

FÍSICA

Noveno grado

Dr. Pablo Valdés Castro
Dr. Rolando Valdés Castro
Lic. Carlos Sifredo Barrios



Editorial
Pueblo y Educación

Edición: Prof. Caridad Arce Crespo
Diseño: Bienvenida Díaz Rodríguez
Ilustración: Ángel García Castañeda
Martha González Arencibia
Luis Bestard Cruz
Realización: Onexis Pino Correa
Zelaida Rodríguez Peña
Maquetación: María de los Ángeles Ramis Vázquez

© Ministerio de Educación, 2002
© Editorial Pueblo y Educación, 2002

ISBN 959-13-1003-X

EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN
Ave. 3ra. A No. 4605 entre 46 y 60,
Playa, Ciudad de La Habana,
Cuba. CP 11300.

AL ESTUDIANTE

Este libro, continuación de *Física. Octavo grado*, seguirá ayudándote en el estudio de la física. Te reiteramos que una parte del tiempo dedicado a trabajar con él, debes emplearla en leer y analizar críticamente las ideas que se exponen, y otra parte, a responder las numerosas actividades incluidas a lo largo del texto y al final de cada capítulo. Te proponemos realizar ahora la primera de esas actividades.

Resume con tus palabras lo que estudia la física, así como los métodos y formas de trabajo que utiliza. ¿Qué parte de ello has estudiado hasta ahora?

Como conoces, la física investiga *sistemas* y *cambios* relativos a la naturaleza que están en la base de sistemas y cambios estudiados por múltiples ramas de la ciencia y la tecnología. Durante el curso anterior examinaste varias propiedades de algunos de esos sistemas, en particular de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos, y adquiriste cierta idea acerca de su estructura.

Especial atención le prestamos al análisis de un cambio fundamental que forma parte inseparable de otros muchos: el movimiento mecánico. También te relacionaste con el concepto de energía, utilizado para caracterizar una gran variedad de procesos de la naturaleza y la vida práctica, el cual tiene enorme importancia en la sociedad contemporánea.

En este curso proseguiremos profundizando en algunos sistemas y procesos estudiados por la física. Comenzaremos con el análisis de un tipo de cambio que posee singular interés en la ciencia, la tecnología y la vida práctica: las *oscilaciones* y las *ondas*.

ÍNDICE

Capítulo 1. UN TIPO ESPECIAL DE CAMBIO: LAS OSCILACIONES Y LAS ONDAS	/1
1.1 Introducción	/1
1.2 Características esenciales de las oscilaciones	/4
1.2.1 Oscilaciones periódicas	/4
1.2.2 Período, frecuencia y amplitud	/6
1.2.3 Factores que determinan las características de las oscilaciones	/8
1.3 Características de las ondas	/12
1.3.1 Transmisión de energía e información mediante ondas	/12
1.3.2 Magnitudes que caracterizan a las ondas	/13
1.4 El sonido y algunas de sus características	/17
1.4.1 El sonido y las oscilaciones	/18
1.4.2 Propagación del sonido	/19
1.4.3 Percepción del sonido por el hombre	/21
1.5 Actividades de sistematización y consolidación	/24
Capítulo 2. ELECTRICIDAD Y CIRCUITOS ELÉCTRICOS	/26
2.1 Introducción	/26
2.2 Electrificación y su naturaleza	/31
2.2.1 Electrificación de los cuerpos	/31
2.2.2 Naturaleza de la electricidad	/35
2.2.3 Campo eléctrico	/37
2.3 Circuitos eléctricos	/38
2.3.1 Corriente eléctrica y su generación	/38

2.3.2	Algunas características de la corriente eléctrica	/42
2.3.3	Magnitudes básicas en los circuitos eléctricos	/47
2.3.4	Funcionamiento de algunos circuitos eléctricos simples	/58
2.3.5	Medición y ahorro de la energía eléctrica	/61
2.4	Actividades de sistematización y consolidación	/63
Capítulo 3. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO		/66
3.1	Introducción	/66
3.2	Magnetismo	/68
3.2.1	Imanes e interacciones magnéticas	/68
3.2.2	Corriente eléctrica y magnetismo	/70
3.2.3	Materiales magnéticos y estructura interna	/72
3.2.4	Utilización práctica del efecto magnético de la corriente eléctrica ...	/73
3.3	Inducción electromagnética	/77
3.3.1	Ley de inducción de Faraday	/77
3.3.2	Utilización práctica de la inducción electromagnética	/80
3.3.3	Ondas electromagnéticas	/83
3.4	Actividades de sistematización y consolidación	/85
Capítulo 4. LUZ Y DISPOSITIVOS ÓPTICOS		/88
4.1	Introducción	/88
4.2	Propagación de la luz	/92
4.2.1	Propagación rectilínea	/92
4.2.2	Propagación en medios no homogéneos	/94
4.2.3	Difracción	/97
4.3	Luz y visibilidad de los cuerpos	/99
4.3.1	¿De qué depende la visibilidad de los cuerpos que nos rodean?	/99
4.3.2	¿Cómo se explica la variada coloración que apreciamos en los cuerpos?	/101
4.4	Regularidades en la reflexión y refracción de la luz	/103
4.4.1	Leyes de la reflexión	/103

4.4.2 Leyes de la refracción	/106
4.4.3 Lentes y espejos esféricos	/110
4.4.4 Formación de imágenes por medio de dispositivos ópticos	/114
4.5 Actividades de sistematización y consolidación	/124

Capítulo 1

UN TIPO ESPECIAL DE CAMBIO: LAS OSCILACIONES Y LAS ONDAS



a



b

Fig. 1.1 Oscilaciones y ondas en la naturaleza y la técnica: a) El viento produce ondas en la superficie del agua. b) Antenas emisoras de radio y televisión.

1.1 Introducción

A 1.1 Menciona, y en caso que sea posible reproduce, algunos ejemplos de oscilaciones. Apoyándote en ellos, intenta responder la pregunta: ¿qué son oscilaciones?

Para que tengas oportunidad de contrastar tus ideas acerca de lo que son oscilaciones con las de otros, a continuación relacionamos algunos ejemplos mencionados por los alumnos en distintas ocasiones: un cuerpo que cuelga de un cordel y se balancea, un niño que se mece en una hamaca o columpio, un equilibrista que se bambolea, un fleje que vibra.

Al analizar ejemplos como los anteriores, suele destacarse una característica común a todos ellos: la *posición* de los cuerpos —o de ciertas partes suyos— cambia *alrededor de determinado punto*.

La conclusión anterior es correcta, pero adolece de cierta limitación, pues considera el cambio solo de la *posición*. En realidad, en los ejemplos mencionados también varían alrededor de cierto valor otras magnitudes: la velocidad, la energía potencial y la energía cinética. Por otra parte, la palabra oscilación se utiliza además para designar variaciones de otras muchas magnitudes: el precio de determinado producto, la temperatura del medio, la demanda de energía eléctrica a lo largo de varios días, etcétera.

En general, se llama *oscilación* a los *cambios* que experimenta determinada magnitud, alrededor de cierto valor.

A 1.2 Argumenta por qué en los ejemplos de oscilaciones citados en el texto, además de variar la posición, lo hacen otras magnitudes, como velocidad, energía potencial y energía cinética.

A 1.3 Analiza en qué casos los cambios en el precio de determinado producto, en la temperatura del medio y en la demanda de energía eléctrica a lo largo de varios días, pueden ser considerados oscilaciones.

A 1.4 Confecciona un listado, lo más amplio posible, de aquellas oscilaciones que, en tu opinión, tienen interés para la ciencia y la tecnología.

Muchas oscilaciones se transmiten de un lugar a otro. Ejemplos de ello son las que provocamos en uno de los extremos de una cuerda (fig. 1.2) y las producidas al tocar con algún objeto la superficie del agua (fig. 1.3). Otros casos más complejos, pero de suma importancia para la vida práctica son la propagación de los temblores de tierra, del sonido, de las oscilaciones originadas en las antenas transmisoras de radio y televisión.

Se denomina *onda* a la propagación de las oscilaciones de un lugar a otro.

A 1.5 Describe ejemplos de propagación de oscilaciones diferentes a los mencionados en el texto.

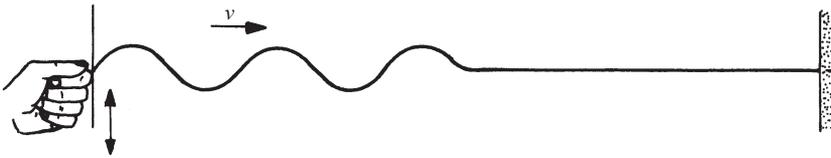


Fig. 1.2 Transmisión de oscilaciones a lo largo de una cuerda.



Fig. 1.3 Transmisión de oscilaciones en la superficie del agua.

A 1.6 Indaga acerca de la importancia que tienen las oscilaciones y las ondas.

Después de reflexionar sobre la importancia de las oscilaciones y las ondas en la tecnología y en la vida práctica, seguramente estarás de acuerdo con nosotros acerca del interés que tiene el estudio de ellas, especialmente el de las sonoras. El conocimiento de estas últimas ha sido importante para la construcción de equipos musicales y, en general, para todo lo relacionado con la audición.

A 1.7 Apoyándote en lo que ya conoces acerca de las oscilaciones y las ondas, plantea cuestiones en las que convendría profundizar a fin de adquirir una imagen más completa de ellas.

A continuación relacionamos varias de las cuestiones que pudieran considerarse en este capítulo:

¿Cuáles son las características principales de las oscilaciones? ¿Será posible encontrar algunos pocos conceptos e ideas que las describan, pese a la gran variedad de ellas? ¿Qué factores determinan sus peculiaridades? ¿Cuáles son los rasgos distintivos de las ondas? ¿Qué es el sonido, cómo se produce y transmite? ¿Qué es el ultrasonido y cuáles son algunas de sus aplicaciones? ¿Cómo se explica desde el punto de vista físico la diversidad de sonidos que percibimos?

1.2 Características esenciales de las oscilaciones

1.2.1 Oscilaciones periódicas

Ya has adquirido cierta noción general acerca de las oscilaciones: qué son, cuáles son algunos de sus tipos principales, cuál es la importancia de ellas. Ahora acotaremos nuestro estudio y nos limitaremos al análisis de una forma particular de oscilación, denominada *periódica*.

A 1.8 Intenta esclarecer el significado del término periódico. ¿Qué será una oscilación periódica?

Consideremos un cuerpo que cuelga de un cordel y se balancea. Su posición varía alrededor de determinado punto, oscila, pero además, en este caso, *cada determinado intervalo de tiempo* el cuerpo ocupa aproximadamente la misma posición y se mueve en igual dirección. En otras palabras, el movimiento se repite una y otra vez, es *periódico*.

A 1.9 En el ejemplo del párrafo anterior, ¿serán periódicas las oscilaciones de otras magnitudes además de la posición? Argumenta tu respuesta.

A 1.10 Describe ejemplos de oscilaciones periódicas diferentes al mencionado en el texto.

La oscilación de una magnitud se denomina *periódica* cuando sus valores *se repiten cada determinado intervalo de tiempo*. Muchas de las oscilaciones que tienen lugar en la naturaleza y en la vida práctica son aproximadamente periódicas.

Pero no siempre las oscilaciones tienen la característica anterior. Así, en el transcurso de un día (24 horas), la temperatura ambiente suele variar alrededor de cierto valor; se puede decir que oscila. Sin embargo, es posible que debido a determinadas circunstancias –por ejemplo, la entrada de un “frente frío”–, los valores de temperatura a lo largo de un día no coincidan con los del siguiente, es decir, que no se repitan.

En la figura 1.4 aparecen tres gráficas de oscilaciones. La primera pudiera representar las oscilaciones de posición en un péndulo, un cuerpo resorte, el extremo de un diapasón (fig. 1.4a). La segunda representa las oscilaciones en un violín (fig. 1.4b). Estas dos gráficas corresponden a oscilaciones periódicas. La tercera (fig. 1.4c) representa las oscilaciones en unos platillos, las cuales no son periódicas.

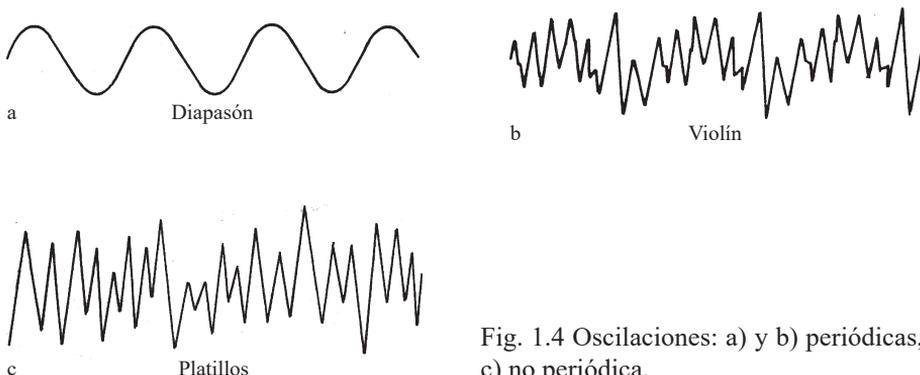


Fig. 1.4 Oscilaciones: a) y b) periódicas, c) no periódica.

A 1.11 ¿Qué características de las gráficas representadas en la figura 1.4 indican que las dos primeras oscilaciones son periódicas y la tercera no?

La física y la tecnología estudian especialmente las oscilaciones periódicas. En lo adelante consideraremos solo tales oscilaciones.

Para referirse al proceso desde el momento en que ocurren ciertos cambios hasta que vuelven a sucederse en el mismo orden, los científicos y tecnólogos utilizan el término de *oscilación completa*, o *ciclo*.

A 1.12 Busca en el diccionario el significado de la palabra ciclo.

A 1.13 Ilustra el concepto de ciclo mediante ejemplos concretos.

A 1.14 Identifica oscilaciones completas o ciclos en las gráficas de la figura 1.4.

1.2.2 Período, frecuencia y amplitud

Entre las magnitudes que caracterizan a las oscilaciones se encuentran las siguientes: período, frecuencia, amplitud.

A 1.15 Reflexiona acerca del significado de los términos período, frecuencia y amplitud. Piensa en su uso en la vida cotidiana, consulta un diccionario.

Período

Cotidianamente, la palabra *período* se emplea para designar intervalos de tiempo determinados, por ejemplo: período de vacaciones, período especial, etc. En la ciencia y la tecnología, lo más común es utilizarla para caracterizar la duración de procesos *que se repiten regularmente*: período de rotación de la Tierra sobre su eje, de traslación de la Tierra alrededor del Sol, de las oscilaciones de un péndulo, etcétera.

A 1.16 ¿Cuál es el período de: a) rotación de la Tierra alrededor de su eje, b) traslación de la Tierra alrededor del Sol, c) rotación de las manecillas de los relojes?

Se denomina período de las oscilaciones al tiempo que demora en realizarse una oscilación completa.

A 1.17 a) Monta un péndulo (o un cuerpo que cuelga de un resorte o una banda elástica) y trata de precisar en qué consiste el período de sus oscilaciones. b) Intenta medir el tiempo que demora en realizarse una sola oscilación. c) Describe las principales fuentes de incertidumbre en el resultado obtenido. d) Reflexiona acerca del procedimiento a seguir para medir el período con mayor exactitud.

Para calcular el período de las oscilaciones (T) se divide el tiempo (t) correspondiente a determinado número de oscilaciones completas (n) entre dicho número ($T = t/n$).

Frecuencia

El término *frecuencia* denota la rapidez con que se repite algo, el número de veces que ocurre en determinado intervalo de tiempo. Cuanto mayor sea dicho número, mayor será la frecuencia.

En correspondencia con lo anterior, se denomina *frecuencia de las oscilaciones* al número de oscilaciones completas que tienen lugar en determinado intervalo de tiempo.

A 1.18 Indaga acerca de la frecuencia de las pulsaciones que se considera normal en las personas.

A 1.19 a) Determina la frecuencia de tus pulsaciones. b) Menciona las principales fuentes de incertidumbre en el resultado obtenido. c) Expresa el resultado en pulsaciones por segundo y describe el procedimiento que para ello has seguido.

A 1.20 Determina la frecuencia de las oscilaciones de un péndulo (o de un cuerpo que cuelga de un resorte). Menciona las principales fuentes de incertidumbre en el resultado.

Para calcular la frecuencia (f) de las oscilaciones se divide el número de oscilaciones completas (n) en determinado intervalo de tiempo (t), entre dicho intervalo ($f = n/t$).

La unidad básica de frecuencia, una oscilación por segundo (1/s), se denomina *hertz* (Hz), en honor a Heinrich Hertz (1857-1894). Este físico fue el primero en crear un transmisor y un receptor de oscilaciones electromagnéticas, hecho que constituyó la base de las comunicaciones modernas (telegrafía y telefonía inalámbricas, radio, televisión, etcétera).

Las oscilaciones de un péndulo o de un cuerpo que cuelga de un resorte tienen una frecuencia relativamente pequeña, de tan solo fracciones de hertz o varios hertz. Pero en la naturaleza y en la tecnología se realizan oscilaciones cuyas frecuencias son muchísimo mayores. Así, la frecuencia de las oscilaciones de las cuerdas de una guitarra puede ser cientos o miles de veces mayor y las de un microprocesador de computadora o las producidas en las antenas transmisoras de radio y televisión, millones e incluso miles de millones de veces mayor. Por eso, junto al hertz, también suelen emplearse otras unidades múltiplos de él: kilohertz, megahertz y gigahertz.

$$1 \text{ kilohertz (1 kHz)} = 1\,000 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ megahertz (1 MHz)} = 1\,000\,000 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ gigahertz (1 GHz)} = 1\,000\,000\,000 \text{ Hz}$$

A 1.21 Averigua la frecuencia de las oscilaciones de algunos equipos e instalaciones utilizados en la vida cotidiana, por ejemplo, de: a) el voltaje en la red eléctrica, b) el microprocesador de la computadora en que trabajas, c) las oscilaciones que transmite alguna emisora de radio. Trata de interpretar el significado de dichas frecuencias en cada caso.

La frecuencia de las oscilaciones y la duración de ellas están íntimamente relacionadas. Mientras menor sea la duración, mayor será la frecuencia. Más aún, al comparar la ecuación para el cálculo del período ($T = t/n$), con la ecuación para el cálculo de la frecuencia ($f = n/t$), se llega a la conclu-

sión de que estas magnitudes son recíprocas, una es la inversa de la otra. Debido a esto, para caracterizar la rapidez con que se realizan las oscilaciones, es suficiente dar el valor de una sola de estas magnitudes. Conocida una, inmediatamente puede averiguarse la otra.

A 1.22 Haz oscilar un péndulo (o un cuerpo que cuelga de un resorte o una banda elástica) y comprueba que: a) la frecuencia de las oscilaciones está íntimamente relacionada con la duración de ellas, b) el período y la frecuencia son magnitudes recíprocas (una es la inversa de la otra).

Amplitud

La palabra *amplitud* se emplea como sinónimo de tamaño, extensión. En lo que se refiere a las *oscilaciones*, denota el máximo valor que alcanza cierta magnitud, medido a partir de aquel valor alrededor del cual oscila.

A 1.23 Haz oscilar diversos cuerpos (un péndulo, un cuerpo que cuelga de un resorte o banda de goma, un fleje) y trata de precisar en qué consiste la amplitud de las oscilaciones en cada uno de los casos.

A 1.24 Resume las características principales de las oscilaciones periódicas.

En este subepígrafe hemos tratado de contestar las dos primeras preguntas planteadas en la introducción *¿Cuáles son las características principales de las oscilaciones? ¿Será posible encontrar algunos pocos conceptos e ideas que las describan, pese a la gran variedad de ellas?* Resumiremos la respuesta diciendo que todas las oscilaciones periódicas, desde las de un péndulo hasta las sonoras, o las electromagnéticas emitidas por una antena, pueden ser *descritas* utilizando los conceptos de *frecuencia* (o período) y *amplitud*.

Sin embargo, si se pretende no solo *describir*, sino además *controlar* ciertas oscilaciones, y *producir* otras con propiedades deseadas, estos conceptos resultan aún insuficientes. Se requiere ir más allá y estudiar los *factores que determinan las características de las oscilaciones*, en particular, aquellos de que dependen la frecuencia y la amplitud.

1.2.3 Factores que determinan las características de las oscilaciones

A 1.25 Estudia las oscilaciones que ocurren en diversos sistemas (péndulo, cuerpo que cuelga de un resorte o banda elástica, fleje fijo por un extremo, etc.). ¿De qué factores

dependerá la frecuencia (y por tanto el período) de las oscilaciones?, ¿y la amplitud de ellas?

El estudio de las oscilaciones que tienen lugar en diversos sistemas (péndulo, cuerpo-resorte, fleje sujeto por un extremo,...), sugiere que:

Si la amplitud de las oscilaciones no es muy grande, la frecuencia es independiente de ella.

La frecuencia depende de ciertas características propias del sistema: por ejemplo, de la longitud, como en el péndulo o el fleje; de la masa, como en el sistema cuerpo-resorte; del material, como en el cuerpo-resorte o el fleje.

La amplitud de las oscilaciones está determinada por características iniciales del sistema: por ejemplo, el desplazamiento inicial del péndulo o del cuerpo que cuelga del resorte, la velocidad que se les imprime, etcétera.

A 1.26 ¿De qué factores dependerá la frecuencia con que oscila una cuerda de guitarra?, ¿y la amplitud de sus oscilaciones?

A 1.27 ¿De qué factores dependerá la frecuencia con que oscilan las ramas de un diapasón?, ¿y la amplitud?

De este modo, cuando las oscilaciones tienen lugar por sí solas, la *frecuencia*, y en consecuencia el período, están determinados por peculiaridades *propias* del sistema (por ejemplo, dimensiones, masa, material de que están constituidas sus partes). A su vez, la *amplitud* de las oscilaciones depende de condiciones impuestas *desde el exterior* (por ejemplo, disposición inicial del sistema, velocidad inicial de sus partes).

A 1.28 Intenta resumir esquemáticamente la relación que hay entre las características de las oscilaciones y los factores de que dependen.

Los ejemplos analizados también ponen de manifiesto que entre la amplitud y la energía de las oscilaciones existe una íntima relación. Mientras mayor sea la amplitud con que hacemos oscilar, por ejemplo, una cuerda de guitarra o las ramas de un diapasón, mayor será la energía de las oscilaciones, lo cual se manifiesta en el hecho de que se originan sonidos cada vez más intensos.

A 1.29 Describe ejemplos diferentes a los mencionados en el texto, que apoyen la idea de que la amplitud y la energía de las oscilaciones están directamente relacionadas.

A 1.30 Cuando se dejan oscilar por sí solos un columpio, un cuerpo que cuelga de un resorte, o un fleje, las oscilaciones se amortiguan, la amplitud de ellas decrece poco a poco. Explica este hecho desde el punto de vista de la energía.

Las oscilaciones que se efectúan por sí solas no duran indefinidamente, se *amortiguan*; su amplitud y, por tanto, su energía van decreciendo poco a poco. De ahí que para mantenerlas, se requiera transmitir constantemente energía al sistema. En ocasiones esto se hace por el hombre directamente (fig. 1.5), pero la mayoría de las veces se realiza con ayuda de determinados dispositivos, como por ejemplo, en los relojes de cuerda o de batería.



Fig. 1.5 Para que el columpio se mantenga oscilando es necesario suministrarle energía.

A 1.31 Considera ejemplos de oscilaciones que se mantienen transmitiéndole energía al sistema y describe las transformaciones de energía que ocurren.

Comúnmente, la frecuencia de las oscilaciones no es dictada por las características del sistema, sino impuesta desde el exterior, es decir, *forzada*. Ejemplos de ello son: las oscilaciones del papel de una bocina o del diafragma de un audífono, forzadas por el equipo de audición al que están conectados; las oscilaciones de la membrana del tímpano, determinadas por el sonido que le llega. En tales casos, cuanto más se aproxime la frecuencia exterior a la frecuencia propia del sistema, más fácilmente se pro-

ducirán las oscilaciones. Y a la inversa, mientras más se aleje de ella, mayor dificultad habrá para producirlas.

A 1.32 Ilustra las ideas expresadas en el párrafo anterior, utilizando un péndulo o un resorte del que cuelga un cuerpo.

A 1.33 Teniendo en cuenta lo expuesto en el párrafo anterior del texto, describe qué requerimientos deben cumplir los diafragmas de una bocina o audífono.

Cuando la frecuencia exterior coincide con la frecuencia de las oscilaciones que tendrían lugar en el sistema por sí solas, entonces se requiere poca energía para que la amplitud de ellas crezca. Este hecho se conoce como *resonancia* (fig.1. 6).

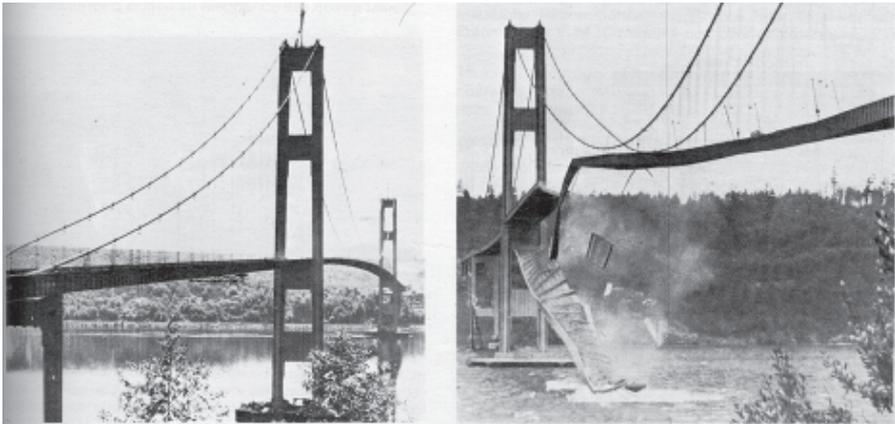


Fig. 1.6 El fenómeno de la resonancia permite explicar la destrucción del puente de Tacoma.

A 1.34 Los músicos de las orquestas utilizan la resonancia para afinar sus instrumentos momentos antes de interpretar una obra. Describe cómo lo hacen.

A 1.35 Indaga sobre casos en que la resonancia desempeña un papel positivo y casos en que es perjudicial.

En este subepígrafe hemos avanzado un poco más en las respuestas a las primeras preguntas planteadas en la introducción. Como al estudiar otros temas de física, ahora también hemos encontrado que tras la diversidad, en este caso de oscilaciones, existe unidad. Ciertamente, las características básicas de todas las oscilaciones –frecuencia, amplitud, si se amortiguan más o menos, si son forzadas o no, si tiene lugar la resonancia– dependen

básicamente de dos factores: 1) las peculiaridades propias del sistema (dimensiones, masa de sus partes, material de que están constituidas dichas partes,...) y 2) cierta acción externa (desplazamiento inicial de sus partes, resistencia del medio, frecuencia de la acción externa,...).

1.3 Características de las ondas

1.3.1 Transmisión de energía e información mediante ondas

Hemos visto que muchas oscilaciones pueden propagarse desde un lugar hacia otros, proceso que se denomina onda. Las ondas representan, pues, cambios que se propagan (véase, por ejemplo, las figuras 1.2 y 1.3) y, por tanto, *energía* que se transmite de un sitio a otro, lo cual en algunas ocasiones resulta beneficioso, pero en otras, perjudicial. Mediante ellas es posible, además, transmitir *información* de un lugar a otro, lo que habitualmente es aprovechado, tanto por los hombres, como por los animales, para comunicarse entre sí.

A 1.36 Argumenta la afirmación realizada en el párrafo anterior de que las ondas representan energía que se transmite.

A 1.37 Menciona ejemplos en que los cambios transmitidos mediante ondas sean beneficiosos y ejemplos en que sean perjudiciales.

A 1.38 Menciona ejemplos de transmisión de información mediante ondas.

A 1.39 ¿Cuáles son los dos procedimientos más comunes mediante los cuales un alumno solicita la atención de otro que está sentado en el aula dos filas delante de él? Intenta precisar las diferencias entre esos dos procedimientos desde el punto de vista del mecanismo utilizado para transmitir energía.

