

vidrio, la ebonita o los plásticos se llaman **aislantes** o **dieléctricos**.

Observa la figura 62. Si colgamos de un hilo una barra de ebonita, cargada, por su punto medio, y hacemos lo mismo con una barra de vidrio, al acercarlas veremos que se atraen. En cambio, si las dos barras cargadas son del mismo material, por ejemplo, dos barras de ebonita, observaremos que se alejan.

De esta experiencia deducimos que las cargas de distinto signo se atraen, y las del mismo signo se repelen.

ELECTROSCOPIO

El aparato de la figura 63 es un electroscopio, aparato que se utiliza para conocer el valor y el signo de los cuerpos cargados.

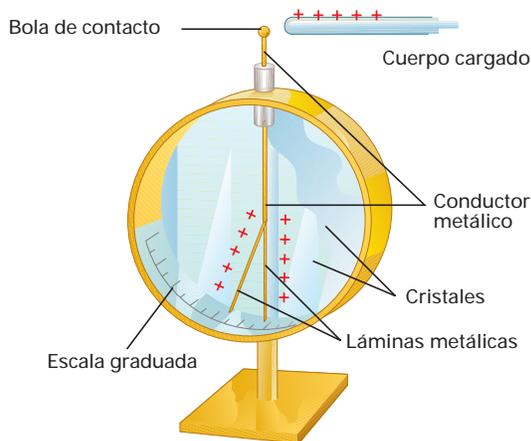


FIGURA 63

Consiste en dos láminas muy finas, de oro o aluminio, que pueden girar sobre un extremo, unidas a una varilla metálica que termina en una bola también metálica. La varilla y las láminas están encerradas en un recipiente de vidrio que las aísla del exterior.

Si acercamos un cuerpo cargado a la bola del electroscopio, las cargas pasan a través de la varilla a las láminas, que quedan cargadas con el mismo tipo de carga y, por tanto, se separan. La separación la mediremos con la escala graduada situada en la parte inferior. Cuanto mayor sea la separación, mayor será el valor de la carga.

Para conocer el signo de un cuerpo cargado, utilizaremos primero un cuerpo del que conozcamos el signo de la carga, por ejemplo, una varilla de vidrio, cuya carga es positiva. A continuación

acercaremos el cuerpo de carga desconocida. Si las láminas se separan más, significa que el cuerpo tiene carga positiva, y por el contrario, si se juntan, significa que el cuerpo tiene cargas de signo contrario.

UNIDAD DE CARGA ELÉCTRICA

La unidad natural es la carga de un electrón, pero es una unidad demasiado pequeña para ser utilizada en la práctica. En el Sistema Internacional la unidad de carga es el **culombio** (C), en honor del ingeniero y científico francés Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), que realizó importantes investigaciones en el campo de la electrostática. La definición completa del culombio se desarrollará en el tema siguiente, por lo que ahora sólo señalaremos su equivalencia con la unidad natural. Un culombio equivale a la carga de $6,3 \cdot 10^{18}$ electrones. Se utilizan también con frecuencia el **miliculombio** (mC), cuyo valor es $1 \text{ mC} = 10^{-3}\text{C}$, y el **microculombio** (μC), que vale $1 \mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$.

LEY DE COULOMB

Con las experiencias anteriores, podemos llegar a la siguiente conclusión: si un cuerpo cargado es capaz de atraer o repeler a otros, es porque ejerce una fuerza sobre éstos. Esta fuerza la llamaremos **fuerza eléctrica**. Hay que señalar que esta fuerza actúa a distancia.

Coulomb fue el primer científico que midió las fuerzas de atracción o repulsión entre dos pequeñas esferas cargadas, mediante distintas experiencias. Primera experiencia: colocó cargas diferentes separadas siempre a la misma distancia (figura 64); al aumentar las cargas, constató que las fuerzas aumentan de forma proporcional al producto de éstas. Segunda experiencia: con las mismas cargas, aumentó la distancia entre ellas (figura 65); los valores de las fuerzas entonces disminuyen, y el valor obtenido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Tercera experiencia: situó dos cargas a la misma distancia en distintos medios (vacío, aire, agua, aceite, etc), y pudo comprobar que el valor de la fuerza era diferente para cada medio.

Con estos resultados, Coulomb enunció la ley que lleva su nombre: la fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos cargados es directa-

mente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, y depende del medio en el que están situadas. Su expresión matemática es:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

(q_1 y q_2 = los valores de las cargas)
 (d = distancia que las separa)
 (K = constante que depende del medio)

El valor de la constante K en el vacío y en el aire, en unidades del Sistema Internacional, es: $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Esta ley es válida para cuerpos electrizados con unas dimensiones muy pequeñas en comparación con la distancia que los separa, y las cargas de estos cuerpos podemos considerarlas concentradas en un punto: las llamaremos **cargas puntuales**.

EJERCICIOS

1. Dos cargas puntuales de $2 \mu\text{C}$ y $5 \mu\text{C}$ están situadas en el aire a 10 cm de distancia. Calcular la fuerza con que se repelen.

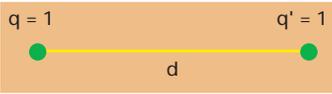
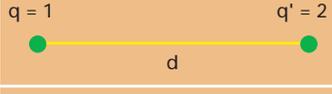
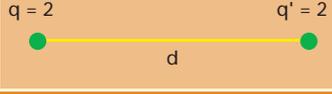
q	q'	q × q'	F	
1 u	1 u	1	5 u	
1 u	2 u	2	10 u	
2 u	2 u	4	20 u	

FIGURA 64

Solución: Expresaremos los datos en unidades SI: $q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $q_2 = 5 \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ y $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. Luego:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{0,10^2} = 9 \text{ N}$$

Las cargas se repelen con una fuerza de 9 newtons.

2. Una carga de $4 \mu\text{C}$ atrae a otra carga situada en el vacío a 25 cm de distancia, con una fuerza de 3 N. Calcular el valor de la carga.

Solución: Los datos son: $q_1 = 4 \mu\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $d = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ y $F = 3 \text{ N}$

En la expresión de la ley de Coulomb, despejaremos el valor de la carga:

$$q_2 = \frac{F \cdot d^2}{K \cdot q_1} = \frac{3 \cdot 0,25^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 5,2 \mu\text{C}$$

El valor de la carga es de $5,2 \mu\text{C}$, y puesto que las dos cargas se atraen, tiene que ser una carga de signo contrario, es decir: $-5,2 \mu\text{C}$.

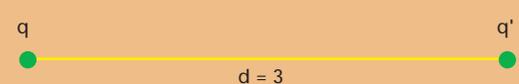
3. Una carga de $-5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ y otra de $+4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ se atraen con una fuerza de 5 N. Calcular la distancia a la que se encuentran.

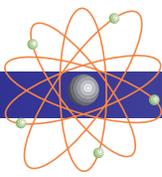
Solución: Despejaremos el valor de la distancia en la fórmula:

$$d^2 = \frac{K \cdot q_1 \cdot q_2}{F} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{5} = 36, \quad d = 6 \text{ m}$$

Las dos cargas están situadas a 6 metros de distancia.

FIGURA 65

d	F	
1 u	36 u	
2 u	9 u	
3 u	4 u	



CORRIENTE ELÉCTRICA

Hace un poco más de un siglo, para alumbrar había que quemar algún combustible. Se utilizaban velas y también bujías, de aceite o de petróleo. El alumbrado eléctrico que utilizamos en nuestros hogares se debe al inventor estadounidense Thomas Alva Edison, que puso en funcionamiento la primera lámpara eléctrica en 1879. Esta es una de las aplicaciones importantes que tiene la electricidad.

La corriente eléctrica es una forma de transmitir la energía. Al encender una bombilla, estamos produciendo una transformación de energía eléctrica en calor. El calor se almacena en parte en el filamento de la bombilla, que se torna blanquecino; decimos entonces que se pone incandescente, y emite energía en forma de calor y luz.

CÓMO SE PRODUCE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Los materiales conductores, como los metales, permiten el desplazamiento de los electrones en su interior. Hemos visto que en el electroscopio las cargas se desplazan a través de la barra hasta las láminas. Este movimiento dura poco tiempo, pues una vez que las cargas llegan a las láminas cesa el desplazamiento. Si conseguimos que el desplazamiento de electrones sea continuo, obtendremos una corriente eléctrica.

Se llama **corriente eléctrica** al movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor.

Vamos a explicar cómo se produce el fenómeno de la corriente eléctrica comparándolo con el de la corriente de agua que se origina al unir, mediante una tubería, dos depósitos que están situa-

dos a distinto nivel (figura 66). La corriente de agua sólo es posible cuando hay desnivel. Y además, si toda el agua del depósito de arriba pasa al de abajo, cesa la corriente.

Para lograr una corriente de forma continua, tendremos que colocar una bomba hidráulica que, aportando energía, eleve el agua y mantenga el desnivel.

El movimiento de las cargas se produce de la misma manera. En el electroscopio, el desplazamiento entre la barra y las láminas es posible porque existe un desnivel electrónico. Para que el desplazamiento sea continuo es necesario mantener ese desnivel electrónico, llamado **tensión** o **diferencia de potencial**.

El elemento encargado de mantener la diferencia de potencial se llama **generador eléctrico**. Una pila, la batería de un coche, etc. son generadores de corriente eléctrica. Realizan la misma función que, en el ejemplo, la bomba hidráulica.

Llamaremos **polo positivo** de un generador al de mayor potencial, y **polo negativo** al de menor potencial.

Después de entenderlo de forma intuitiva, definamos ahora los conceptos de una forma más rigurosa. La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo necesario para trasladar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro: $V - V' = W/q$, siendo V el potencial mayor, V' el potencial menor, W el trabajo y q la carga.

La unidad de diferencia de potencial en el SI es el **voltio (V)**, que se define como el cociente entre el trabajo de un julio (J) y la unidad de carga el culombio (C): $V = J/C$.

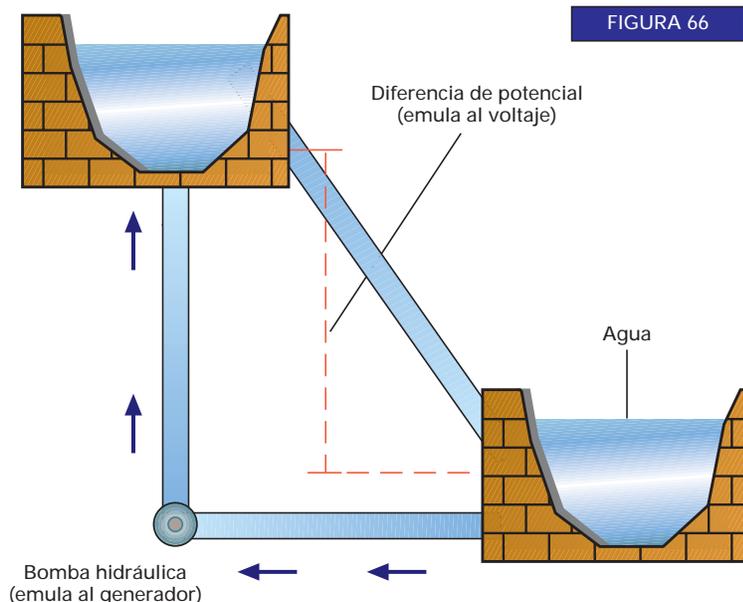


FIGURA 66

El instrumento que mide la diferencia de potencial se llama **voltímetro**.

