corriente.

Ahora agregamos otra resistencia de $10 \, \Omega$ en paralelo.

¿Qué esperarías?

Muchos alumnos creen que la resistencia total aumentará.

Pero sucede exactamente lo contrario.

La corriente aumenta.

Eso significa que la oposición total disminuyó.

¿Por qué?

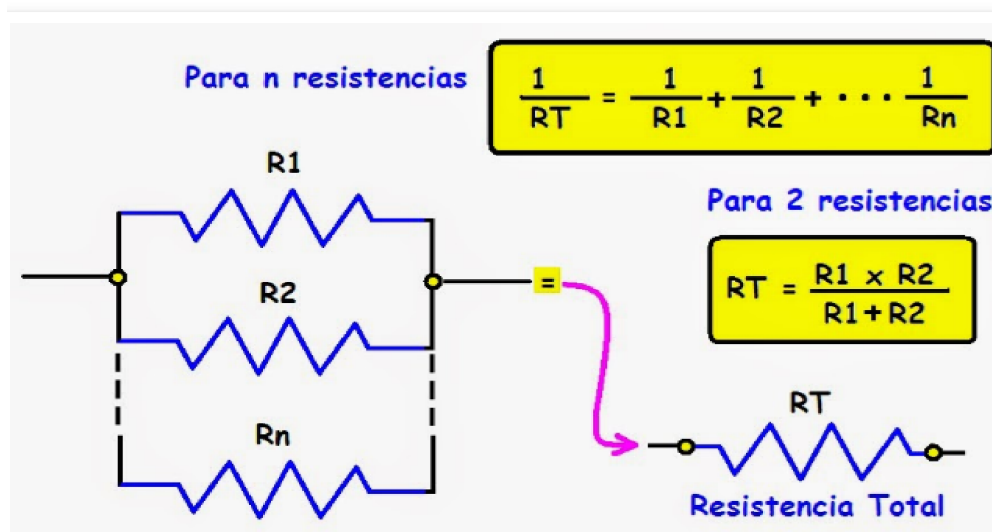
Porque ahora los electrones disponen de **dos caminos** para desplazarse.

Agregar una rama es como abrir una nueva carretera.

Mientras existan más caminos disponibles, menos oposición encuentra el flujo total de electrones.

Descubriendo la fórmula

Después de realizar muchos experimentos se encontró que la resistencia equivalente de resistencias en paralelo cumple la siguiente relación.



$$R_1 = 8 \, \Omega$$

$$R_2 = 8 \, \Omega$$

$$R_3 = 8 \, \Omega$$

$$(1 / R_T) = (1 / 8) + (1 / 8) + (1 / 8), \quad R_T = 2.67 \, \Omega$$

$$I_T = V / R_T = 12 / 2.67 = 4.5 \, A$$

No memorices todavía esta ecuación.

Primero entiende la idea física:

Resistencias en paralelo:

- Más caminos disponibles.
- Mayor corriente total.
- Menor resistencia equivalente.
-

La fórmula simplemente expresa ese comportamiento.

Caso especial

Cuando solamente existen dos resistencias:

$$R_T = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$

Esta expresión es una simplificación de la fórmula general y resulta muy útil para hacer cálculos rápidos.

Ejemplo 1

Dos resistencias iguales:

$$R_1 = 100 \, \Omega$$

$$R_2 = 100 \, \Omega$$

Aplicamos la fórmula:

$$R_T = (100 \times 100) / (100 + 100) = 50 \, \Omega$$

Observa que la resistencia equivalente (**50 Ω**) es **menor que cualquiera de las dos resistencias individuales**.

Ejemplo 2

Tres resistencias:

$$R_1 = 6 \, \Omega$$

$$R_2 = 3 \, \Omega$$

$$R_3 = 2 \, \Omega$$

Aplicamos la fórmula general:

$$1/R_T = 1/6 + 1/3 + 1/2 = 61+31+21$$

Buscamos un denominador común:

$$1/6 + 2/6 + 3/6 = 6/6 = 1$$

Por lo tanto:

$$1/R_T = 1/1 = 1$$

Y finalmente:

$$R_T = 1 \, \Omega$$

Las matemáticas de la electricidad

Antes de hacer cuentas

Cuando un estudiante ve un problema de electricidad, muchas veces piensa:

"No sé qué fórmula usar."

En realidad, el problema no es la fórmula.

El problema es que intenta resolverlo antes de entenderlo.

Vamos a aprender un método que utilizaremos durante todo el curso.

Ese método tiene **seis pasos**.

Paso 1. Leer el problema

Supongamos el siguiente enunciado.

Una batería de **12 voltios** está conectada a una resistencia de **4 ohms**. ¿Cuál es la corriente que circula por el circuito?

Lo primero es leerlo completo.

No hacer operaciones todavía.

Paso 2. Identificar los datos

Ahora buscamos únicamente la información conocida.

Encontramos:

Voltaje

12 V

Resistencia

4 Ω

Paso 3. ¿Qué nos preguntan?

El problema dice:

¿Cuál es la corriente?

Entonces la incógnita es:

I

Paso 4. Elegir la fórmula

Ya sabemos:

V

R

Queremos conocer:

I

La fórmula adecuada es:

$I = VR$

¿Por qué esta y no otra?

Porque la incógnita es la corriente.

Paso 5. Sustituir

Ahora reemplazamos las letras por los números.

$$I = 12/4$$

Observa que la fórmula sigue siendo la misma.

Solo cambiamos:

$$V \rightarrow 12$$

$$R \rightarrow 4$$

Paso 6. Resolver

Dividimos.

$$12 \div 4 = 3$$

Resultado:

$$I=3A$$

Paso 7. Verificar

Aquí termina el cálculo.

Pero todavía no termina el problema.

Debemos preguntarnos:

¿Tiene sentido que la corriente sea de 3 amperes?

Sí.

Porque:

- El voltaje no es pequeño.
- La resistencia tampoco es muy grande.

El resultado parece razonable.

La importancia de las unidades

Un error muy común es escribir solamente:

3

Eso está incompleto.

Siempre debemos escribir:

3 A

Porque el número por sí solo no indica qué estamos midiendo.

No es lo mismo:

- 3 voltios
- 3 amperes
- 3 ohms
- 3 watts

Las unidades forman parte de la respuesta.