La energía y la información pueden ser transmitidas desde un cuerpo hasta otro que se encuentra a cierta distancia del primero, por medio de dos procedimientos básicos: 1) desplazando algún cuerpo desde uno de los lugares hasta el otro y 2) mediante la propagación del mero cambio producido, sin necesidad de desplazar cuerpo o partícula algunos de un sitio al otro. Este último procedimiento es el característico de las ondas. En el primer caso la energía que se transmite está localizada en un cuerpo, mientras en el segundo, suele distribuirse en determinada región.

A 1.40 Sobre la superficie de un agua tranquila sitúa pequeños cuerpos que floten en ella. Provoca ondas en el agua. Describe la experiencia teniendo en cuenta las características de las ondas descritas en el párrafo anterior.

A 1.41 Describe ejemplos de la vida cotidiana que ilustren las características de la transmisión de energía e información mediante ondas, mencionadas anteriormente.

Los componentes básicos de un sistema habitual de comunicación pueden ser resumidos como sigue: a) fuente de información, b) codificador, c) transmisor, d) receptor, e) decodificador, f) destinatario. Frecuentemente, la información de la fuente al codificador y del decodificador al destinatario se transmite mediante ondas, como por ejemplo, cuando una persona habla delante de un micrófono y otras la escuchan frente a un radio o televisor. Del transmisor al receptor, la información también suele viajar mediante ondas. Así, las antenas transmisoras de radio y televisión emiten oscilaciones electromagnéticas que son captadas por las antenas de nuestros radios y televisores. Al sintonizar determinada emisora, lo que se hace es variar ciertas características de nuestro equipo con el fin de ajustar su frecuencia propia a la de las oscilaciones que transmite la emisora, de tal modo que se produzca la resonancia.

A 1.42 Representa esquemáticamente los componentes básicos de un sistema de comunicación en el caso de una transmisión radial.

A 1.43 Examina la escala de frecuencias del radio de tu casa. ¿Cuál es el rango de frecuencias a que puede sintonizarse? Determina, aproximadamente, la frecuencia a la que transmite alguna de las emisoras de radio.

1.3.2 Magnitudes que caracterizan a las ondas

A 1.44 En tu opinión, ¿qué magnitudes pudieran caracterizar a las ondas?

Puesto que una onda consiste en la propagación de oscilaciones, es natural que entre las magnitudes que la caracterizan se encuentren la *frecuencia (el período)* y la *amplitud*. Por otra parte, ya que son oscilaciones que viajan de un lugar a otro, también habría que caracterizarlas por su *velocidad*.

A 1.45 Auxíliate de algunas actividades prácticas, a fin de ilustrar las características de las ondas mencionadas anteriormente en el texto (por ejemplo, de la producción de ondas en una cuerda y en la superficie del agua).

¿Son la frecuencia, la amplitud y la velocidad de la onda, las mismas en todos los lugares a lo largo de la propagación? ¿De qué factores dependen estas magnitudes?

Frecuencia

No es difícil comprender que todas las oscilaciones generadas en cierto punto, en mayor o menor tiempo arribarán al resto de los puntos, ninguna oscilación se pierde en el camino. Si el emisor produce, digamos, diez oscilaciones cada segundo, al cabo de cierto tiempo en otros puntos también se producirán diez oscilaciones cada segundo. Además, al variar la frecuencia con que son emitidas, igualmente variará la frecuencia con que llegan a dichos puntos. En otras palabras, la frecuencia de la onda está determinada por el emisor de las oscilaciones.

A 1.46 Interpreta con tus palabras la idea expresada en el párrafo anterior.

Otra cosa ocurre con la amplitud y la velocidad de la onda.

Amplitud

Consideremos, por ejemplo, la propagación de una oscilación producida cuando se introduce el extremo de un dedo, u otro objeto similar, en la superficie del agua (ver figura 1.3). Al principio, la oscilación está distribuida en una circunferencia muy pequeña, pero a medida que se propaga, dicha circunferencia se va ampliando, con lo cual el número de puntos que participa de la oscilación crece. Esto significa que la energía inicial de la oscilación se distribuye en una región cada vez mayor. En consecuencia, va disminuyendo la energía que corresponde a cada punto, y con ello la amplitud.

Incluso cuando la oscilación se propaga en una única dirección, como por ejemplo en el caso de una cuerda, y el número de puntos que participa no aumenta; su energía, y por tanto su amplitud, también disminuyen. De modo similar a las oscilaciones de un péndulo o de un cuerpo-resorte, las que se propagan de un lugar a otro también se amortiguan.

A 1.47 Las señales televisivas que se emiten en cierto lugar no llegan con suficiente potencia a regiones distantes y deben ser utilizadas estaciones “repetidoras”. Menciona algunas razones para ello.

Velocidad

La tabla 1.1 muestra que la velocidad de la onda depende de la naturaleza de esta y de las características del medio en que tiene lugar la propaga-

ción. La figura 1.7 evidencia esto último para el caso de las ondas superficiales en el agua: al pasar a una zona de menor profundidad, disminuye la velocidad de ellas. Los ensayos realizados con ondas en el agua sugieren que la velocidad también depende de la *frecuencia*: al aumentar esta, disminuye la velocidad.

Tabla 1.1

**VELOCIDAD APROXIMADA DE CIERTAS ONDAS
EN DETERMINADOS MEDIOS**

Tipo de onda y medio	Velocidad aproximada
Onda sonora en el aire a 10 °C	337 m/s
Onda sonora en el aire a 28 °C	348 m/s
Onda sonora en el agua	1 500 m/s
Onda sonora en el acero	5 000 m/s
Ondas sísmicas	4-14 km/s
Onda luminosa en el vidrio	200 000 km/s
Onda de radio en el vacío y en el aire	300 000 km/s
Onda luminosa en el vacío y en el aire	300 000 km/s

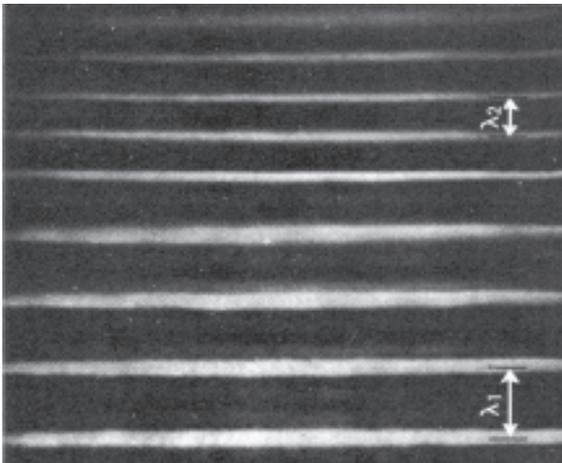


Fig. 1.7 Ondas que pasan de una zona más profunda (parte inferior) a otra menos profunda (parte superior).

A 1.48 Comenta la información proporcionada en la tabla 1.1. Reflexiona sobre el interés que puede tener para la ciencia, la tecnología, o la vida en general, medir la velocidad de las ondas.

A 1.49 Explica cómo extraer, a partir de la figura 1.7, la conclusión de que la velocidad de las ondas en la superficie del agua es menor al disminuir la profundidad.

A 1.50 Piensa en algún procedimiento para determinar la velocidad de las ondas.

Si suponemos que las oscilaciones se propagan con velocidad constante, un procedimiento para medir la velocidad de la onda pudiera consistir en producir varias de ellas, medir el tiempo t que tardan en recorrer cierta distancia, y utilizar la ecuación $v = x/t$ para determinar v .

A 1.51 Realiza alguna actividad práctica en la cual midas la velocidad de las ondas en la superficie del agua. Pudieras utilizar el viaje de ida y vuelta de una oscilación producida en el centro de la superficie del agua de un cubo o palangana.

Período y longitud de onda

Durante el proceso de emisión y propagación de oscilaciones existe una unidad de tiempo natural: el *período* de las oscilaciones. En el subepígrafe 1.2.2 dijimos que este es el intervalo de tiempo que demora en realizarse una oscilación completa. Pero en lo que respecta a la emisión de oscilaciones, también pudiera decirse que es el intervalo de tiempo transcurrido desde que se genera una oscilación completa, hasta que se genera la siguiente (fig. 1.8). En ese tiempo, la oscilación que ya se ha emitido y está propagándose recorre cierta distancia, denominada *longitud de onda*, la que por supuesto, depende de la velocidad de propagación.

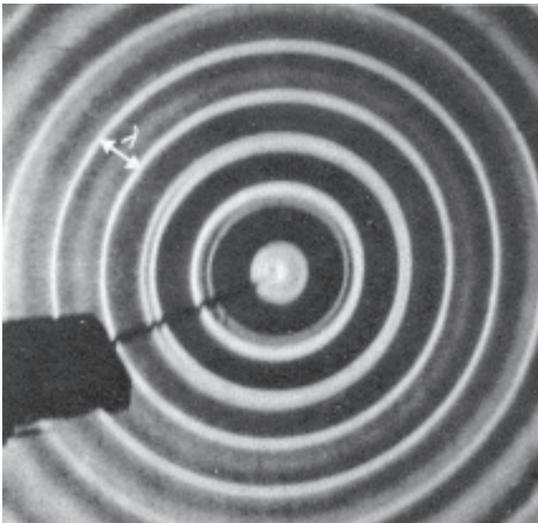


Fig. 1.8 Distancia recorrida por las oscilaciones (λ) durante un período.

A 1.52 Cierta equipo genera sonido con una frecuencia de 1 000 Hz. ¿Dónde será mayor la frecuencia de las oscilaciones, en el aire o en el agua?, ¿y la longitud de onda? Calcula los valores de longitud de onda en cada caso.

De este modo, se llama *longitud de onda* a la distancia recorrida por la oscilación en un período. Usualmente se representa por la letra griega λ (lambda).

Lo anterior significa que la longitud de onda puede calcularse mediante la ecuación:

$$\lambda = v \cdot T,$$

donde v es la velocidad de la onda y T , el período. Y puesto que el período y la frecuencia son uno el inverso del otro, es posible escribir la ecuación también en la forma:

$$\lambda = v/f.$$

A 1.53 Argumenta por qué la longitud de onda y el período están relacionados mediante la ecuación $\lambda = v \cdot t$. Justifica cómo pasar de esta ecuación a la expresión $\lambda = v/f$.

La expresión anterior permite, para un tipo de onda determinada, cuya velocidad sea conocida (véase, por ejemplo, la tabla 1.1), calcular la longitud de onda a partir de la frecuencia, o a la inversa. Ello explica por qué las emisoras de radio suelen informar indistintamente la frecuencia o la longitud de onda en que transmiten.

A 1.54 Averigua las frecuencias en que transmiten Radio Rebelde y Radio Taíno, y calcula las longitudes de onda correspondientes a esas frecuencias. Menciona las posibles fuentes de incertidumbre en los resultados obtenidos.

A 1.55 Intenta esclarecer los términos de “onda larga” y “onda corta”, comúnmente utilizados al referirse a las transmisiones radiales.

1.4 El sonido y algunas de sus características

El resto de este capítulo pretende responder las preguntas planteadas acerca del sonido en la introducción: *¿Qué es el sonido, cómo se produce y transmite? ¿Qué es el ultrasonido y cuáles son algunas de sus aplicaciones? ¿Cómo se explica desde el punto de vista físico la diversidad de sonidos que percibimos?* Al responder estas preguntas continuaremos, a su vez, profundizando en las características de las ondas.

1.4.1 El sonido y las oscilaciones

A 1.56 Ya sabes que el sonido está asociado a las oscilaciones o vibraciones producidas en los cuerpos. Menciona diferentes modos de producir sonido.

Las vibraciones de los cuerpos, y por tanto el sonido, pueden producirse de muy diversos modos, entre ellos:

desplazándolos de su posición de equilibrio, como en el caso de una cuerda de guitarra;
golpeándolos, como ocurre con muchos objetos cotidianos y los instrumentos de percusión;
mediante rozamiento, como en el caso del violín, al silbar, pasar un dedo por el borde de ciertas copas, o simplemente friccionar dos cuerpos entre sí;
por medios eléctricos, como en el caso de los diafragmas de las bocinas y audífonos.

Ejemplos como los anteriores muestran que el sonido está relacionado con las *oscilaciones de la posición de los cuerpos o de sus partes*. Sin embargo, es posible que esto ocurra y que de todos modos no percibamos sonido alguno (por ejemplo, al oscilar un péndulo, un cuerpo-resorte,...). Para ello se necesita, además: 1) que las oscilaciones producidas en el cuerpo *se transmitan* a través del aire u otro medio hasta nosotros y 2) que el oído *sea sensible* a ellas.

A 1.57 Cuando se golpea un diapasón fuera de su caja, el sonido que se produce es relativamente débil, sin embargo, al apoyarlo sobre la superficie de una mesa, se intensifica. ¿Cómo se explica esto?

A 1.58 Un péndulo y un cuerpo-resorte oscilan y, no obstante, no producen sonido. ¿Cómo se explica esto?

En realidad, son muchas y muy variadas las oscilaciones de los cuerpos que se propagan y llegan hasta nosotros, pero de ellas solo percibimos una parte. Algunas se realizan con frecuencias que son o muy pequeñas o muy elevadas como para ser registradas por nuestro oído. Las oscilaciones a las que este es sensible tienen frecuencias que están entre unos 20 Hz y 20 000 Hz (20 kHz). Ciertas especies de animales, como los perros, los murciélagos y los cetáceos, perciben oscilaciones de frecuencias mayores que estas. Ello explica, por ejemplo, que algunos cazadores utilicen silbatos cuyo “sonido” sea oído por sus perros y no por las personas, y que los murciélagos, para orientarse, emitan y perciban “sonidos” que tampoco podemos oír.

A 1.59 Calcula el rango de longitudes de onda correspondientes a la propagación del sonido en el aire. Indica las principales fuentes de incertidumbre en los resultados obtenidos.

Se llama propiamente *sonido* a aquella parte de las oscilaciones emitidas por los cuerpos, que es capaz de percibir el oído humano. Las de frecuencias inferiores a 20 Hz son denominadas *infrasonido* y las de frecuencias superiores a 20 000, *ultrasonido*. La rama de la física que estudia los procesos relacionados con el sonido se denomina *acústica*.

Alrededor del año 1900, la producción y utilización del ultrasonido era aún una novedad; sin embargo, hacia 1970, ya se había convertido en poderosa herramienta de investigación en física e ingeniería, en rival de los rayos X en medicina y en eficaz procedimiento de localización en barcos y submarinos (por medio del sonar). En la actualidad se generan ultrasonidos con frecuencias de hasta miles de millones de hertz.

A 1.60 Los diversos equipos de ultrasonido utilizados en medicina, generan oscilaciones que se transmiten a través del cuerpo humano. ¿Por qué no escuchamos el “sonido” de tales oscilaciones?

A 1.61 Infórmate acerca de las aplicaciones del ultrasonido en medicina y en ingeniería.

A 1.62 Indaga qué es el sonar y cuál es el principio físico de su funcionamiento.

1.4.2 Propagación del sonido

A 1.63 Bajo la campana de una máquina de vacío se coloca un timbre eléctrico. El sonido del timbre se oye con claridad, pero al extraer aire de la campana deja de escucharse. ¿Cómo se explica esto?

Ya en el siglo IV antes de nuestra era, los filósofos griegos pensaban que el sonido se propagaba debido a cierto movimiento del aire. Ciertamente, *si no existe algún medio, digamos el aire, no es posible su transmisión de un lugar a otro*. Por otro lado, su velocidad depende, como muestra la tabla 1.1, de las propiedades de dicho medio. Pero la necesidad de algún material para que las oscilaciones se propaguen de una parte a otra, no es algo característico de todas las ondas. A diferencia de las ondas sonoras, las electromagnéticas, como las de radio y televisión, y las luminosas, no necesitan de material alguno para su propagación, pueden hacerlo, por ejemplo, en el espacio interestelar, donde apenas existe sustancia.

A 1.64 Argumenta la afirmación realizada en el párrafo anterior de que la velocidad del sonido depende de las propiedades del medio donde se propaga.

A 1.65 Describe hechos de la vida práctica los cuales pongan de manifiesto que el sonido no se propaga de un lugar a otro instantáneamente, sino que requiere determinado tiempo para ello. ¿De qué factores depende la velocidad de su propagación?

A 1.66 Explica desde el punto de vista de la energía, por qué cuando el sonido se propaga en medios abiertos, por ejemplo en el aire circundante, su intensidad disminuye mucho al aumentar la distancia respecto a la fuente. ¿Cómo pudiera transmitirse el sonido de un lugar a otro sin grandes pérdidas en su volumen?

Absorción y reflexión

Al propagarse el sonido en un espacio abierto, como es común, su volumen disminuye no solo debido a que la energía inicial de las oscilaciones se distribuye en una región cada vez mayor, sino también a que parte de ella se transforma en energía térmica del medio. Esta *absorción* de la energía de las oscilaciones depende del medio de que se trate, por ejemplo, en el aire es mucho más elevada que en el agua. Por otra parte, mientras mayor sea la frecuencia de las oscilaciones, mayor será la “absorción” de ellas y, por tanto, su amortiguamiento.

A 1.67 Algunos cetáceos se comunican entre sí a enormes distancias mediante sonidos emitidos en el agua. ¿Por qué no podrían hacer lo mismo mediante sonidos emitidos en el aire?

Cuando una onda incide sobre un cuerpo, una parte es *absorbida* y otra devuelta, *reflejada*. Si has provocado ondas en la superficie del agua de un recipiente, seguramente habrás observado la reflexión de ellas en sus paredes. El *eco* se debe a la reflexión del sonido en los cuerpos. Esta propiedad de las ondas es aprovechada por barcos, submarinos y ciertos animales, como los cetáceos y los murciélagos para localizar, utilizando ultrasonidos, obstáculos y, en general, objetos, lo cual se conoce como *ecolocalización* (o ecolocación).

A 1.68 Provoca ondas en la superficie de un agua tranquila y estudia su reflexión sobre distintos cuerpos.

A 1.69 Describe ejemplos en los que se pongan de manifiesto la absorción y la reflexión del sonido. Analiza la importancia que tienen en la vida del hombre.

A 1.70 Indaga acerca de la ecolocalización (o ecolocación) y su empleo por el hombre y los animales.

Difracción

Todos sabemos que al hablar en el interior de una habitación con la puerta abierta, el sonido se escucha en el exterior, no solo justamente enfrente de la puerta, sino también en lugares a la izquierda y a la derecha de ella. Este hecho se debe a una característica esencial de la propagación del sonido, y en general, de las ondas: se desvían al pasar por los bordes de una abertura o un obstáculo. La figura 1.9 ilustra esta característica para el caso de las ondas en las superficie del agua. El frente de la onda, inicialmente recto, se hace curvo al atravesar la abertura. Mientras menor sea la frecuencia de las ondas, mayor será dicha desviación.

La desviación de las ondas al pasar por el borde de un obstáculo o abertura se denomina *difracción*.

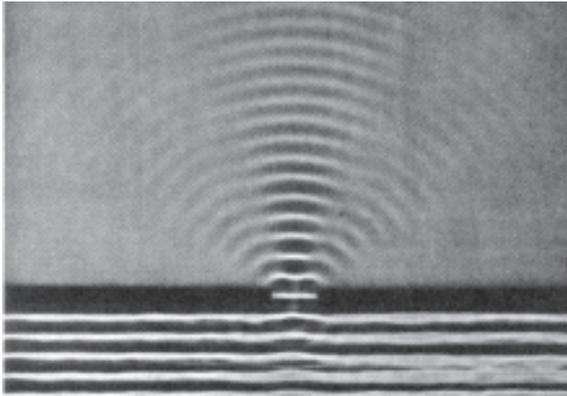


Fig. 1.9 Difracción de ondas en el agua.

A 1.71 ¿Por qué al hablar frente a un objeto que parece impedir el paso del sonido a través de él, como es el caso de una gruesa columna, de todos modos se escucha el sonido del otro lado?

A 1.72 Planifica y lleva a cabo una actividad práctica, a fin de observar la difracción de las ondas producidas en la superficie de un agua tranquila.

1.4.3 Percepción del sonido por el hombre

La música ha constituido uno de los principales impulsos para el estudio del sonido. Ya en las antiguas civilizaciones, como la Egiptia, la Persa y la China, se construían instrumentos musicales y, en consecuencia, se interesaban por la producción y las propiedades del sonido.

En la vida cotidiana, pero especialmente en música, los sonidos se diferencian atendiendo a tres cualidades de su percepción por los humanos: *tono*, *intensidad* (o *volumen*) y *timbre*. Estas cualidades se relacionan, respectivamente, con las siguientes tres características físicas de las oscilaciones y las ondas: frecuencia, amplitud y forma de la oscilación. Las oscilaciones de frecuencias altas las percibimos como sonidos agudos y las de frecuencias bajas, como sonidos graves. Por su parte, las de gran amplitud corresponden a sonidos de elevada intensidad. En la figura 1.10 se muestran las gráficas de las oscilaciones de un diapasón y de una flauta que emiten la misma nota. Las oscilaciones representadas tienen igual frecuencia y amplitud, pero sus formas difieren, lo cual explica que dichos instrumentos posean distinto timbre, es decir, que no suenen de la misma manera.

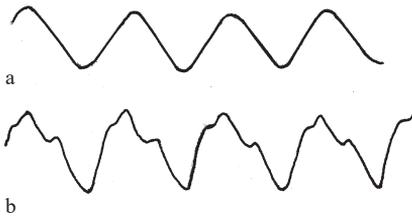


Fig. 1.10 Las oscilaciones representadas tienen igual amplitud y frecuencia, pero diferente timbre.

En realidad, los sonidos habituales, incluidos los musicales, no se caracterizan por oscilaciones con formas tan simples como la de la figura 1.10a, estas suelen ser todavía mucho más complejas que la de la figura 1.10b.

A 1.73 Intenta esclarecer los términos tono, timbre e intensidad, ilustrándolos con ayuda de ejemplos de la vida cotidiana.

A 1.74 ¿Qué significan desde el punto de vista de la física los términos “agudos” y “bajos”, comúnmente empleados en la vida cotidiana al referirnos a los equipos musicales.

A 1.75 Argumenta la afirmación realizada en el párrafo anterior del texto acerca de que las oscilaciones cuyos gráficos se muestran en la figura 1.10 tienen la misma frecuencia y amplitud.

Como ya sabes, el oído humano es sensible a oscilaciones de frecuencias comprendidas en el rango 20 Hz-20 kHz. Hacia los extremos de este rango se ubican los sonidos muy graves y muy agudos, entre los cuales hay toda una rica gama de sonidos. Sin embargo, para percibir aceptablemente la voz o seguir una melodía musical, es suficiente con sonidos cuyas fre-

cuencias estén entre 250 Hz y 3 kHz, aunque por supuesto, en ese caso no se perciben muchos de los efectos de la voz o la música. Es ese el rango de frecuencias en que oscilan, por ejemplo, los diafragmas de los equipos telefónicos comunes. Para escuchar la voz y la música como “naturales”, se requiere que al oído lleguen oscilaciones con frecuencias en un rango mayor, aproximadamente 250 Hz-10 kHz.

A 1.76 Explica con tus palabras, por qué los sonidos que percibimos por la vía del teléfono no nos resultan naturales.

A 1.77 ¿Cuál debe ser una de las condiciones en la reproducción de sonidos con alta fidelidad?

Otra importante característica de la percepción del sonido por el hombre es el *ruido*. Con esta palabra habitualmente se designan los sonidos inútiles o no deseados, lo que suele estar asociado a un *desorden* en los sonidos y la información que percibimos. Ciertamente, el ruido se caracteriza por oscilaciones muy complejas, que no tienen orden o regularidad. El uso del término se ha extendido a diferentes ramas de la ciencia y la tecnología, para indicar oscilaciones o señales no deseadas, ya sean sonoras o no. Así, al referirse a ciertas interferencias durante la transmisión de las imágenes televisivas, o a la “llovizna” que a veces observamos en la pantalla del televisor, suele emplearse la palabra ruido, aún cuando en estos casos no se trate de sonido.

A 1.78 La contaminación ambiental es producida no sólo por desechos vertidos al ambiente, sino también por energía dispersada en ella en forma de ondas. Reflexiona acerca de las fuentes de contaminación ambiental por ruido y sobre el perjuicio que este acarrea.

A 1.79 Indaga acerca del proceso de audición, desde que la onda sonora llega al oído hasta que se produce la sensación de sonido.

Hemos visto que las ondas se caracterizan, básicamente, por tres magnitudes: frecuencia (o período, o longitud de onda), velocidad y amplitud. Ahora, al finalizar la unidad, queremos destacar el importantísimo papel que desempeña la *frecuencia* durante la interacción de ellas con el medio en que se propagan y con los seres humanos: la frecuencia influye en la absorción de la energía de la onda, en su velocidad de propagación, en su desviación al pasar por los bordes de un obstáculo o abertura (difracción), en los matices de su percepción por los seres humanos y hasta en si estimulan o no nuestros órganos de los sentidos.

A 1.80 Esclarece por qué en la conclusión anterior del texto se habla de tres magnitudes que pueden caracterizar a las ondas, mientras que entre paréntesis se añaden dos más.

A 1.81 Resume con tus palabras qué es una onda y cuáles son sus características principales.

A 1.82 En el párrafo anterior del texto se han resumido diferentes aspectos de la interacción de las ondas con el medio en que se propagan y con los seres humanos, que dependen de la frecuencia. Apoya estas dependencias mediante ejemplos concretos.

1.5 Actividades de sistematización y consolidación

1. Confecciona un listado de los conceptos e ideas esenciales estudiados en este tema.
2. Elabora un esquema o cuadro sinóptico que refleje las relaciones entre los conceptos e ideas esenciales estudiados.
3. Responde, resumidamente, las preguntas planteadas en la introducción. ¿En cuáles sería de interés profundizar? Plantea nuevas cuestiones que sería interesante estudiar.
4. ¿Puede decirse que el movimiento de la Tierra alrededor del Sol es una oscilación? ¿Puede afirmarse que dicho movimiento es periódico? Argumenta tus respuestas.
5. Determina la frecuencia y el período de las oscilaciones de tus pulmones al respirar: a) cuando lo haces normalmente, b) al finalizar una rápida carrera. ¿Por qué los resultados obtenidos deben considerarse aproximados?
6. Coloca una regla en equilibrio sobre algún cuerpo cilíndrico (por ejemplo, un pomo o lata de conservas). Haz que la regla oscile. ¿De cuáles características del sistema “regla-cilindro” depende la frecuencia de las oscilaciones? Idea algún experimento a fin de comprobar tus suposiciones.
7. Ilustra la resonancia, utilizando dos péndulos cuyas longitudes pueden ser variadas y que están suspendidos de un mismo hilo horizontal.
8. ¿Cuáles serán las longitudes de onda en el aire y en el agua de un sonido cuya frecuencia es de 440 Hz?
9. La velocidad de las ondas superficiales en el agua (olas) depende de su frecuencia y de la profundidad del agua. Idea y lleva a cabo algún experimento para conocer algo acerca de estas dependencias. Utiliza profundidades entre varios milímetros y varios centímetros.
10. Las ondas en la superficie del agua (olas) pueden producirse de muy diferentes modos: el contacto de algún cuerpo con dicha superficie

(como ya conoces), el viento; algún estremecimiento en las profundidades del agua. Indaga acerca de estos modos en que pueden producirse olas y las características de estas.