Sentido de la corriente eléctrica

El sentido real de la corriente eléctrica es el del movimiento de los electrones que circulan por un conductor. Éstos van del polo negativo al positivo, es decir, de menor a mayor potencial (figura 67). Como el descubrimiento del electrón se hizo mucho más tarde que las definiciones de las magnitudes eléctricas, el sentido que por convenio se dio a la corriente eléctrica es contrario al del movimiento de los electrones, es decir, del polo positivo al negativo. Esto nos lleva a distinguir entre el sentido real y el sentido convencional de la corriente eléctrica.

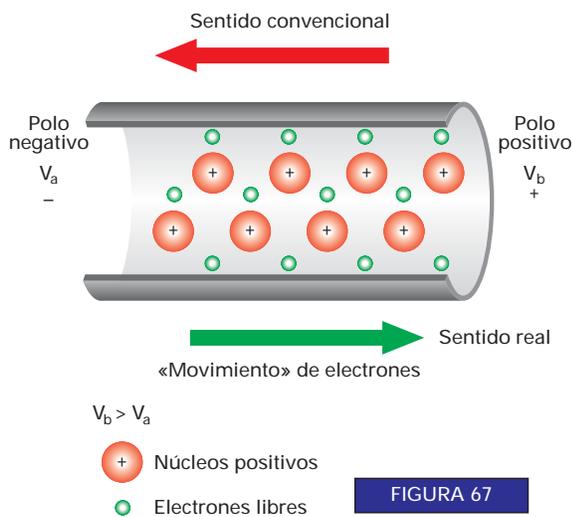


FIGURA 67

INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad total de carga que circula por un conductor en cada unidad de tiempo. Es decir: $I = q/t$.

La unidad de intensidad en el SI es el **amperio** (A), que se define como el cociente entre la unidad de carga, el culombio (C), y la unidad de tiempo, el segundo (s). Así: $A = C/s$. El aparato que mide la intensidad se denomina **amperímetro**.

Cuando el sentido de circulación de la corriente es siempre el mismo, se denomina **corriente continua** (CC, en inglés: DC). Las pilas nos proporcionan corriente continua.

Si el sentido de circulación varía, hablamos de **corriente alterna** (CA, en inglés AC). En nuestros hogares utilizamos corriente alterna. En este apartado sólo estudiamos la corriente continua.

RESISTENCIA ELÉCTRICA

El paso de corriente eléctrica a través de un conductor será más o menos fácil dependiendo de las características del material y las dimensiones del conductor. La **resistencia eléctrica** mide la dificultad para desplazarse que encuentran los electrones en el interior del conductor.

Sustancias como el oro, el platino o la plata son muy buenos conductores; el cobre también es buen conductor, y mucho más barato que los metales nobles, por eso se utiliza en las instalaciones eléctricas.

La resistencia (R) de un conductor se calcula según la fórmula $R = \rho \cdot l/S$, siendo l la longitud del conductor, S la sección o área del conductor y ρ la resistividad o resistencia específica.

El valor de la resistividad varía de un material a otro, como puede verse en la figura 68.

Tabla de resistividades	
Sustancia	$\rho = (\text{Ohm} \cdot \text{m})$
Conductores	
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Plata	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Aluminio	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Hierro	10^{-7}
Plomo	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Aislantes	
Madera	$10^8 - 10^{11}$
Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
Azufre	10^{15}

FIGURA 68

LEY DE OHM

El científico alemán Georg Simon Ohm (1789-1854) estableció la ley que relaciona las tres magnitudes eléctricas vistas hasta ahora: la diferencia de potencial entre dos puntos, la intensidad de corriente y la resistencia del conductor. Esta ley nos dice que la diferencia de potencial aplicada a un conductor es proporcional a la intensidad de la corriente. La constante de proporcionalidad es la resistencia del conductor. Lo expresaremos con la fórmula: $V - V' = R \cdot I$.

La ley de Ohm permite definir la unidad de resistencia en el SI como el cociente entre la diferencia de potencial y la intensidad: $R = V - V'/I$. Esta unidad recibe el nombre de ohmio, y se representa por la letra griega omega (Ω). Por consiguiente: $\Omega = V/A$.

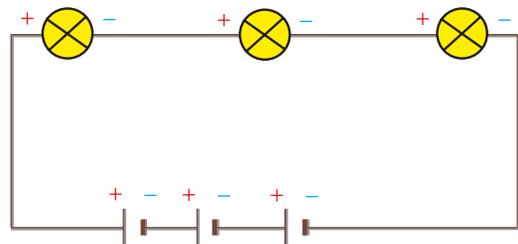
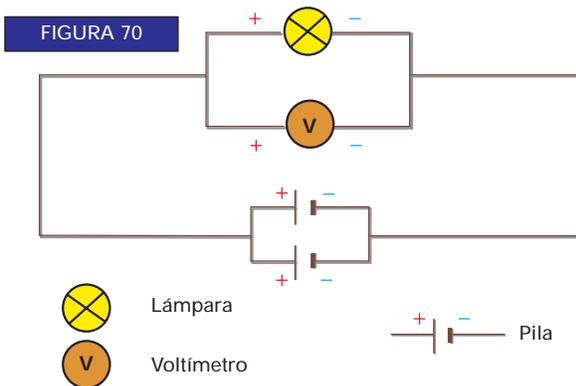
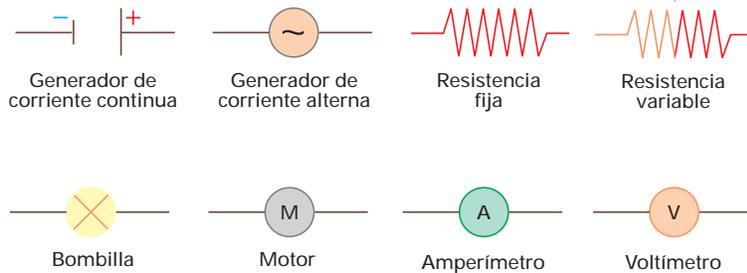
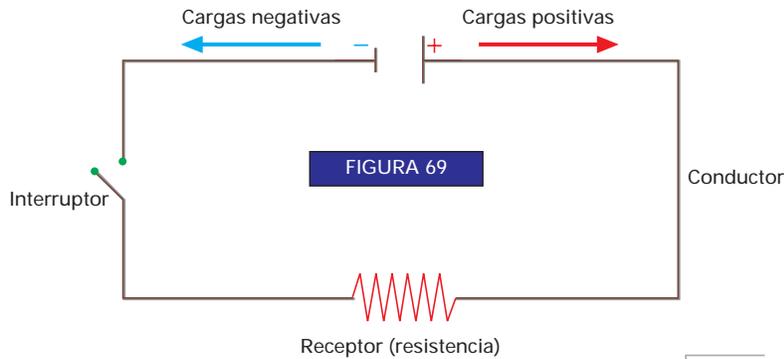
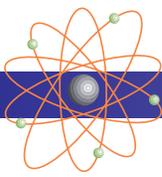


FIGURA 71

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Todo circuito eléctrico deberá constar de cuatro elementos básicos: generador, conductor, receptor e interruptor.

Todos estos elementos se presentan esquemáticamente con símbolos propios para cada uno, como se muestra en la figura 69.

Un elemento **receptor** es el que transforma la energía eléctrica en otras formas de energía. Una bombilla, un motor, por ejemplo, son elementos receptores.

El **interruptor** es una clavija situada en el conductor, que permite o evita el paso de corriente.

Los elementos de un circuito pueden montarse de dos formas diferentes. Tenemos una **conexión en paralelo** cuando conectamos los polos negativos de los elementos de un circuito entre sí, y de la misma forma, unimos todos los polos positivos (figura 70).

En una **conexión en serie** se une el polo negativo de un elemento al polo positivo del siguiente, y así sucesivamente (figura 71).

ENERGÍA Y POTENCIA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

En los circuitos eléctricos, el generador realiza un trabajo sobre cada carga para mantener la intensidad de corriente. La energía que el generador proporciona es igual al trabajo que realiza. Su expresión será: $W = q \cdot (V - V')$. Expresado en unidades del SI: julio = culombio-voltio, o $J = C \cdot V$.

Podemos modificar esta expresión recordando que $I = q/t$, de donde $q = I \cdot t$, y obtendremos $W = I \cdot t \cdot (V - V')$.

Si además aplicamos la ley de Ohm ($V - V' = I \cdot R$), nos queda otra expresión para el cálculo de la energía: $W = I \cdot t \cdot I \cdot R = I^2 \cdot R \cdot t$.

Estas expresiones son importantes para la resolución de ejercicios.

La **potencia** de la corriente eléctrica se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo: $P = W/t$.

Con las expresiones de energía, obtendremos para la potencia las siguientes: $P = I \cdot (V - V') = I^2 \cdot R$.

Sabemos que en el SI la potencia se mide en vatios (W).

De la definición de potencia podemos deducir que $W = P \cdot t$, y podemos calcular el trabajo o energía como el producto de la potencia por el tiempo. Si la potencia la expresamos en kW y el tiempo en horas, la unidad de energía que obtendremos será el kilovatio-hora (kWh), unidad que suele emplearse habitualmente para medir la energía eléctrica consumida en nuestras casas.

EFECTO JOULE

Cuando la corriente eléctrica atraviesa un circuito, sus elementos se calientan. Es lo que llamamos efecto calorífico de la corriente eléctrica.

Esto es debido a que los electrones que circulan por el conductor chocan con el resto del material y parte de su energía cinética (de movimiento) se transforma en energía térmica, que se libera en forma de calor.

Algunos aparatos eléctricos, como una plancha o una estufa, están contruidos con conductores de gran resistencia, de manera que cuando la corriente eléctrica circula por ellos experimentan un gran calentamiento, que es para lo que están diseñados.

El fenómeno por el cual en un conductor se transforma la energía eléctrica en calor se denomina efecto Joule.

A partir de la expresión de energía obtenida anteriormente: $W = R \cdot I^2 \cdot t$, podemos calcular la energía calorífica transformada.

Tradicionalmente, el calor se mide en calorías. Teniendo en cuenta la relación entre esta unidad y la unidad de energía en el SI: 1 julio = 0,24 calorías, obtendremos la expresión que nos permite calcular el calor desprendido por efecto Joule: $Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$.

EJERCICIOS

1. Calcula la resistencia de un hilo de cobre de 25 m de longitud y 0,6 mm de diámetro.

La resistividad del cobre es $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$.

Solución: El valor que se nos pide es $R = \rho \cdot l/S$.