Otro ejemplo

Problema:

Un circuito tiene una corriente de **2 A** y una resistencia de **10 Ω**. ¿Cuál es el voltaje?

Datos

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = 10 \text{ } \Omega$$

Incógnita

$$V$$

Fórmula

$$V = I \times R$$

Sustitución

$$V = 2 \times 10$$

Operación

$$V = 20 \text{ V}$$

Respuesta

$$V = 20 \text{ V}$$

Verificación

Si una corriente de 2 amperes atraviesa una resistencia de 10 ohms, es lógico esperar un voltaje mayor que 2 V. El resultado de 20 V es coherente con la relación entre las tres magnitudes.

Un error muy frecuente

Observa este procedimiento.

$$V = I \times R$$

$$V = 2 \times 10$$

$$V = 20 \text{ } \Omega$$

Está mal.

¿Por qué?

Porque el voltaje se mide en voltios.

No en ohms.

Las unidades también deben verificarse.

El Magnetismo

¿Qué es el magnetismo?

Introducción

Hasta ahora hemos hablado únicamente de electricidad.
Pero existe otro fenómeno que parece completamente diferente.
El magnetismo.

Todos hemos visto un imán.

Lo encontramos en:

- La puerta del refrigerador.
- Una brújula.
- Una bocina.
- Un motor.
- Un juguete.

Pero...

¿Qué tiene de especial un imán?

Un experimento muy sencillo

Coloca un imán sobre una mesa.

Ahora acerca un clip metálico.

Sin tocarlo...

el clip comienza a moverse.

Finalmente...

queda pegado al imán.

Lo sorprendente es que entre ambos había aire.

No había contacto.

No había cuerdas.

No había pegamento.

Entonces...

¿Qué produjo ese movimiento?

La idea fundamental

Alrededor de un imán existe una región invisible donde puede ejercer fuerzas sobre ciertos materiales.

A esa región la llamamos:

Campo magnético.

No podemos verlo directamente.

Pero sí podemos observar sus efectos.

Visualizando el campo magnético

Arrastra la brújula

NS

El campo es moderado; el extremo rojo de la brújula apunta abajo y a la izquierda.

Este diagrama te ayudará a visualizar algo que normalmente es invisible: las líneas de campo alrededor de un imán y cómo son más intensas cerca de sus polos.

Una comparación

Imagina una lámpara encendida.

No puedes ver el aire.

Pero sí puedes ver la luz que llena la habitación.

Algo parecido ocurre con un imán.

No vemos el campo magnético.

Pero observamos lo que hace.

Los polos del imán

Todo imán posee dos extremos.

Uno recibe el nombre de:

Polo Norte (N)

El otro:

Polo Sur (S)

No importa el tamaño del imán.

Siempre aparecen ambos polos.

Primer experimento

Tomemos dos imanes.

Acercamos:

Norte con Norte.

¿Qué ocurre?

Se separan.

Ahora acercamos:

Sur con Sur.

También se separan.

Finalmente acercamos:

Norte con Sur.

Ahora ocurre lo contrario.

Los imanes se atraen.

Una regla muy importante

Al igual que las cargas eléctricas:

Polos iguales se repelen.

Polos diferentes se atraen.

Muchos estudiantes piensan que esto es exactamente igual a las cargas eléctricas.

En realidad, solo se parecen en su comportamiento.

Más adelante veremos que existen diferencias muy importantes entre un campo eléctrico y un campo magnético.

¿Qué materiales atrae un imán?

Aquí aparece un error muy común.

Muchas personas dicen:

"Los imanes atraen los metales."

Eso no es correcto.

Si acercamos un imán a:

- una moneda de cobre,
- una lámina de aluminio,
- un trozo de plata,

es posible que no ocurra prácticamente nada.

Los imanes atraen con fuerza principalmente materiales **ferromagnéticos**, como:

- Hierro.
- Níquel.
- Cobalto.
- Algunas aleaciones especiales.

¿Por qué ocurre eso?

Durante mucho tiempo esta pregunta fue un misterio.

Hoy sabemos que, dentro de muchos materiales, los electrones se comportan como diminutos imanes.

En la mayoría de las sustancias esos pequeños imanes apuntan en direcciones aleatorias y sus efectos se cancelan.

En materiales como el hierro, muchos de ellos pueden alinearse en la misma dirección.

Cuando eso ocurre...

aparece un imán.

No es necesario memorizar este mecanismo ahora; volveremos a él cuando estudiemos los dominios magnéticos.

¿Puede existir un solo polo?

Imagina que cortamos un imán por la mitad.

¿Qué ocurrirá?

Muchas personas responden:

"Tendremos un polo Norte y un polo Sur separados."

Pero no sucede eso.

Cada mitad se convierte en un nuevo imán.

Cada una tendrá:

- Un polo Norte.
- Un polo Sur.

Podemos seguir cortándolo.

Siempre aparecerán ambos polos.

Hasta el día de hoy no se ha observado un polo magnético aislado en la naturaleza.

¿Qué es una brújula?

Una brújula es simplemente un pequeño imán montado sobre un eje.

Como la Tierra también actúa como un gran imán, la aguja gira hasta alinearse aproximadamente con su campo magnético.

Por eso señala una dirección cercana al norte geográfico.

Más adelante estudiaremos por qué el norte magnético y el norte geográfico no coinciden exactamente.

Curiosidad científica

Si pudieras viajar al espacio con una brújula, descubrirías que esta dejaría de señalar el norte de la Tierra cuando estuvieras muy lejos de ella. La brújula no "conoce" dónde está el norte geográfico; simplemente se orienta siguiendo el campo magnético más intenso que la rodea.

El descubrimiento que cambió al mundo

Cuando la electricidad creó un imán

Un viaje al año 1820

Imagina un salón de clases hace más de doscientos años.

No existen computadoras.

No existen teléfonos.

No existen motores eléctricos.

No existen generadores.

Solo existen pilas, algunos cables y muchos científicos curiosos.

Uno de ellos era un profesor danés llamado **Hans Christian Ørsted**.

Mientras realizaba un experimento con una batería, un cable y una brújula, ocurrió algo inesperado.

El experimento

Sobre una mesa había:

- Una batería.
- Un cable.
- Un interruptor.
- Una brújula.

La brújula estaba colocada debajo del cable.

Todo parecía normal.

La aguja apuntaba hacia el norte.