11. ¿Sería posible escuchar un concierto en la superficie de la Luna? Argumenta tu respuesta.
12. ¿Qué importante diferencia existe entre la propagación, por un lado, de las oscilaciones sonoras y las producidas en la superficie del agua y por otro, la propagación de las oscilaciones electromagnéticas (ondas de radio y televisión, luz)?
13. ¿Cómo explicarías desde el punto de vista físico, la función que tienen en el estetoscopio los conductos que van de la cápsula auscultadora hasta los oídos?
14. Idea y construye un sencillo “teléfono”, que no utilice electricidad y sirva para comunicarse dos personas situadas entre sí a una distancia de unos pocos metros.
15. Intenta apoyar con hechos de la vida cotidiana, la idea de que la velocidad de propagación del sonido no depende de su frecuencia ni de su amplitud.
16. El zumbido de los insectos se debe a las oscilaciones de sus alas. ¿Cómo se explica la diferencia entre los sonidos producidos por una abeja y un mosquito?
17. Párate frente a una pared alta y ancha (por ejemplos, un frontón) e intenta determinar la distancia a que se encuentra, utilizando el principio de la ecolocalización.
18. Da alguna razón para que la ecolocalización, empleada en los barcos, se realice a través del agua y no del aire.
19. Se sabe que la duración de una descarga eléctrica atmosférica (rayo) es de tan solo fracciones de segundo. ¿Por qué entonces el sonido que la acompaña (trueno) se prolonga durante un tiempo mucho mayor?
20. ¿Qué papel desempeñan las cajas de madera que caracterizan a muchos instrumentos musicales, como la guitarra, el violín, el contrabajo?
21. ¿Qué relación existe entre el grosor de las cuerdas de una guitarra, la frecuencia con que oscilan y el tipo de sonido que producen?
22. ¿Cómo pudiera explicarse desde el punto de vista de la física, el hecho de que el oído humano solo es capaz de detectar sonidos que están en determinado rango de frecuencias?

Capítulo 2

ELECTRICIDAD Y CIRCUITOS ELÉCTRICOS

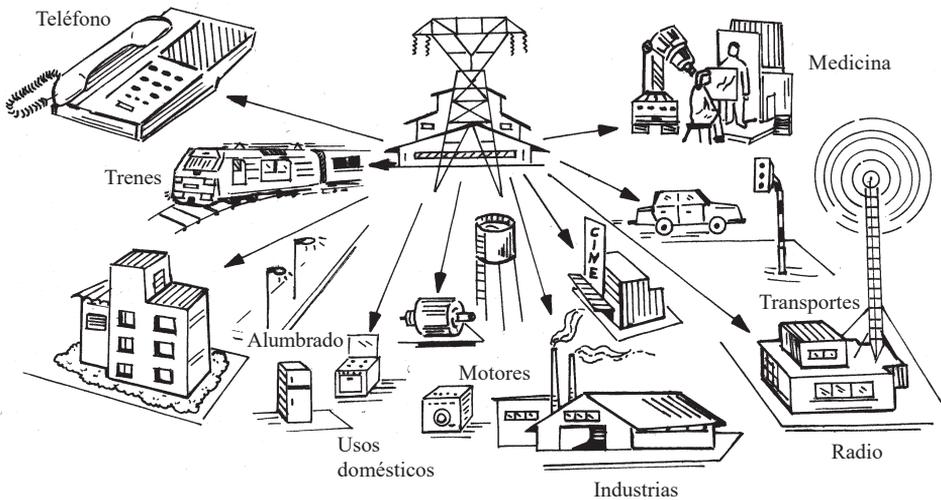


Fig. 2.1 La electricidad ejerce enorme influencia en la vida moderna.

2.1 INTRODUCCIÓN

A 2.1 Menciona sistemas y procesos ideados y producidos por el hombre, que tienen gran importancia en nuestras vidas y son estudiados por la física y la tecnología, pero que aún no hemos considerado.

Entre los *sistemas* y *cambios* estudiados por la física, que aún no hemos examinado, están aquellos vinculados a la *electricidad*. Muchos de ellos no existían hasta hace poco, fueron diseñados y creados por el hombre durante los pasados dos siglos para satisfacer determinadas necesidades y deseos. Pero en sus apenas dos siglos de existencia como parte de la

física y la tecnología, la electricidad posiblemente ha influido más en la vida de los seres humanos que cualquier otra rama de la ciencia (ver figura 2.1). Para percatarnos de esto, basta pensar en lo que serían la actividad de la sociedad y nuestras vidas sin ella.

A 2.2 Describe hechos, naturales y artificiales, relacionados con la electricidad. Piensa cómo sería nuestra vida sin los dispositivos e instalaciones vinculados a la electricidad, creados por el hombre.

El verdadero desarrollo de la electricidad tuvo lugar a partir del año 1800, luego que el físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) inventara la primera *pila eléctrica*. Posteriormente, fueron construyéndose dispositivos e instalaciones eléctricas cada vez más complejas. Así, en la década del 70 del siglo XIX se fabricaron las primeras lámparas incandescentes y en los 80 empezaron a utilizarse pequeñas centrales eléctricas para la iluminación. La radio, la televisión, las computadoras e Internet fueron creadas a lo largo del siglo XX. El análisis de la tabla 2.1 te permite recorrer las fechas de algunas importantes invenciones e innovaciones vinculadas a la electricidad.

Tabla 2.1

**ALGUNAS INVENCIONES E INNOVACIONES
VINCULADAS A LA ELECTRICIDAD**

Pila eléctrica, 1800	Generador eléctrico eólico, 1891
Arco eléctrico, 1801 (comercializado en 1858)	Telegrafía inalámbrica, 1895
Motor eléctrico efectivo, 1829	Acondicionador de aire, 1902
Timbre eléctrico, 1831	Secador de pelo eléctrico, 1905
Primer telégrafo de trenes, 1837	Comunicación de voz humana a través de la radio, 1906
Dínamo, 1855	Primera transmisión regular de radio, 1920
Altavoz y micrófono, 1875	Guitarra eléctrica, 1932
Teléfono, 1876	Lámpara fluorescente, 1933
Lámpara incandescente efectiva, 1879 (40 h de duración)	Radar, 1935
Primeras centrales eléctricas, década de 1880 (12 kW)	Primer servicio público de televisión, 1936

Tabla 2.1 (continuación)

Primera computadora digital electrónica, 1945	Videos domésticos, década de 1970
Horno microonda, 1945-1949	Microprocesador, 1971
Transistor, 1947	Computadora personal, 1975
Fotocopiadora, 1948	Impresora láser, 1977
Célula o pilar solar, 1954	Amplio uso del Fax, 1980 (su uso se inició en 1956)
Mando a distancia, 1956	Teléfono móvil, 1983
“Mouse” para computadora, 1968 (Comercializado en 1983)	Redes locales de computadoras en universidades y corporaciones, década de 1980
Primera transmisión televisiva vía satélite, 1968	Interconexión de redes locales de computadoras entre sí (Internet), finales de 1980
Pantallas de cristal líquido, década de 1970	Correo electrónico, hacia 1990

A 2.3 Busca en un diccionario el significado de los términos invención, innovación y descubrimiento, y aclara la diferencia que existe entre ellos.

A 2.4 Vincula las fechas de las invenciones e innovaciones relacionadas en la tabla 2.1, con la época en que tuvieron lugar importantes hechos de la historia universal y de Cuba.

A 2.5 Indaga cuándo comenzaron a utilizarse en Cuba: a) el teléfono, b) las primeras lámparas de filamento incandescente, c) el radio, d) la televisión (entre otras fuentes, puedes consultar el libro *Por primera vez en Cuba*). Compara esas fechas con aquellas en que se realizaron dichos inventos.

A 2.6 Reflexiona acerca de cómo llega la electricidad (la energía eléctrica) a diferentes dispositivos y equipos utilizados diariamente e intenta precisar los elementos principales que intervienen en ello.

Todas las instalaciones eléctricas, desde una tan simple como la empleada para encender un pequeño bombillo en el laboratorio (fig. 2.2), hasta otras más complejas, como las requeridas para transmitir la energía eléctrica generada en las centrales y transformarla en los equipos eléctricos que utilizamos diariamente, están formadas por *sistemas de dispositivos conectados entre sí*. Tales sistemas se denominan *circuitos eléctricos*.

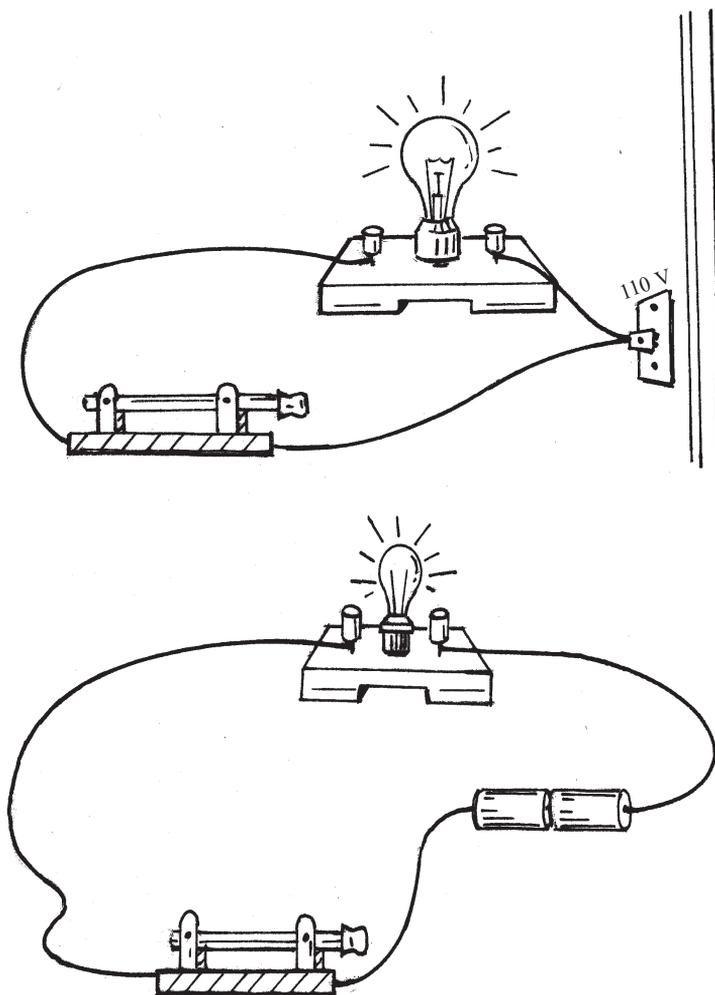


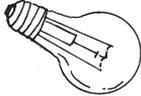
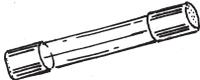
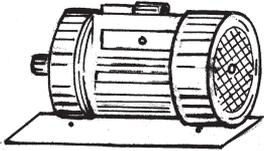
Fig. 2.2 Una bombilla conectada a una fuente de corriente eléctrica constituye un circuito eléctrico sencillo.

Un *circuito eléctrico* es un conjunto de componentes eléctricos conectados entre sí formando una trayectoria cerrada. En su funcionamiento intervienen cuatro elementos básicos: 1) generador o fuente de electricidad, 2) conductores y otros dispositivos para la transmisión de la energía eléctrica, 3) receptores y 4) dispositivos de control.

En la tabla 2.2 se muestran los símbolos con que habitualmente se representan algunos dispositivos eléctricos.

Tabla 2.2

SÍMBOLOS DE ALGUNOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

Dispositivo	Ejemplo	Símbolo
Interruptor		
Bombillo		
Timbre eléctrico		
Fuente de electricidad		
Resistor		
Fusible		
Motor		

A 2.7 ¿Cómo representarías mediante un dibujo esquemático un circuito eléctrico formado por una fuente, una lámpara de incandescencia, conductores y un interruptor? Monta el circuito correspondiente.

A 2.8 Describe ejemplos concretos de cada uno de los distintos componentes que integran los circuitos eléctricos.

A 2.9 Argumenta por qué los circuitos eléctricos pueden considerarse sistemas. ¿Cuál es el significado en ellos del término circuito?

A 2.10 En el funcionamiento de una linterna, ¿cuáles pudieran considerarse la entrada, la salida y el control del sistema?

A 2.11 Explica, desde el punto de vista de la energía, cuál es la función que realizan las fuentes y los receptores en un circuito eléctrico.

A 2.12 Menciona cuestiones que sería interesante estudiar en relación con los circuitos eléctricos y, en particular, con la generación, transmisión y utilización de la electricidad.

Después de haber debatido la importancia que tiene la electricidad en nuestras vidas y examinado el concepto de circuito eléctrico, otras veces los alumnos han considerado de interés profundizar en cuestiones como las siguientes:

¿Cómo se genera electricidad? ¿En qué consiste su naturaleza? ¿Cómo funcionan los circuitos eléctricos y algunos de los dispositivos que en ellos se utilizan? ¿Será posible emplear algunos pocos conceptos e ideas para explicar el funcionamiento de los circuitos, pese a la diversidad de ellos? ¿Cómo medir y ahorrar energía eléctrica?

Estas preguntas irán encontrando respuesta no solo a lo largo del presente capítulo, sino también en el siguiente.

2.2 Electrificación y su naturaleza

En este epígrafe comenzaremos a responder las dos primeras preguntas planteadas. Ello te permitirá relacionarte con interesantes fenómenos y aplicaciones vinculados a la electricidad, y con posterioridad, ahondar en el funcionamiento de los circuitos eléctricos.

2.2.1 Electrificación de los cuerpos

Ya los antiguos griegos advirtieron, 600 años antes de nuestra era, que al frotar con piel un trozo de cierta resina fósil que llamaban *elektrón*

(actualmente denominada *ámbar*), adquiría *la propiedad de atraer pedazos ligeros de otros materiales*, como por ejemplo, pequeñas pajas, o plumas de aves. Más de dos mil años después, en el siglo XVI, el físico y médico inglés William Gilbert (1544-1603) encontró que otros muchos materiales tienen esa misma propiedad, y por eso los denominó *eléctricos*, es decir, semejantes al *elektrón* (al ámbar). Fue así como se introdujo la palabra *electricidad* en la ciencia.

De los cuerpos que al ser frotados adquieren la propiedad de atraer a otros, comúnmente, se dice que están *electrizados*, o que se han *cargado eléctricamente*.

A 2.13 Frota con papel diversos objetos (por ejemplo, un peine, una regla plástica, una tira recortada de una bolsita de productos comerciales o de una lámina de acetato, una varilla de metal) y acércalos a pequeños pedacitos de papel. Describe lo observado.

A 2.14 ¿Será unilateral la acción de un cuerpo electrizado sobre otro, o consistirá en una acción mutua, es decir, en una interacción? Intenta realizar una experiencia que apoye tu respuesta.

Desde el siglo XVIII los experimentadores descubrieron que existen *dos tipos de electricidad*. Ciertamente, dos tiras de retrotransparencia frotadas con papel se *repelen* (fig. 2.3) y lo mismo ocurre con dos varillas de vidrio frotadas con seda (fig. 2.4). Sin embargo, al aproximar entre sí una tira y una varilla previamente frotadas (fig. 2.5), se *atraen*. Esto pone de manifiesto que el plástico y el vidrio adquieren diferentes tipos de electricidad.

Los cuerpos electrizados con el mismo tipo de electricidad se *repelen* y los electrizados con diferente tipo, se *atraen*. Convencionalmente, a la electricidad que es como la adquirida por el vidrio al ser frotado se le llama positiva (+) y a la que es como la de las resinas o plásticos, negativa (-).

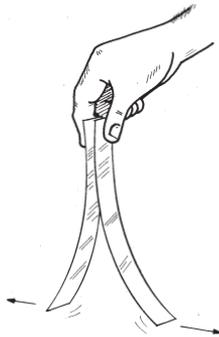


Fig. 2.3 Dos láminas de retrotransparencia frotadas con papel se repelen.

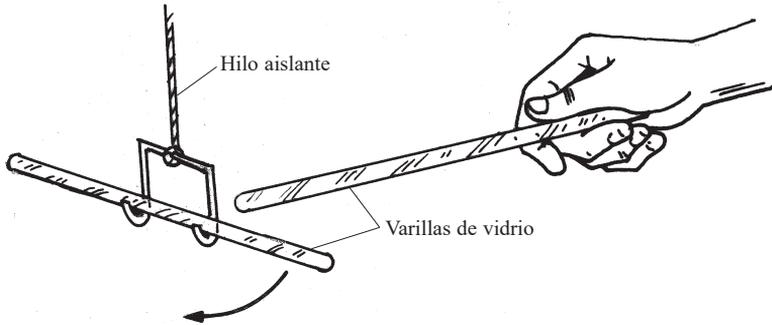


Fig. 2.4 Dos varillas de vidrio frotadas con seda se repelen.

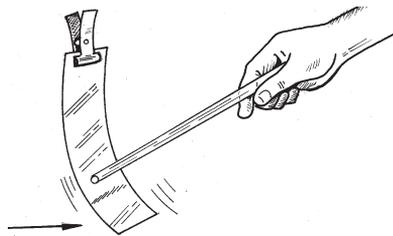


Fig. 2.5 Una lámina de retrotransparencia frotada con papel y una varilla de vidrio frotada con seda se atraen.

A 2.15 Indica qué tipo de electricidad, positiva o negativa, posee cada uno de los cuerpos en las situaciones representadas en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.

A 2.16 Recorta dos tiras rectangulares de una bolsita de polietileno. a) Colócalas una sobre la otra encima de una mesa y frótalas repetidas veces con un dedo. A continuación tómalas por un extremo e intenta separarlas. b) Ahora sitúa las tiras sobre la mesa una al lado de la otra y luego de frotarlas, intenta aproximarlas entre sí. ¿Qué tipo de electricidad tienen las tiras en los casos a y b?

A 2.17 Señala el mayor número de similitudes y diferencias que encuentres entre las fuerzas gravitatoria y eléctrica.

La electrización de los cuerpos tiene numerosas aplicaciones, entre ellas, el *fotocopiado* (acerca de este, consulta alguna enciclopedia multimedia, por ejemplo, “¿Cómo funcionan las cosas?”). Durante el fotocopiado, en la superficie de un rodillo, mientras gira, se va creando una “imagen” de las letras y figuras que se copiarán, formada por electricidad positiva. Esta “imagen” atrae finas partículas de polvo cargadas negativamente, las cuales constitu-

yen la tinta (“toner”). A continuación, la hoja de papel, también electrizada, atrae hacia sí a las partículas que han formado letras y figuras en el rodillo. Finalmente, las partículas de polvo, ya en el papel, se funden mediante elevación de la temperatura, con lo cual resulta la impresión.

A 2.18 Plantea posibles cuestiones en las que consideras necesario profundizar, relacionadas con las experiencias de electrización efectuadas.

Después de haber ensayado la electrización de diversos cuerpos, seguramente te has preguntado por qué unos se electrizan al ser frotados y otros no, en particular, ¿por qué es tan fácil electrizarse una tira de retrotransparencia y, sin embargo, no es posible electrizarse una varilla de metal?

Resulta que unos materiales *conducen la electricidad* mejor que otros. Así, los plásticos habituales la conducen muy mal, el cuerpo humano bastante bien y los metales muy bien. Por eso es que podemos electrizarse un cuerpo de plástico que sostenemos con la mano, mientras que uno metálico no.

A 2.19 Explica con tus propias palabras por qué puedes electrizarse una tira recortada de una bolsita de las utilizadas en las tiendas para los productos, frotándola, y no así una varilla de metal.

A 2.20 Atendiendo a la capacidad para conducir la electricidad, intenta clasificar diversos materiales utilizados en la vida diaria en tres categorías: buenos, medianos y malos conductores.

A 2.21 Explica por qué un cuerpo electrizado pierde con el tiempo dicha propiedad.

A 2.22 ¿Qué pudieras hacer para intentar electrizarse una varilla metálica?

Una varilla metálica puede ser electrizada, utilizando un mango aislador para sostenerla mientras se frota, pero también si la suspendemos de un hilo aislante y, luego, la ponemos en contacto con un cuerpo previamente electrizado (fig. 2.6). Existe un tercer modo para electrizarse la varilla metálica. Indaga acerca de él.

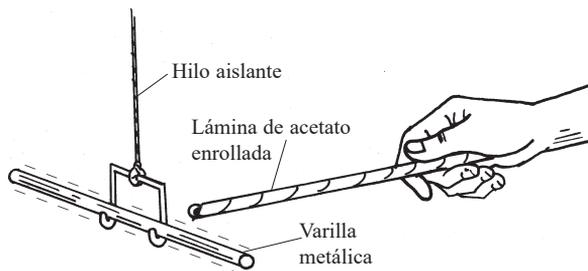


Fig. 2.6 La varilla metálica se electrizarse al ponerse en contacto con el cuerpo previamente cargado.

A 2.23 Intenta realizar un experimento como el de la figura 2.6. ¿Cómo pudiera comprobarse si realmente la varilla metálica se ha electrizado?

Cuando un cuerpo electrizado se aproxima a otro, como en la situación de la figura 2.5, a veces se producen chispas antes de tocarlo. El propio Newton, luego de observar tales chispas escribió: “La chispa me recordó un relámpago en pequeñas, muy pequeñas dimensiones”. En 1752, Benjamín Franklin, mediante un experimento sumamente peligroso, comprobó que, en efecto, el rayo tiene una naturaleza eléctrica. Elevó un papalote en un día de tormenta y logró transmitir a través de él electricidad de las nubes, provocando chispas y electrizando un cuerpo.

A 2.24 Frota con papel una tira recortada de una retrotransparencia y aproxímalas a un cuerpo metálico. Si lograste electrizar la tira intensamente, podrás escuchar un débil chasquido. En una habitación oscura se pudiera ver una pequeña chispa.

A 2.25 Indaga sobre el experimento realizado por Benjamín Franklin en 1752 con el propósito de confirmar la naturaleza eléctrica del rayo.

Los experimentos analizados anteriormente ponen de manifiesto que *la electricidad se transmite* de unos cuerpos a otros, o a través de ellos. Pero, ¿qué es en realidad lo que se transmite? Intentaremos responder esta pregunta en el próximo epígrafe.

2.2.2 Naturaleza de la electricidad

En el siglo XVIII se plantearon dos hipótesis básicas para explicar la electrización de los cuerpos. Una, consideraba que a cada uno de los dos tipos de electricidad que hemos mencionado, positiva y negativa, correspondía un *fluido*. La otra, afirmaba que el fluido es uno solo, de electricidad positiva, y que los materiales en sí mismos tienen electricidad negativa. De acuerdo con la primera hipótesis, la electrización de los cuerpos se explicaba por el exceso en ellos de alguno de los dos fluidos y, de acuerdo con la segunda, por el exceso o defecto del fluido positivo.

A 2.26 Repasa el subepígrafe 3.3.1 del libro de texto *Física. Octavo grado*. ¿Cómo pudieras explicar la electrización de los cuerpos, sabiendo que en el interior de ellos hay electrones y protones?

En aquella época se desconocía que las partículas que constituyen los cuerpos están formadas, a su vez, por electrones, protones y neutrones. Hoy sabemos que, en realidad, los responsables de que haya dos tipos de

electrización son los *electrones* y *protones*. Los primeros poseen el tipo de electricidad que hemos denominado negativa (–) y los segundos, el que llamamos positiva (+). Cierta cantidad de electrones puede desplazarse de un cuerpo a otro, o de una parte a otra de un mismo cuerpo, dando lugar a un exceso o defecto de un tipo u otro de electricidad, es decir, provocando su electrización.

La cantidad de electrones que se transfiere de un cuerpo a otro durante las experiencias habituales de electrización por frotamiento es enorme. Es difícil determinar la cantidad que pasa a una tira de retrotransparencia al frotarla con papel, sobre todo porque depende de las condiciones en que se realiza la experiencia, pero la cifra pudiera ser de miles de millones de electrones (del orden de 10^9). Esta fabulosa cifra es, sin embargo, insignificante comparada con la cantidad total de electrones que hay en las moléculas de la tira. En una descarga eléctrica atmosférica (rayo) pueden transferirse alrededor de 10^{20} electrones y, no obstante, el número total de los que hay en la tira pudiera ser todavía mayor.

A 2.27 Explica, desde el punto de vista microscópico, la electrización de una tira recortada de una bolsita de las utilizadas en las tiendas, al frotarla con papel.

A 2.28 ¿Cómo se explica desde el punto de vista de la estructura interna de los cuerpos, la atracción que ejerce uno electrizado sobre otro neutro, por ejemplo, sobre: a) un cuerpo metálico, b) un cuerpo plástico o un pedacito de papel?

No es indispensable frotar dos cuerpos entre sí para que se transfieran electrones de uno a otro, basta con que hagan buen contacto y sean de *distintos materiales*. Hacia dónde pasan los electrones y en qué cantidad, depende de las características de los materiales, en particular, de la concentración de electrones en ellos y de la capacidad de sus átomos o moléculas para atraerlos hacia sí (dicho muy simplificado). Mientras mayor sea la diferencia entre dos materiales, en lo que respecta a estas características, más fácilmente se electrizarán al ponerlos en contacto. Por supuesto, la cantidad de electrones que se transfiere también depende del número de puntos de las superficies de los cuerpos que entran en contacto.

De este modo, al poner en contacto mutuo dos cuerpos de materiales diferentes, pueden pasar electrones de uno a otro, quedando electrizados ambos.

A 2.29 ¿Qué papel desempeña el frotamiento durante la electrización de los cuerpos?

A 2.30 En las experiencias de electrización, para obtener buenos resultados, los cuerpos de resinas y plásticos suelen frotarse con alguna piel y los de vidrio con seda. Da alguna razón para ello.

Una vez más hemos confirmado la idea introducida en el epígrafe 3.3 del libro *Física. Octavo grado*, acerca de que las propiedades de los cuerpos –en este caso la electrización– están íntimamente relacionadas con la estructura de ellos.

2.2.3 Campo eléctrico

Hemos visto que la electrización de los cuerpos se manifiesta en el hecho de que ejercen fuerzas sobre otros cuerpos, las cuales puede ser no solo de atracción, sino también de repulsión y tienen su origen en los electrones y protones que los constituyen. Pero no hemos dicho nada acerca de *cómo se transmite la acción de un cuerpo electrizado sobre otro*.

A 2.31 ¿Cómo se transmite la acción de un cuerpo electrizado sobre otro, instantáneamente o no?

Parece lógico pensar en algún enlace entre ellos, aunque este sea invisible. La ciencia ha demostrado que, en efecto, ese enlace existe y lo ha denominado *campo eléctrico*.

Si tenemos dos cuerpos electrizados A y B a determinada distancia uno del otro y movemos, por ejemplo, el A hacia el B, la fuerza ejercida entre ellos aumenta, pero no instantáneamente, se requiere determinado tiempo para ello. La transmisión de la acción nos parece instantánea porque se realiza a una velocidad muy grande, aproximadamente a 300 000 km/s. Sin embargo, es conocido, por ejemplo, que las oscilaciones de los electrones en la antena de una nave que se acerca a Marte demoran en registrarse en la Tierra alrededor de 5 min. En este caso, la distancia es tan grande que el tiempo en transmitirse la acción es claramente apreciable.

De este modo, las partículas y cuerpos electrizados tienen asociado un *campo eléctrico*, mediante el cual se transmiten las acciones que ellos ejercen.

A 2.32 En tu opinión, ¿qué campo eléctrico será más intenso, el de una regla plástica o el de una tira de retrotransparencia, ambas frotadas con papel? ¿Dónde será más intenso, cerca o lejos de los cuerpos electrizados?

La *intensidad del campo eléctrico* de un cuerpo depende de su grado de electrización, o carga eléctrica que posee, y de la distancia a él .

Por su parte, si una partícula o un cuerpo electrizados se colocan en un campo eléctrico, la fuerza ejercida sobre ellos depende de la carga eléctrica que poseen y de la intensidad del campo.

Lo anterior es aprovechado en numerosas aplicaciones prácticas, en las que se dirige el movimiento de ciertas partículas a lugares deseados, variando la intensidad del campo, o la carga eléctrica de las propias partículas. Por ejemplo, en las pantallas de los televisores habituales, las imágenes se forman haciendo incidir sobre ella electrones. Estos electrones son emitidos en el extremo posterior del “tubo de pantalla” y luego acelerados mediante un campo eléctrico hasta una velocidad de unos 6 000 km/s, con la que inciden sobre la pantalla. Por su parte, en una impresora de “chorro de tinta”, las pequeñísimas gotas de tinta que formarán los diversos caracteres son electrizadas y dirigidas hacia el papel mediante un campo eléctrico. Para formar una letra típica se necesitan alrededor de 100 minúsculas góticas de tinta, pero en las impresoras modernas pueden producirse más de 200 000 cada segundo.

A 2.33 Profundiza en la formación de imágenes en la pantalla de un televisor.

Hemos contestado, parcialmente, las dos primeras preguntas planteadas en la introducción del capítulo. Continuaremos profundizando en ellas en el próximo capítulo. Ahora proseguiremos con las respuestas a las otras preguntas.