Calcularemos el valor de la sección en el SI: $S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,3 \cdot 10^{-3}m)^2 = 2,8 \cdot 10^{-7} m^2$ y luego: $R = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m \cdot 25 m / 2,8 \cdot 10^{-7} m^2 = 1,5 \Omega$.

2. El hilo de cobre del ejercicio anterior se conecta a una pila de 4,5 V. ¿Qué intensidad de corriente circula por él?

Solución: Aplicaremos la ley de Ohm: $V - V' = I \cdot R$, y despejaremos el valor de la intensidad $I = V - V'/R = 4,5 V / 1,5 \Omega = 3A$.

3. Una plancha eléctrica está conectada a la red de 220 V y consume 1 kW de potencia. ¿Qué intensidad pasará por el circuito? ¿Cuál es la resistencia de la plancha? ¿Cuál será el coste de funcionamiento de la plancha durante 12 horas si el kWh cuesta 15 pesetas?

¿Qué calor desprenderá la plancha funcionando durante media hora?

Solución: De la plancha conocemos su potencia $P = 1000 W$, y la diferencia de potencial es $V - V' = 220 V$. Si $P = V \cdot I$, luego el valor de la intensidad será: $I = P/V = 1000 W / 220 V = 4,5 A$.

Para el cálculo de la resistencia aplicaremos la ley de Ohm: $V - V' = I \cdot R$, siendo $R = V - V'/I = 220 V / 4,5 A = 48,9 \Omega$.

El coste de funcionamiento lo calcularemos a partir de la energía consumida: $W = P \cdot t = 1 kW \cdot 12 h = 12 kWh$; $12 kWh \cdot 15 ptas/1 kWh = 180 ptas$.

El calor desprendido es $Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$, con todas las unidades en el SI: $Q = 0,24 \cdot 4,5^2 \cdot 48,9 \cdot 1800 = 427.777 cal = 427,8 kcal$.

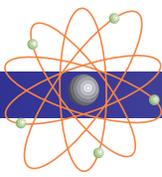
ELECTROMAGNETISMO

Hace 2000 años, los griegos y los chinos ya conocían los fenómenos magnéticos. Habían observado que cierto mineral procedente de una ciudad de Asia Menor llamada Magnesia era capaz de atraer trozos de metal. Este mineral estaba formado por un compuesto de hierro (Fe_3O_4) que llamaron magnetita. A principios del siglo XIX, el físico danés Hans Christian Oersted demostró que había una relación entre electricidad y magnetismo. Unos años más tarde, otro científico inglés, Michael Faraday, descubrió el efecto contrario, es decir, que los imanes podían crear electricidad. De esta manera surgió el electromagnetismo, que estudia la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos.

LOS IMANES

Los cuerpos que se comportan como imanes de forma espontánea se llaman imanes naturales, como la

magnetita. Los imanes artificiales son aquellos a los que el hombre les ha inducido las propiedades magnéticas. Estos imanes pueden ser permanentes, como los de acero, o temporales, como los de hierro dulce.



Además del hierro y sus aleaciones, presentan propiedades magnéticas el níquel y el cobalto, aunque con menor intensidad.

Los imanes tienen las formas que convenga, según el uso a que están destinados. Normalmente suelen ser en forma de barra, de herradura o de aguja. Una brújula es simplemente una aguja imantada.

Una de las características que tenemos que observar es que la atracción de un imán es máxima en los extremos y nula en la parte central. Llamamos **polo norte (N)** y **polo sur (S)** a los extremos del imán, y **línea neutra** al centro del imán. El polo norte es aquel que, en un imán que puede moverse libremente, se orienta hacia el norte geográfico, y el opuesto será el polo sur. El funcionamiento de una brújula se basa en esta orientación, que se produce porque la Tierra se comporta como un imán, debido a que en el núcleo, en estado fundido, existen sustancias magnéticas.

La separación de los polos es imposible. Cuando rompemos un imán, cada fragmento tiene su polo norte y su polo sur.

Si mantenemos suspendido de un hilo un imán recto, por su punto medio, y le acercamos otro imán de modo que los dos polos norte queden frente a frente, observaremos que se repelen mutuamente. En cambio, si enfrentamos un polo sur y un polo norte, hay una mutua atracción. Podemos decir que, como hemos visto también con las cargas eléctricas, los polos del mismo signo se repelen, y los polos de distinto signo se atraen.

CAMPO MAGNÉTICO

Tomamos un imán de barra y acercamos uno de sus polos a una mezcla de clavos de aluminio y de hierro. Los clavos de hierro son atraídos por el imán, mientras que los de aluminio no. Si hubiéramos acercado el otro polo, los resultados serían idénticos. No ocurrirá así en la zona neutra del imán. Un imán produce una perturbación en el espacio que lo rodea, dentro de la cual se manifiestan sus efectos, que se llama **campo magnético**.

El campo magnético se pone de manifiesto si introducimos en él cuerpos que son atraídos por el imán. Si los cuerpos están muy alejados, no sufren los efectos del magnetismo. Podemos decir que, sobre los cuerpos situados en un campo magnético, se ejerce una fuerza de acción a distancia.

Si colocamos sobre una cartulina limaduras de hierro, y debajo de ella un imán recto, las limaduras se organizarán en líneas que parecen partir de los extremos del imán y se dirigen en todas direcciones. A estas líneas las llamamos **líneas de fuerza**, y las utilizaremos para representar gráficamente un campo magnético (figura 72).

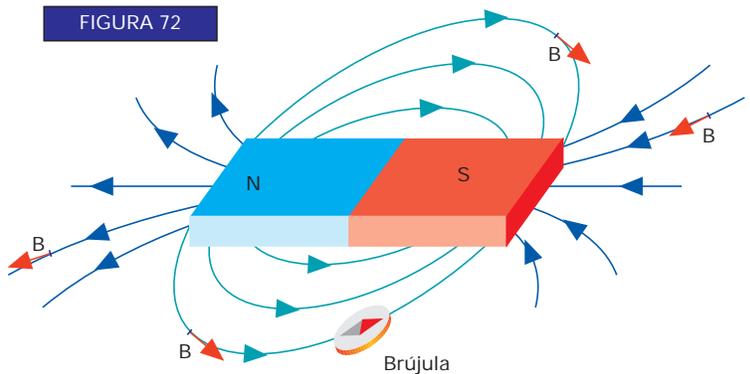


FIGURA 72

El sentido de las líneas de fuerza se representa mediante una punta de flecha. De forma convencional, se ha decidido que salen del polo norte y entran por el polo sur.

Si el imán tiene forma de herradura, la representación de las líneas de fuerza es la que se muestra en la figura 73.

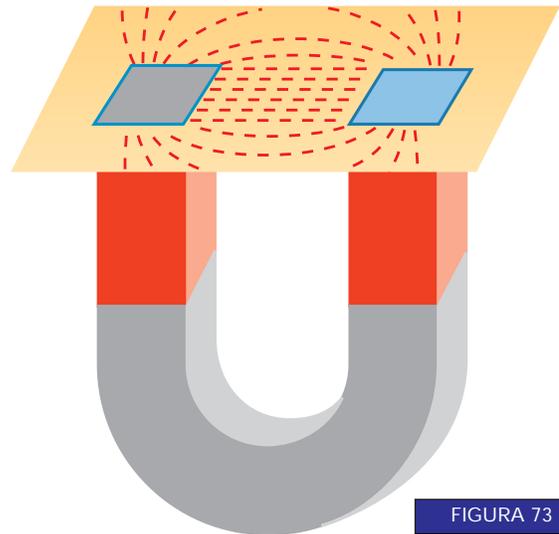
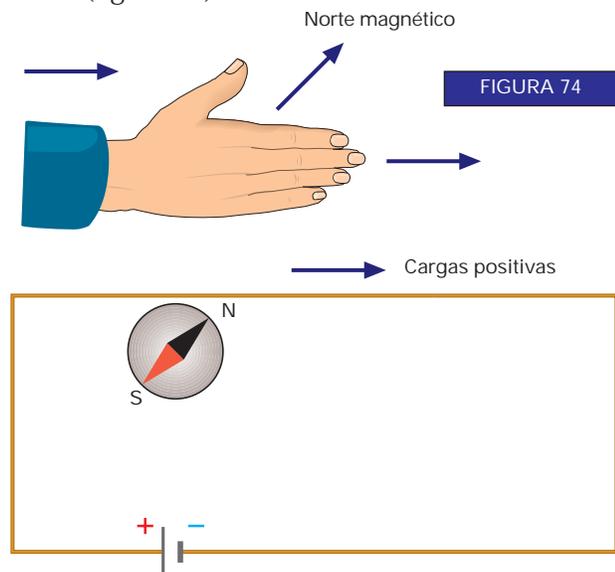


FIGURA 73

ELECTROMAGNETISMO

En 1820, el físico y químico danés Hans Christian Oersted observó que una aguja imantada (una brújula), cuando estaba cerca de un conductor recorrido por una corriente eléctrica, se desviaba y se colocaba perpendicular a la dirección

de la corriente. Al conectar los polos del generador al revés, para cambiar el sentido de la corriente, la aguja se desviaba también en dirección perpendicular, pero con los polos en sentido contrario (figura 74).



De esta experiencia Oersted dedujo que un conductor por el que circula una corriente eléctrica crea un campo magnético.

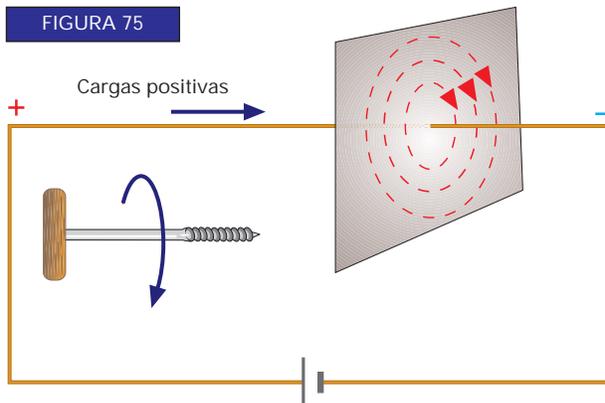
Para determinar el sentido de la desviación de la aguja magnética se utiliza la «regla de la mano derecha». Colocando la mano derecha sobre el hilo conductor, de tal manera que el sentido convencional de la corriente entre por la muñeca y salga por los dedos, el dedo pulgar nos indicará hacia dónde está el polo norte del campo magnético.

Llegados a este punto, podemos extraer ahora algunas conclusiones. Un imán crea un campo magnético; una corriente eléctrica también crea un campo eléctrico en las cercanías del conductor. Diremos que la corriente eléctrica crea un campo electromagnético.

El electromagnetismo estudia las relaciones entre las corrientes eléctricas y los fenómenos magnéticos.