Entonces Ørsted cerró el interruptor.

Y ocurrió algo increíble.

La aguja giró.

¿Por qué giró?

Nadie esperaba que ocurriera.

No había un imán cerca.

Solo había un cable con corriente eléctrica.

La única explicación posible era que la corriente estaba produciendo un efecto magnético.

Era la primera evidencia clara de que la electricidad y el magnetismo estaban relacionados.

Una idea revolucionaria

Hasta ese momento se pensaba:

Electricidad → una cosa.

Magnetismo → otra cosa.

Después del experimento quedó claro que:

Una corriente eléctrica produce un campo magnético.

Ese descubrimiento cambió la historia.

El campo magnético alrededor de un cable

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

¿Qué significa cada letra?

B

Es el **campo magnético**.

Se mide en **teslas (T)**.

Mientras mayor sea B, más intenso será el campo magnético.

I

Es la **corriente eléctrica**.

Se mide en amperes.

Si aumenta la corriente...

aumenta el campo magnético.

Esto ya lo habíamos descubierto experimentalmente.

r

Es la distancia desde el centro del cable hasta el punto donde queremos medir el campo.

Si colocamos una brújula:

- a 1 cm del cable,
- a 5 cm del cable,
- a 20 cm del cable,

obtendremos valores diferentes.

Mientras más lejos estemos...

menor será el campo magnético.

μ_0 (mu cero)

Es la **permeabilidad magnética del vacío**.

Su valor es:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

No es necesario memorizarlo ahora.

Simplemente indica cómo se comporta el campo magnético en el vacío.

En cursos posteriores conoceremos la permeabilidad de otros materiales, como el hierro.

¿Qué nos dice la fórmula?

La ecuación nos permite sacar conclusiones sin hacer cálculos.

Si duplicamos la corriente

Supongamos:

$$I = 2 \text{ A}$$

Ahora pasa a:

$$I = 4 \text{ A}$$

¿Qué ocurre?

El campo magnético también se duplica.

Es una relación directamente proporcional.

Si duplicamos la distancia

Ahora estamos a:

1 cm

Nos alejamos hasta:

2 cm

¿Qué ocurre?

El campo magnético se reduce aproximadamente a la mitad.

Ahora viene tu pregunta

¿Dónde aparece el grosor del cable?

La respuesta corta es:

No aparece.

Y eso suele sorprender mucho.

¿Entonces el diámetro del cable no importa?

Depende de la situación.

Hay dos casos diferentes.

Caso 1. La corriente permanece igual

Imagina dos cables.

Cable A

- diámetro = 1 mm
- corriente = 5 A

Cable B

- diámetro = 10 mm
- corriente = 5 A

Si medimos el campo magnético a la **misma distancia desde el centro del conductor**, ambos producirán prácticamente el mismo campo magnético.

¿Por qué?

Porque la fórmula depende de:

- la corriente,
- la distancia.

No del diámetro.

Caso 2. El cable grueso permite más corriente

Aquí aparece la confusión.

Un cable grueso tiene menor resistencia.

Por ello puede transportar mucha más corriente sin sobrecalentarse.

Por ejemplo:

Cable delgado

5 A máximo.

Cable grueso

100 A máximo.

Ahora sí:

Como el cable grueso transporta mucha más corriente,
produce un campo magnético mucho mayor.

Pero observa que **no es por ser grueso**, sino porque **circula más corriente**.

Un ejemplo

Supongamos dos conductores.

Cable delgado

- Corriente = 2 A

Cable grueso

- Corriente = 2 A

Los dos producen prácticamente el mismo campo magnético alrededor del conductor (si los medimos a la misma distancia del centro).

Ahora cambiamos el segundo.

Cable grueso

- Corriente = 50 A

Ahora sí produce un campo muchísimo mayor.

La diferencia no es el diámetro.

La diferencia es la corriente.

¿Entonces por qué los electroimanes usan alambre grueso?

Excelente observación.

No usan alambre grueso para aumentar directamente el campo magnético.

Lo usan porque:

- permite mayor corriente;
- se calienta menos;
- tiene menor resistencia;
- soporta más potencia.

Gracias a ello podemos aumentar la corriente y, como consecuencia, aumentar el campo magnético.

Un detalle avanzado

La fórmula es válida para un **conductor recto muy largo**.

Cuando estudiamos:

- bobinas,
- solenoides,
- electroimanes,

la geometría cambia y también cambian las ecuaciones.

Por ejemplo, para un solenoide largo aparece una fórmula mucho más sencilla:

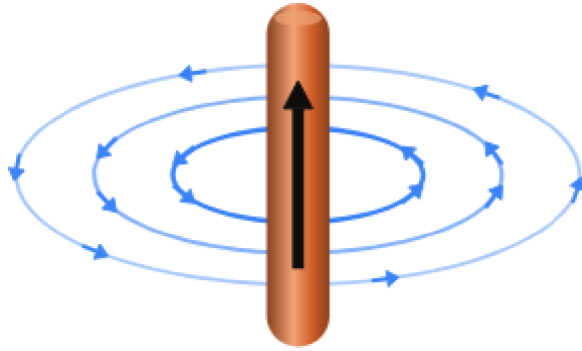
$$B = \mu n I$$

donde:

- n = número de espiras por metro,
- I = corriente,
- μ = permeabilidad del medio.

Observa algo muy interesante: **aquí sí aparece el efecto del número de espiras**, porque una bobina concentra el campo magnético de una forma completamente distinta a un cable recto.

Observa que el campo magnético **no sale en línea recta** del cable. Rodea al conductor formando **círculos concéntricos**. Si cambias el sentido de la corriente, también cambia el sentido del campo magnético.



Imaginemos un cable

Supongamos un cable completamente recto.

Por él circula corriente.

¿Qué ocurre alrededor?

No aparece un imán visible.

Pero sí aparece un **campo magnético invisible**.

Ese campo rodea al conductor por todos lados.

¿Cómo es ese campo?

Aquí aparece algo muy curioso.

Muchos imaginan que el campo sale hacia adelante.

No es así.

Las líneas de campo forman círculos alrededor del cable.

Si pudiéramos verlas, observaríamos algo parecido a los anillos que se forman cuando lanzamos una piedra al agua, pero envolviendo completamente al conductor.

¿Cómo sabemos en qué sentido giran?

Existe una regla muy sencilla llamada **regla de la mano derecha**.