2.3 Circuitos eléctricos

Ya conoces que todas las instalaciones eléctricas se componen de circuitos más o menos complejos. Estos permiten generar, transmitir y utilizar la electricidad para producir efectos deseados en los lugares requeridos, muchos de ellos distantes. En este epígrafe trataremos de responder las preguntas *¿Cómo funcionan los circuitos eléctricos y algunos de los dispositivos que en ellos se utilizan? ¿Será posible emplear algunos pocos conceptos e ideas para explicar el funcionamiento de los circuitos, pese a la diversidad de ellos?*

2.3.1 Corriente eléctrica y su generación

En la vida cotidiana frecuentemente escuchamos y empleamos el término “corriente eléctrica”. Esta es una característica esencial de todo circuito eléctrico. ¿Qué se entiende por ella?

A 2.34 Menciona situaciones de la vida cotidiana en que se emplee el término “corriente eléctrica”. ¿Cómo caracterizarías dicho término?

La palabra *corriente* generalmente se relaciona con el flujo o movimiento de algo en cierta dirección: corriente de agua, de aire, corriente sanguínea, etc. De modo similar, *corriente eléctrica* significa flujo o movimiento de *electricidad* en determinada dirección. En los sólidos, como sabes, dicha electricidad se transmite generalmente mediante electrones. Pero en los gases pueden desplazarse no solo electrones, sino además iones, positivos y negativos (como en las descargas eléctricas atmosféricas y en las lámparas fluorescentes). En los líquidos conductores de la electricidad, lo que fluye son iones (por ejemplo, durante una electrólisis).

Por consiguiente, se denomina *corriente eléctrica* al movimiento de partículas eléctricas (electrones, iones u otras partículas cargadas) *en determinada dirección*.

Cabe recordar que las partículas que constituyen los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos, incluyendo sus electrones e iones, se mueven desordenadamente y a grandes velocidades. Esto tiene lugar aunque haya corriente eléctrica (fig. 2.7). Por tanto, lo que llamamos corriente eléctrica es el movimiento que, pese a ese continuo desplazamiento desordenado, realizan de conjunto las partículas eléctricas *en determinada dirección*.

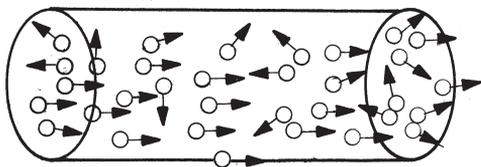


Fig. 2.7 Representación esquemática de que aún cuando exista corriente eléctrica en un conductor, los electrones conservan su movimiento desordenado.

A 2.35 Argumenta por qué el flujo de partículas de un cuerpo a otro durante la electrización por frotamiento y las descargas eléctricas atmosféricas pueden ser consideradas corrientes eléctricas.

A 2.36 A partir de tu experiencia en la electrización de los cuerpos, sugiere algún posible procedimiento para generar corriente eléctrica.

Ahora que ya tienes una idea de qué es corriente eléctrica, intentaremos contestar la pregunta ¿cómo generarla?

Las experiencias de electrización sugieren que un procedimiento simple podría consistir (fig. 2.8) en transmitir carga eléctrica a un cuerpo metálico (A), el cual después se une a otro (B) mediante un conductor. Este

funciona como una especie de guía de campo eléctrico. Bajo la acción del campo, los electrones, no obstante su movimiento desordenado, se mueven de conjunto hacia el cuerpo B. Desde el punto de vista de la energía, ocurre una transformación de energía potencial eléctrica –debida a la acumulación de partículas eléctricas en A– en energía de la corriente. Sin embargo, en el caso descrito, la corriente es de muy corta duración. Por eso se requiere utilizar algún dispositivo que, al mismo tiempo que transmite electrones al cuerpo A, extrae del B. Esa es, en esencia, la función de las *fuentes* o *generadores* de electricidad (fig. 2.9).

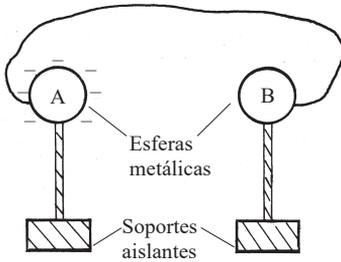


Fig. 2.8 Cuando el cuerpo cargado A se conecta, mediante un conductor, con el B, por el mismo circula una corriente eléctrica de muy corta duración.

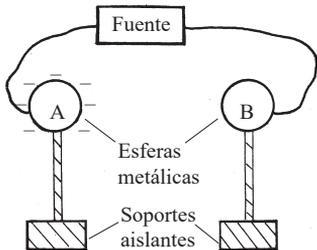


Fig. 2.9 Si los conductores A y B son conectados a los polos de una fuente de corriente (por ejemplo una pila de linterna), la corriente eléctrica se mantiene.

A 2.37 En las figuras 2.8 y 2.9, ¿de dónde procede la energía potencial de la acumulación de partículas eléctricas en el cuerpo A?

La función de las fuentes o generadores es producir un exceso de carga eléctrica en una parte del circuito respecto a otra, provocando así un campo eléctrico a través de él. Es, además, restablecer continuamente la energía potencial eléctrica que constantemente pasa a otra forma en los receptores.

A 2.38 ¿Qué hechos sugieren que los cuerpos de la figura 2.8 poseen energía potencial antes de unirlos mediante el conductor?

A 2.39 Idea algún procedimiento simple, basado en la electrización por frotamiento, mediante el cual, en la situación representada en la figura 2.8, pudieran transmitirse electrones al cuerpo A y extraerse del B.

Durante los siglos XVIII y XIX se idearon varios mecanismos basados en la electrización por frotamiento –denominados *máquinas electrostáticas*– que permitían mantener la situación esquematizada en la figura 2.8. Debido a las grandes pérdidas por rozamiento, la eficiencia de estas máquinas es extremadamente pequeña, logran transformar en energía eléctrica solo alrededor del 5 % de la energía mecánica invertida.

Como hemos dicho, en el año 1800 fue inventada por Volta la primera pila eléctrica. Su fundamento es el paso de partículas eléctricas de cierto cuerpo a otro de diferente material, al ponerlos en contacto mutuo. Por ejemplo, si en una disolución acidulada con sulfúrico se introduce una lámina de zinc, esta se electriza negativamente. Cuando en la misma disolución se introduce una de cobre, apenas se electriza. Por eso, si a continuación, el zinc y el cobre se unen mediante un conductor, se produce una corriente eléctrica (fig. 2.10). En las pilas electroquímicas, como la de Volta, tiene lugar la transformación de energía interna en energía de la corriente eléctrica mediante una reacción química. Si se desconecta el conductor que une los terminales, la reacción cesa. La pila de Volta fue precursora de las modernas pilas electroquímicas.

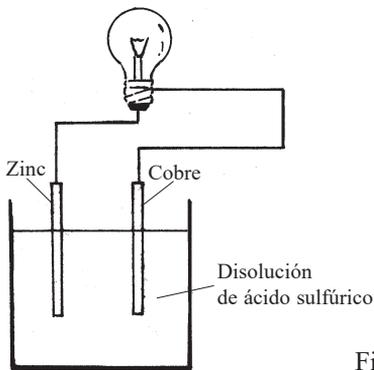


Fig. 2.10 Representación de una pila electroquímica.

A 2.40 Indaga cuál es la razón por la cual los generadores electroquímicos de electricidad suelen denominarse “pilas”.

Además de las pilas electroquímicas, en la actualidad se ha extendido el uso de las *pilas* o *celdas solares*. Una explicación muy simplificada de su funcionamiento consiste en lo siguiente. Si se unen dos materiales *semiconductores* apropiados, en la zona de contacto uno se electriza negativamente y el otro, positivamente. En consecuencia, al unir mediante un

conductor sus extremos libres, fluirá una corriente eléctrica. La corriente se mantiene transmitiendo energía a la unión, al hacer incidir radiación sobre ella.

A 2.41 Indaga acerca de diversas aplicaciones de las celdas solares.

A 2.42 Menciona los tipos de pilas y baterías que conoces. Explica el funcionamiento de ellas desde el punto de vista de la energía.

En las pilas, la energía necesaria para mantener la corriente eléctrica se obtiene mediante reacciones químicas, elevación de temperatura, radiación, en dependencia de si son electroquímicas, térmicas o solares. La región de la pila donde se acumula carga positiva se denomina terminal (o polo) positivo y la región donde se acumula carga negativa, terminal (o polo) negativo.

A 2.43 Examina diferentes tipos de pila e identifica sus terminales (o polos) positivo y negativo.

2.3.2 Algunas características de la corriente eléctrica

Cambios producidos por la corriente eléctrica

Entre los cambios más comunes producidos por la corriente eléctrica se encuentran los efectos *térmico*, *luminoso*, *químico* y *magnético*. Como ya sabes, en determinadas condiciones, por ejemplo en las antenas transmisoras, la corriente eléctrica puede dar lugar también a ondas de radio y televisión. En estos cambios se basa el funcionamiento de numerosos equipos e instalaciones.

A 2.44 Describe ejemplos concretos que conozcas de cada uno de los diferentes cambios o efectos que produce la corriente eléctrica mencionados en el párrafo anterior.

Los efectos luminoso y térmico de las descargas eléctricas atmosféricas han acompañado al hombre a lo largo de su existencia, sin saber que eran producidos por una gigantesca corriente eléctrica. Pero fue luego de inventada la pila eléctrica que los científicos comenzaron a investigar los efectos luminoso, térmico y químico de la corriente. El efecto magnético lo descubrió más tarde, en 1820, el físico y químico Hans Christian Oersted (1777-1851), al parecer casualmente, mientras realizaba algunas experiencias durante una conferencia. La experiencia, conocida como *experiencia*

de Oersted, consiste en lo siguiente: si sobre una aguja magnética orientada en el campo magnético de la Tierra (brújula), se coloca, paralelamente a ella, un conductor con corriente eléctrica (fig. 2.11), entonces, la aguja se desvía. El experimento pone de manifiesto que la corriente provoca sobre la aguja un efecto similar al de un imán. Si el conductor con corriente se enrolla alrededor de un cuerpo ferroso (electroimán), entonces el efecto magnético se refuerza (fig. 2.12).

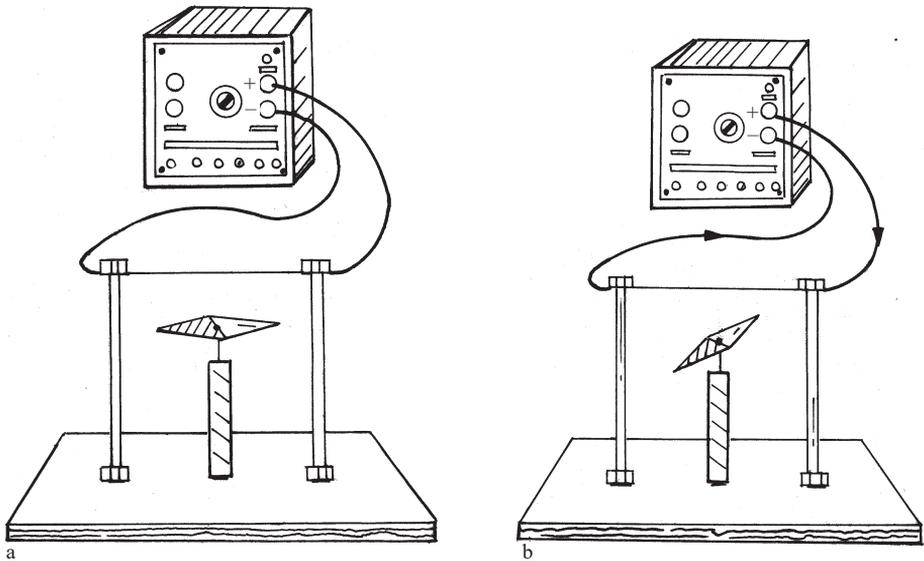


Fig. 2.11 Esquema del experimento de Oersted: cuando por el conductor circula corriente, la aguja magnetizada se desvía de su orientación inicial.

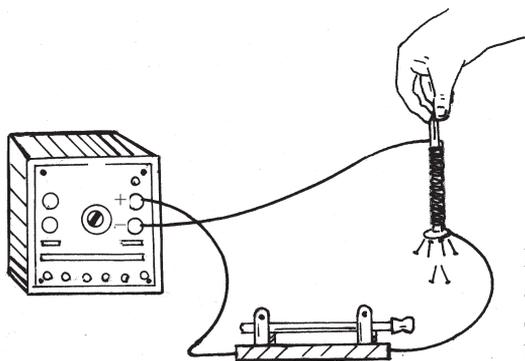


Fig. 2.12 Al circular corriente por el alambre enrollado alrededor del clavo, este puede atraer pequeños objetos de hierro de manera similar a un imán.

A 2.45 Indaga acerca de importantes inventos relacionados con cada uno de los efectos de la corriente eléctrica que hemos estado examinando.

A 2.46 Reproduce el experimento de Oersted. Construye un sencillo electroimán.

Sentido de la corriente eléctrica

A 2.47 ¿Qué es de esperar que suceda con el movimiento de las partículas cargadas que constituyen la corriente eléctrica, al intercambiar entre sí los terminales o polos de la pila eléctrica? Dependerán los efectos de la corriente del sentido en que se muevan dichas partículas?

Si se intercambian entre sí los polos de una pila eléctrica a la que está conectado, por ejemplo, un bombillo de linterna, las fuerzas que actúan sobre los electrones de los conductores invierten su sentido y, por tanto, también se invierte el sentido del movimiento de conjunto de ellos. No obstante, los efectos térmico y luminoso producidos continúan siendo los mismos.

Sin embargo, en el experimento de Oersted (fig. 2.11), al intercambiar los polos de la pila a que está conectado el conductor, el efecto producido varía: la aguja magnética se desvía hacia el lado opuesto. Similarmente, al invertir la conexión en los terminales de un electroimán (fig. 2.12), aunque este continua atrayendo pedacitos de metal ferroso, su polo norte pasa a ser sur y a la inversa, lo que puede comprobarse con ayuda de una brújula. El efecto químico también depende del sentido de la corriente. Por ejemplo, en la electrólisis de una disolución de cloruro de sodio en agua, después de invertir los polos de la fuente, donde se liberaba cloro, se liberará hidrógeno y viceversa.

A 2.48 Planifica y realiza algunos experimentos con el propósito de constatar que los efectos magnético y químico de la corriente eléctrica dependen de su sentido.

El sentido de la corriente no influye en el funcionamiento de ciertos equipos y dispositivos, digamos, en el de un bombillo o una hornilla eléctrica. Pero es decisivo en muchas otras situaciones de la vida práctica: durante la electrólisis, al cargar una batería o pila, al poner en funcionamiento una *walkman*, etcétera.

A 2.49 En los metales, la corriente eléctrica está formada por el movimiento de electrones, es decir, partículas de carga negativa, en los electrólitos y en los gases, por el

movimiento de iones de ambos signos. ¿Cuál debe tomarse como sentido de la corriente, el de las partículas de carga negativa o el de las partículas de carga positiva?

Hace mucho, los científicos acordaron que el sentido de la corriente es del terminal (o polo) positivo de la fuente al negativo. De este modo, aunque en un conductor metálico los electrones se muevan del polo negativo al positivo, el sentido de la corriente es el contrario: del terminal positivo al negativo.

A 2.50 En las figuras 2.11 y 2.12, indica cuál es el sentido del movimiento de conjunto de los electrones. ¿Cuál es el sentido de la corriente?

Corriente directa y corriente alterna

La corriente producida por las pilas, acumuladores y otros generadores, como los utilizados hasta aquí, se denomina *directa*. Estos generadores mantienen en sus terminales el mismo tipo de electricidad, positiva o negativa, por lo que al conectarlos a un circuito, la corriente fluye siempre en un mismo sentido. A diferencia de ellos, en un enchufe habitual de la red eléctrica, uno de los terminales (el comúnmente llamado “vivo”) –o los dos si es de 220 volt– varía constantemente de positivo a negativo y viceversa, con cierta rapidez. En consecuencia, cuando se conecta algún equipo al enchufe, la corriente producida realiza *oscilaciones*, *alternando* entre un sentido y el otro. De ahí que esta corriente se denomine *alterna*. En Cuba, la frecuencia de tales oscilaciones es de 60 Hz.

A 2.51 Explica con tus palabras en qué se diferencian la corriente directa y la corriente alterna.

A 2.52 Argumenta por qué en el párrafo anterior se afirma que la corriente producida por un enchufe de la red eléctrica oscila.

A 2.53 ¿Qué razones existirán para que la corriente eléctrica en las redes nacionales de los países sea, en lo fundamental, alterna?

Velocidad de las partículas eléctricas en una corriente eléctrica

Tal vez te estés haciendo algunas preguntas como las siguientes: ¿a qué velocidad avanzan los electrones cuando encendemos una linterna? o ¿qué distancia recorren en una corriente alterna si esta varía su sentido 60 veces por segundo?

Consideremos un bombillo de linterna que se conecta a unas pilas mediante un alambre de cobre de alrededor de 10 cm de largo y 1 mm de diámetro (fig. 2.13). Las partículas que constituyen el alambre, incluidas las eléctricas, se mueven, como las de otros cuerpos, desordenadamente y con grandes velocidades. En particular, semejante alambre tiene unos 10^{23} electrones disponibles, o “libres”, para participar en la corriente eléctrica, los cuales se mueven caóticamente con una velocidad que, a la temperatura ambiente, es, por término medio, del orden de 1 000 km/s. Sin embargo, aún cuando la corriente en el alambre fuese de un ampere, lo cual es ya un valor relativamente alto para este caso, la velocidad del movimiento *de conjunto* de los electrones sería de tan solo unos 0,07 mm/s. Haz de imaginar lo pequeña que sería la amplitud de las oscilaciones que de conjunto realizan los electrones si la corriente fuese alterna.

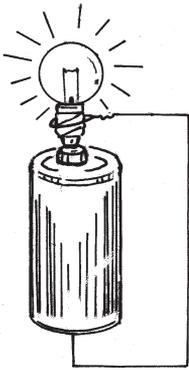


Fig. 2.13 ¿A qué velocidad avanzan los electrones cuando encendemos un bombillo de linterna?

A 2.54 ¿Qué distancia, en promedio, podrían recorrer en un segundo los electrones que participan en la corriente eléctrica de un alambre habitual de cobre, si se movieran en línea recta y sin obstáculos?

A 2.55 En la experiencia de la figura, ¿qué distancia habrán avanzado, de conjunto, los electrones que constituyen la corriente eléctrica al cabo de una hora?

Luego de haber debatido acerca del movimiento de las partículas cargadas en una corriente eléctrica, otras veces algunos estudiantes se han preguntado: ¿Cómo es posible que si la velocidad del movimiento orientado de los electrones en una corriente eléctrica es tan pequeña, una lámpara de filamento ilumine inmediatamente que se cierra el interruptor?

Recordemos que la corriente eléctrica está formada por el movimiento de conjunto de los electrones en determinada dirección, *al actuar sobre ellos un campo eléctrico*. En el circuito de la lámpara, tal campo aparece y

se transmite cuando se cierra el interruptor, él se debe al exceso de electricidad en los terminales del enchufe. Pero dicho campo se propaga a través del conductor a una velocidad cercana a la de la luz, es decir, próxima a 300 000 km/s, por lo cual el efecto nos parece inmediato.

De este modo, el responsable de iniciar y mantener la corriente eléctrica en un circuito es un campo eléctrico, que, al cerrar el interruptor, se propaga a gran velocidad a través de él.

A 2.56 Resume las condiciones esenciales que se requieren para generar y mantener una corriente eléctrica.

2.3.3 Magnitudes básicas en los circuitos eléctricos

Intensidad de corriente eléctrica

Ya sabes que la corriente eléctrica consiste en el movimiento de partículas eléctricas (electrones, iones u otras partículas cargadas) *en determinada dirección*. Naturalmente, la cantidad de partículas eléctricas que en cierto tiempo atraviesa la sección transversal de un conductor puede ser mayor o menor, en dependencia de la fuente de electricidad utilizada y las características concretas del circuito.

Se denomina *intensidad de la corriente eléctrica* (I) a la cantidad neta de electricidad (por ejemplo, de electrones) que pasa a través de la sección transversal de un conductor en la unidad de tiempo.

A 2.57 ¿Por qué en el párrafo anterior del texto es necesario precisar que la intensidad de corriente está relacionada con la cantidad de electricidad “neta”, que pasa a través de la sección transversal del conductor?

A 2.58 Argumenta por qué en una electrólisis, la cantidad de sustancia obtenida en los electrodos depende de la intensidad de la corriente eléctrica.

A 2.59 Imagina que para conectar un bombillo a unas pilas de linterna, utilizas un alambre de 1 mm de diámetro y otro de 2 mm. ¿En cuál será mayor la velocidad del movimiento orientado de los electrones? ¿En cuál la intensidad de la corriente?

Los efectos de la corriente eléctrica dependen de su intensidad, por lo que pueden ser utilizados para medirla. El más conveniente para ello ha sido el efecto magnético. Así, una instalación tan simple como la del experimento de Oersted (fig. 2.11), permite no solo conocer el sentido de la corriente –a partir de la desviación de la aguja hacia un lado u otro– sino además, utilizando una escala apropiada, medir su intensidad. Precisamen-

te en esta idea se basa la construcción de la mayoría de los instrumentos no digitales utilizados para medirla.

Los instrumentos que miden la intensidad de la corriente eléctrica se denominan *amperímetros* (fig. 2.14) y su unidad básica de medida, *ampere* (A), en honor del físico y matemático francés Andrés María Ampere (1775-1836), quien introdujo el término “corriente eléctrica” y desarrolló aspectos importantes de la teoría electromagnética.

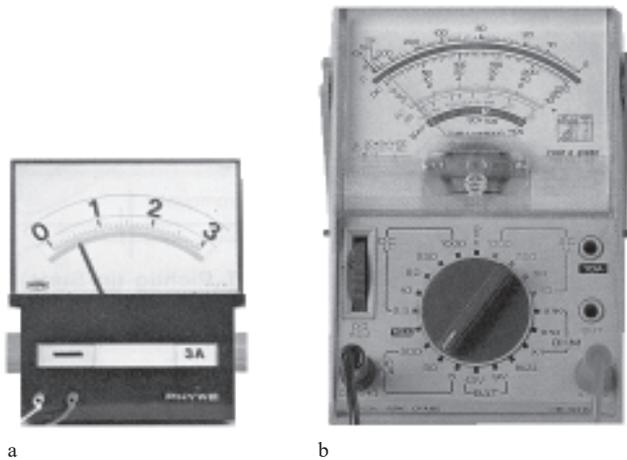


Fig. 2.14 a) Amperímetro demostrativo b) Multímetro en posición de amperímetro.

Además del ampere, en la práctica también se usan submúltiplos y múltiplos de él: miliampere (μA), microampere (μA) y kiloampere (kA).

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$

$$1 \mu \text{ A} = 0,000 \ 001 \text{ A}$$

$$1 \text{ kA} = 1 \ 000 \text{ A}$$

A 2.60 Dibuja el esquema de un circuito formado por: una fuente; dos bombillos, uno a continuación de otro; un interruptor y conductores. Monta el circuito correspondiente (fig. 2.15). Familiarízate con las escalas del amperímetro y mide la intensidad de corriente entre: a) la fuente y un bombillo, b) la fuente y el otro bombillo, c) los dos bombillos.

Cuando la intensidad de la corriente eléctrica en un conductor metálico es de 1 A, la cantidad neta de electrones que cada segundo atraviesa su sección transversal es alrededor de $6 \cdot 10^{18}$.

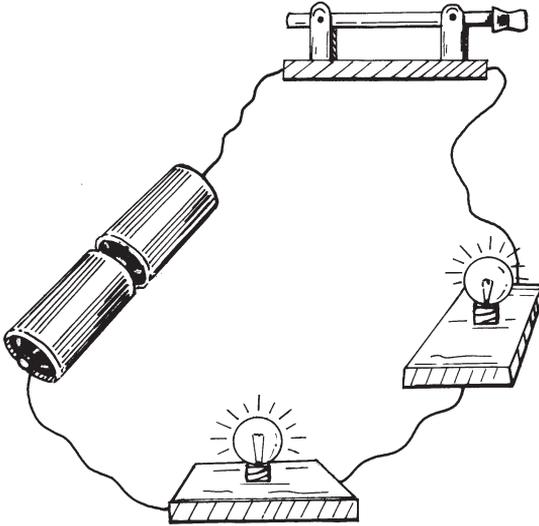


Fig. 2.15 Actividad 2.60.

En la tabla 2.3 se relacionan algunos valores de intensidad de corriente que pueden ser de interés.

Tabla 2.3
ALGUNOS VALORES CARACTERÍSTICOS
DE INTENSIDAD DE CORRIENTE

Hecho o dispositivo de interés	Intensidad de corriente (I)
Valores más bajos que pueden ser detectados	$1 \cdot 10^{-17}$ A (63 electrones por segundo)
Impulso nervioso	$10 \mu\text{A}$
Base de un transistor común	$10\text{-}100 \mu\text{A}$
LED habitual	$20\text{-}30 \text{ mA}$
Valor a partir del cual es peligrosa para el organismo humano	$0,1 \text{ A}$
Bombillo de filamento habitual (60 W)	$0,5 \text{ A}$
Bombillo de linterna común	$0,8 \text{ A}$
Motor común para elevar agua en una casa	5 A
Hornilla eléctrica	$5\text{-}9 \text{ A}$
Límite permisible en un fusible habitual de vivienda	30 A
Descarga eléctrica atmosférica	20 kA

Voltaje o tensión eléctrica

Ya sabes que la función de las fuentes o generadores es producir *un exceso de partículas eléctricas en una parte del circuito respecto a otra* (ver figuras 2.8 y 2.9), y que dicha acumulación de partículas posee energía potencial, la cual puede transformarse en otros tipos en los receptores. El *voltaje* (U), denominado así en honor de Alessandro Volta, es una medida de la energía potencial que, en promedio, le corresponde a cada una de esas partículas eléctricas en exceso. Al aumentar su número, también aumenta la energía correspondiente a cada una, y por tanto, el voltaje.

A 2.61 Argumenta por qué en determinada acumulación de partículas eléctricas, al aumentar su número también aumenta la energía potencial que le corresponde a cada partícula.

En los terminales de un enchufe habitual, las partículas eléctricas en exceso tienen, como promedio, mayor energía que en los terminales de una batería de automóvil, y en los de esta mayor que en los de una pila de linterna.

A 2.62 Los electricistas suelen emplear un pequeño destornillador, denominado “busca polos”, que tiene en el interior de su mango una pequeña lámpara de neón. Indaga acerca de su funcionamiento. ¿Por dónde fluye la corriente al utilizar el “busca polos”?

El voltaje influye en la intensidad de la corriente. Esto se pone de manifiesto en un circuito tan simple como en el de la figura 2.16: al elevar el voltaje de la fuente, aumentan la desviación de la aguja en el amperímetro y la iluminación del bombillo. El voltaje puede ser medido, pues, a partir de la intensidad de la corriente. Por eso los instrumentos utilizados para medirlo, denominados *voltímetros*, son como especie de amperímetros, solo que debidamente preparados. La mayoría de las veces un mismo equipo (fig. 2.14) mide intensidad de corriente, voltaje y, además, otras magnitudes eléctricas. La unidad básica de medida del voltaje es el *volt* (V), pero también se emplean otras unidades, como el milivolt (mV) y el kilovolt (kV).

A 2.63 Monta un circuito con dos bombillos como el que utilizaste para medir intensidades de corriente. Familiarízate con las escalas del voltímetro y mide el voltaje entre los extremos de: a) la fuente, b) cada bombillo, c) la fuente y uno de los bombillos.

A 2.64 En el circuito de la actividad anterior, ¿será igual la concentración de partículas eléctricas en todas sus partes, por ejemplo, en ambos lados de uno de los bombillos? Argumenta tu respuesta.