Campo magnético creado por una corriente rectilínea

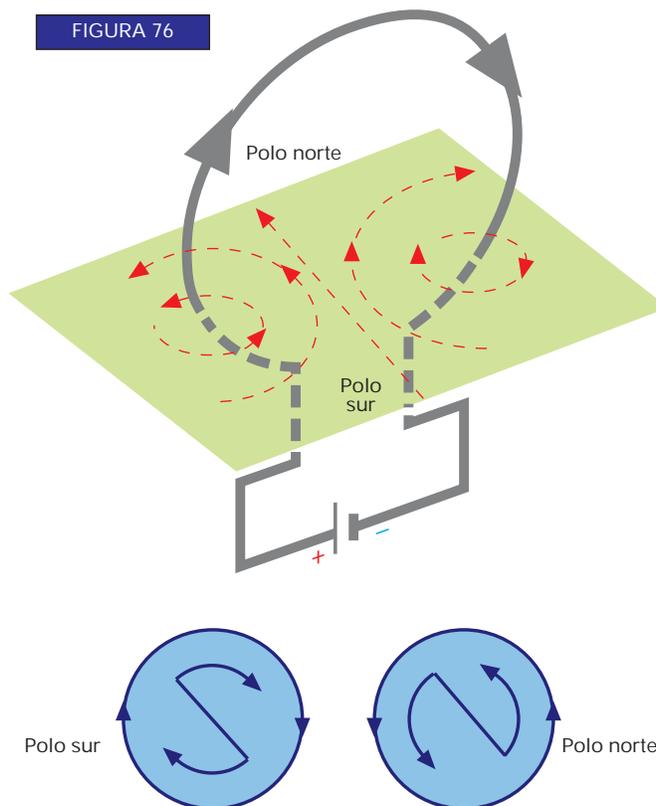
Para estudiar el campo magnético creado por una corriente rectilínea, atravesamos una cartulina con un hilo conductor que conectamos a los polos de un generador. Si dejamos caer limaduras de hierro alrededor del hilo, se orientan formando círculos concéntricos: son las líneas de fuerza.



Una regla práctica para determinar el sentido de las líneas es la regla de Maxwell o «regla del sacacorchos»: el sentido de las líneas de fuerza coincide con el que tendría un sacacorchos que avanzara en el mismo sentido que la corriente (figura 75).

Campo magnético creado por una corriente circular

Un conductor de forma circular se denomina también *espira*. Experimentalmente, se comprueba que las líneas de fuerza son como las descritas para el conductor recto en cada una de las dos intersecciones del conductor con el plano horizontal (figura 76).



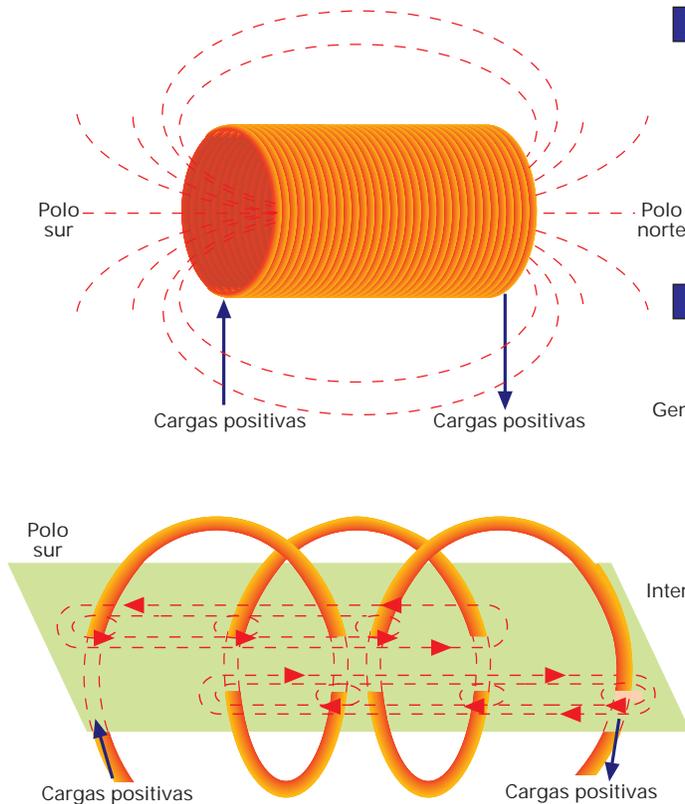
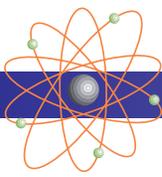
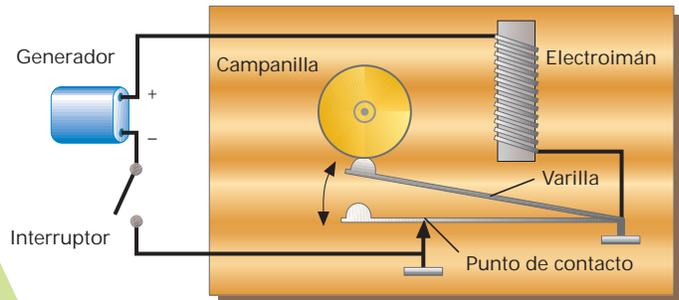


FIGURA 77

FIGURA 78



Polo norte

Una espira se comporta como un pequeño imán. Si observas la cara delantera, comprobarás que todas las líneas entran por ella. Como en los imanes, diremos que esta es la cara sur. En ella circula la corriente en el mismo sentido que las agujas del reloj. La cara posterior será la cara norte, de ella salen las líneas de fuerza, y la corriente circula en sentido contrario a las agujas del reloj.

Si en lugar de una espira tomamos un hilo conductor y lo arrollamos en hélice formando un conjunto de espiras iguales, paralelas y recorridas por una misma corriente, obtendremos un **solenoides** o **bobina** (figura 77).

Un solenoide se comporta como un imán recto, con sus dos polos, con la particularidad de que en su interior, al sumarse todos los efectos de las espiras, se crea un campo magnético muy intenso.

Electroimanes

Si se introduce en el interior de un solenoide un núcleo de hierro dulce, el campo magnético se hace mucho más intenso. El aumento del campo magnético es debido a que el hierro dulce se imanta y produce su propio campo magnético, que se suma al del solenoide. El conjunto es un **electroimán**. Al cesar el paso de la corriente, el

solenoides no se imanta y el campo desaparece, es decir, es un imán temporal.

Los electroimanes se usan en los timbres, el telégrafo, las grúas electromagnéticas, etc.

En el esquema de un timbre eléctrico de la figura 78 podemos observar el funcionamiento de un electroimán.

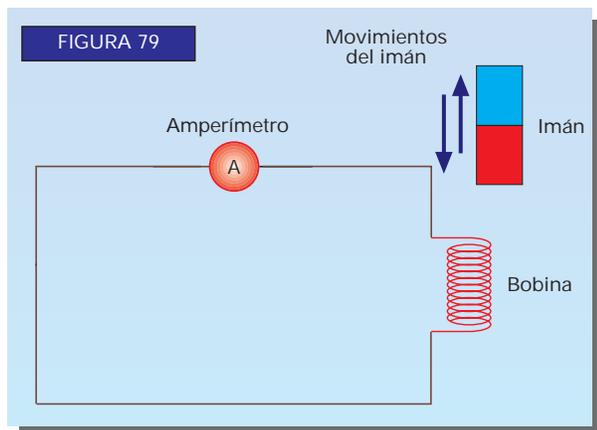
Con el circuito abierto no pasa corriente, y el electroimán no actúa. Al cerrar el circuito, apretando el pulsador, el electroimán se convierte en un imán y atrae la varilla metálica que golpea la campanilla. En ese momento se abre el circuito, y cesa la atracción, la varilla metálica vuelve a su posición inicial y cierra nuevamente el circuito. El proceso se repite mientras se mantiene pulsado el interruptor.

CORRIENTES INDUCIDAS. CORRIENTE ALTERNA

El físico inglés Michael Faraday, en el año 1831, demostró que en determinadas condiciones un campo magnético crea una corriente eléctrica. Conectó una bobina a un amperímetro (figura 79) y, al acercar rápidamente un imán a la bobina, el amperímetro señalaba un paso de corriente. Si en lugar de acercar el imán lo alejamos, la corriente tiene sentido contrario. Y si acercamos o alejamos la bobina en lugar del imán, se obtiene el mismo resultado.

Un imán en movimiento crea una corriente eléctrica en un hilo conductor, que se denomina **corriente inducida**.

La aplicación más importante de la inducción es la producción de corriente eléctrica. Si hace-



mos girar la espira en el campo magnético del imán, se produce una corriente inducida (figura 80). Cada media vuelta de la espira, la corriente cambia de sentido: es una corriente alterna. La

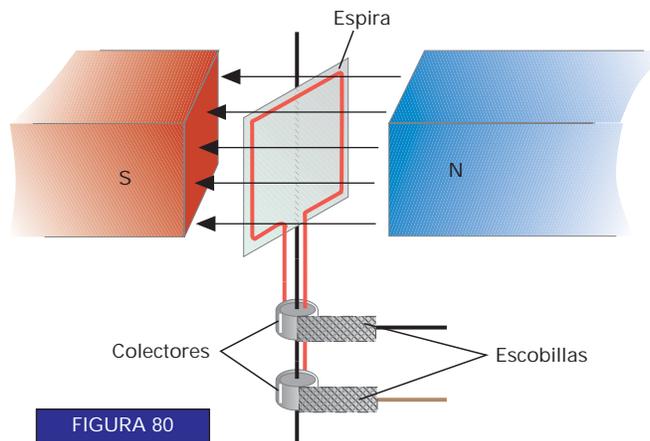


FIGURA 80

alternancia tiene lugar 50 veces por segundo, y se denomina frecuencia de la corriente alterna. Hemos construido un generador de corriente alterna que se llama **alternador**.

PROPAGACIÓN DE LA LUZ

Sabemos por experiencia que en la oscuridad no podemos ver los objetos. A través de nuestros ojos, recibimos información sobre la forma, el color o la posición de las cosas que nos rodean gracias a la luz. Pero el concepto de luz es más amplio. Hay radiaciones luminosas, como los rayos infrarrojos, los ultravioletas o los rayos X, que no las detecta el ojo humano.

La luz es la manifestación de un tipo de energía, la energía luminosa, cuya fuente natural es el Sol. El estudio de la luz y de los fenómenos luminosos constituyen una parte de la física que denominamos óptica.

FUENTES DE LUZ

El Sol, las estrellas, una lámpara y en general todos los cuerpos que emiten luz, se llaman **cuerpos luminosos** o **fuentes primarias de luz**. Los demás objetos, como un árbol, una casa, un libro, también son visibles, aunque no sean productores de luz, y constituyen los cuerpos iluminados, los cuales reflejan sobre nuestros ojos la luz que reciben de un cuerpo luminoso. Como todo objeto iluminado también nos envía luz, decimos que es una **fente de luz secundaria**. Por tanto, todos los objetos que vemos son fuentes de luz, bien porque ellos mismos emiten luz, bien porque reflejan la luz recibida.

Un objeto iluminado envía luz en todas direcciones, y se dice que difunde la luz. Si se extingue la fuente primaria de luz, dejamos de ver los cuerpos iluminados, produciéndose la oscuridad.

Una excepción la constituyen las llamadas sustancias fosforescentes, que siguen emitiendo luz cuan-

do ya no están siendo iluminadas. Estas sustancias se utilizan, por ejemplo, en los números de la esfera del reloj, para ver la hora aun en la oscuridad.