Haz lo siguiente:

1º Extiende el pulgar de tu mano derecha.

2º Haz que el pulgar apunte en el sentido de la **corriente convencional**.

3º Cierra los demás dedos alrededor del pulgar.

La dirección en la que se curvan los dedos indica el sentido del campo magnético.

No es magia.

Es una forma práctica de recordar la orientación del campo.



¿Qué ocurre si invertimos la corriente?

Imagina que la corriente cambia de dirección.
Entonces el campo magnético también cambia.
Es decir:

- Corriente hacia arriba → Campo en un sentido.
- Corriente hacia abajo → Campo en el sentido contrario.

Por eso el sentido de la corriente es tan importante en motores y electroimanes.

¿Qué ocurre si aumenta la corriente?

Ahora hagamos otro experimento.
Primero hacemos circular una corriente pequeña.
El campo magnético es relativamente débil.
Después duplicamos la corriente.
¿Qué sucede?
El campo magnético se vuelve más intenso.
Esto significa que cuanto mayor es la corriente, mayor es el efecto magnético producido.

¿Qué ocurre si nos alejamos del cable?

Coloca una brújula muy cerca del conductor.

La aguja gira bastante.

Ahora aléjala poco a poco.

Cada vez gira menos.

¿Por qué?

Porque el campo magnético disminuye con la distancia.

Cuanto más lejos estamos del conductor, menor es su influencia.

Una comparación

Imagina una fogata.

Muy cerca de ella sientes mucho calor.

Si te alejas cinco metros, el calor disminuye.

Si te alejas veinte metros, apenas lo percibes.

Con el campo magnético ocurre algo parecido.

Su intensidad disminuye al aumentar la distancia al conductor.

La importancia de este descubrimiento

Este fenómeno puede parecer sencillo.

Un cable produce un campo magnético.

Pero gracias a esa idea hoy existen:

- Motores eléctricos.
- Generadores.
- Transformadores.
- Relevadores.
- Solenoides.
- Electroválvulas.
- Timbres eléctricos.
- Discos duros.
- Bocinas.

Todos ellos dependen, de una u otra forma, de la relación entre electricidad y magnetismo.

Curiosidad científica

Ørsted no estaba buscando unir la electricidad con el magnetismo. Su descubrimiento fue, en parte, inesperado. Sin embargo, inspiró a científicos como André-Marie Ampère y Michael Faraday, quienes desarrollaron las bases del electromagnetismo moderno.

La bobina y el electroimán

Cuando un alambre se convierte en un imán

Aprendimos que un cable recto con corriente produce un campo magnético.

Pero ese campo es relativamente débil.

Entonces alguien tuvo una idea muy sencilla.

¿Y si en lugar de un cable recto lo enrollamos?

Imaginemos una cuerda

Supongamos que extiendes una cuerda sobre el piso.

Ocupa mucho espacio.

Ahora la enrollas formando una espiral.

La misma cuerda ocupa mucho menos espacio.

Con un alambre ocurre algo parecido.

Podemos enrollarlo formando muchas vueltas.

A esa pieza la llamamos **bobina**.

Cuando la bobina es larga y tiene muchas espiras ordenadas, también recibe el nombre de **solenoi-
de**.

¿Qué ocurre al circular corriente?

Aquí aparece la magia... o mejor dicho, la física.

Cada vuelta del alambre produce su propio campo magnético.

Si las espiras están correctamente orientadas, esos campos no se estorban.

Al contrario.

Se suman entre sí.

Es como si muchas personas empujaran un automóvil al mismo tiempo.

Una sola persona puede moverlo un poco.

Diez personas pueden moverlo mucho más fácilmente.

Cada espira aporta una parte del campo magnético total.

Una comparación con linternas

Imagina una habitación oscura.

Una persona enciende una linterna.

Hay un poco de luz.

Ahora diez personas apuntan sus linternas hacia el mismo lugar.

La iluminación aumenta.

Con una bobina ocurre algo parecido.

Cada espira contribuye al campo magnético y el efecto conjunto es mucho mayor.

El resultado

Una bobina por la que circula corriente se comporta casi como un imán.

Tiene:

- Un polo Norte.
- Un polo Sur.

Y puede atraer materiales ferromagnéticos.

¿Qué es un electroimán?

Si colocamos un núcleo de hierro dentro de la bobina y hacemos circular corriente, el campo magnético se concentra y se vuelve mucho más intenso.

Entonces obtenemos un **electroimán**.

La gran diferencia con un imán permanente es que:

- Si hay corriente, existe el campo magnético.
- Si cortamos la corriente, el campo desaparece casi por completo.

Por eso se llama **electro**-imán.

¿Por qué agregar un núcleo de hierro?

Imagina que quieres conducir agua.

Puedes hacerlo por un terreno abierto.

Pero si construyes un canal, el agua sigue un camino mucho más definido.

El núcleo de hierro cumple una función parecida.

Ayuda a concentrar el campo magnético y aumenta considerablemente su intensidad.

No crea el campo magnético, pero sí lo fortalece.

¿De qué depende la fuerza de un electroimán?

Hay varios factores importantes.

1. Número de espiras

Si aumentamos el número de vueltas del alambre:

- Más espiras producen más campo magnético.

Por eso muchos electroimanes tienen cientos o incluso miles de espiras.

2. Corriente eléctrica

Si aumenta la corriente:

También aumenta el campo magnético.

Más corriente significa un electroimán más potente, siempre dentro de los límites que soporta el alambre sin sobrecalentarse.

3. Material del núcleo

Una bobina sin núcleo ya produce un campo magnético.

Pero al introducir un núcleo de hierro dulce, el campo aumenta notablemente.

4. Calidad del núcleo

No todos los hierros son iguales.

Algunos materiales concentran el campo magnético mucho mejor que otros.

Por eso existen aceros e incluso materiales especialmente diseñados para motores y transformadores.

Un experimento sencillo

Imagina un clavo de hierro.

Lo enrollamos con 100 vueltas de alambre de cobre.

Conectamos una batería.

Ahora acercamos algunos clips.

Los clips quedan pegados al clavo.

Desconectamos la batería.

Los clips caen.

¿Qué ocurrió?

Mientras circulaba corriente, el conjunto funcionó como un electroimán.

Al desaparecer la corriente, el campo magnético prácticamente desapareció.