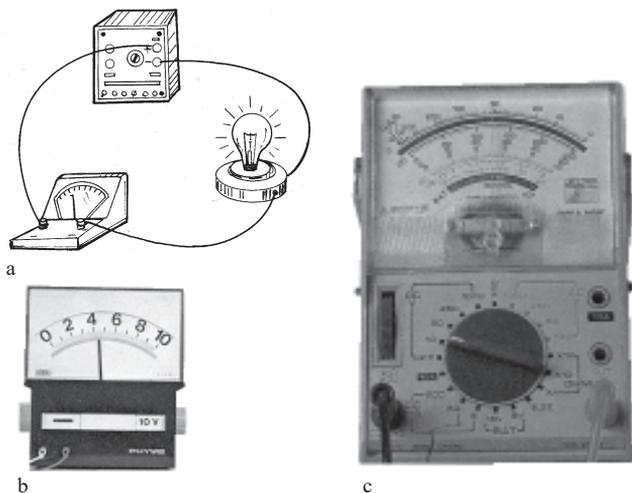


Fig. 2.16 a) Al elevar el voltaje de la fuente aumentan la desviación de la aguja en el amperímetro y la iluminación del bombillo. b) Voltímetro demostrativo. c) Multímetro en posición de voltímetro.

En la tabla 2.4 se relacionan algunos valores de voltaje que pueden resultarte de interés.

Tabla 2.4
ALGUNOS VALORES CARACTERÍSTICOS DE VOLTAJE

Hecho o dispositivo de interés	Voltaje
Valor medido en un electrocardiograma	5 mV
Pila común de linterna	1,5 V
Pila recargable	1,2 V
Acumulador de auto	12 V
Valor a partir del cual es peligrosa para el organismo humano	6 V (en lugares húmedos 12 V)
Red eléctrica de las viviendas	110 V/ 220 V
Valor que puede generar el pez anguila eléctrica	600 V
Generador de una central eléctrica habitual	26 kV
Valor necesario para que se produzca una descarga eléctrica en el aire	30 kV/cm
Valor utilizado para acelerar los electrones en un tubo de pantalla	30 kV
Líneas de transmisión en una red de energía eléctrica	138 kV-765 kV
Descarga eléctrica atmosférica	hasta 1 000 000 kV

Potencia eléctrica

A 2.65 Comenta de dónde procede la energía eléctrica y en qué tipo de energía se transforma, durante el funcionamiento de los siguientes equipos e instalaciones a) central eléctrica, b) linterna, c) bomba de agua eléctrica, d) hornilla eléctrica, e) ventilador, f) *walkman*, g) televisor, h) lámpara en una instalación que funciona con paneles solares, h) acumulador mientras se carga.

Hemos visto que, dicho simplificado, la función de las fuentes o generadores de electricidad en los circuitos es transformar algún tipo de energía (interna, como en las pilas electroquímicas; cinética, como en las turbinas de las centrales; de radiación, como en los paneles solares; etc.), en energía potencial eléctrica. A su vez, la de los equipos receptores es transformar esta energía potencial en algún otro tipo de energía (de radiación luminosa, como en las lámparas; cinética, como en los motores; de ondas, como en las emisoras de radio y televisión; etcétera).

A 2.66 Describe mediante un diagrama de bloques, las funciones que realizan las fuentes y receptores en un circuito. Utiliza los conceptos de “entrada” y “salida”.

En el curso anterior conociste que la rapidez con que ocurren las transformaciones de energía (subepígrafe 4.2.2 de *Física. Octavo grado*) se caracteriza mediante el concepto de *potencia* ($P = E/t$, donde E es la energía transformada en el tiempo t). Por consiguiente, *potencia eléctrica* es la rapidez con que se transforma algún tipo de energía en *energía eléctrica* (en las fuentes o generadores), o esta en otros tipos de energía (en los equipos e instalaciones receptores de electricidad).

A 2.67 Teniendo en cuenta las funciones de las fuentes y receptores en los circuitos eléctricos, reflexiona nuevamente (en el curso de octavo grado debes haberlo hecho ya) acerca del origen de los “apagones” no programados en las “horas pico”.

A 2.68 ¿De qué factores dependerá la potencia que se desarrolla en un receptor eléctrico? Argumenta tus suposiciones.

Con el objetivo de esclarecer los factores de que depende la potencia desarrollada por un receptor de electricidad, consideremos un circuito simple, como el representado en la figura 2.17. El receptor puede ser un bombillo, un motor, un acumulador que cargamos, etc. A uno de sus terminales llega *cierta cantidad de partículas con determinada ener-*

gía potencial eléctrica y por el otro sale la misma cantidad, pero con menor energía potencial. Esto sugiere que la energía que por unidad de tiempo se transforma en el receptor (potencia), depende al menos de dos factores: 1) de la cantidad neta de partículas que llega a él por unidad de tiempo, es decir, de la *intensidad de la corriente* y 2) de la energía potencial eléctrica que poseen las partículas al llegar al receptor, o sea, del *voltaje*.

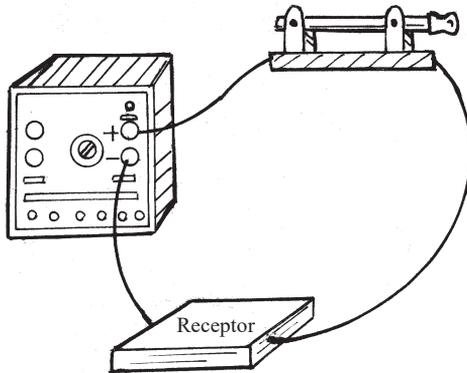


Fig. 2.17 Parte de la energía de las partículas cargadas que llegan al receptor (motor, bombillo, etc.) se invierte en el funcionamiento de este.

A 2.69 Planifica y realiza alguna actividad práctica a fin de verificar las dos suposiciones planteadas en el párrafo anterior.

A fin de apoyar las suposiciones anteriores, consideremos algunos circuitos sencillos, en que los receptores eléctricos son dos bombillos *distintos*. Como se trata de posibles dependencias con dos variables (I y U), debemos tratar de comprobar la dependencia con cada una de ellas, manteniendo inalterable la otra variable.

Para garantizar que el voltaje sea el mismo en los terminales de ambos bombillos, podemos conectar juntos dichos terminales (fig. 2.18). El experimento muestra que el bombillo por el cual fluye una mayor corriente eléctrica ilumina más, lo que apoya la idea de la dependencia directa entre la intensidad de corriente y la potencia. Con el propósito de que fluya la misma corriente por ambos bombillos, los conectamos uno a continuación del otro (fig. 2.19). En este caso comprobamos que el bombillo en cuyos terminales es mayor el voltaje, ilumina más.

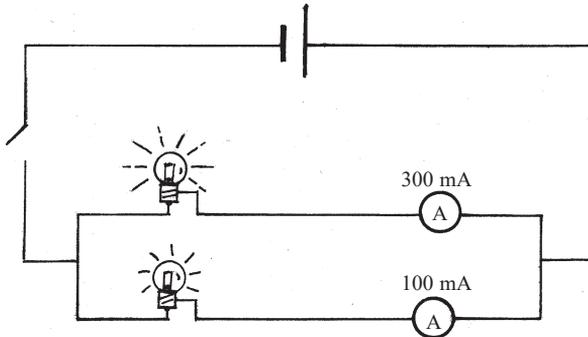


Fig. 2.18 El bombillo por el cual fluye una mayor corriente eléctrica, ilumina más.

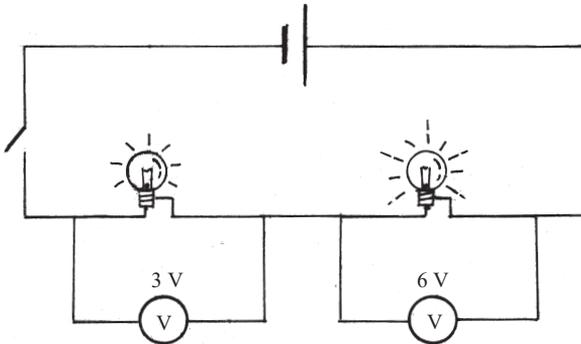


Fig. 2.19 El bombillo en cuyos terminales es mayor el voltaje, ilumina más.

A 2.70 La intensidad de corriente característica para un bombillo de filamento habitual es menor que la de uno de linterna (ver tabla 2.3). Sin embargo, ilumina mucho más. Explica detalladamente la razón de esta aparente contradicción.

La potencia eléctrica desarrollada por un receptor o una fuente, se calcula mediante la ecuación $P = U \cdot I$, la cual, en efecto, expresa una relación directa de la potencia, con el voltaje y la intensidad de corriente.

Los constructores de equipos e instalaciones eléctricas indican los valores de la potencia máxima para la que estos han sido diseñados (tabla 2.5). Al sobrepasar dichos valores, pueden producirse serias afectaciones.

Como recordarás del curso de octavo grado, la unidad básica de potencia es el *watt* (W), pero también se utilizan otras, como el miliwatt (mW), el kilowatt (kW) y el megawatt (MW). En la ecuación $P = U \cdot I$, si el voltaje se expresa en *volt* y la intensidad de corriente en *ampere*, entonces, la potencia se obtiene en *watt*.

A 2.71 Busca en los manuales o en las inscripciones hechas en los propios dispositivos y equipos, la potencia para la que fueron diseñados. Compárala con la de dispositivos y equipos similares de la tabla 2.5.

Tabla 2.5
VALORES DE POTENCIA DE ALGUNOS EQUIPOS
E INSTALACIONES ELÉCTRICOS

Dispositivo o instalación eléctrica	Potencia aproximada
Auricular	5 mW
LED común	30 mW
Bombillo de linterna	5 W
Lámpara “ahorradora”	20 W
Tubos fluorescentes	20 W-40 W
Lámparas de filamento	25 W-100 W
Ventilador común	60 W
Televisor	50 W-150 W
Refrigerador	180 W
Lavadora simple	360 W
Plancha eléctrica	300 W-1 000 W
Hornilla eléctrica	600 W-1 000 W
Acondicionador de aire BK-1500	1,5 kW
Primeras centrales eléctricas (1882)	12 kW
Mayores centrales termoeléctricas	1 300 MW

A 2.72 Determina, aproximadamente, la intensidad de la corriente eléctrica en un bombillo habitual de 65 W y en otro de 5 W y 6 V. Compara los valores obtenidos por ti con los que aparecen en la tabla 2.3.

A 2.73 Calcula la potencia eléctrica que puede generar la batería de un automóvil durante el “arrancado” de este. Busca los datos necesarios para resolver el problema.

Resistencia eléctrica

A 2.74 ¿De qué factores depende la intensidad de corriente en los receptores eléctricos?

Ya sabes que la intensidad de la corriente en los receptores eléctricos depende *del voltaje en sus terminales*. Ello se pone de manifiesto en una experiencia tan simple como la representada en la figura 2.16. Naturalmente, también depende *de las características de los receptores*. Así, en los terminales de los bombillos representados en la figura 2.18 se han aplicado iguales voltajes, pero como los bombillos tienen características dife-

rentes, las intensidades de corriente son distintas. Esto es algo común en la vida cotidiana: por ejemplo, la intensidad de corriente en el motor de un refrigerador conectado a un enchufe de 110 V, puede ser de 8 A, mientras que la de una lámpara, igualmente conectada a terminales de 110 V, no llega a 0,5 A.

De este modo, la intensidad de corriente en los receptores eléctricos depende de 1) *el voltaje aplicado a sus terminales* y 2) *ciertas características eléctricas* de ellos, en particular, los elementos que los componen y el modo en que están conectados.

Una de las características esenciales de los conductores de electricidad, que influye en la intensidad de la corriente, es la *resistencia* a la corriente (R). En algunos dispositivos, la intensidad de la corriente y, por tanto, la potencia que desarrollan, son controladas modificando la resistencia de ellos. Ejemplos comunes de esto son, el bombillo de filamento incandescente, cuya potencia depende de la resistencia del filamento, y la plancha eléctrica.

Otra aplicación de la influencia de la resistencia en la intensidad de la corriente son los *micrófonos de carbón*. Ellos constan de una cápsula con gránulos de carbón, cerrada con un fino diafragma. La resistencia eléctrica de los gránulos varía al presionarlos ligeramente. Por eso, si se hace pasar una corriente a través de ellos y se habla frente al diafragma, las vibraciones de este son transformadas en oscilaciones de la corriente eléctrica. Tales oscilaciones pueden ser luego nuevamente transformadas en sonido utilizando un altavoz o bocina, como veremos en el próximo capítulo. Los micrófonos de carbón han ido sustituyéndose por otros tipos de micrófonos, que permiten reproducir el sonido con mayor calidad.

A 2.75 ¿De qué factores dependerá la resistencia de los conductores a la corriente eléctrica?

A 2.76 ¿Cuál de los bombillos de la figura 2.18 ofrece mayor resistencia a la corriente eléctrica? ¿Cómo influye en la potencia de los bombillos? ¿De qué factores depende la resistencia del filamento de un bombillo? Argumenta tus respuestas.

A 2.77 Explica con tus propias palabras el funcionamiento de un micrófono de carbón.

Con el propósito de regular la intensidad de corriente y el voltaje en diferentes partes de los circuitos, se utilizan conductores especialmente diseñados para ello, denominados *resistores* (fig. 2.20).

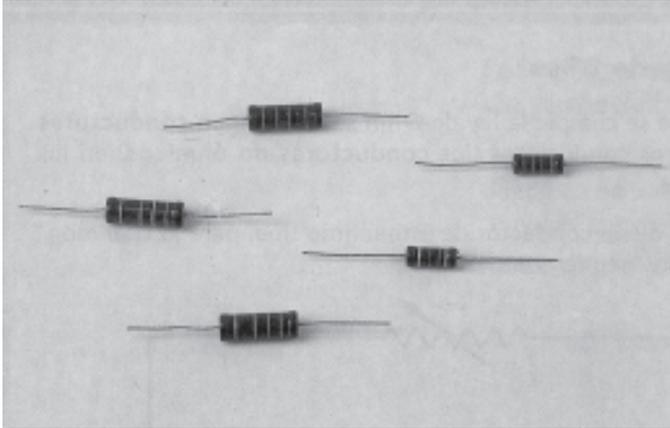


Fig. 2.20 Resistores comerciales.

En los resistores, la intensidad de la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado a sus terminales e inversamente proporcional a la resistencia. Estas dependencias pueden sintetizarse en la ecuación $I = U/R$, denominada *ley de Ohm* en honor del físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854), quien fue el primero en establecerlas trabajando con conductores metálicos. La ley de Ohm se cumple, además de en los resistores, en los conductores metálicos habituales y en las disoluciones electrolíticas, siempre que la temperatura de ellos no varíe durante el paso de la corriente. En otros casos, la relación entre I y U no es de proporcionalidad, sino más compleja.

La ley de Ohm permite determinar la resistencia de un conductor: $R = U/I$. En esta ecuación, si el voltaje se expresa en *volt* y la intensidad de corriente en *ampere*, la resistencia se obtiene en *ohm*. El *ohm* se representa mediante la letra griega *omega* (Ω).

A 2.78 Diseña y lleva a cabo un experimento, a fin de investigar la relación entre la intensidad de corriente y el voltaje en: a) un resistor, b) un bombillo de linterna. Determina la resistencia del resistor y compara el valor obtenido con el reportado por el fabricante. Menciona las principales fuentes de incertidumbre en tu resultado. Determina la resistencia del filamento del bombillo cuando apenas ilumina y cuando lo hace al máximo.

A 2.79 ¿Cómo será la resistencia de una hornilla eléctrica, grande o pequeña? Intenta predecir su valor. Calcula la resistencia de una hornilla eléctrica que al conectarla a la red de 220 V desarrolla una potencia de 1 000 W.

2.3.4 Funcionamiento de algunos circuitos eléctricos simples

A lo largo de este capítulo has examinado algunos circuitos simples y, probablemente, montado varios. Trataremos ahora de resumir algunas cuestiones básicas acerca de ellos y profundizar en otras.

Dos de las formas más elementales de conectar los receptores en un circuito son las utilizadas en las figuras 2.18 y 2.19. El primer tipo de conexión, en que *el voltaje es el mismo* en los terminales de todos los dispositivos, se denomina *en paralelo*. El segundo tipo, en que *la intensidad de corriente es la misma*, se denomina *en serie*.

A 2.80 En la conexión en paralelo, ¿los dispositivos se disponen realmente “en paralelo”.

Cuando los receptores están *en serie*, si se desconecta alguno de ellos se interrumpe el paso de la corriente en todos. Cuando están *en paralelo*, si se desconecta alguno por los otros puede continuar fluyendo la corriente.

A 2.81 Utilizando una fuente y un interruptor, conecta dos bombillos iguales, primero en serie y luego en paralelo, y comprueba las afirmaciones realizadas en el párrafo anterior del texto.

A 2.82 El circuito eléctrico de las viviendas y otras instalaciones se dispone de tal modo que cuando se conecten varios receptores, queden “en paralelo”. ¿Qué ventajas representa este tipo de conexión respecto a la conexión en serie?

A 2.83 ¿Qué sucede con la intensidad de corriente en la rama principal del circuito, cuando el número de consumidores conectados en paralelo aumenta? ¿Qué ocurre con la potencia? Argumenta tus respuestas.

A 2.84 Menciona y argumenta qué tipo de conexión es la utilizada en los siguientes casos: a) en una “extensión” diseñada para conectar varios equipos, b) entre una lámpara y su interruptor, c) entre las pilas en una linterna, d) entre los bombillos de una guirnalda de las utilizadas en Navidad, e) al conectar un amperímetro, f) al conectar un voltímetro. Traza los esquemas de los circuitos en cada caso.

Durante la utilización de la energía eléctrica es importante no solo conectar adecuadamente los dispositivos eléctricos, sino también utilizar algunas medidas de *control*.

Entre los dispositivos de control más frecuentes se encuentran, además de los habituales interruptores y controles de volumen y “velocidades”, los *fusibles* y *termostatos*. Los fusibles aseguran que la intensidad de la corriente no sobrepase determinado valor. Los más usuales (fig. 2.21) constan de un conductor, generalmente de plomo y con forma de filamento

o chapa, por el cual fluye la corriente. Si la intensidad de esta se eleva excesivamente, entonces, el conductor puede fundirse, interrumpiéndose la corriente. Los termostatos, comunes en planchas, refrigeradores y acondicionadores de aire, posibilitan un nivel superior de control, la *regulación automática*. La función de los termostatos es mantener la temperatura cercana a cierto valor. Por ejemplo, en una plancha, cuando la temperatura alcanza determinado valor, el termostato desconecta la “entrada” de energía eléctrica y luego, al descender la temperatura hasta cierto nivel, la conecta nuevamente.



Fig. 2.21 Fusible tipo tapón.

A 2.85 Identifica los fusibles colocados en la “entrada” de electricidad de tu casa y en diferentes equipos electrodomésticos. ¿Cuál será el origen del término “fusible” empleado para designar tales dispositivos de control?

A 2.86 Describe algunas situaciones que conozcas en las que el fusible haya desempeñado un importante papel para proteger los circuitos.

A 2.97 Describe el funcionamiento de una plancha, mediante un esquema y utilizando los conceptos de entrada, salida y control.

En la figura 2.22 se ha representado un circuito más complejo que los examinados hasta ahora. Consta de una *fuentes*, algún *receptor* (que puede ser un bombillo, un timbre, un motor, u otro), *conductores de conexión* y un *dispositivo o sistema de control* formado por un resistor (R), un fotorresistor (FR) y un transistor (T). En este circuito los componentes no están conectados en serie ni en paralelo. Él puede considerarse formado por tres circuitos más simples, *acoplados entre sí*. Los cambios en la intensidad de la corriente en uno de estos circuitos, afectan a la intensidad de la corriente en los otros. El transistor está conectado en dos de los circuitos (1 y 2). Los transistores tienen la peculiaridad de que pueden regular la corriente en uno de los circuitos (1) a partir de la corriente en el otro (2). En particular, por el circuito 1 del transistor fluye corriente solo cuando la intensidad en el 2 sobrepasa cierto valor. El fotorresistor, por su parte, es un

dispositivo cuya resistencia disminuye al aumentar la cantidad de luz que incide sobre él, y viceversa.

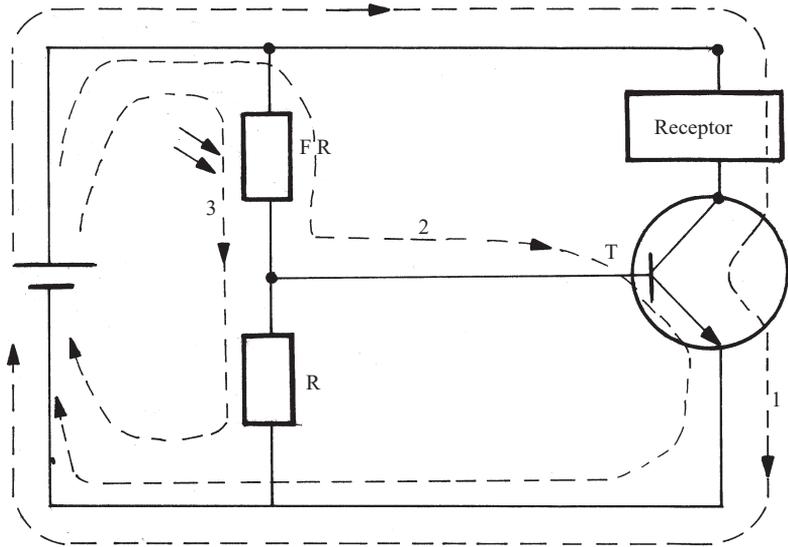


Fig. 2.22 Esquema de un circuito de control con fotorresistor.

Supongamos que la cantidad de luz que incide sobre el fotorresistor es tan alta y su resistencia tan baja, que buena parte de la corriente fluye por el circuito 3, y la que fluye por el 2 no es suficiente para poner en funcionamiento el transistor. Sin embargo, si se hace menor la cantidad de luz que incide sobre el fotorresistor, entonces decrece la intensidad de la corriente en el circuito 3 y aumenta en el 2. Esta puede alcanzar el valor necesario para que el transistor funcione y fluya corriente por el circuito 1. De este modo, una disminución de la cantidad de luz puede hacer funcionar el receptor (bombillo, timbre, motor, etc.). El fotorresistor pudiera ser sustituido por otros dispositivos que varíen su resistencia al aumentar o disminuir otras magnitudes, en lugar de la cantidad de luz, como por ejemplo, la temperatura, la humedad, etc. Esto permite utilizar el circuito de la figura 2.22 en numerosas aplicaciones prácticas.

A 2.98 Menciona posibles aplicaciones prácticas de un circuito como el de la figura 2.22.

A 2.99 Describe el funcionamiento del circuito de la figura 2.22 empleando los términos de entrada, salida y control.

A 2.100 Indaga acerca del fotorresistor y el transistor.

A lo largo de este subepígrafe hemos visto que los circuitos eléctricos pueden ser muy variados, tanto por sus componentes como por el modo en que estos se conectan entre sí. En particular, como fuentes se utilizan pilas, acumuladores, el enchufe de la red eléctrica, etc. La relación de receptores eléctricos es inmensa: lámparas, motores, televisores y muchos más. Los dispositivos y sistemas de control también son muy variados. A su vez, todos estos elementos se asocian en los circuitos de muy diferentes modos: en serie, en paralelo, o en otras formas más complejas (figs. 2.22 y 2.23). Sin embargo, pese a esta diversidad de circuitos, entre ellos existe cierta unidad: el funcionamiento básico de todos puede ser explicado utilizando los conceptos de *voltaje*, *intensidad de corriente* y *potencia*.

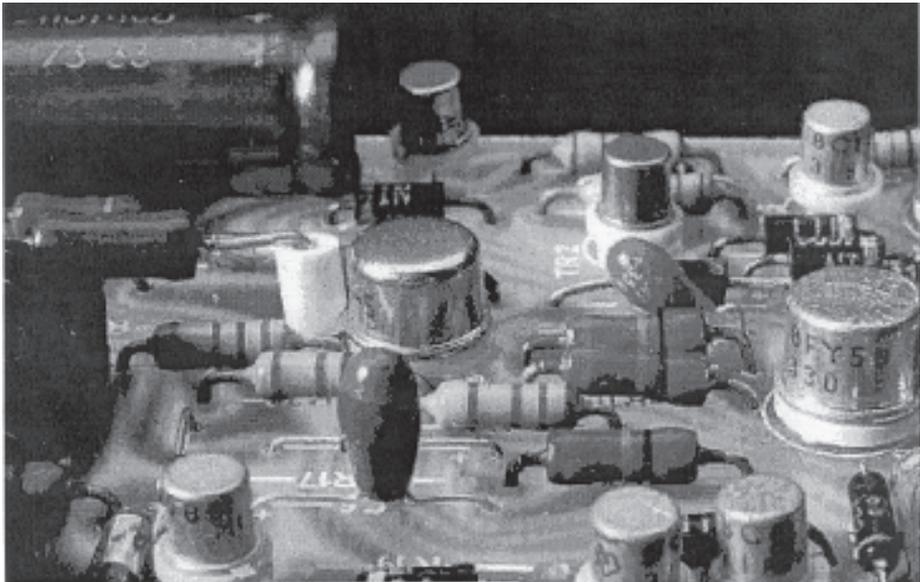


Fig. 2.23 Vista parcial de un circuito detector de humo.

2.3.5 Medición y ahorro de la energía eléctrica

Para el uso racional de la energía eléctrica y su *ahorro*, resulta indispensable su *medición*, tanto durante la generación como durante el consumo.

A 2.101 Un bombillo de 100 W permanece encendido todos los días durante 10 horas. ¿Qué cantidad de energía eléctrica, expresada en joule, “consume” cada día? ¿Cuál será el costo de dicha energía al cabo de un mes?

En el curso de octavo grado conociste dos unidades de medida de la energía, el *joule* y la *caloría*. Sin embargo, al referirse a la cantidad de energía “consumida” o “generada” por receptores y fuentes conectados a la red nacional de electricidad, es usual emplear otra unidad con la cual resulta más cómodo trabajar, el *watt-hora* ($W \cdot h$). Esta unidad permite relacionar fácilmente la cantidad de energía con la potencia desarrollada por los equipos e instalaciones, y el tiempo de funcionamiento de ellos. Por ejemplo, la energía consumida al cabo de una hora por una lámpara de 20 W es, simplemente, $20 W \cdot h$ y la generada en un día por una planta de 100 MW, de $100 MW \cdot 24 h = 2\,400 MW \cdot h$.

A 2.102 Expresa en $kW \cdot h$ la energía eléctrica consumida por el bombillo a que se hace referencia en la actividad 2.101.

¿Qué relación hay entre esta unidad de energía y las que ya conocías? Puesto que $1 W = 1 J/s$, resulta que $1 W \cdot h = 1 J/s \cdot 3\,600 s = 3\,600 J$.

A 2.103 Argumenta detalladamente por qué $1 W \cdot h = 3\,600 J$.

A 2.104 ¿A qué altura pudiera elevarse una carga de 10 kg con una energía de $1 W \cdot h$ (si la eficiencia fuese del 100 %)? ¿Y con la energía eléctrica consumida en una hora por un bombillo de 100 W?

La Empresa Eléctrica mide la energía “consumida” por los receptores de electricidad en las viviendas y otras instalaciones mediante un instrumento denominado *contador de electricidad* (también llamado *reloj de electricidad*). Generalmente consta de un disco que gira con mayor o menor rapidez, en dependencia de la corriente. En consecuencia, el número de vueltas que realiza el disco está determinado por la *intensidad de la corriente* y el *tiempo durante el cual esta fluye*. Pero resulta que la energía consumida también está determinada por esas mismas magnitudes. Por eso, el número de vueltas realizadas por el disco puede ser empleado para medir la energía utilizada. Eso es precisamente lo que hacen los *contadores*, miden la energía *contando* el número de vueltas realizadas por el disco.

A 2.105 Observa el contador de electricidad de tu casa y estudia cómo depende la rapidez con que gira su disco de la cantidad de equipos eléctricos que estén conectados.

A 2.106 En una casa hay dos bombillos “ahorradores” de 20 W y otros dos de 60 W. Cada uno de estos dispositivos permanece encendido unas 3 horas al día. Determina el costo de la energía “consumida” por dichos bombillos en un mes (considera que cada $kW \cdot h$ consumido cuesta 9 centavos).