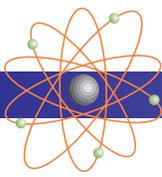
Los cuerpos iluminados se clasifican según la cantidad de luz que dejan atravesar. Cuerpos **transparentes** son aquellos que dejan pasar la luz y permiten observar los objetos que tienen detrás, por ejemplo, el aire, el agua o el cristal.

Cuerpos **traslúcidos** son los que dejan pasar parcialmente la luz, pero no permiten distinguir la forma de los objetos a su través, por ejemplo, el cristal esmerilado, el papel vegetal o el papel de fumar.

Cuerpos **opacos** son aquellos que no dejan pasar la luz, como la madera, los metales, etc.

TRAYECTORIA DE LA LUZ

Posiblemente habrás observado que la luz del Sol, al filtrarse entre las hojas de los árboles de un bos-



que, se propaga en línea recta. Una pequeña abertura en una ventana de una habitación oscura nos permite también observar la trayectoria recta de la luz, cuando llega al suelo o a las paredes.

Basándonos en estas observaciones, podemos afirmar que la luz se propaga en línea recta. La recta que indica la dirección de propagación de la luz se le llama **rayo luminoso**. Un conjunto de rayos que parten de un punto se denomina **haz de rayos**.

Si en el interior de una caja colocamos una bombilla y hacemos pequeños agujeros al azar en todas las paredes, observaremos que la luz sale por todos los orificios, es decir, se propaga en todas direcciones.

Todo lo anterior podemos resumirlo en la primera ley de la óptica: en un medio homogéneo, la luz se propaga en línea recta y en todas direcciones.

SOMBRAS, PENUMBRAS Y ECLIPSES

Una consecuencia de la propagación rectilínea de la luz es la formación de sombras y penumbras, que se producen cuando un rayo luminoso encuentra en su camino un cuerpo opaco.

Observa la figura 81. Colocamos una fuente luminosa, el foco, un cuerpo opaco y, a una determinada distancia, una pantalla para observar los efectos. El resultado obtenido en la pantalla nos permite diferenciar tres zonas: una zona iluminada donde llegan todos los rayos de luz; una zona donde llegan solamente algunos rayos, que llamaremos penumbra, y una última zona donde no llega ningún rayo, y que llamamos zona de sombra.

Los eclipses son fenómenos naturales de formación de sombras y penumbras, que se producen periódicamente debido al movimiento de la Tierra, la Luna y el Sol (figura 82).

Un eclipse de Sol se produce cuando se sitúa la Luna entre la Tierra y el Sol. En un eclipse de Luna, es la Tierra la que se interpone entre el Sol y la Luna.

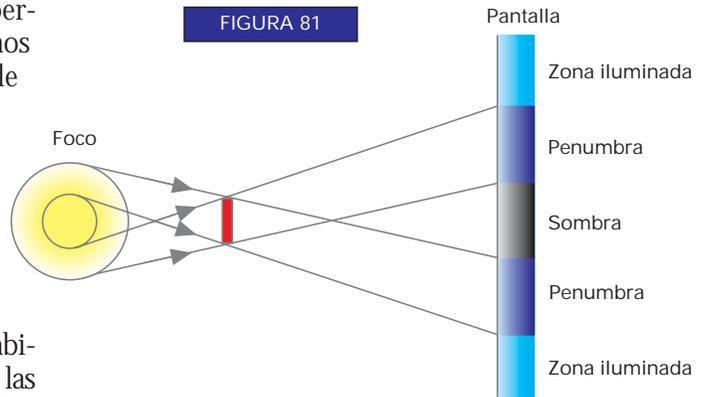


FIGURA 81

VELOCIDAD DE LA LUZ

La luz que nos llega del Sol ha tenido que recorrer enormes distancias, y se propaga con tanta rapidez que antiguamente se creía que la luz se percibía instantáneamente. El primero que intentó medir la velocidad de la luz fue Galileo. Pero no pudo llegar a encontrar valor alguno, y concluyó que la luz viajaba con velocidad infinita.

Después de Galileo, serían muchos los científicos que por distintos procedimientos intentarían encontrar el valor más exacto para esta velocidad. Hoy en día se admite el valor promedio de 300.000 km/s para la velocidad de propagación

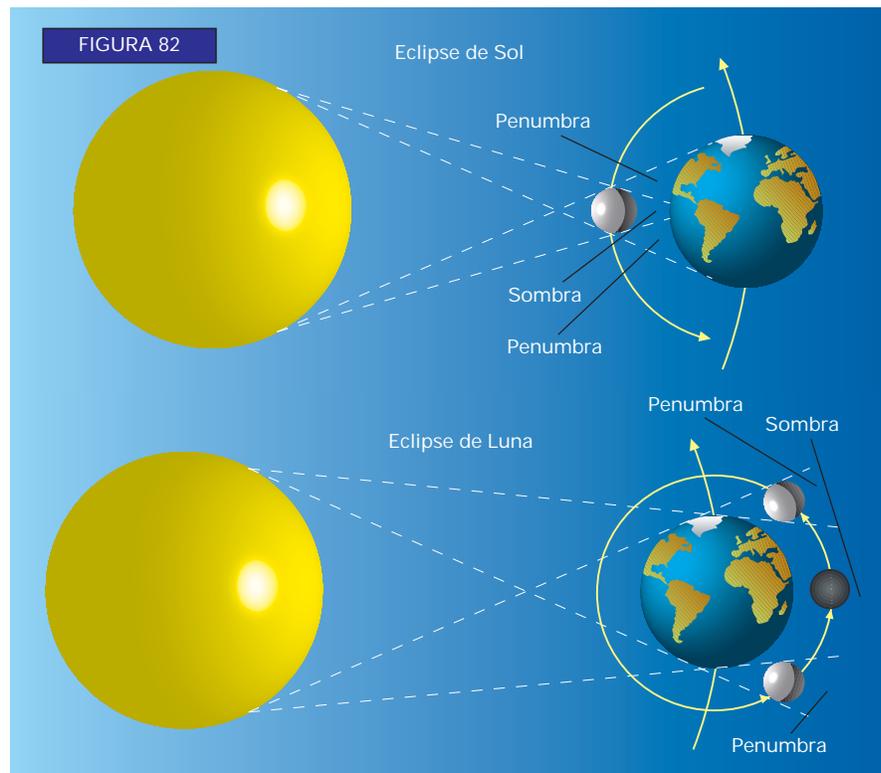


FIGURA 82

de la luz en el vacío o en el aire. Esta velocidad es constante, por tanto, el movimiento de la luz es un caso de movimiento rectilíneo uniforme.

A pesar del valor tan elevado de esta velocidad, la luz del Sol tarda algo más de 8 minutos en llegar a la Tierra. Por esta razón, en los cálculos astronómicos se emplea una unidad llamada **año luz**, que es la distancia recorrida por la luz durante un año. Si un año tiene 31.536.000 segundos, y la luz viaja a 300.000 km/s, en un año recorre:

$$300.000 \text{ km/s} \cdot 31.536.000 \text{ s} = 9.460 \text{ millones de kilómetros.}$$

Índice de refracción

En otros medios, que no sean el aire o el vacío, la luz se propaga con menor velocidad. Así, por ejemplo, la velocidad de propagación de la luz en el agua es de 225.000 km/s, y en el diamante, de 125.000 km/s.

Cada uno de los medios transparentes posee una característica propia que llamaremos **índice de refracción**.

El índice de refracción de un medio se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho medio: $n = c/v$, siendo n el índice de refracción del medio, c la velocidad de la luz en el vacío y v la velocidad de la luz en el medio. El valor de n es siempre mayor que la unidad, ya que, según afirmó Einstein, la velocidad de la luz en el vacío es la máxima que se puede alcanzar en el universo.

EJERCICIOS

1. ¿A qué distancia estamos del Sol, si su luz tarda en llegar a la Tierra 8 minutos y 30 segundos?

Solución: En un MRU calculamos la distancia según la fórmula $e = v \cdot t$: sabemos que el tiempo empleado es $t = 8 \text{ min } 30 \text{ s} = 510 \text{ s}$, y la velocidad $v = 300.000 \text{ km/s} \cdot 510$; luego, la distancia será $e = 153.000.000 \text{ de km}$.

2. Calcular la velocidad con que se propaga la luz en un vidrio de índice de refracción 1,85.

Si $n = c/v$, despejamos $v = c/n = 300.000/1,85 = 162.162,2$. Es decir, $162.162,2 \text{ km/s}$.

ESPEJOS Y LENTES

Cuenta la leyenda que el sabio griego Arquímedes, en el siglo III a.C., con ayuda de grandes espejos, consiguió reflejar y concentrar los rayos del Sol sobre las velas de las naves romanas que asediaban la ciudad de Siracusa, para quemarlas. A finales del siglo XVI, el físico italiano Galileo Galilei fabricó el primer telescopio que permitió la observación de los astros.

Así, por medio de instrumentos apropiados, los seres humanos han aprendido a dominar la luz y a utilizar sus propiedades (gafas, microscopio, cámara fotográfica, etc.).

La óptica es la parte de la física que estudia la luz y los fenómenos luminosos. La óptica geométrica basa su estudio en tres leyes fundamentales: la ley de la propagación rectilínea de la luz, la ley de la reflexión y la ley de la refracción. La primera se ha explicado al tratar de la propagación de la luz.

REFLEXIÓN DE LA LUZ

Cuando la luz, que se propaga a través de un medio, encuentra en su camino la superficie de separación con otro medio, puede rebotar y volver al mismo medio en que se propagaba, cambiando su dirección pero conservando la misma velocidad. Es la reflexión de la luz (figura 83).

Las superficies pulimentadas que reflejan totalmente la luz se denominan **espejos**. Los rayos paralelos que llegan a un espejo siguen paralelos después de reflejarse, y se dice que se ha producido una **reflexión especular**. Si la superficie es irregular, un haz de rayos paralelos se refleja en distintas direcciones. Es una **reflexión difusa**. Estudiaremos la reflexión especular, ya que la difusa es impredecible.

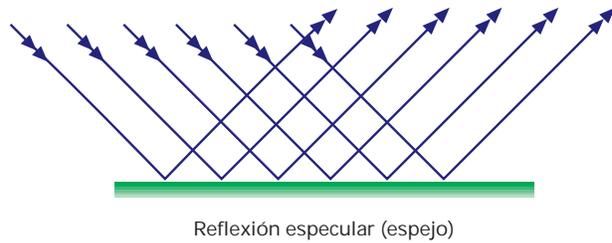
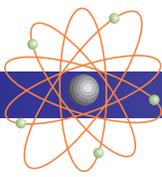
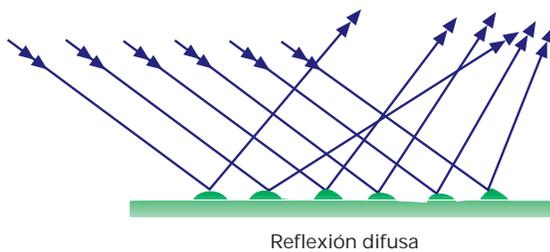


FIGURA 83



Elementos de la reflexión

Los parámetros necesarios para estudiar la reflexión de la luz están representados en la figura 84. Se llama **rayo incidente** el rayo luminoso que llega al espejo procedente de la fuente luminosa; **rayo reflejado** es el que sale del espejo una vez producida la reflexión; se llama **normal**: la recta perpendicular al espejo en el punto de contacto; **ángulo de incidencia**, el ángulo que forma el rayo incidente con la normal; y **ángulo de reflexión**, el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal.