¿Dónde encontramos electroimanes?

Mucho más cerca de lo que imaginamos.

Están presentes en:

- Timbres eléctricos.
- Relevadores.
- Cerraduras eléctricas.
- Grúas para levantar chatarra.
- Motores eléctricos.
- Válvulas electromagnéticas.
- Inyectores de combustible.
- Discos duros.
- Bocinas.
- Auriculares.

Prácticamente toda la industria moderna utiliza electroimanes.

Curiosidad científica

Las enormes grúas que levantan toneladas de chatarra en los patios de reciclaje utilizan electroimanes gigantes. Cuando el operador quiere soltar la carga, no necesita un mecanismo especial: simplemente interrumpe la corriente eléctrica y el campo magnético desaparece, permitiendo que el metal caiga.

La inducción electromagnética

Cuando un imán produce electricidad

Un poco de historia

En 1820, Hans Christian Ørsted demostró que una corriente eléctrica produce un campo magnético.

Muchos científicos quedaron impresionados.

Uno de ellos fue **Michael Faraday**.

Faraday se hizo una pregunta muy sencilla.

"Si la electricidad puede producir magnetismo... ¿el magnetismo podrá producir electricidad?"

Pasó años realizando experimentos.

Hasta que, en 1831, encontró la respuesta.

El experimento de Faraday

Imaginemos una mesa de laboratorio.

Sobre ella colocamos:

- Una bobina de alambre.
- Un galvanómetro (un instrumento muy sensible para detectar corriente).
- Un imán de barra.

Todo está conectado.

Pero...

No ocurre absolutamente nada.

Primer intento

Acercamos lentamente el imán a la bobina.

De pronto...

La aguja del galvanómetro se mueve.

¡Hay corriente eléctrica!

Segundo intento

Ahora dejamos el imán quieto.

La aguja vuelve al centro.

No hay corriente.

Tercer intento

Sacamos el imán de la bobina.
La aguja vuelve a moverse.
Pero ahora...
¡Lo hace en sentido contrario!

¿Qué ocurrió?

Aquí aparece una idea muy importante.
No fue el imán, por sí solo, el que produjo la corriente.
Tampoco fue la bobina.

Lo que produjo la corriente fue **el cambio del campo magnético que atraviesa la bobina**.
Si el campo permanece constante, no se induce corriente.
Si el campo cambia, aparece una fuerza que impulsa a las cargas.

Visualizando la inducción electromagnética

El cambio del flujo magnético a través de una espira de alambre induce corriente.
Observa cómo la corriente solo aparece cuando cambia el flujo magnético a través de la espira. Si el imán permanece inmóvil, la corriente desaparece. Este es el principio fundamental descubierto por Faraday.

Una analogía

Imagina un lago completamente tranquilo.
Si colocas un corcho sobre el agua...
No se mueve.
Ahora arrojas una piedra.
Aparecen ondas.
El corcho comienza a moverse.
No fue el agua en sí.
Fue el cambio en el agua.
Con el magnetismo ocurre algo parecido.
Lo importante no es simplemente tener un campo magnético.
Lo importante es que **cambie**.

¿Qué significa "cambiar"?

Puede ocurrir de muchas formas.

Por ejemplo:

- Acercar un imán a la bobina.
- Alejar el imán.
- Girar el imán.
- Mover la bobina.
- Cambiar la intensidad del campo magnético.

En todos los casos, el flujo magnético que atraviesa la bobina cambia.

¿Qué ocurre si el imán está quieto?

Imaginemos un imán fijo.

Y una bobina fija.

Esperamos un minuto.

Diez minutos.

Una hora.

No aparece corriente.

¿Por qué?

Porque el campo magnético no está cambiando.

Y esa es una de las ideas más importantes de todo el electromagnetismo.

¿Qué ocurre si movemos la bobina?

Ahora dejamos el imán quieto.

Pero movemos la bobina.

¿Qué sucede?

Exactamente lo mismo.

La corriente vuelve a aparecer.

Lo importante no es **qué** se mueve.

Lo importante es que exista un movimiento relativo entre el imán y la bobina, o cualquier otra causa que haga variar el flujo magnético.

¿Qué ocurre si movemos el imán más rápido?

Hagamos otro experimento.

Primero movemos el imán lentamente.

La corriente inducida es pequeña.

Ahora lo movemos rápidamente.

La corriente aumenta.

¿Por qué?

Porque el flujo magnético cambia más deprisa.

Mientras más rápido cambie el flujo, mayor será la fuerza electromotriz inducida.

¿Y si invertimos el imán?

Ahora acercamos primero el polo Norte.

Después hacemos el mismo experimento con el polo Sur.

La corriente cambia de sentido.

Eso significa que la dirección de la corriente inducida depende de cómo cambia el campo magnético.

Aquí nace la electricidad moderna

Este experimento parece muy sencillo.

Un imán.

Una bobina.

Movimiento.

Pero gracias a este principio funcionan:

- Las centrales hidroeléctricas.
- Las plantas eólicas.
- Las plantas termoeléctricas.
- Las plantas nucleares.
- Los alternadores de los automóviles.
- Los generadores portátiles.
- Las dinamos de las bicicletas.

En todos ellos, algún tipo de movimiento hace variar el flujo magnético y genera electricidad.

Curiosidad científica

Michael Faraday tenía muy poca formación matemática comparada con otros científicos de su época, pero poseía una extraordinaria capacidad para diseñar experimentos e interpretar sus resultados. Años más tarde, **James Clerk Maxwell** desarrolló las ecuaciones matemáticas que describen de forma unificada los fenómenos descubiertos por Faraday.

El generador eléctrico

Cómo producir electricidad de forma continua

Aprendimos que:

Si acercamos un imán a una bobina...

Aparece una corriente.

Si alejamos el imán...

Vuelve a aparecer una corriente, pero en sentido contrario.

Entonces surge una pregunta.

¿Qué pasaría si nunca dejáramos de mover el imán?

Una idea brillante

Imagina un imán girando continuamente dentro de una bobina.

Mientras gira:

- El campo magnético cambia constantemente.
- El flujo magnético cambia constantemente.
- Se induce una corriente continuamente.

¡Ya tenemos un generador eléctrico!

Las partes de un generador

Aunque existen muchos tipos, un generador sencillo está formado por:

1º Un imán o un electroimán.