A finales del pasado siglo, la generación y consumo mundial de energía era unas 80 veces superior que en 1800, año en el cual se inventó el primer circuito eléctrico. Buena parte de ese crecimiento se ha debido a la energía eléctrica generada en termoeléctricas a partir de *combustibles fósiles*. El agotamiento de estos, como sabes, se prevé para un futuro no lejano, lo que ha traído consigo el encarecimiento de la producción de energía eléctrica en el mundo.

Lo anterior, unido a la contaminación del medio ambiente provocada por las termoeléctricas habituales, ha conducido a la urgente necesidad de *ahorrar* energía eléctrica, y a la búsqueda de fuentes que constituyan una alternativa a los combustibles fósiles.

A 2.107 Indaga qué proporción de la energía total que se consume en el planeta es eléctrica?

A 2.108 ¿Cuáles son las fuentes principales de las que se obtiene energía eléctrica en la actualidad?

A 2.109 ¿En qué debieran consistir, en esencia, las propuestas de ahorro de energía eléctrica? Considera las fases de su producción, transmisión y utilización.

A 2.110 Propón una serie de medidas que contribuyan a “ahorrar” energía eléctrica en tu casa.

2.4 Actividades de sistematización y consolidación

1. Confecciona un listado de los conceptos e ideas esenciales estudiados en este capítulo.
2. Elabora un esquema o cuadro sinóptico que refleje las relaciones entre los conceptos e ideas esenciales estudiados.
3. Responde, resumidamente, las preguntas planteadas en la introducción. ¿En cuáles sería de interés profundizar? Plantea nuevas cuestiones de interés.
4. Esclarece el significado de las frases como “generación” o “producción” de energía eléctrica y “consumo” de energía eléctrica.
5. Indaga acerca de la evolución que han tenido, desde su creación hasta nuestros días, algunas de las invenciones relacionadas en la tabla 2.1 (por ejemplo, el telégrafo y la computadora digital electrónica).
6. Indaga acerca de personalidades relevantes relacionadas con el desarrollo de la electricidad.

7. Identifica los diferentes componentes que forman los circuitos de:
a) el motor de arranque de un auto, b) una linterna, c) un timbre, d) una lámpara del alumbrado de la casa, d) una lámpara de bicicleta, e) una hornilla eléctrica. ¿Describe las principales transformaciones de energía que tienen lugar en dichos circuitos.
8. Examina atentamente un bombillo de filamento e identifica la trayectoria del circuito eléctrico a través de él.
9. Indaga acerca de lo que es el ámbar.
10. Cuelga un pedazo de papel metálico de un hilo aislante y luego frota intensamente una tira de retrotransparencia con papel. Reproduce y explica detalladamente los siguientes resultados: a) cuando la tira se aproxima al papel metálico este es atraído; b) si el papel metálico se toca con la tira y luego esta se aproxima de nuevo, entonces es repelido; c) si permaneciendo el papel metálico desviado de su posición de equilibrio debido a la repulsión de la tira, se toca con un dedo, entonces será bruscamente atraído; d) al aproximar la tira por abajo y poco a poco al papel metálico, pero sin tocarlo, llegado un momento se escucha un débil chasquido y al mismo tiempo el papel es bruscamente repelido.
11. Apaga la pantalla de una computadora o televisor. Desliza entre los dedos índice y pulgar una tira recortada de una bolsita de las utilizadas en las tiendas y, a continuación, suspendiéndola por un extremo, intenta aproximarla a la pantalla. Enciende nuevamente la pantalla. ¿Qué conclusiones puedes extraer de esta experiencia? ¿Cómo se explican los pequeños chasquidos que en ocasiones escuchamos al aproximar un dedo a la pantalla de una computadora?
12. Describe las transformaciones de energía que tienen lugar durante una descarga eléctrica atmosférica.
13. Indaga acerca de las descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y el funcionamiento del pararrayos.
14. ¿Cuál es el tiempo que demora la corriente eléctrica del alumbrado en realizar una oscilación completa (el período)? ¿Durante qué tiempo mantiene dicha corriente un mismo sentido?
15. Imagina que en la experiencia de la figura 2.13 se sustituye el alambre de 1 mm por otro de 2 mm, pero que la intensidad de la corriente eléctrica sigue siendo la misma. ¿Qué piensas que suceda con la velocidad de conjunto de los electrones? Argumenta tu respuesta.
16. Determina, aproximadamente, la potencia eléctrica que puede tener una descarga eléctrica atmosférica.

17. Una pila o una batería no pueden desarrollar grandes potencias. Sin embargo, existen dispositivos, como el *flash* de una cámara fotográfica o un desfibrilador portátil, que aunque empleen tales fuentes desarrollan potencias muy elevadas. ¿Cómo se logra esto?
18. ¿Cómo pudiera modificarse el circuito de la figura 2.2 para que realice la función inversa, es decir, para que el receptor se ponga en funcionamiento cuando aumenta la cantidad de luz que incide sobre el fotorresistor?
19. Indaga cómo ha crecido la electrificación del país desde el año 1959 hasta nuestros días.
20. Reflexiona nuevamente (durante el curso de octavo grado debes haberlo hecho ya) acerca del porqué de las campañas de ahorro de energía eléctrica en muchos países, y en particular en Cuba.
21. Analiza el último recibo de pago de la electricidad de tu casa y comprueba si el importe está de acuerdo con el consumo (la tarifa eléctrica residencial establece: 9 centavos por kWh para los primeros 100 kWh de consumo, 20 centavos por kWh para los consumos superiores a 100 y hasta 300 kWh, y 30 centavos por kWh para los consumos superiores a 300 kWh).
22. Averigua la potencia de los equipos eléctricos más consumidores que hay en tu casa. Estima el tiempo aproximado de funcionamiento diario y calcula el costo de la energía eléctrica consumida en un mes (utiliza la tarifa eléctrica que aparece en la actividad anterior).
23. Lee el contador eléctrico de tu casa y anota la lectura en tu libreta. Repite la lectura al transcurrir una semana. ¿Cuál fue el consumo de energía en esa semana? ¿Cuál fue el costo de la energía eléctrica consumida? (considera que cada kWh consumido cuesta 9 centavos).

Capítulo 3

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

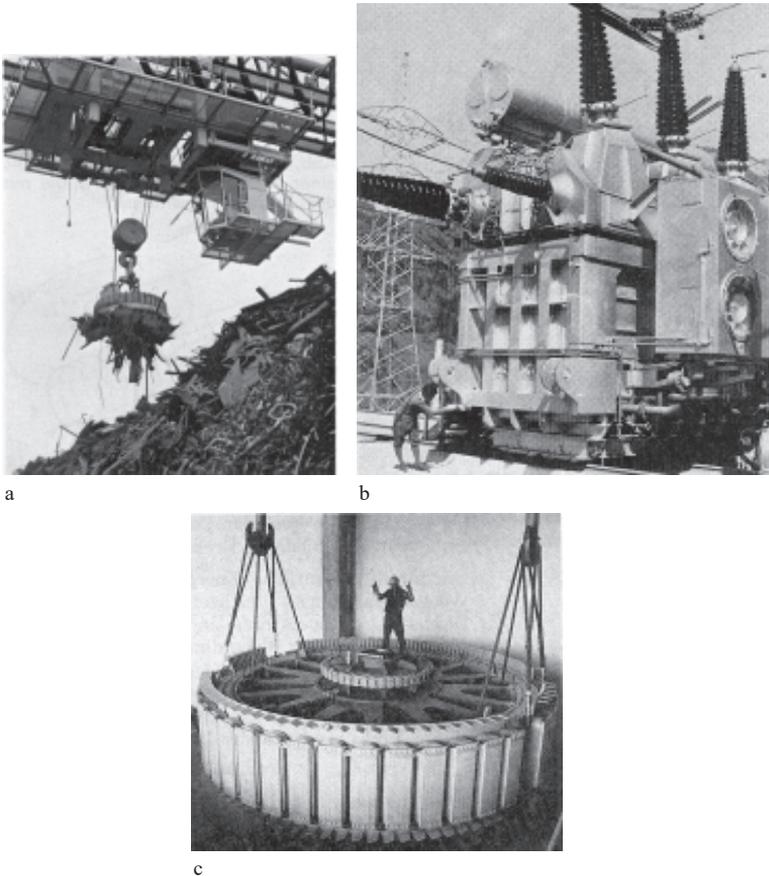


Fig. 3.1 a) Utilización de electroimanes en un depósito de chatarra. b) Transformador de una subestación de energía eléctrica. c) Montaje del rotor de un generador en una planta eléctrica.

3.1 Introducción

Durante este capítulo continuaremos avanzado en el estudio de la electricidad, iniciado en el anterior. Volveremos a considerar varias de las cuestiones que allí se plantearon, relativas a la generación de electricidad, su

transmisión y el funcionamiento de diversos dispositivos eléctricos. Pero ahora centraremos la atención en una serie de dispositivos (ver figura 3.1), de gran interés práctico y que todavía no hemos estudiado, cuyo funcionamiento se basa en la estrecha relación que existe entre *electricidad y magnetismo*.

A 3.1 Menciona dispositivos que conozcas cuyo funcionamiento se base en la relación entre la electricidad y el magnetismo.

Así, en relación con la generación de electricidad, conociste el principio básico de funcionamiento de las pilas; sin embargo, la fuente de electricidad que mayor repercusión tiene en nuestras vidas, el generador *electromagnético*, aún no ha sido examinado. En lo que respecta a la transmisión y utilización de la electricidad, falta por considerar una cuestión tan importante como es el funcionamiento de los transformadores. Por otra parte, en la vida cotidiana son abundantes los receptores y sistemas de control, o partes de estos, que trabajan apoyándose en el efecto magnético de la corriente eléctrica, entre ellos, los motores, los relés, las bocinas o altavoces y las cintas y disquetes de grabación. La generación y la transmisión de ondas de radio y televisión (ondas *electromagnéticas*) también se basan en la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo.

A 3.2 Confecciona un listado de cuerpos que posean propiedades magnéticas, permanentes o no.

A 3.3 Indaga acerca de las aplicaciones del magnetismo en la tecnología, la medicina y en general la vida.

Son innumerables las aplicaciones del efecto magnético en la tecnología, la ciencia, la medicina y en general la vida. En la inmensa mayoría de ellas, el magnetismo está claramente asociado con la electricidad, como es el caso de los *electroimanes*. Sin embargo, conoces que hay ciertos cuerpos, denominados *imanes permanentes*, en que esta asociación parece no existir. ¿Realmente no estará el magnetismo de ellos asociado a la electricidad?

A 3.4 Plantea cuestiones acerca del magnetismo en las cuales profundizar.

Luego de debatir acerca del magnetismo y su importancia en nuestras vidas, otras veces los alumnos han considerado que sería de interés profundizar en cuestiones como estas:

¿Cuáles son las características principales de los imanes y electroimanes, y de las acciones que ellos ejercen? ¿Cuál es la naturaleza de los

imanes permanentes? ¿Qué relación hay entre el magnetismo y la electricidad? ¿Cómo trabajan algunos dispositivos y equipos cuyo funcionamiento se basa en la relación entre la electricidad y el magnetismo?

3.2 Magnetismo

3.2.1 Imanes e interacciones magnéticas

Podemos encontrar imanes *permanentes* en las juntas de los refrigeradores, en el cierre de las puertas de algunos armarios, en los altavoces, etc. También están imanados las agujas de las brújulas y los extremos de algunas tijeras y destornilladores. En los ejemplos anteriores, la magnetización es *artificial*, producida por el hombre, pero existen además imanes permanentes *naturales*; ejemplos de ello son algunos minerales, como la *magnetita*. Se cree que este término y el de *magnetismo* provienen de una región al noroeste de Grecia llamada Magnesia, en la cual había minas de este mineral. Nuestro planeta y otros muchos astros constituyen ejemplos de imanes naturales gigantes.

A 3.5 ¿Para qué crees tú que se imanen los extremos de algunas tijeras y destornilladores?

A 3.6 Indaga acerca del magnetismo terrestre: sus características, su origen, importancia práctica, etcétera.

A 3.7 a) Familiarízate con la acción de los imanes entre sí y sobre otros cuerpos. b) Riega limaduras de hierro sobre una cartulina colocada encima de un imán recto y, luego, repite la experiencia utilizando un imán en forma de herradura. c) Teniendo en cuenta las experiencias realizadas en los incisos anteriores, describe las características básicas de la acción magnética de los imanes sobre otros cuerpos.

A 3.8 ¿Será unilateral la acción de un cuerpo magnetizado sobre otro, o consistirá en una acción mutua, es decir, en una interacción? Intenta realizar una experiencia que apoye tu respuesta

Si has manipulado imanes, seguramente sabes que la acción de sus extremos, o polos, es más intensa que la de otras partes suyas. También habrás advertido que entre ellos pueden ejercerse fuerzas de dos tipos: de atracción y de repulsión. La aguja magnética de una brújula, o un imán recto que se suspende de un hilo, se orientan en una dirección próxima a la Norte-Sur. Al polo de la aguja o imán que se dirige hacia el norte se le llama polo norte y al otro, polo sur. Los polos del mismo tipo se repelen y los de diferentes tipos se atraen.

A 3.9 Mediante una brújula o una aguja magnética, localiza la dirección norte de la Tierra. Identifica los polos norte y sur de la aguja magnética. Utiliza la brújula o aguja magnética para identificar los polos norte y sur de un imán.

¿Cómo se transmite la acción magnética de un cuerpo a otro? Si tenemos un imán y un cuerpo de hierro a determinada distancia uno del otro y movemos, por ejemplo, el imán hacia el cuerpo, la fuerza que se ejerce entre ellos aumenta, pero no instantáneamente, se requiere determinado tiempo para ello. Este tiempo es extremadamente pequeño, pues la acción magnética se transmite de modo similar que la eléctrica, a través de un *campo*, a unos 300 000 km/s. Sorprende la intuición del físico y químico británico Michael Faraday (1791-1867), quien ya en 1832 escribió que la acción de un imán sobre otro se propaga a partir de los cuerpos magnéticos poco a poco y para su propagación se requiere determinado tiempo.

A 3.10 Indaga acerca de la vida de Michael Faraday y sus aportes a la ciencia.

Cuando se riegan limaduras de hierro sobre una cartulina colocada encima de un imán, se distribuyen de un modo característico (fig. 3.2), que da idea de la acción ejercida por el imán sobre ellas. Las líneas formadas por las partículas de hierro constituyen una representación del campo magnético del imán, muestran su dirección en diferentes puntos del espacio.

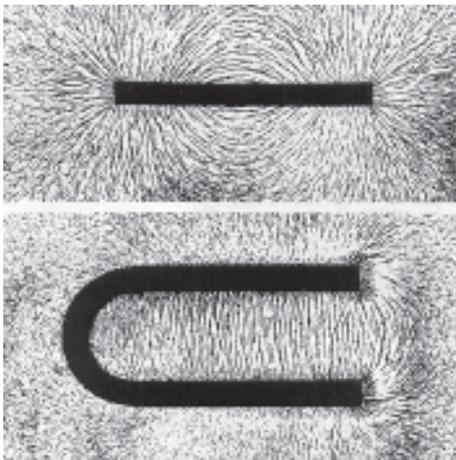


Fig. 3.2 Representación de las líneas del campo magnético en un imán de barra y otro de herradura.

Las *líneas del campo magnético* asociado a cierto cuerpo se dibujan de tal modo que: 1) indican la dirección del campo en cada punto del espa-

cio que lo rodea y 2) en las zonas en que es más intenso, la concentración de las líneas es mayor.

A 3.11 Establece analogías y diferencias entre los cuerpos electrizados y los imanes, y entre las interacciones originadas por ambos.

3.2.2 Corriente eléctrica y magnetismo

Como sabes, además de los imanes permanentes, con mucha frecuencia se emplea el efecto magnético de la corriente eléctrica, descubierto por Oersted en el año 1820 (ver figura 2.11). Este efecto está presente, *sin excepción*, siempre que haya una corriente eléctrica. Esto lo distingue de otros efectos, como el químico o el luminoso, que requieren determinadas condiciones para producirse, e incluso del térmico, que no se manifiesta en los superconductores.

La figura 3.3 muestra la disposición que adoptan las limaduras cuando se esparcen en una cartulina que es atravesada por un conductor rectilíneo con corriente. En este caso, las líneas del campo magnético son circulares.

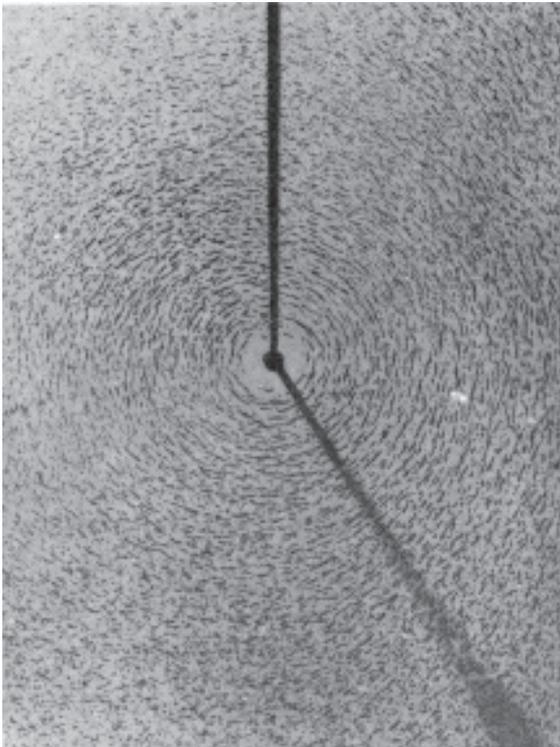


Fig. 3.3 Representación de las líneas del campo magnético en un conductor rectilíneo con corriente.

La figura 3.4 muestra la distribución de ellas para una espira con corriente. Mediante una brújula puede comprobarse que la espira se comporta como si tuviera un polo norte en una de sus caras y un polo sur en la otra. Al invertir el sentido de la corriente, también se invierten dichos polos, el que era norte pasa a ser sur y viceversa.

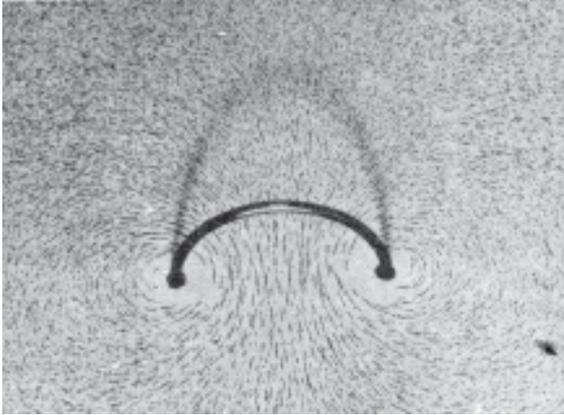


Fig. 3.4 Representación de las líneas del campo magnético en una espira con corriente.

A 3.12 ¿Cómo pudiera determinarse el sentido de las líneas del campo magnético en la situación de la figura 3.3?

A 3.13 ¿De qué factores depende el efecto magnético de una bobina con corriente formada por numerosas espiras como la de la figura 3.4? Planifica y realiza un experimento para comprobar tus suposiciones. ¿Qué sucede al invertir el sentido de la corriente en la bobina?

El efecto magnético se hace mucho más intenso en una bobina, formada por una serie de espiras. Su acción es muy similar a la de los imanes. La acción magnética de la bobina se incrementa al crecer el número de espiras, o la intensidad de la corriente, o al introducirse en ella un material *ferromagnético* (material que se comporta de modo similar al hierro en un campo magnético), dando lugar a un electroimán. Los materiales ferromagnéticos posibilitan intensificar el campo de la bobina miles de veces. Ya en 1825 se construyó un electroimán de aproximadamente 200 g, que podía sostener una carga de alrededor 6 kg. Actualmente se fabrican electroimanes capaces de retener cargas de decenas de toneladas. La limitación fundamental para continuar intensificando el campo que ellos producen, consiste en la elevación de temperatura al aumentar la intensidad de la corriente. El campo magnético se mide en una unidad denominada *tesla*

(T), en honor de Nikola Tesla (1856-1943), ingeniero de origen croata, a quien se deben múltiples invenciones e innovaciones relacionadas con la generación y transmisión de la electricidad. En la tabla 3.1 se dan algunos valores de campo magnético que pueden ser de interés.

Tabla 3.1

CAMPO MAGNÉTICO EN ALGUNOS CUERPOS E INSTALACIONES

Cuerpo o instalación	Campo magnético (tesla)
A 10 cm de un conductor recto y largo ($I = 1 \text{ A}$)	$2 \mu\text{T}$
A 1 cm de un conductor recto y largo ($I = 1 \text{ A}$)	$20 \mu\text{T}$
En la superficie de la Tierra	$30\text{-}60 \mu\text{T}$
En la superficie de Júpiter	$400 \mu\text{T}$
En el interior de una bobina de 1 000 espiras ($I = 1 \text{ A}$)	1 mT
Cerca de un pequeño imán de barra	10 mT
Cerca de un electroimán mediano	$1,5 \text{ T}$
En la superficie de una estrella neutrónica	100 MT

A 3.14 ¿En qué zonas de la Tierra será mayor su campo magnético? ¿En cuáles menor? Argumenta tus respuestas.

A 3.15 ¿Cómo crees que depende de la distancia el campo magnético de un conductor recto y largo por el que fluye una corriente? Si la intensidad de corriente es de 1 A, ¿a qué distancia del conductor el valor del campo magnético será similar que el de la Tierra?

3.2.3 Materiales magnéticos y estructura interna

Existen diferentes tipos de magnetismo, pero nos limitaremos a considerar el más común de ellos, el *ferromagnetismo*. Entre los materiales ferromagnéticos más usuales están el hierro, el cobalto, el níquel y ciertas aleaciones en que ellos intervienen. De tales materiales se fabrican los imanes permanentes. También pueden ser ferromagnéticas algunas sustancias compuestas, como es el caso del óxido de hierro y el dióxido de cromo, componentes esenciales de muchas cintas y discos utilizados en grabadoras de sonido, equipos de video y computadoras. ¿Cómo se explican, el reforzamiento del campo magnético que producen tales materiales y el magnetismo que presentan aún después de desaparecer dicho campo?

Los átomos o moléculas de que están formados constituyen “diminutos imanes”. Parte de ellos están acoplados y alineados entre sí, formando por-

ciones que pueden llegar hasta 0,01 mm de tamaño, denominadas *dominios*. Normalmente dichas porciones están orientadas al azar y, por eso, el material no presenta magnetismo. Naturalmente, si el material se coloca en un campo magnético, en unos dominios la orientación de los “imanes atómicos” no coincidirá con la del campo y en otros sí. Ocurren entonces dos procesos, uno en los dominios no orientados y otro en los orientados. En los primeros, los “imanes atómicos” tienden a orientarse según el campo, en los segundos, parte de los “imanes atómicos” situados fuera de los dominios se alinean con los de estos y se acoplan a ellos, haciendo que el tamaño de dichos dominios crezca. Ambos procesos conducen al reforzamiento del campo.

A 3.16 Explica con ayuda de un dibujo esquemático, por qué pese a que los materiales ferromagnéticos están formados por porciones en las que los “imanes atómicos” están alineados, normalmente no presentan magnetismo, a menos que se les aplique un campo magnético.

Cuando se suprime el campo magnético, los imanes atómicos que pasaron a engrosar los dominios no retornan a sus posiciones anteriores, debido a lo cual el material mantiene cierta magnetización.

A 3.17 Explica desde el punto de vista microscópico el magnetismo remanente que presentan los materiales ferromagnéticos.

A 3.18 ¿Cómo pudieras magnetizar un material ferromagnético? Indaga acerca de las vías para ello. Ensaya la magnetización de objetos comunes.

La superficie de cintas y discos de grabación magnética está impregnada de partículas ferromagnéticas en forma de aguja, cuyas dimensiones pueden ser miles de veces menores que un milímetro. Tales partículas constituyen diminutos imanes. En una cinta no grabada, aproximadamente la mitad de estos pequeños imanes está orientada en una dirección y la otra mitad en la dirección opuesta.

3.2.4 Utilización práctica del efecto magnético de la corriente eléctrica

Relé electromagnético

Consiste en uno o varios interruptores que son accionados, en lugar de manualmente, mediante un electroimán (fig.3.5). El relé posibilita controlar dispositivos y circuitos de grandes potencias con otro de mucha menor potencia. Así, mientras que el electroimán de un relé tra-

baja con solo varios volt y una corriente de cientos de miliampere, el voltaje en sus interruptores puede ser de cientos de volt, y la corriente, de decenas de ampere. Los relés suelen utilizarse para accionar, por ejemplo, sistemas de encendido y apagado automático, alarmas, motores de refrigeradores, faros de automóviles. En particular, un circuito como el de la figura 2.22 no puede accionar receptores de potencia relativamente alta, ya que el transistor no lo permite. Sin embargo, en ese caso, el lugar del receptor puede ser ocupado por el electroimán de un relé, cuyo interruptor sería el que pondría en funcionamiento al receptor de elevada potencia.

A 3.19 Explica con tus propias palabras cuál es una de las funciones básicas del relé.

A 3.20 Examina un relé e identifica sus diferentes partes. Conéctalo a una fuente de electricidad y observa el accionar de su interruptor.

A 3.21 Estima cuál pudiera ser la potencia eléctrica del electroimán de un relé.

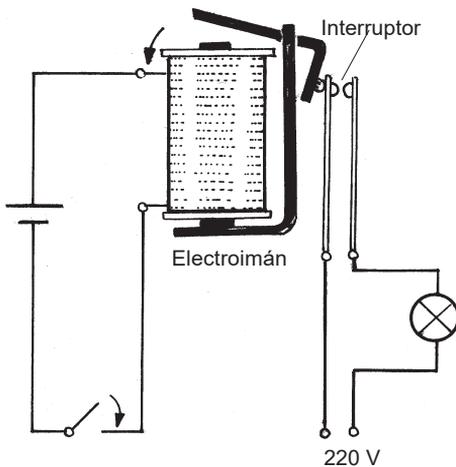


Fig. 3.5 Esquema del funcionamiento de un relé electromagnético.

Motor eléctrico de corriente directa

El funcionamiento de un motor eléctrico se fundamenta en la interacción entre un conductor con corriente y un imán, hecho que, como conoces, se puso de manifiesto por primera vez en el experimento de Oersted. Mediante la figura 3.6 ilustraremos, muy simplificada, la idea de su funcionamiento.

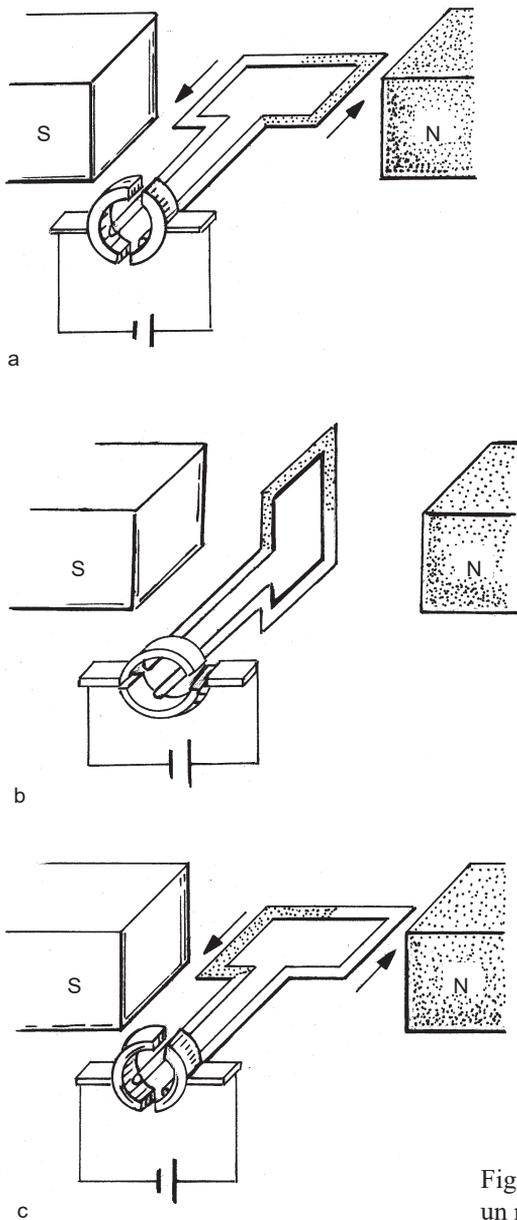


Fig. 3.6 Principio del funcionamiento de un motor eléctrico.