Leyes de la reflexión

Estas leyes nos servirán para entender cómo se forman las figuras en los espejos. Digamos antes que un espejo está formado por una superficie de vidrio cubierta por detrás con una fina película de plata. También puede consistir en una simple placa de metal pulido.

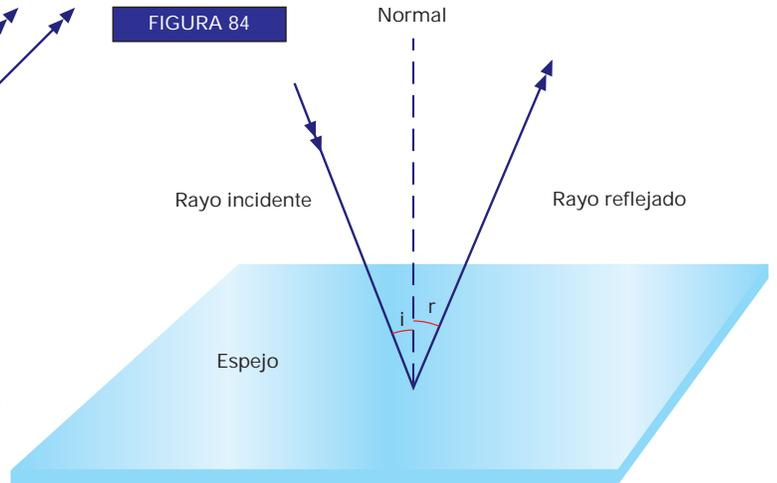
Primera ley: el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal se encuentran todos en el mismo plano.

Segunda ley: el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

Los enunciados de estas leyes se pueden comprobar en la figura 84.

Los espejos, según la forma de la superficie, se clasifican en **planos** y **curvos**. Los espejos que se curvan hacia fuera se llaman **espejos convexos**, y los que se hunden por el centro son **espejos cóncavos**.

FIGURA 84



IMÁGENES EN ESPEJOS PLANOS

Cuando te miras en un espejo, ves tu imagen reflejada en él. Podemos definir esta imagen como la reproducción de un objeto por medios ópticos.

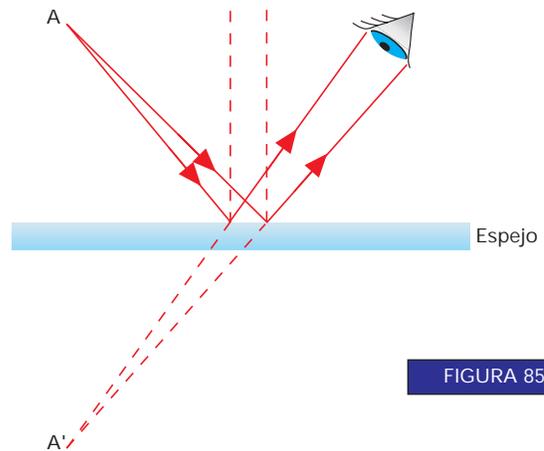


FIGURA 85

Observa cómo se construye la imagen en un espejo plano (figura 85). Si el objeto es un punto A, los rayos luminosos procedentes de un foco luminoso inciden sobre el espejo y se reflejan cumpliendo las leyes de la reflexión. De todos estos rayos, sólo se han representado en la figura los que se dirigen al ojo de un observador. Si trazamos las prolongaciones de los rayos reflejados, veremos que se cortan en el punto A'. El ojo del observador cree que el objeto está en el punto A', al otro lado del espejo. Las imágenes que se forman prolongando los rayos reflejados se denominan **imágenes virtuales**, ya que son una ilusión óptica. También observamos que el objeto y la imagen son simétricos con respecto al espejo: la distancia del objeto al espejo es igual que la distancia del espejo a la imagen virtual.

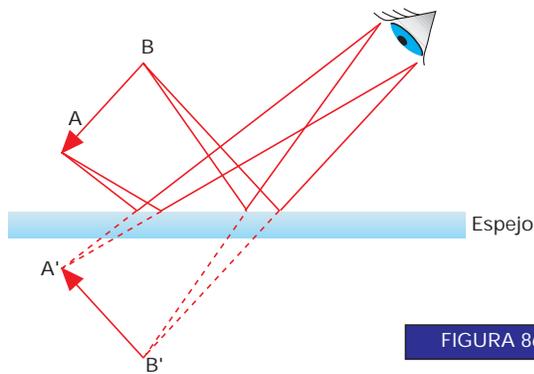


FIGURA 86

Si el objeto tiene cierta longitud (figura 86), deberíamos buscar la imagen de cada uno de sus puntos. Sin embargo, basta considerar los puntos extremos A y B .

De la experiencia, deducimos que la imagen de un objeto en un espejo plano es virtual, simétrica, del mismo tamaño y derecha, es decir, aparece en la misma posición que el objeto.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Habrás observado alguna vez que las piscinas parecen más profundas de lo que realmente son, o que un lápiz introducido en un vaso de agua parece roto o torcido (figura 87). Todos estos fenó-

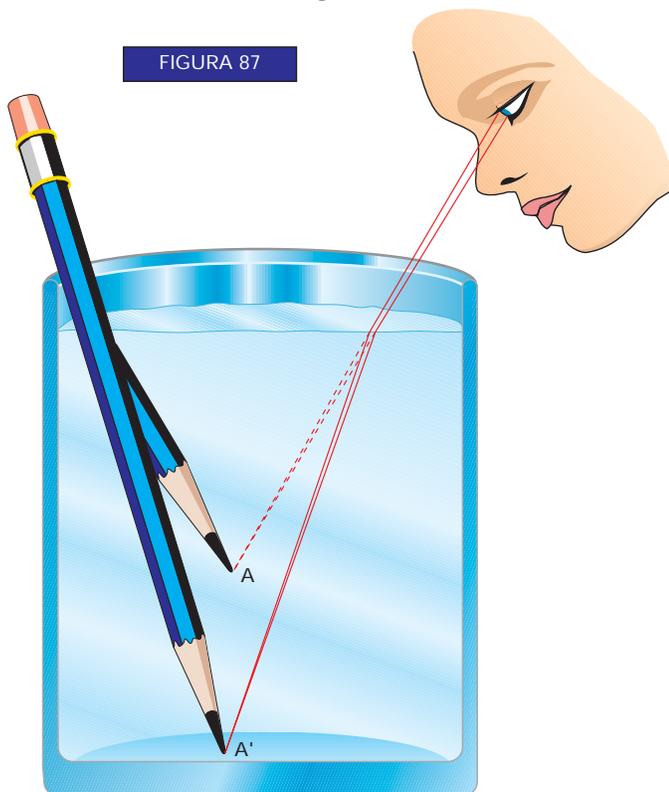


FIGURA 87

menos son debidos a la refracción de la luz: es el cambio de velocidad que experimenta la luz al pasar de un medio (como el aire) a otro distinto (como el vidrio o el agua).

Describiremos los elementos que intervienen en la refracción, representados en la figura 88. Se llama **rayo incidente** el que se propaga en el primer medio; el **rayo refractado** es el que se propaga en el segundo medio; se llama **normal** la recta perpendicular a la superficie de separación de ambos medios en el punto de incidencia; **ángulo de incidencia**, el formado por el rayo incidente y la normal; y **ángulo de refracción** el que forman el rayo refractado y la normal.

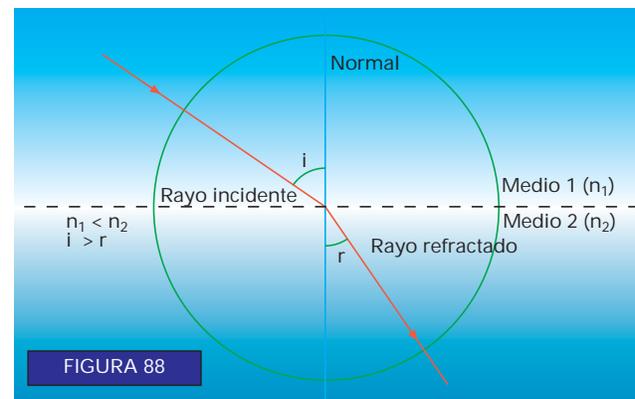


FIGURA 88

Leyes de la refracción

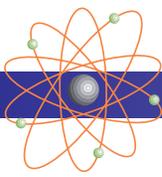
Las leyes de la refracción explican el comportamiento de la luz al pasar de un medio a otro.

Primera ley: el rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en un mismo plano.

Segunda ley: la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una cantidad constante, llamada **índice de refracción** del segundo medio con relación al primero.

Podemos representar matemáticamente esta ley como: $\text{sen } i / \text{sen } r = n$, donde n es el índice de refracción del segundo medio, n_2 , con relación al primero, n_1 . Puesto que conocemos los índices de refracción de todos los medios, utilizaremos como ecuación fundamental para el estudio del fenómeno de la refracción la siguiente: $\text{sen } i / \text{sen } r = n_2 / n_1$, de donde $n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$.

De la expresión anterior podemos deducir que si un rayo pasa de un medio de menor índice de refracción (aire, $n_1 = 1$) a otro de mayor índice de refracción (agua, $n_2 = 1,3$), se acerca a la normal. Por el contrario, cuando pasa de un medio de mayor índice de refracción (agua) a otro de menor índice (aire), se aleja de la normal.



LAS LENTES

Las lentes tienen importantes aplicaciones. Se usan para corregir los defectos de la visión en el hombre, para construir lupas y binoculares, objetivos de cámaras fotográficas, etc.

Las lentes son medios transparentes, limitados generalmente por dos superficies curvas o bien por una superficie plana y otra curva.

Al incidir sobre una lente, un rayo luminoso sufre dos refracciones sucesivas al atravesar las dos caras.

Hay diferentes clases de lentes, según la forma de las superficies curvas que las limitan. Las más importantes son las lentes esféricas delgadas. Se pueden clasificar en **convergentes** y **divergentes** (figura 89). Las primeras se llaman así porque tienden a unir (converger) los rayos que las atraviesan, mientras que las segundas tienden a separarlos (divergir).