2º Una bobina de alambre.

3º Un eje que produce el movimiento de rotación.

4º Un sistema para llevar la corriente hacia el exterior.

La idea es muy simple:

Movimiento → Campo magnético cambiante → Electricidad.

Una analogía

Imagina una rueda de molino movida por un río.

Mientras el agua fluye, la rueda gira.

Si el río se detiene, la rueda también.

En un generador ocurre algo parecido.

Lo importante no es el agua.

Lo importante es el **movimiento de rotación**.

Ese movimiento puede provenir de muchas fuentes.

¿Qué puede hacer girar un generador?

Prácticamente cualquier fuente de energía mecánica.

Por ejemplo:

Agua

En una presa, el agua cae desde una gran altura.

Esa energía mueve una turbina.

La turbina hace girar el generador.

Así funciona una central hidroeléctrica.

Viento

El viento mueve las aspas de un aerogenerador.

Las aspas hacen girar un eje.

Ese eje mueve el generador.

Así se produce electricidad a partir del viento.

Vapor

En una central termoeléctrica o nuclear, el vapor impulsa una turbina.

La turbina hace girar el generador.

El principio sigue siendo el mismo.

Motor de combustión

En un automóvil, el motor hace girar el alternador.

El alternador genera electricidad para recargar la batería y alimentar los sistemas eléctricos del vehículo.

Fuerza humana

Cuando pedaleas una bicicleta con dinamo, tus piernas producen el movimiento.

Ese movimiento hace girar un pequeño generador.

El resultado es electricidad para encender la lámpara.

¿Se crean electrones?

No.

Los electrones ya están presentes en los conductores.

El generador no fabrica electrones.

Lo que hace es proporcionar la energía necesaria para ponerlos en movimiento.

Esta idea es muy importante porque muchas personas creen que un generador "produce electrones".

En realidad, produce una diferencia de potencial que impulsa las cargas eléctricas.

¿Qué ocurre si el generador gira más rápido?

Hagamos un experimento mental.

Primero el generador gira lentamente.

Se induce un voltaje pequeño.

Ahora duplicamos la velocidad de giro.

El flujo magnético cambia más rápidamente.

Como consecuencia, el voltaje inducido aumenta.

Por eso la velocidad de rotación es un factor importante en el diseño de los generadores.

¿Qué ocurre si dejamos de girarlo?

Todo se detiene.

No hay cambio de flujo magnético.

No aparece una fuerza electromotriz inducida.

No circula corriente.

Por eso un generador necesita una fuente continua de energía mecánica.

Una observación muy importante

Hasta ahora siempre hablamos de mover un imán.

Pero en realidad también podríamos:

Mover la bobina.

Mantener fijo el imán.

El resultado sería el mismo.

Lo importante es que exista un movimiento relativo entre ambos.

Corriente alterna

Ahora aparece un fenómeno interesante.

Cuando el imán gira:

Primero el flujo aumenta.

Después disminuye.

Luego cambia de sentido.

Después vuelve a aumentar.

Eso hace que el voltaje generado cambie continuamente de polaridad.

Como consecuencia aparece la **corriente alterna (CA)**.

Más adelante estudiaremos este fenómeno con detalle.

Curiosidad científica

En una central hidroeléctrica moderna, el generador puede medir varios metros de diámetro y pesar cientos de toneladas. A pesar de su enorme tamaño, su principio de funcionamiento es exactamente el mismo que el del pequeño generador de una bicicleta: un movimiento mecánico produce un cambio de flujo magnético que induce electricidad.

Las matemáticas del campo magnético

Comprendiendo la primera fórmula del magnetismo

El experimento

Imaginemos un cable recto muy largo.

Por él circula una corriente de:

5 amperes.

Ahora colocamos una brújula a diferentes distancias.

Observamos que:

- Muy cerca del cable, la brújula gira bastante.
- Más lejos, gira menos.
- Muy lejos, apenas se mueve.

Esto nos indica que el campo magnético disminuye con la distancia.

La fórmula

Los experimentos realizados por muchos científicos permitieron obtener esta ecuación.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Puede parecer complicada.

Pero en realidad tiene mucho sentido.

Analicemos cada símbolo

B

Representa el campo magnético.

Su unidad es el **tesla (T)**.

Mientras mayor sea B,
más intenso será el campo magnético.

I

Representa la corriente eléctrica.

Ya conocemos esta magnitud.

Se mide en amperes.

Mientras mayor sea la corriente,
mayor será el campo magnético.

r

Representa la distancia al conductor.
No importa el largo del cable.
Importa qué tan lejos estamos de él.
Mientras mayor sea la distancia,
menor será el campo magnético.

μ_0

Se llama **permeabilidad magnética del vacío**.
Es una constante de la naturaleza.
Su valor es:
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

Por ahora podemos considerarla simplemente como un número fijo que aparece en todos los cálculos realizados en el vacío o en el aire.

Hagamos un experimento mental

Supongamos:
Corriente:
10 A
Distancia:
1 cm
Obtenemos cierto valor del campo magnético.
Ahora duplicamos la corriente.
20 A
¿Qué ocurrirá?
El campo magnético también se duplicará.

Ahora cambiemos la distancia

Volvamos al caso inicial.
10 A
1 cm
Ahora alejamos la brújula hasta:
2 cm
¿Qué ocurrirá?
El campo magnético se reduce aproximadamente a la mitad.

¿Qué nos dice la fórmula?

Observemos la ecuación.
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

La corriente está en el numerador.

Eso significa:
Si aumenta I ,
aumenta B .

La distancia está en el denominador.

Eso significa:
Si aumenta r ,
disminuye B .

Solo con observar la posición de las variables ya podemos prever el comportamiento del sistema.

Hagamos un cálculo

Datos:

Corriente

10 A

Distancia

5 cm

Primero debemos convertir las unidades.

5 cm

=

0.05 m

Ahora sustituimos.

$$B = (4\pi \times 10^{-7})(10) / 2\pi(0.05)$$

Observa algo interesante.

Aparece π arriba y abajo.

Podemos simplificar.

$$B = 2 \times 10^{-6} / 0.05$$

Finalmente:

$$B = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

¿Es un campo grande?

No.

Y esto suele sorprender.

El campo magnético de un solo conductor normalmente es pequeño.

Por eso los motores eléctricos no utilizan simplemente un alambre recto.