Ya sabes que una espira con corriente eléctrica se comporta como si tuviera un polo norte en una de sus caras y uno sur en la otra. Por eso, cuando se coloca entre los polos de un imán (fig 3.6a), los polos iguales del imán y de la espira se repelen, y los diferentes se atraen. De modo que si la

espira puede rotar alrededor de un eje, girará, llegará a la posición de la figura 3.6b y, debido a su inercia, la rebasará. Finalmente, después de algunas oscilaciones quedará en reposo en esa posición. ¿Cómo hacer para que la espira continúe girando? Para ello se requiere, interrumpir la corriente una vez que la espira sobrepase la posición de la figura 3.6b y volverla a dejar pasar, pero en sentido contrario, cuando esté en la posición de la figura 3.6c. Lo anterior puede lograrse mediante dos semianillos metálicos a los que se conectan los terminales de la espira. El voltaje se aplica a dichos semianillos por medio de unas escobillas o carbones que los rozan mientras el conjunto rota.

A 3.21 Examina un modelo de “motor” similar al descrito en la figura 3.6. Identifica sus diferentes partes y el circuito de la corriente eléctrica.

A 3.22 Propón algunas ideas que contribuyan a mejorar el “motor” de la figura 3.6. Examina las partes de un pequeño motor de algún juguete.

Por supuesto, un “motor” como el de la figura 3.6 no tiene utilidad práctica. Uno así pudo haberse armado en un laboratorio en 1820, pero con posterioridad hubo que hacer mucho trabajo de ingeniería para llegar a disponer de motores realmente efectivos. En la actualidad se fabrican motores cuyas potencias varían en un rango que abarca desde fracciones de watt, como los motorcitos de algunos juguetes, hasta decenas de megawatt. Los motores pueden ser de corriente directa, pero la mayoría de los que hoy se utilizan trabajan con corriente alterna.

A 3.23 Menciona ejemplos de motores de corriente directa y de corriente alterna utilizados en la práctica.

Bocina electrodinámica

Es posible utilizar diversos principios para reproducir el sonido, pero en la práctica el más empleado es el de la bocina electrodinámica. Esta consta (fig. 3.7) de una bobina cilíndrica ligera, vinculada a un diafragma, y colocada muy cerca de un imán, también cilíndrico. Si por la bobina se hace pasar, por ejemplo, la corriente (amplificada) procedente de un micrófono, entonces es atraída y repelida por el imán de acuerdo con las oscilaciones de la intensidad de corriente, haciendo vibrar al diafragma. De este modo, las bocinas convierten las variaciones de intensidad de corriente en vibraciones de su diafragma.

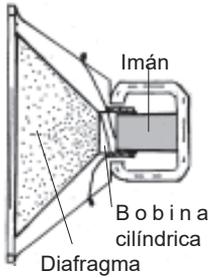


Fig. 3.7 Principio del funcionamiento de una bocina.

El principio de funcionamiento del audífono es similar al de la bocina. Un pequeño electroimán por el que fluye una corriente que oscila, actúa sobre un diafragma metálico, haciéndolo vibrar.

Entre los componentes esenciales de cualquier sistema de transmisión de sonido por medio de la electricidad, están el micrófono y el audífono. En los teléfonos, por ejemplo, el micrófono transforma al sonido en oscilaciones de corriente eléctrica, que pueden transmitirse a través de cables (como en los teléfonos habituales) o mediante ondas de radio (como en los teléfonos celulares). A su vez, el audífono realiza el proceso inverso, transforma las oscilaciones de corriente eléctrica en sonido.

Grabación magnética

Los cabezales empleados en la grabación magnética son pequeños electroimanes. Ellos actúan sobre una diminuta área de las cintas o discos, en la cual hay miles de partículas magnéticas. En las cintas de sonido, dicha área puede tener 0,0025 mm de ancho por 0,5 mm de alto. Durante la grabación habitual de sonido, el porcentaje de partículas magnéticas que se orientan en una u otra dirección varía a lo largo de la cinta, en dependencia de las características del sonido. Para el borrado, la cinta se somete a un intenso campo magnético alterno, de frecuencia 100 000 Hz, lo cual hace que, de nuevo, aproximadamente la mitad de las partículas queden orientadas en una dirección y la otra mitad en dirección contraria. La grabación magnética digital, utilizada por ejemplo en las computadoras, también se basa en la orientación –en una pequeñísima área– de las partículas magnéticas en una u otra dirección.

3.3 Inducción electromagnética

3.3.1 Ley de inducción de Faraday

A 3.24 Recuerda los cambios o efectos que puede producir una corriente eléctrica. ¿A partir de cuáles de ellos es posible, a su vez, obtener una corriente (relee el epígrafe 2.3.1)?

Ya sabes que entre los cambios o efectos producidos por una corriente eléctrica se encuentran los térmicos, luminosos, químicos y magnéticos. Por otra parte, en el epígrafe 2.3.1 vimos que, mediante elevación de temperatura, radiación luminosa y reacciones químicas, es posible obtener el efecto inverso, es decir, una corriente eléctrica. Cabe pues preguntarse, ¿será posible obtener también una corriente eléctrica a partir del campo magnético producido por un cuerpo?

A 3.25 Entre, por un lado, los cambios térmicos, luminosos y químicos, y por otro lado, la corriente eléctrica, tienen lugar relaciones recíprocas. Exprésalas mediante un esquema. ¿Qué relaciones sugiere dicho esquema entre la corriente eléctrica y el campo magnético?

Al parecer, la idea de las transformaciones recíprocas entre fenómenos de distinta naturaleza condujo a Michael Faraday a una pregunta similar a la del párrafo anterior del texto. En el año 1823 escribió la siguiente anotación en su diario: “Transformar el magnetismo en electricidad”. Ocho años después encontró la solución. De ella trataremos a continuación.

Como conoces, al acercar un cuerpo electrificado a un conductor, una parte de este se carga positivamente y la otra negativamente. En la época de Faraday, a este efecto se le daba el nombre de *inducción*. Tal vez por analogía con esto se preguntó: ¿Podrá una bobina con corriente, *inducir* corriente en otra colocada próxima a ella?

A fin de responder esta pregunta, Faraday preparó dos bobinas, una enrollada entre la otra. Generó una corriente en una de ellas empleando cien pilas de Volta, e intentó detectar corriente en la otra, por medio de una especie de amperímetro. Después de múltiples esfuerzos, el 29 de agosto de 1831, halló que cuando abría o cerraba el circuito de la primera bobina, se producía una corriente momentánea en la otra. Mediante sus experimentos, Faraday estableció que una corriente constante no induce corriente en otra bobina, que esto solo lo hace *una corriente variable*.

A 3.26 Esclarece el significado con que se emplea el término “inducir” en la vida cotidiana y su relación con la interpretación que se le da en la física.

A 3.27 Dibuja un esquema del circuito correspondiente al experimento realizado por Faraday que se describe en el párrafo anterior.

En la figura 3.8 se muestra el esquema de una instalación para realizar una versión moderna del experimento de Faraday. Las bobinas (1 y 2) se colocan una frente a la otra y en el interior de ellas se introduce un núcleo de hierro N.

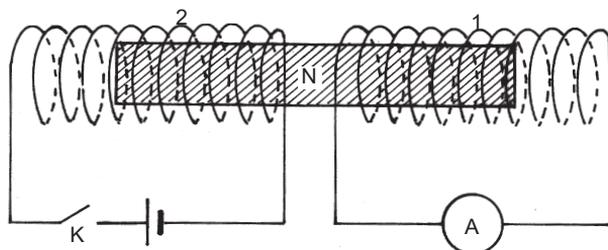


Fig. 3.8 Versión del experimento de Faraday sobre la inducción electromagnética: Al cerrar o abrir el interruptor K el amperímetro registra una corriente transitoria.

Luego de su descubrimiento inicial, Faraday supuso que al acercar o alejar entre sí dos bobinas, por una de las cuales fluye corriente eléctrica, se induciría una corriente en la otra, y comprobó esta idea en la práctica.

A 3.28 ¿En qué pudo haberse basado la suposición de Faraday, de que al acercar o alejar entre sí dos bobinas se produciría el mismo efecto que al abrir o cerrar el interruptor en su experimento inicial (fig. 3.8)?

A 3.29 Planifica y realiza un experimento para comprobar la suposición del párrafo anterior.

Alrededor de mes y medio después de su primer descubrimiento, Faraday encontró que al acercar o alejar entre sí un imán y una bobina también se induce corriente en esta (fig. 3.9).

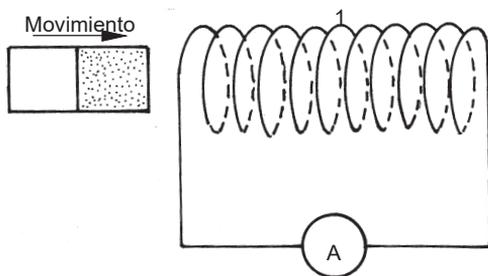


Fig. 3.9 El amperímetro también registra una corriente transitoria cuando existe un movimiento relativo entre el imán y la bobina.

A 3.30 ¿Por qué, tras los experimentos realizados con bobinas, cabía esperar que al acercar o alejar entre sí un imán y una bobina, se indujera corriente en esta?

A 3.31 Examina nuevamente los experimentos realizados por Faraday. ¿Qué tienen en común?

De los experimentos anteriores deriva la siguiente conclusión, denominada *ley de inducción de Faraday*:

Cuando cambia la cantidad de campo magnético (el número de líneas del campo) que atraviesa el área limitada por un conductor cerrado (espira),

surge en este una corriente eléctrica. Mientras mayor sea la rapidez con que varía la cantidad de campo magnético, mayor será la intensidad de la corriente inducida.

Para que se produzca una corriente se requiere un campo eléctrico que actúe sobre las partículas cargadas. Por eso, es de suponer que la corriente inducida aparece en el conductor debido a un campo eléctrico y que este es, a su vez, originado por las variaciones del campo magnético. Hoy se conoce que *un campo magnético variable origina un campo eléctrico a su alrededor*, haya o no una espira o bobina situada en dicho campo. Entre los que argumentaron esta idea sobresale el físico británico James Clerk Maxwell (1831- 1879), quien hizo notables contribuciones a la teoría electromagnética. Este campo eléctrico no se debe al exceso de partículas cargadas en un lugar respecto a otro, como ocurre durante las experiencias de electrización o al conectar una pila a un conductor. Sin embargo, dicho campo actúa del mismo modo sobre las partículas cargadas de los conductores.

A 3.32 Resume los dos modos de generar una corriente eléctrica que hemos estudiado.

Los experimentos de Faraday constituyen una respuesta afirmativa a la pregunta planteada al inicio de este epígrafe. Ellos confirman que es recíproca no solo la relación de la corriente eléctrica con los fenómenos térmicos, luminosos y químicos, sino también con los fenómenos magnéticos. Entre la electricidad y el magnetismo existe una estrecha conexión.

3.3.2 Utilización práctica de la inducción electromagnética

La ley de inducción de Faraday constituye la base sobre la que se apoya el funcionamiento de numerosos dispositivos y procesos: generadores eléctricos, transformadores, hornos de inducción, guitarra eléctrica, lectura de cintas y discos magnéticos mediante cabezales, etc. En este listado sobresalen, por su importancia a escala de toda la sociedad, los generadores de inducción y los transformadores, utilizados para producir y transmitir la mayor parte de la energía eléctrica que consumimos. A continuación describimos, muy simplificada, el principio de funcionamiento de ellos.

Generador de inducción

Una de las formas más convenientes de variar la cantidad de campo magnético que atraviesa una bobina, a fin de producir una corriente eléctrica

inducida, es ponerla a rotar en dicho campo (fig. 3.10). El funcionamiento de los generadores de inducción se basa en esta idea. Así, por ejemplo, una dinamo de bicicleta consiste en una bobina enrollada en forma rectangular alrededor de un material ferromagnético. La bobina está situada en el campo magnético de un imán permanente, de modo que al girar, varía la cantidad de dicho campo que la atraviesa. La potencia de la dinamo (la rapidez con que transforma energía mecánica en eléctrica) depende de la intensidad del campo magnético y de la rapidez con que giran sus espiras.

En las plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y eólicas, así como en las empleadas para emergencias en hospitales y otras instalaciones, el principio básico utilizado es el de la dinamo: transformar energía mecánica en eléctrica haciendo rotar en un campo magnético una armadura que contiene espiras.

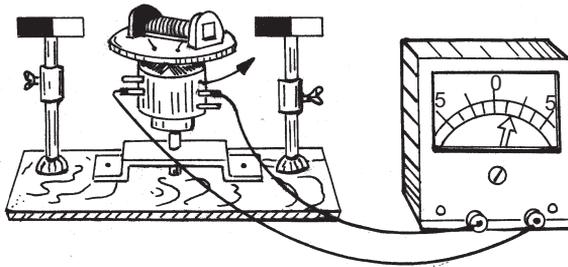


Fig. 3.10 Principio del funcionamiento de una dinamo.

A 3.33 Describe las transformaciones de energía que tienen lugar en la dinamo de bicicleta durante el funcionamiento de esta.

A 3.34 Describe las transformaciones de energía que tienen lugar en los generadores de inducción de las plantas: a) hidroeléctricas, b) termoeléctricas, c) eólicas.

Transformador

Un transformador simple consiste en dos bobinas, de diferente número de espiras, enrolladas alrededor de un núcleo de hierro. En la figura 3.11a se muestra su dibujo esquemático y en la 3.11b su símbolo. La corriente eléctrica variable en una de las bobinas del transformador (“entrada” o “primario”), origina un campo magnético variable en su núcleo. En consecuencia, el número de líneas de campo magnético que atraviesa la otra bobina (“salida” o “secundario”) cambia con el tiempo, debido a lo cual se induce en ella una corriente.

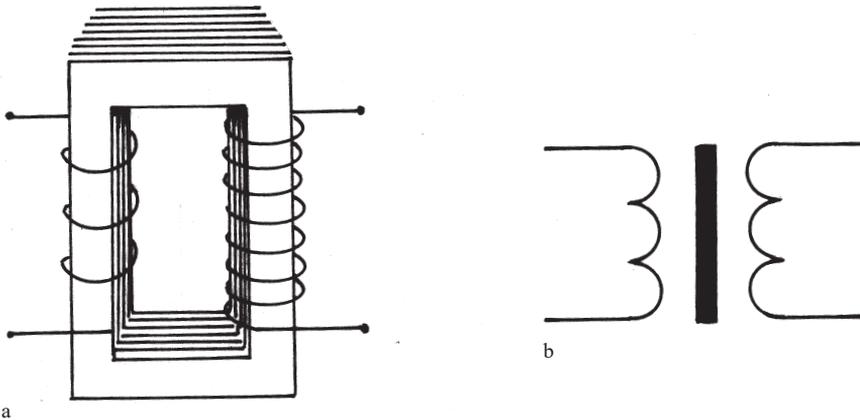


Fig. 3.11 a) Esquema de un transformador. b) Símbolo del transformador.

A 3.35 ¿Podrían los transformadores funcionar con corriente directa? Argumenta respuesta.

Si la bobina de entrada tiene menor número de espiras que la de salida, como es el caso de la figura 3.11a, el transformador produce una elevación del voltaje (transformador elevador). Este es el tipo de transformador utilizado, por ejemplo, cuando se necesita elevar el voltaje de 110 a 220 V. Si, a la inversa, la bobina de entrada tiene mayor número de espiras que la de salida, entonces el transformador produce una disminución del voltaje (transformador reductor). En los radios, grabadoras, computadoras, impresoras y otros equipos, se emplean transformadores reductores, ya que sus circuitos trabajan con voltajes mucho menores de 110 V. Las fuentes de electricidad utilizadas en los laboratorios escolares también tienen un transformador que disminuye el voltaje. Su entrada se conecta a 110 V, y se extraen salidas de diferentes voltajes, frecuentemente entre 0 y 12 V.

A 3.36 Monta un modelo de transformador y hazlo funcionar, primero para elevar el voltaje y luego para disminuirlo. Mide los voltajes con ayuda de un voltímetro.

Los transformadores transmiten energía eléctrica de su entrada a la salida y en este proceso, naturalmente, se produce cierta disipación de energía. Sin embargo, si las pérdidas son pequeñas, entonces podemos suponer que la cantidad de energía que llega al transformador por unidad de tiempo y la que sale de él, son iguales. Es posible calcular esta energía, tanto a la entrada como a la salida, por medio de la conocida ecuación $P = U \cdot I$. Por

tanto, lo dicho anteriormente puede ser descrito mediante ecuaciones del modo siguiente: $P_e = P_s$, es decir. $U_e \cdot I_e = U_s \cdot I_s$. Esto significa que en los terminales del transformador en que el voltaje sea menor, la intensidad de corriente será mayor, y a la inversa, donde el voltaje sea mayor la intensidad de corriente será menor.

A 3.37 Menciona posibles causas de las pérdidas de energía en los transformadores.

En las centrales eléctricas se utilizan transformadores elevadores, con lo cual se reduce la intensidad de la corriente. Esto tiene el propósito de disminuir las pérdidas de energía por calentamiento de los cables durante la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Por supuesto, antes de distribuir la energía eléctrica para su consumo, es necesario disminuir nuevamente su voltaje por medio de transformadores reductores.

A 3.38 Realiza un esquema con las etapas de generación, transmisión y consumo de energía eléctrica en una red nacional, en el cual aparezcan los transformadores.

3.3.3 Ondas electromagnéticas

En el capítulo anterior vimos que si se tienen dos cuerpos electrizados que interactúan entre sí, situados a cierta distancia uno del otro, y movemos uno de ellos, dicho movimiento se refleja con gran rapidez en el segundo, aunque no instantáneamente. Algo parecido es lo que ocurre en las antenas transmisoras y receptoras de radio y televisión. En la antena transmisora se hace que los electrones oscilen con determinada frecuencia y, al cabo de determinado tiempo, estas oscilaciones se repiten en la antena receptora. Describamos, esquemáticamente, el proceso que tiene lugar.

A 3.39 Imagina dos cuerpos electrizados que interactúan entre sí situados a cierta distancia uno del otro. ¿Por qué solemos pensar que el movimiento de uno de ellos se refleja en el otro instantáneamente? Describe hechos que ponga de manifiesto que las señales emitidas por una antena requieren cierto tiempo para llegar hasta la antena receptora.

Para que los electrones oscilen en la antena transmisora se requiere un *campo eléctrico oscilatorio*. Por otra parte, las oscilaciones de corriente eléctrica representadas por este movimiento de electrones, producen a su alrededor un *campo magnético oscilatorio*. De acuerdo con la ley de inducción de

Faraday, este campo genera, a su vez, un *campo eléctrico igualmente oscilatorio*. El proceso completo podemos sintetizarlo del siguiente modo:

Campo eléctrico oscilatorio \Rightarrow Campo magnético oscilatorio \Rightarrow Campo eléctrico oscilatorio.

A 3.40 Recuerda algunos hechos que apoyen las siguientes ideas: a) para que aparezca y se mantenga una corriente eléctrica se requiere de un campo eléctrico, b) una corriente eléctrica tiene asociado un campo magnético, c) las variaciones de campo magnético originan un campo eléctrico.

Resulta que la sucesión anterior se repite continuamente a través del espacio. Las oscilaciones de los campos eléctrico y magnético se propagan a través de él y constituyen, pues, una *onda*.

Las oscilaciones de campo eléctrico que llegan a la antena receptora, aunque por supuesto con una amplitud atenuada, actúan sobre sus electrones, haciendo que oscilen con la misma frecuencia que los de la antena transmisora.

A 3.41 Menciona algunas razones por las que la amplitud de las ondas generadas en una antena transmisora de radio o televisión se atenúen durante su propagación.

Se denomina *onda electromagnética* a la propagación de las oscilaciones de los campos eléctricos y magnéticos. La velocidad de dicha propagación en el aire es aproximadamente 300 000 km/s, en otros medios, por ejemplo en el agua, es menor, pero de todos modos muy grande.

Las ondas electromagnéticas se clasifican en varios tipos, atendiendo a determinados rangos de sus frecuencias. Así, en orden creciente de frecuencia tenemos: las ondas de radio habituales, de baja y alta frecuencia; las ondas de FM y de televisión; las microondas; la radiación infrarroja; la luz visible; la radiación ultravioleta; los rayos X; los rayos gamma. Esta gama de ondas electromagnéticas constituye lo que se conoce con el nombre de *espectro de las ondas electromagnéticas*.

Muchas veces se considera, incorrectamente, que ondas electromagnéticas como las de radio y televisión, la luz, los rayos X y otras, tienen distinta naturaleza. Esto se debe, en parte, a que, como vimos en el primer capítulo, los efectos de la interacción de las ondas con el medio y los seres humanos, pueden diferenciarse grandemente atendiendo no solo a la naturaleza de las ondas, sino también a su frecuencia.

A 3.42 Describe algunos efectos provocados por ondas electromagnéticas de distintas frecuencias.

Hasta alrededor de 1880, las únicas ondas electromagnéticas de las que el hombre tenía conciencia eran la luz visible, la infrarroja y la ultravioleta. En esa década Heinrich Hertz produjo las ondas que hoy denominamos ondas de radio. Los rayos X fueron descubiertos en 1895, los rayos gamma se detectaron por primera vez como emisiones de sustancias radioactivas naturales (uranio, radio, etcétera).

3.4 Actividades de sistematización y consolidación

1. Confecciona un listado de los conceptos e ideas esenciales estudiados en este capítulo.
2. Elabora un esquema o cuadro sinóptico que refleje las relaciones entre los conceptos e ideas esenciales estudiados.
3. Responde, resumidamente, las preguntas planteadas en la introducción. ¿En cuáles sería de interés profundizar? Plantea nuevas cuestiones de interés.
4. ¿Qué transformaciones de energía tienen lugar durante la magnetización de un cuerpo ferromagnético que se ha introducido en una bobina con corriente?
5. Explica desde el punto de vista microscópico, por qué la magnetización y la desmagnetización se facilitan al golpear los cuerpos.
6. Los cuerpos magnetizados se desmagnetizan al calentarlos hasta elevadas temperaturas. Explica por qué.
7. Construye un modelo de “motor”. Consigue un alambre con barniz aislante de unos 0,5 mm de diámetro y 1,5 m de largo. Forma unas diez espiras, enrollando el alambre, por ejemplo, alrededor de una pila de linterna. Usa los extremos libres del alambre para sujetar las espiras entre sí y para preparar una especie de eje alrededor del cual pueda rotar el conjunto (fig. 3.12). Aplasta las espiras para darle una forma próxima a la rectangular. Apoya uno de los extremos del alambre sobre una mesa y mediante una cuchilla retira el barniz, dejando descubierta solo una zona semicilíndrica. Repite la misma operación con el otro extremo del alambre, pero cuidando que la zona semicilíndrica desprovista de barniz sea ahora la opuesta. Puedes suspender el conjunto haciendo pasar los extremos del alambre (el eje) a través de unos orificios practicados en unas láminas metálicas fijas a una base de madera. Utiliza una pila y un imán para hacer funcionar el “motor”.

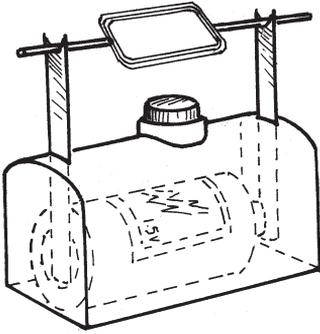


Fig. 3.12 Motor de construcción casera.

8. En la figura 3.13 está representado el esquema de un timbre eléctrico de corriente directa. El voltaje se aplica entre los puntos A y B. Describe su funcionamiento.

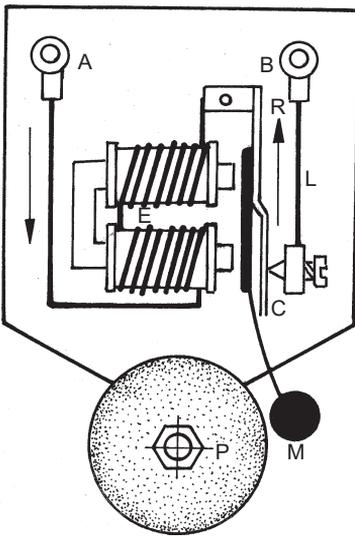


Fig. 3.13 Actividad 8.

9. Analiza el principio de funcionamiento de los amperímetros y voltímetros analógicos (de aguja).
10. ¿Podrían utilizarse la bocina electrodinámica y el audífono en calidad de micrófonos?
11. En el experimento de Faraday, cuya versión moderna describimos en la figura 3.8, la corriente inducida era débil y el “amperímetro” utilizado no era suficientemente sensible. Se le ocurrió entonces la idea de sustituir el “amperímetro” por una pequeña bobina en la que introdujo

- una aguja ferromagnética. ¿Cómo le serviría esto a Faraday para detectar la breve corriente eléctrica que aparecía en la segunda bobina?
12. ¿Cómo se explica, teniendo en cuenta la ley de inducción de Faraday, el aumento de la intensidad luminosa del bombillo de una bicicleta al incrementar la velocidad?
 13. ¿Con qué propósito se enrollan las bobinas de los generadores de inducción alrededor de materiales ferromagnéticos?
 14. El esquema del “motor” representado en la figura 3.6 se asemeja al de una dinamo. ¿Pudiera ser utilizado semejante “motor” como una dinamo? Argumenta tu respuesta.
 15. Si dispones de algún dinamo de bicicleta en desuso, desármalo e identifica las diferentes partes de que está compuesto.
 16. ¿Qué relación hay entre el funcionamiento de un transformador y el descubrimiento realizado por Faraday el 29 de agosto del año 1831?
 17. Si observas el núcleo de un transformador común, verás que está formado por una serie de láminas. Ellas están aisladas eléctricamente entre sí mediante un barniz no conductor. ¿Por qué se construirán de ese modo los núcleos de los transformadores?
 18. Indaga acerca del funcionamiento de la guitarra eléctrica.
 19. Profundiza en el funcionamiento de los cabezales de grabado y lectura de cintas y discos magnéticos.
 20. Reflexiona acerca de la importancia de las ondas electromagnéticas en el universo y, en especial, para los seres humanos

Capítulo 4

LUZ Y DISPOSITIVOS ÓPTICOS

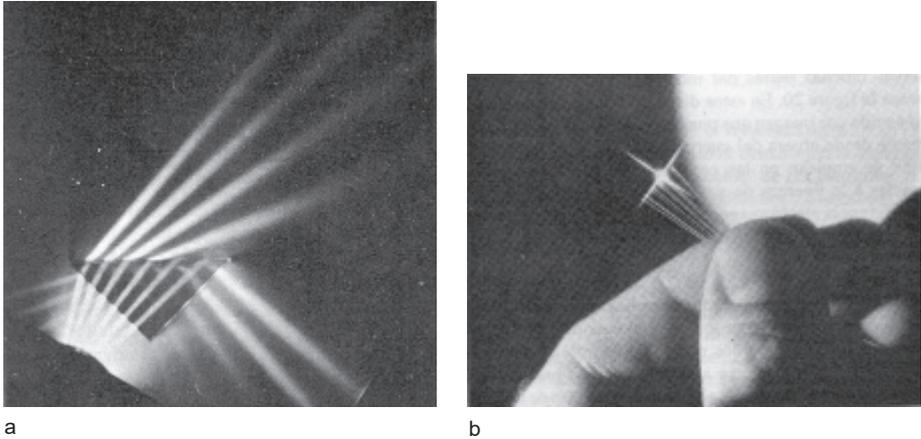


Fig. 4.1 a) Haces de luz procedentes de la izquierda, que inciden en un prisma. b) Fibras ópticas.