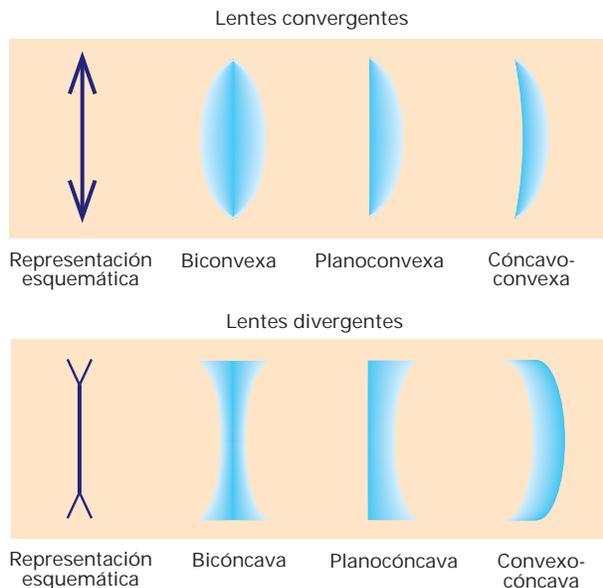


FIGURA 89

Las lentes convergentes son más gruesas en el medio que en los extremos. Pueden ser de tres tipos: biconvexas, planoconvexas y cóncavo-convexas. Las lentes divergentes son más gruesas en los extremos que en el medio. Podemos clasificarlas en bicóncavas, planocóncavas y convexo-cóncavas.

Elementos geométricos de una lente

En la figura 90 están representados los elementos de una lente: centros de curvatura, los centros de

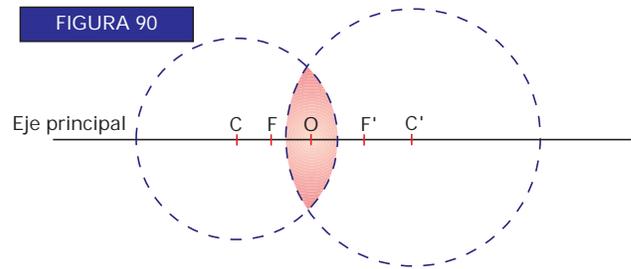


FIGURA 90

las superficies esféricas que forman las caras (C y C'); **centro óptico**, el centro geométrico de la lente (O); **eje principal**, la recta que une los centros de curvatura; **eje secundario**, cualquier recta que pase por el centro óptico; **focos**, los puntos donde concurren los rayos paralelos al eje principal después de atravesar la lente (foco real: F) o sus prolongaciones (foco virtual: F'); **distancia focal**, la que va desde el foco al centro óptico; y **potencia de una lente**, la inversa de su distancia focal (si ésta se expresa en metros, la potencia se obtiene en dioptrías).

Construcción geométrica de las imágenes

Para calcular la imagen de un objeto a través de una lente convergente, deberemos tener en cuenta las reglas que nos indican la trayectoria que siguen los rayos luminosos: 1) todo rayo paralelo al eje principal se refracta pasando por el foco; 2) todo rayo que pasa por el centro óptico no se desvía; y 3) todo rayo que pasa por el foco se refracta paralelo al eje principal.

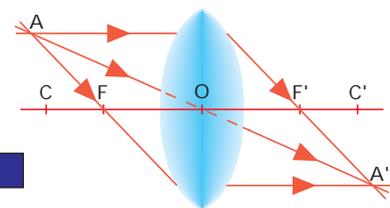


FIGURA 91

En la figura 91, la imagen del punto A se obtendrá en el punto A' de concurrencia de los rayos. Obtenemos una imagen real, ya que se cortan los rayos y no sus prolongaciones. Consideremos ahora objetos de un determinado tamaño AB (figura 92), a partir de los cuales la imagen que se obtendrá dependerá de la situación del objeto:

Objeto situado más allá del foco: la imagen obtenida es invertida y real, y su tamaño depende de la distancia al foco.

Objeto situado en el foco: no se formará imagen, pues los rayos emergentes son paralelos. Se dice que se forma en el infinito.

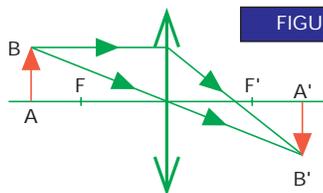
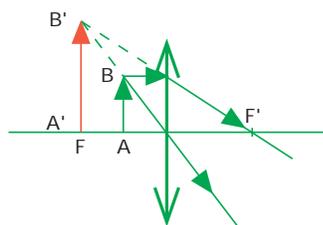
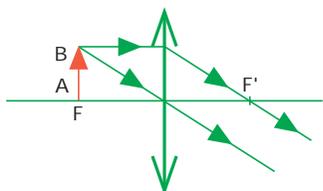


FIGURA 92

Objeto situado entre el foco y el centro de curvatura: la imagen es derecha, mayor y virtual (formada por la prolongación de los rayos).



En las lentes divergentes, las imágenes se obtienen aplicando las mismas propiedades de los rayos luminosos (figura 93). En todos los casos las imágenes obtenidas serán virtuales, menores, derechas y al mismo lado del objeto, independientemente de dónde esté situado.

LOS INSTRUMENTOS ÓPTICOS

El ojo humano tiene una serie de limitaciones para poder percibir objetos muy pequeños o muy alejados, y necesita la ayuda de los instrumentos ópticos. Estos instrumentos utilizan combinacio-

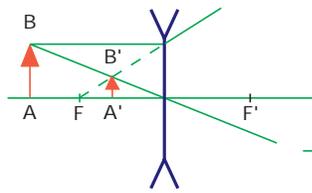


FIGURA 93

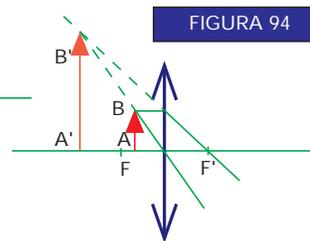


FIGURA 94

nes de espejos y lentes para ampliar los límites de la observación directa.

La lupa o microscopio simple es una lente convergente de gran distancia focal. Para utilizarla, es preciso colocar el objeto cerca del foco, tanteando la distancia hasta obtener una imagen clara. Si construimos geoméricamente la imagen, obtendremos una imagen virtual, derecha y mayor (figura 94).

La cámara fotográfica consiste en una lente convergente colocada en una cámara oscura. Produce una imagen real, menor e invertida, sobre una placa sensible a la acción de la luz (figura 95).

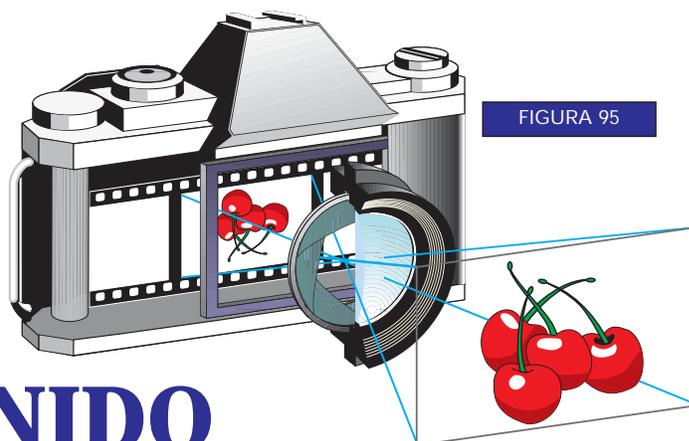


FIGURA 95

EL SONIDO

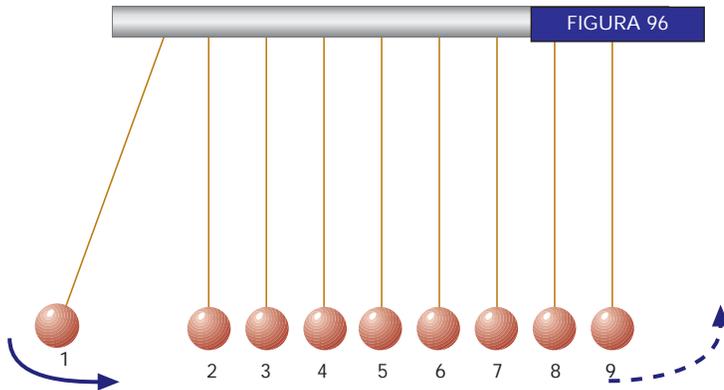
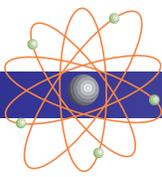
Quando chasqueamos los dedos, o cuando damos una palmada, se produce una perturbación que hace vibrar el aire desplazándolo, y percibimos un sonido que detecta el oído. El sonido se produce debido al movimiento organizado de grandes cantidades de moléculas en el medio que lo transmite.

La acústica es la parte de la física que estudia la naturaleza del sonido, la forma en que se propaga y los fenómenos que lo producen. La investigación en el campo de la acústica ha desembocado en aplicaciones importantes en la transmisión, reproducción o amplificación del sonido, en el aislamiento acústico de los edificios o en el uso que se da a los ultrasonidos.

MOVIMIENTO ONDULATORIO

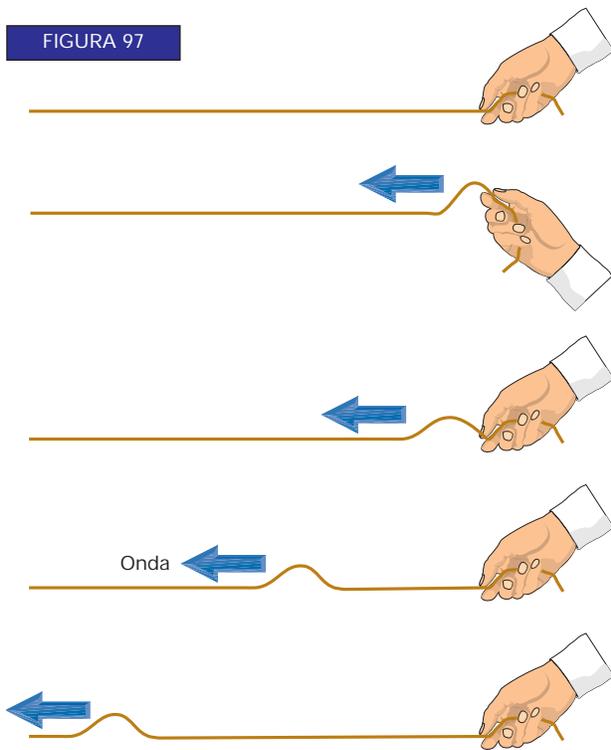
Una onda se define como una perturbación en movimiento. La forma de desplazarse de una onda consiste en un movimiento ondulatorio. Cuando un cuerpo se desplaza alrededor de su

posición de equilibrio con movimientos de vaivén, se dice que posee un movimiento ondulatorio. Movimientos de este tipo pueden conseguirse con facilidad. Tomemos, por ejemplo, una serie de péndulos dispuestos como en la figura 96 y analicemos lo que ocurre. Si separamos el prime-



ro y lo dejamos caer, observaremos cómo se transmite este movimiento a través de los péndulos intermedios, pero veremos que sólo el último se separa de la posición de equilibrio, exactamente a igual distancia que el primero. Ha habido un transporte de energía a través de todos ellos.

Al hacer oscilar una cuerda con la mano, se transmite una perturbación que va avanzando sin transporte de materia (figura 97). En un instante, esta perturbación tiene una forma concreta que constituye lo que llamamos «onda».