Utilizan bobinas con muchas espiras y, además, núcleos de hierro para concentrar el campo.

¿Por qué no aparece el diámetro del cable?

Esta es probablemente la pregunta más interesante.
Supongamos dos cables.

Primer cable.

Diámetro:

1 mm

Corriente:

20 A

Segundo cable.

Diámetro:

10 mm

Corriente:

20 A

Si medimos el campo magnético a la misma distancia desde el centro de ambos conductores, el resultado será prácticamente el mismo.

¿Por qué?

Porque la fórmula solo depende de:

- la corriente;
- la distancia.

Entonces...

¿Por qué los motores usan alambre grueso?

Porque un conductor grueso puede transportar más corriente.

Y como el campo depende de la corriente,
el campo puede aumentar.

No aumenta por el diámetro.

Aumenta porque ahora puede circular una corriente mayor.

Una observación importante

La ecuación que estamos estudiando supone que el conductor es **muy largo** y que medimos el campo **fuera del conductor**.

Si el conductor tiene una forma distinta, las ecuaciones cambian.

Por ejemplo:

- Una espira circular.
- Una bobina.
- Un solenoide.
- Un toroide.

Cada caso tiene su propia expresión matemática.

La fórmula del solenoide

Supongamos ahora una bobina larga.

La ecuación cambia.

$$B = \mu n I$$

Aquí aparece una nueva variable.

n

Número de espiras por metro.

Ahora sí vemos que:

Más espiras.

↓

Mayor campo magnético.

Ejemplo

Bobina A

100 espiras.

1 A.

Bobina B

500 espiras.

1 A.

La segunda producirá un campo mucho mayor.

Si además duplicamos la corriente

500 espiras.

2 A.

El campo vuelve a aumentar.

Si agregamos un núcleo de hierro

Ahora sucede algo muy interesante.

El hierro concentra el flujo magnético.

Eso hace que el campo aumente muchísimo.

Por eso casi todos los motores y transformadores utilizan núcleos ferromagnéticos.

¿De dónde sale la fórmula del campo magnético?

Comprendiendo el significado físico de la ecuación

Comencemos con un cable

Imaginemos un cable recto.

Por él circula corriente.

Ya sabemos que alrededor aparece un campo magnético.

Pero ahora pensemos algo.

¿Hacia dónde puede ir ese campo?

Primera observación

Podría ir únicamente hacia adelante.

O solamente hacia un lado.

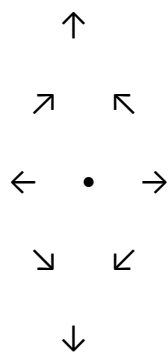
O únicamente hacia arriba.

Pero los experimentos muestran otra cosa.

El campo rodea completamente al conductor.

Forma un círculo.

Dibujemos el conductor visto desde arriba.



El punto negro representa el cable.

Las flechas indican la dirección del campo.

El campo rodea completamente al conductor.

Imaginemos una pizza

Ahora pensemos en una pizza.

El cable está exactamente en el centro.

El borde representa un círculo alrededor del conductor.

Ese círculo tiene una longitud.

¿Cuál?

La geometría nos dice que la longitud de una circunferencia es

$2\pi r$

Aquí aparece por primera vez el famoso término de la fórmula.

¿Qué significa eso?

Imagina que el campo magnético es como personas tomadas de la mano formando un círculo alrededor del cable.

Si el círculo es pequeño...

hay poco espacio.

Las personas quedan muy juntas.

Si el círculo es muy grande...

hay mucho más espacio.

Las personas quedan más separadas.

Con el campo ocurre algo parecido.

Una analogía con una fiesta

Imagina que tienes exactamente cien personas.

Las colocas formando un círculo pequeño.

Quedan muy juntas.

Ahora haces un círculo enorme.

Las mismas cien personas ahora quedan muy separadas.

El número de personas no cambió.

Lo único que cambió fue el tamaño del círculo.

El campo magnético hace exactamente eso

La corriente produce cierta cantidad de campo magnético.

Ese campo debe distribuirse alrededor del conductor.

Muy cerca del cable...

se concentra en un círculo pequeño.

Muy lejos...

el mismo efecto se distribuye sobre una circunferencia mucho mayor.

Por eso la intensidad disminuye.

¿Por qué aparece exactamente $1/r$?

Aquí está la idea fundamental.

Si duplicamos la distancia:

Antes:

Radio = 1 cm

Circunferencia

≈ 6.28 cm

Ahora:

Radio = 2 cm

Circunferencia

≈ 12.56 cm

La longitud del círculo también se duplicó.

Como el mismo "efecto magnético" ahora se reparte sobre un círculo el doble de grande, la intensidad del campo se reduce aproximadamente a la mitad.

Por eso la fórmula contiene:

$1/r$

No es un número elegido al azar.

Refleja la geometría del problema.

¿Y por qué aparece la corriente?

Ahora pensemos en otra situación.

Primero circula:

1 ampere.

Después:

10 amperes.

¿Qué significa eso?

Que ahora se están moviendo muchas más cargas eléctricas por segundo.

Cada una de esas cargas contribuye al campo magnético.

Al haber más carga en movimiento, el campo resultante aumenta.

Por eso la corriente aparece multiplicando en la fórmula.

¿Y qué hace μ_0 ?

Supongamos que el universo fuera diferente.

Quizá el mismo movimiento de cargas produciría un campo diez veces mayor.

O cien veces menor.

La naturaleza tiene una "constante de proporcionalidad".

Esa constante es:

μ_0

No la inventaron los científicos.

La descubrieron mediante experimentos.

Una idea muy importante

La ecuación completa es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Ahora ya sabemos qué representa cada parte:

- **I**: cuánta corriente produce el campo.
- **$2\pi r$** : el tamaño del círculo sobre el que se distribuye ese campo.
- **μ_0** : una constante que depende del medio.

Una observación muy interesante

Si el campo se distribuyera sobre una esfera en lugar de un círculo, la fórmula sería distinta.

Aparecería algo relacionado con:

$$4\pi r^2$$

como sucede en otros fenómenos físicos, por ejemplo el comportamiento del campo gravitatorio o del campo eléctrico producido por una carga puntual.

Pero aquí el campo rodea un conductor recto.

Por eso aparece una circunferencia y no una esfera.

La magia de la geometría

Observa lo sorprendente.