Al dejar caer una piedra en las aguas remansadas de un estanque, verás cómo se forman ondas circulares alrededor del punto donde ha caído la piedra, y cómo estas ondas se alejan hacia fuera.

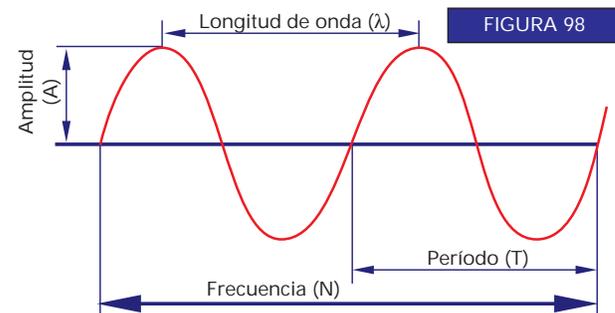
Podemos decir que un movimiento ondulatorio es una perturbación que se propaga por el espacio sin que tenga lugar transporte de materia.

Elementos del movimiento ondulatorio

En la figura 98 se representa una onda, donde podemos ver los elementos necesarios para su estudio.

Longitud de onda: es la distancia entre dos puntos similares de la onda. Se representa por la letra griega lambda (λ) y se expresa en metros.

Amplitud de onda: es el máximo valor del desplazamiento. Su símbolo es la letra A .



Frecuencia: se define como el número de vibraciones que se producen en un segundo. Se representa por la letra N , y su unidad es el **hertzio** (Hz).

Período: es el tiempo empleado en una vibración. Se representa por la letra T y se mide en segundos. El período y la frecuencia son valores inversos, es decir, $T = 1/N$, o bien $N = 1/T$.

Velocidad de propagación: el movimiento ondulatorio es un movimiento uniforme. La velocidad de propagación se calculará como el espacio recorrido en la unidad de tiempo.

TIPOS DE ONDAS

Las ondas que requieren un soporte material para su propagación son las **ondas mecánicas** u **ondas materiales**. Son de esta clase las ondas producidas en el agua al dejar caer una piedra, o las ondas sonoras, que se propagan a través del aire o de otros cuerpos.

Las ondas capaces de transmitirse sin necesidad de medio material alguno son las **ondas electromagnéticas**, como la luz o las ondas de radio, que pueden transmitirse en el vacío.

Si tenemos en cuenta la dirección de propagación de las ondas, distinguiremos entonces dos formas de ondas. Llamamos **ondas transversales** a

aquellas que presentan un movimiento perpendicular a la dirección de propagación. Así se propagan las ondas en la cuerda del ejemplo anterior. En cambio, **ondas longitudinales** son aquellas en que la dirección de vibración de las partículas coincide con la dirección de propagación. Es el caso del movimiento de los péndulos o de las ondas sonoras.

EL SONIDO COMO MOVIMIENTO ONDULATORIO

El sonido es un caso particular de movimiento ondulatorio que se propaga por un medio material, como puede ser el aire u otro cualquiera.

Se precisan tres procesos distintos y consecutivos para que el sonido se produzca. En primer lugar, es necesario el agente productor o **emisor** de las vibraciones, como una cuerda de guitarra o la acción de golpear levemente con la uña una copa de cristal (figura 99). Hace falta luego un medio material que actúe de agente **transmisor**, como, por ejemplo, el aire. Y, por último, se requiere aún un agente **receptor** donde se proceda a su interpretación, que puede ser, simplemente, el oído de una persona.

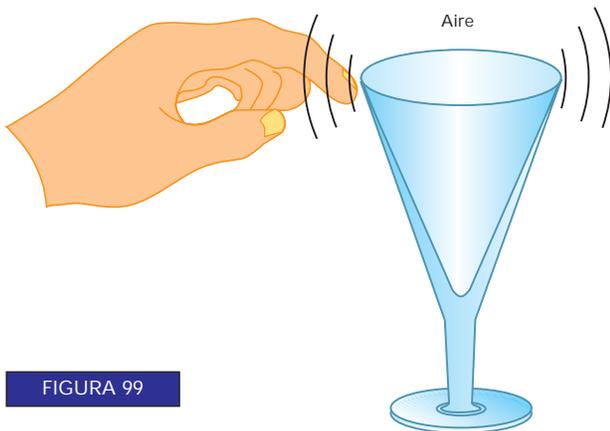
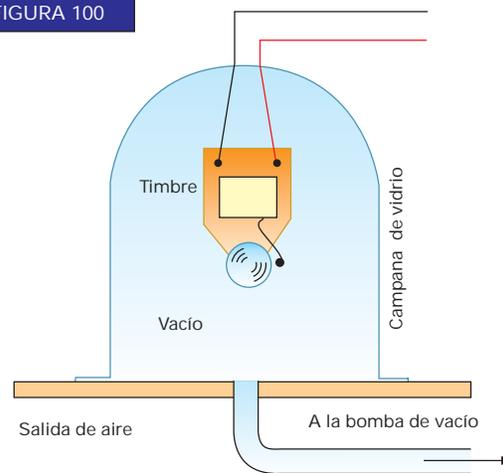


FIGURA 99

Es en la fase de propagación, cuando el sonido se comporta como una onda material de tipo longitudinal. Al producirse un sonido, por ejemplo, en un timbre, empiezan a vibrar las moléculas de aire situadas a su alrededor, las cuales a su vez golpearán otras moléculas contiguas, y así sucesivamente. Como las partículas de aire vibran en la dirección de propagación, son ondas longitudinales. Si introducimos el timbre en una campana y extraemos el aire del interior (figura 100), no escucharemos sonido alguno: en el vacío, el sonido no se propaga.

FIGURA 100



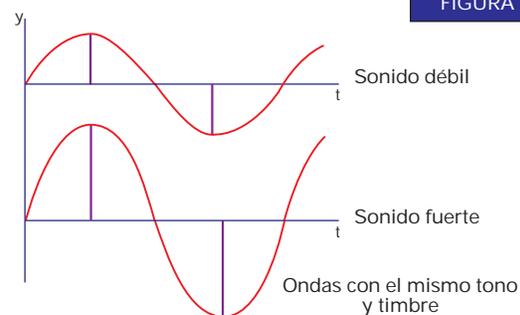
A través de líquidos o sólidos, el sonido se transmite con mayor facilidad, ya que las moléculas están más cerca y puede difundirse con mayor rapidez. Si situamos el oído sobre uno de los railes de una vía férrea, oiremos más fácilmente el ruido del tren que a través del aire. La velocidad de propagación del sonido en el aire es de 340 m/s, en el agua es de 1.435 m/s y en el hierro de unos 5.000 m/s. Algunos materiales porosos, como el corcho, transmiten muy mal el sonido, por lo que se usan como aislamiento acústico en viviendas e instalaciones.

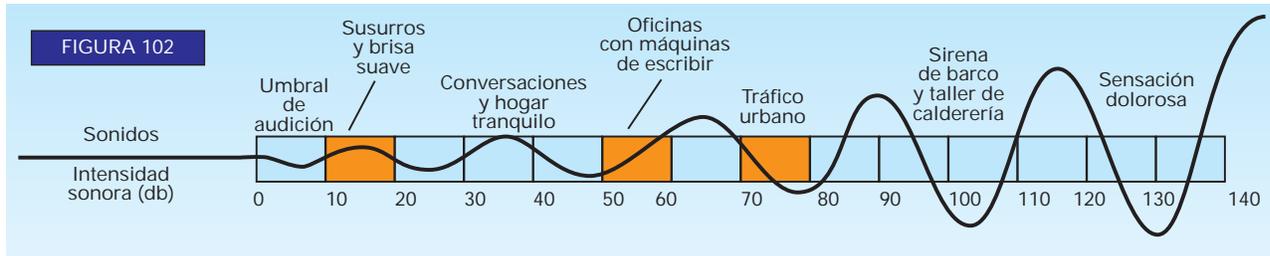
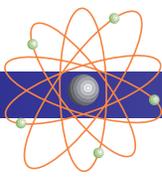
CUALIDADES DEL SONIDO

Intensidad

La intensidad es la cualidad que permite identificar los sonidos como fuertes o débiles. El concepto de intensidad sonora o sonoridad está relacionado con la amplitud de la onda sonora (figura 101). Como el oído no percibe todos los sonidos por igual, se ha establecido una escala de sonoridad en función de unos sonidos de referencia (figura 102). La unidad de sonoridad es el **decibelio (db)**, llamado así en honor de Alexander Graham Bell, inventor del teléfono.

FIGURA 101





Tono

El tono es la propiedad que nos permite distinguir los sonidos graves de los agudos. Depende de la frecuencia de la onda sonora. Los sonidos graves son los que poseen menor frecuencia, y los agudos corresponden a ondas de mayor frecuencia (figura 103). Las voces de los niños suelen ser agudas, mientras que las de los hombres suelen ser graves. El oído humano es sensible al intervalo de frecuencias comprendido entre los 20 y los 20.000 Hz. Si la frecuencia es menor de 20 Hz, hablamos de infrasonidos, y si supera los 20.000 Hz, de ultrasonidos.

Los ultrasonidos tienen aplicaciones industriales y en medicina. Los exploradores de ultrasonidos permiten observar en el vientre de la madre el cuerpo del niño antes de nacer (el resultado es lo que llamamos ecografía).



FIGURA 103

Ondas con la misma intensidad y timbre



FIGURA 104

Timbre de un sonido

Timbre

El timbre es la cualidad que permite distinguir dos sonidos del mismo tono y la misma intensidad. Es fácil apreciar si el sonido de una determinada nota musical proviene de un piano o de una guitarra, o reconocer las voces de las personas conocidas. Cada uno de estos sonidos tiene su propio timbre.

El timbre está relacionado con la forma de la onda sonora. La mayoría de los cuerpos vibran con varias frecuencias, de manera que la combinación de todas ellas da lugar a una onda compleja (figura 104).

REFLEXIÓN DEL SONIDO: ECO Y REVERBERACIÓN

Las ondas sonoras, como todas las ondas, cuando llegan a una superficie chocan contra ella y cambian de dirección. Este fenómeno recibe el nombre de reflexión del sonido, y como consecuencia se producen el eco y la reverberación.

Eco

El oído humano es capaz de percibir sonidos separados por un intervalo de 0,1 segundos. Si la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s, en 0,1 segundos el sonido recorrerá 34 m. Si a 17 m el sonido encuentra una pared y se refleja, recorre el mismo camino de vuelta y volveremos a oír el mismo sonido (figura 105). Se ha producido el eco.

Reverberación

La reverberación es el mismo efecto que el eco, cuando la superficie está a una distancia inferior a los 17 m. En lugares cerrados, la repetida reflexión del sonido da lugar a una mezcla de sonido directo y reflejado que hace difícil la audición. En locales como cines o salas de conciertos, las paredes se forran con materiales porosos, como moquetas o cortinas, que absorben el sonido y permiten escuchar el sonido original y no el reflejado.

FIGURA 105