La electricidad nos llevó a estudiar:

- electrones;
- corriente;
- voltaje.

Y ahora...

la geometría aparece de forma natural.

La circunferencia no fue inventada para explicar el magnetismo.

Simplemente el campo magnético adopta una forma circular alrededor de un conductor recto.

La matemática solo describe esa realidad.

Una reflexión

Las fórmulas no son reglas inventadas por los científicos. Son una forma de escribir, con símbolos, el comportamiento de la naturaleza.

Cuando comprendemos el fenómeno físico, la ecuación deja de ser una colección de letras y números para convertirse en un resumen de todo lo que hemos observado.

El transformador

Cómo cambiar el voltaje sin conectar los cables

Una pregunta interesante

Supongamos que tenemos una batería de 12 V.
Queremos obtener 120 V.

¿Podemos hacerlo simplemente enrollando un cable?

La respuesta es:

No.

Ahora imaginemos otra situación.

Tenemos corriente alterna.

¿Podremos cambiar el voltaje?

La respuesta es:

Sí.

Y para lograrlo utilizamos un transformador.

¿Qué es un transformador?

Un transformador es una máquina eléctrica que permite:

- aumentar el voltaje,
 - disminuir el voltaje,
 - aislar eléctricamente dos circuitos,
- utilizando únicamente un campo magnético variable.

No tiene partes móviles.

No gira.

No hace ruido por su funcionamiento básico (aunque algunos producen un ligero zumbido por efectos mecánicos y magnéticos).

Y puede funcionar durante décadas.

Las partes principales

Un transformador sencillo tiene tres elementos.

1. Bobina primaria

Es la bobina que recibe la energía eléctrica.

También se llama **devanado primario**.

2. Bobina secundaria

Es la bobina que entrega la energía eléctrica.

También recibe el nombre de **devanado secundario**.

3. Núcleo de hierro

Une magnéticamente ambas bobinas.

Su misión es conducir el flujo magnético de una bobina hacia la otra.

Lo sorprendente

Observa cuidadosamente.

La bobina primaria y la secundaria...

No están conectadas mediante un cable.

Entre ellas no existe contacto eléctrico directo.

Entonces...

¿Cómo pasa la energía?

El secreto

Recordemos el módulo anterior.

Una corriente variable produce un campo magnético variable.

Y un campo magnético variable puede inducir corriente en otra bobina.

Eso es exactamente lo que ocurre.

La energía sigue este camino:

Corriente alterna



Bobina primaria



Campo magnético variable



Núcleo de hierro



Bobina secundaria



Voltaje inducido

La energía no "salta" por el aire como si fuera magia.

Se transfiere mediante un campo magnético que cambia continuamente y atraviesa ambas bobinas.

¿Por qué no funciona con corriente continua?

Esta es una de las preguntas más importantes.

Imaginemos una batería.

Produce corriente continua.

La conectamos al transformador.

¿Qué ocurre?

Al principio, cuando conectamos la batería, la corriente aumenta desde cero hasta su valor final.

Durante ese breve instante el campo magnético cambia y puede aparecer una pequeña tensión en el secundario.

Pero, una vez que la corriente se estabiliza, el campo magnético deja de cambiar.

Entonces:

- Ya no hay cambio de flujo magnético.
- Ya no se induce voltaje en la bobina secundaria.

Por eso un transformador **no puede funcionar de manera continua con corriente continua**.

En cambio, la corriente alterna cambia de valor y de sentido constantemente.

Por lo tanto:

- El campo magnético cambia continuamente.
- Siempre existe inducción.

Ese es el motivo por el que los transformadores trabajan con corriente alterna.

Imaginemos un columpio

Empujas un columpio una sola vez.

Se mueve un poco.

Luego se detiene.

Eso sería parecido a la corriente continua.

Ahora imagina que lo empujas continuamente.

El movimiento nunca desaparece.

Eso representa la corriente alterna.

¿Cómo cambia el voltaje?

Aquí aparece una idea muy sencilla.
Supongamos que:

Bobina primaria:

100 espiras.

Bobina secundaria:

200 espiras.

Cada espira "recibe" prácticamente el mismo cambio de flujo magnético.

Como la bobina secundaria tiene el doble de espiras,
el voltaje inducido será aproximadamente el doble.

Visualizando un transformador ideal

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Relación de vueltas: 2

Carga: 30 Ω

Observa cómo al aumentar el número de espiras del secundario aumenta el voltaje de salida. Si disminuyes las espiras, el voltaje también disminuye. El transformador intercambia voltaje por corriente, manteniendo prácticamente la misma potencia en el modelo ideal.

La ecuación del transformador

Para un transformador ideal se cumple:

$$V_p/V_s = N_p/N_s$$

donde:

- V_p : Voltaje del primario.
- V_s : Voltaje del secundario.
- N_p : Número de espiras del primario.
- N_s : Número de espiras del secundario.

Esta ecuación es sorprendentemente sencilla y describe una enorme cantidad de transformadores utilizados en la práctica.

Ejemplo

Supongamos:

Primario:

100 espiras.

Secundario:

500 espiras.

Voltaje de entrada:

120 V.

Aplicamos la fórmula.

$$120/V_s = 100/500 = 5$$

Entonces:

$$V_s = 5 \times 120 = 600 \text{ V}$$

El transformador aumentó el voltaje cinco veces.

¿Y si queremos disminuir el voltaje?

Ahora:

Primario:

500 espiras.

Secundario:

100 espiras.

Voltaje de entrada:

120 V.

La relación es:

$$500/100 = 0.2$$

Entonces:

$$V_s = 24 \text{ V}$$

Ahora el transformador redujo el voltaje.

¿Se crea energía?

No.

Y este concepto es fundamental.

Un transformador **no fabrica energía**.

Solo la transforma.

Si aumenta el voltaje,

la corriente disponible disminuye.

Si disminuye el voltaje,

la corriente disponible puede aumentar.

En un transformador ideal, la potencia de entrada es prácticamente igual a la potencia de salida.

Curiosidad científica

Si no existieran los transformadores, transportar la electricidad desde una central hasta nuestras casas sería extremadamente ineficiente. Gracias a ellos, el voltaje puede elevarse para reducir las pérdidas durante el transporte y luego disminuirse nuevamente antes de llegar a los hogares y las industrias.

Diagrama de un transformador