4.1 Introducción

A 4.1 Describe las características principales de las ondas, estudiadas en el primer capítulo.

En el capítulo anterior conociste que ondas como las de radio, la luz, los rayos X y otras, muchas veces consideradas sin relación entre sí, tienen en realidad una misma naturaleza *electromagnética*, y que las diferencias entre ellas se deben a sus distintas *frecuencias*

De modo similar que el oído humano solo detecta las vibraciones de frecuencias entre unos 20 Hz y 20 kHz, el ojo únicamente es sensible a las ondas electromagnéticas de frecuencias entre 430 000 GHz y 750 000 GHz, aproximadamente.

Denominamos *luz*, precisamente a aquella parte del espectro de las ondas electromagnéticas a la que el ojo humano es sensible, es decir, que es capaz de producir la visión. La rama de la física que estudia los procesos relacionados con la luz se denomina *Óptica*.

A 4.2 ¿Cuántas veces mayor que la frecuencia de las oscilaciones sonoras es la frecuencia de las oscilaciones luminosas?

A 4.3 Las ondas sonoras suelen caracterizarse por su frecuencia; sin embargo, al describir a las electromagnéticas, lo más común es dar su longitud de onda. Calcula el rango de longitudes de onda correspondientes a la propagación de la luz en el aire. Indica las principales fuentes de incertidumbre en los resultados obtenidos.

En el rango de 430 000 GHz a 750 000 GHz hay toda una gama de oscilaciones de diferentes frecuencias que, al incidir en el ojo, producen las sensaciones de los diversos colores a que estamos acostumbrados: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo (añil) y violeta. Los colores representan, pues, a los efectos de la percepción luminosa, algo similar que los tonos (agudos, bajos) en lo que se refiere a la percepción sonora. La luz habitual es una mezcla de oscilaciones electromagnéticas de diversas frecuencias.

Las ondas electromagnéticas de frecuencias inferiores a las que provocan la sensación de rojo se denominan *infrarrojas* y las de frecuencias superiores a las que producen la sensación de violeta, *ultravioleta*.

Al elevarse la temperatura de los cuerpos podemos detectar en nuestra piel la radiación infrarroja que ellos emiten, la cual, sin embargo, no es percibida por nuestro ojo. Pero hacia los 500 °C la radiación empieza a hacerse visible. Ello se debe a que el cuerpo comienza a emitir, además de oscilaciones electromagnéticas infrarrojas, otras de frecuencias mayores, a las que el ojo sí es sensible.

A 4.4 Con un bombillo del tipo utilizado en las linternas, monta un circuito eléctrico de tal modo que puedas aumentar poco a poco la intensidad de corriente en su filamento. Explica el cambio de coloración del filamento.

A 4.5 Utilizando los conceptos expuestos en los párrafos anteriores del texto, explica cómo fue posible fotografiar (sin utilizar un *flash*) la plancha de la figura 4.2, si se encontraba en una habitación oscura en la que no era visible para las personas.

A 4.6 Como sabes, la prolongada exposición a los rayos solares puede resultar dañina para la salud, entre otras cosas, debido a las radiaciones ultravioletas procedentes del Sol. Interpreta el concepto de radiación ultravioleta desde el punto de vista de las ideas expresadas en los párrafos anteriores.

Pese a la pequeña parte que representa la luz dentro del espectro de ondas electromagnéticas, ella tiene excepcional importancia en la vida de los seres humanos. Se afirma que la mayoría de las personas adquiere más

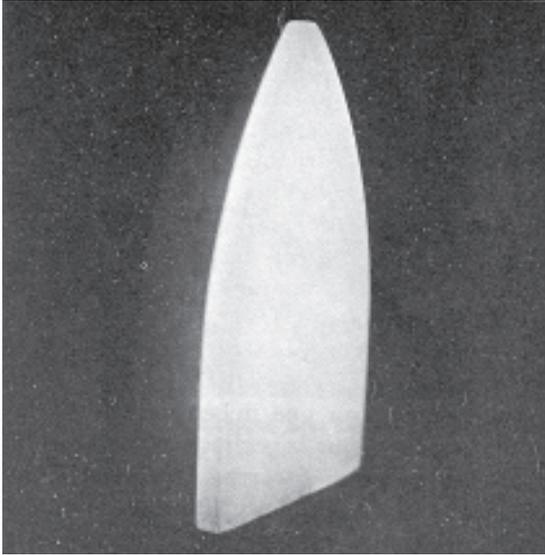


Fig. 4.2 Fotografía de una plancha caliente, tomada en una habitación oscura.

del 90 % de la información que posee a través del ojo, por medio de la luz. Sin esta no serían posibles importantes procesos que ocurren en la naturaleza, ni tampoco el funcionamiento de ciertos equipos e instrumentos modernos creados por el hombre. En la tabla 4.1 se ofrece un listado de algunos hechos relevantes relacionados con la luz.

A 4.7 Confecciona un listado, lo más amplio posible, de hechos relacionados con la luz que conozcas. Reflexiona acerca de la importancia de ellos.

A 4.8 Indaga acerca de la época en que se desarrollaron los principales conocimientos acerca de la luz y sobre algunos de los científicos que participaron en ese desarrollo.

A 4.9 Plantea cuestiones relacionadas con la luz en las que, en tu opinión, sería de interés profundizar.

Tabla 4.1

ALGUNOS HECHOS RELEVANTES RELACIONADOS CON LA LUZ

Primeras ideas acerca de la propagación de la luz y aplicación de ellas a espejos	Euclides, s. III a.n.e.
Idea de que la luz procedente de los objetos forma una imagen de ellos en el ojo	Alhazen, s. XI
Desarrollo de los espejuelos	s. XIII
Microscopio de varias lentes	Hacia 1600

Primer telescopio astronómico	Galileo, 1609
Descubrimiento de la ley de la refracción	Snell, hacia 1620
Explicación de la formación de la imagen en la retina del ojo	Kepler, s. XVII
Descripción de experimentos sobre difracción de la luz	Grimaldi, 1665
Descubrimiento de células, corpúsculos de la sangre, bacterias, mediante el microscopio	1665 -1680
Descomposición de la luz en haces de diferentes colores	Newton (1666-1672)
Primeras mediciones (astronómicas) de la velocidad de la luz	Roemer, 1676
Idea acerca de que la luz es una onda	Huygens, 1690
Publicación de <i>Óptica</i> por Isaac Newton	1705
Demostración experimental de la interferencia de la luz	Young, 1801
Primera cámara fotográfica	1826
Medición de la velocidad de la luz en la Tierra	Fizeau, 1849
Descubrimiento del efecto fotoeléctrico	Hertz, 1887
Confirmación de que la luz es una onda electromagnética	1888.
Inención del láser	Maiman, 1960
Comunicación mediante fibras ópticas entre oficinas, ciudades, continentes	1977, 1985, 1990
Puesta en órbita del telescopio espacial Hubble	1990

A 4.10 Analiza la información que aparece en la tabla 4.1 y coméntala.

Los alumnos del grupo a que hemos hecho referencia otras veces, llegaron a la conclusión de que sería de interés profundizar en cuestiones como las siguientes:

¿Cuáles son las características principales de la propagación de la luz? ¿Cómo se produce la visibilidad de los cuerpos que nos rodean? ¿De qué depende la variada coloración que apreciamos en los cuerpos? ¿Cómo se forman las imágenes al utilizar determinados dispositivos e instrumentos ópticos, tales como espejos, proyectores, telescopios, microscopios, el ojo?

Comenzaremos tratando de responder la primera de las preguntas planteadas. Ello nos permitirá, al propio tiempo, profundizar y ampliar el estudio de las ondas que iniciamos en el primer capítulo.

4.2 Propagación de la luz

Si la luz es una onda, entonces debemos esperar que su propagación tenga características similares a las de otras ondas, por ejemplo, a las producidas en la superficie del agua y las sonoras, con las cuales ya te familiarizaste en el primer capítulo. No debemos olvidar, sin embargo, que entre ellas también existen notables diferencias. Por ejemplo, mientras que el sonido requiere de un medio para propagarse, las ondas electromagnéticas, y por tanto la luz, pueden hacerlo por sí mismas, en el vacío. Además, las ondas luminosas tienen, como ya sabes, velocidades y frecuencias muy superiores a las del sonido.

A 4.11 Resume las características que has estudiado acerca de la propagación de ondas como las producidas en la superficie del agua y el sonido.

A 4.12 ¿Por qué es común pensar que la luz se propaga de un lugar a otro instantáneamente?

A 4.13 ¿Cuántas veces mayor que la velocidad del sonido en el aire es la velocidad de la luz?

4.2.1 Propagación rectilínea

Para evitar que la luz de un bombillo nos deslumbre, interponemos entre él y nuestros ojos una libreta, una mano u otro objeto opaco. Este y otros hechos de la vida cotidiana sugieren que en el aire que nos rodea, la luz se propaga *en línea recta*. Si no fuese así, entonces la luz del bombillo llegaría a nuestros ojos, aunque en su camino interpusiésemos algún objeto.

Las líneas rectas que indican la dirección de propagación de la luz (de la onda luminosa), se denominan *rayos de luz*.

A 4.14 Representa esquemáticamente un bombillo tipo de linterna y algunos rayos que indiquen la dirección de propagación de la luz emitida por su filamento. ¿Qué forma tendrá el frente de la onda luminosa que procede del bombillo?

No siempre la luz se propaga en todas direcciones, con frecuencia se delimita cierta zona, como en las linternas y algunas lámparas (fig. 4.3). La zona limitada dentro de la cual se propaga la luz se denomina *haz de luz*. Los bordes rectos de los haces luminosos apoyan la imagen de que la luz viaja en línea recta.

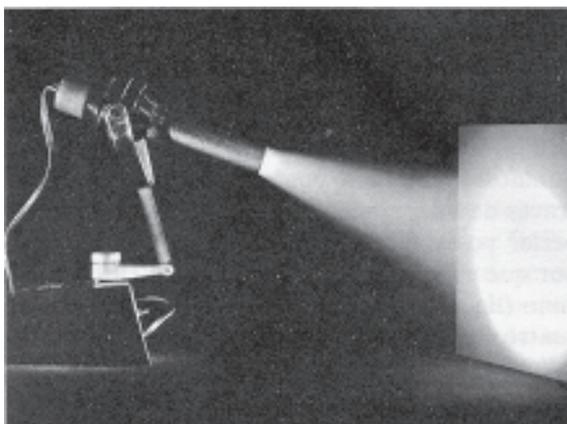


Fig. 4.3 El haz de luz de una linterna se hace visible en la oscuridad al introducir partículas de polvo en el aire.

La idea de la *propagación rectilínea de la luz* constituye una de las más antiguas formuladas en la óptica. Aunque se atribuye a Euclides (300 a.n.e.), probablemente era conocida y utilizada mucho antes. Ella permite explicar numerosos hechos, como la formación de sombras, los eclipses, la formación de imágenes en una “cámara oscura” (antecesora de la cámara fotográfica) y otros. De ella nació el habitual procedimiento de comprobar la rectitud de los objetos alineándolos con nuestro ojo. Pero, al igual que otras ondas, la luz no siempre se propaga en línea recta, como pondremos de manifiesto en el siguiente subepígrafe.

A 4.15 Proyecta la luz de una linterna sin lente sobre una pantalla, por ejemplo, una hoja de papel, y a continuación coloca un cuerpo opaco entre la linterna y la pantalla. a) ¿Qué sucedería con la forma de la sombra del cuerpo si la luz no se propagase en línea recta? b) Observa cómo varía el tamaño de la sombra en dependencia de las distancias entre la linterna, el cuerpo y la pantalla. c) Explica los resultados obtenidos con ayuda de un esquema.

A 4.16 Menciona ejemplos en que se comprueba la rectitud de algo, alineándolo con nuestro ojo.

A 4.17 Modela un eclipse de Luna y otro de Sol, utilizando una linterna y dos cuerpos, uno mayor que otro.

A 4.18 Indaga acerca de la “cámara oscura”. Construye una y explica su funcionamiento mediante el trazado de rayos.

4.2.2 Propagación en medios no homogéneos

En el subepígrafe anterior hemos supuesto que el medio en el cual se propaga la luz no varía de un lugar a otro, que tiene las mismas propiedades en todos sus puntos, es decir, que es *homogéneo*. En estas condiciones, las ondas, incluida la luz, se propagan en líneas rectas. Sin embargo, nuestro entorno es de por sí *no homogéneo*, está repleto de cuerpos diversos, que actúan sobre la luz y otras ondas de distintos modos, en particular, *desviándolas* de su dirección de propagación.

A 4.19 Busca en un diccionario el significado de la palabra homogéneo. Ilustra mediante ejemplos concretos dicho significado.

Cuando la luz incide sobre los cuerpos, una parte puede ser *reflejada*, otra *absorbida* y otra *transmitida*. Las proporciones en que esto tiene lugar dependen de las propiedades de los cuerpos.

A 4.20 Describe ejemplos concretos que ilustren la reflexión, absorción y transmisión de la luz.

Si se hace incidir con cierta inclinación un haz de luz sobre la superficie del agua (fig. 4.4) o de un cuerpo de vidrio (fig. 4.5), se aprecia un haz *reflejado* y, además, otro que penetra, desviándose bruscamente. Cuando

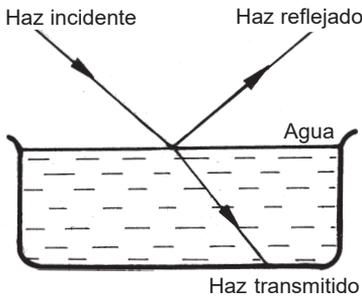


Fig. 4.4 Esquema de la trayectoria de la luz al incidir en la superficie del agua.

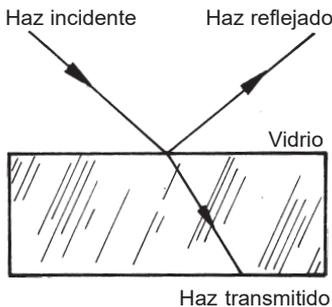


Fig. 4.5 Esquema de la trayectoria de la luz al incidir en la superficie de vidrio.

las ondas en la superficie del agua llegan a una zona de diferente profundidad (“otro medio”), también puede ocurrir una desviación de su dirección de propagación (fig. 4.6). La razón de estas desviaciones radica en el cambio de velocidad de las ondas al pasar de un medio a otro.

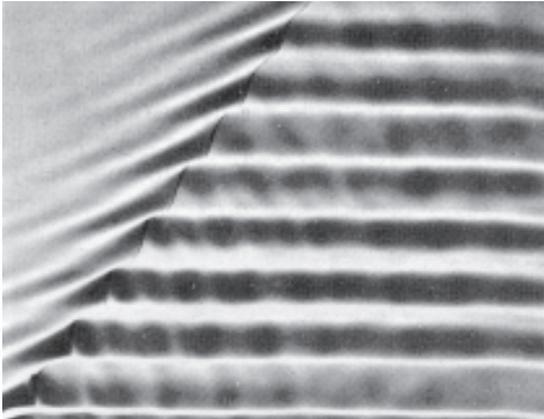


Fig. 4.6 La dirección de propagación de las ondas en la superficie del agua varía, al pasar a una zona de diferente profundidad. ¿En cuál de las dos zonas es mayor la velocidad de las ondas?

El paso de las ondas, y en particular de la luz, de un medio a otro con el consiguiente cambio de su velocidad, se denomina *refracción*.

A 4.21 En las situaciones representadas en las figuras 4.4 y 4.5, ¿además de la reflexión y transmisión de la luz, tendrá lugar la absorción de parte de ella? Argumenta tu respuesta.

A 4.22 En los experimentos de las figuras 4.4 y 4.5, el aire, el agua y el vidrio, examinados por separado, pueden considerarse homogéneos, pero los medios aire-agua y aire-vidrio no lo son. Razona por qué.

A 4.23 ¿Por qué el agua de la cubeta de la figura 4.6 no puede considerarse un medio homogéneo, a los efectos de las ondas en su superficie?

La figura 4.7 muestra una cubeta que contiene una solución de agua con sal, cuya densidad disminuye al aumentar la altura. Debido a esto, la trayectoria del haz de luz que penetra por la izquierda no es rectilínea. Algo similar tiene lugar cuando una carretera asfaltada se calienta mucho, provocándonos el *espejismo* de que, a lo lejos, hay como si fuera agua en ella. En este caso la densidad del aire cerca del asfalto se hace mayor al aumentar la altura, con lo cual ciertos haces procedentes de objetos lejanos, que normalmente incidirían sobre la carretera, son desviados hacia arriba antes de llegar a ella y ser absorbidos por el asfalto (fig. 4.8).

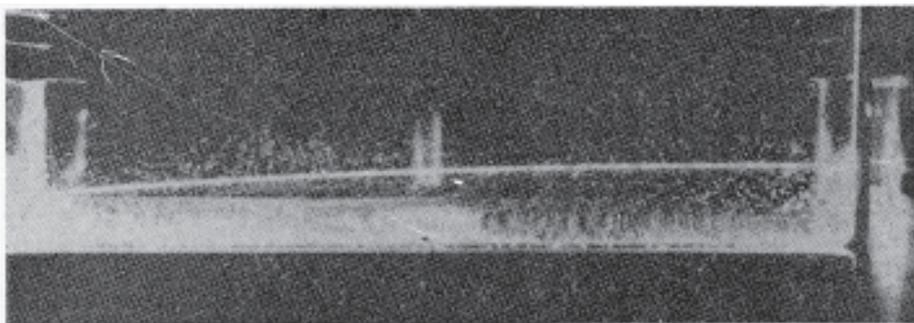


Fig. 4.7 El esquema representa una cubeta que contiene una solución de agua con sal cuya concentración disminuye con la altura. La trayectoria de un haz de luz que penetra por la izquierda es ligeramente curva.

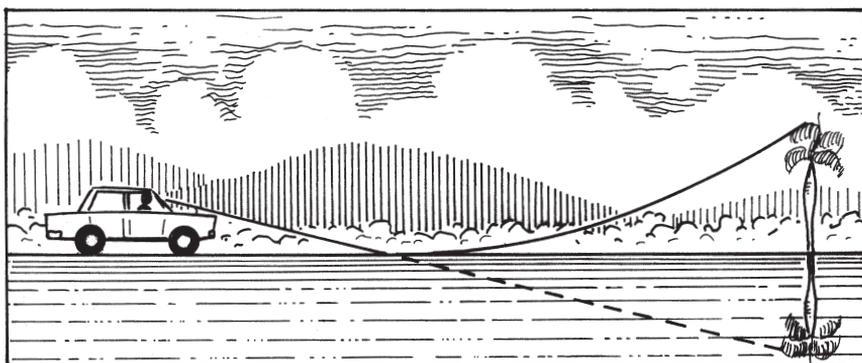


Fig. 4.8 Esquema que ayuda a comprender por qué cuando miramos a lo lejos en una carretera asfaltada, en ocasiones nos parece como que hay agua en ella.

A 4.24 Como sabes, la densidad de la atmósfera disminuye con la altura. Por eso, a la luz del sol que penetra en ella al amanecer o al atardecer, le sucede algo parecido que al haz de luz del experimento de la figura 4.7. Eso hace que los días sean varios minutos más largos. Explica por qué con ayuda de un esquema.

A 4.25 Busca en un diccionario el significado de la palabra “espejismo” e indaga acerca de ellos.

Los hechos examinados en 4.2.1 y 4.2.2 permiten concluir que en los medios transparentes y homogéneos, la luz se propaga en línea recta, pero en los no homogéneos puede desviarse.

En el siguiente subepígrafe examinaremos otros hechos que ponen de manifiesto la desviación de la luz de su propagación rectilínea.

4.2.3 Difracción

Al estudiar el sonido conociste que una característica esencial de las ondas es su *difracción*, o desviación al pasar por los bordes de una abertura o un obstáculo. ¿Tendrá lugar la difracción en el caso de la luz?

A 4.26 Recuerda algunos hechos que pongan de manifiesto la difracción del sonido.

Cuando se interpone un cuerpo opaco entre una fuente de luz puntual –de pequeñas dimensiones en comparación con la distancia al objeto– y una pantalla, se forma una sombra cuyos bordes parecen bien definidos (fig. 4.9). Este hecho sugiere que la luz no se difracta. Pero ya hemos aprendido que guiarnos por la apariencia de las cosas puede conducirnos a ideas equivocadas. Se requiere indagar, ir más allá.

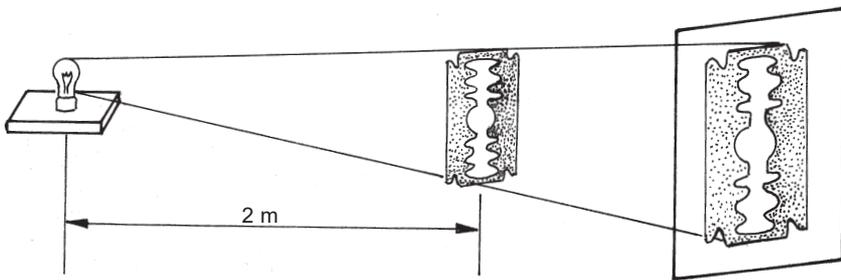


Fig. 4.9 Esquema que representa la formación de la sombra de una cuchilla.

En efecto, si la pantalla se coloca lejos del objeto, de modo que la sombra sea lo suficientemente grande, o esta se observa por medio de una lupa, advertiremos que, en realidad, sus bordes no están tan bien definidos como parece (fig. 4.10).

En la figura 4.11 se muestra la sombra de una esferita, producida al iluminarla con una fuente puntual. Observa que en la parte central hay una pequeña zona iluminada y que el borde de la sombra no está bien definido.

Experimentos como los anteriores revelan que la difracción también es característica de la propagación de la luz, si bien no es tan evidente como en el caso del sonido o las ondas en la superficie del agua.



Fig. 4.10 Los bordes de la sombra de una cuchilla no están tan bien definidos como parece a primera vista.

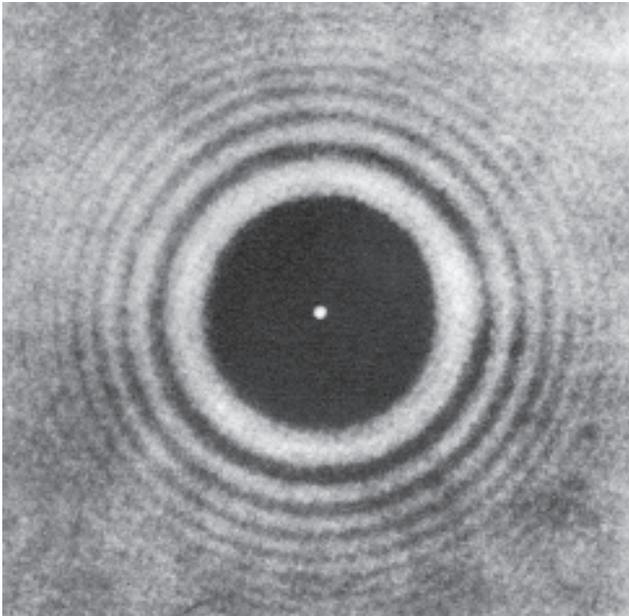


Fig. 4.11 Foto que pone de manifiesto la difracción de la luz cuando incide sobre una esferita.

A 4.27 En el subepígrafe 1.4.2 vimos que mientras mayor sea la frecuencia de las ondas, menor será la desviación de ellas al pasar por un obstáculo o abertura. Teniendo en cuenta esto, justifica por qué la difracción de la luz no es tan apreciable como la del sonido. Apóyate en datos numéricos.

A 4.28 Forma una estrecha rendija entre dos dedos de la mano y acercándola a un ojo, observa a través de ella la luz procedente de un bombillo o llama de una vela. Describe lo observado utilizando el concepto de difracción.

4.3 Luz y visibilidad de los cuerpos

En este epígrafe empezaremos a contestar la segunda de las preguntas planteadas en la introducción *¿Cómo se produce la visibilidad de los cuerpos que nos rodean?* Una respuesta más completa la tendrás hacia el final del capítulo, cuando hayas estudiado la estructura y el funcionamiento del ojo humano.

4.3.1 ¿De qué depende la visibilidad de los cuerpos que nos rodean?

Si en una habitación oscura encendemos una lámpara, o simplemente un fósforo, los cuerpos que nos rodean, hasta entonces invisibles, se harán visibles. ¿Cómo se explica esto?

Simplificadamente podemos decir lo siguiente. La luz procedente de la lámpara o del fósforo incide sobre los cuerpos de la habitación, los cuales *reflejan* parte de ella, enviándola en *todas direcciones*; al llegar a nuestros ojos se produce la sensación visual, la visión de los cuerpos. De este modo, pese a que solemos asociar la reflexión de la luz únicamente con espejos y superficies pulimentadas, ella es un fenómeno muchísimo más extendido. Es, además, esencial para la visibilidad de los cuerpos que nos rodean.

A 4.29 Haz incidir un haz de luz estrecho sobre un espejo y luego sobre una superficie mate. Observa en cada caso la “huella” del haz sobre una hoja de papel blanco. Señala diferencias entre la reflexión en un caso y en el otro.

A 4.30 Analiza el párrafo anterior del texto y distingue los elementos básicos que hacen posible la visibilidad de los cuerpos que nos rodean.

A 4.31 Revisa la tabla 4.1, relativa a hechos relevantes acerca de la luz. ¿De qué época es la idea de que la luz procedente de los objetos producen una imagen de ellos en nuestro ojo?

Como sabes, una parte de la luz que llega a los cuerpos es reflejada, pero otra parte es absorbida y otra puede ser transmitida a través de ellos, como en los cuerpos transparentes. Por tanto, la proporción de luz reflejada difiere de un cuerpo a otro. Es debido a esto que, por ejemplo, en una habitación semioscura vemos unos cuerpos mejor que otros.

A 4.32 En una habitación semioscura observa una hoja de papel blanco, otra de papel negro mate (papel carbón) y una lámina de vidrio o acetato. ¿Cuál se ve mejor y cuál peor? ¿Cómo se explica esto? ¿Qué sucede con la luz que no es reflejada?

Pueden verse *ciertos* cuerpos, digamos, el Sol, las estrellas, las lámparas, gracias a que emiten luz por sí mismos y esta llega a nuestros ojos; pero la inmensa mayoría de ellos –las paredes de la habitación, los árboles, la Luna, el libro que leemos, el lápiz con que escribimos, etcétera– son visibles, solo debido a que reflejan la luz que reciben de otros.

Los cuerpos que emiten luz por sí mismos se denominan *fuentes de luz propia* y, los que la reflejan, *fuentes de luz reflejada*.

A 4.33 La mayor parte de la luz que percibimos procede de fuentes de luz reflejada. ¿Sucede algo similar con los sonidos que percibimos?

A 4.34 Menciona ejemplos de fuentes de luz propia diferentes a los del texto.

A 4.35 ¿Cómo es posible que si la luz del Sol no penetra directamente en el aula, percibamos tanta claridad dentro de ella?

Por supuesto que la visibilidad de los objetos que nos rodean también depende de *la cantidad de luz que les llega*. Esta se caracteriza mediante el concepto de *iluminación*.

A 4.36 ¿De qué factores dependerá la iluminación de determinada superficie? Diseña y lleva a cabo algunos experimentos para apoyar tus suposiciones.

La experiencia cotidiana y sencillos experimentos conducen a la conclusión de que la iluminación de determinada superficie depende, directamente de la *intensidad luminosa* de la fuente, e inversamente de la *distancia* a ella y la *inclinación* del haz de luz respecto a dicha superficie.

A 4.37 Describe algunas medidas a tener en cuenta para garantizar una mejor iluminación cuando leemos.

A 4.38 Representa un esquema de la Tierra y dos haces de luz que, procedentes del Sol, inciden sobre su superficie, uno en la zona en que se encuentra nuestro país y otro sobre

el polo norte. ¿Dónde será mayor la iluminación? ¿Cómo influye esto en la temperatura de la región? Argumenta tus respuesta.

Otro factor, menos advertido, del que depende la visibilidad de un cuerpo, es el *contraste* entre la cantidad de luz que llega a nuestros ojos procedente de él y de otros cuerpos. Así, por ejemplo, vemos mejor la televisión en una habitación oscurecida que en otra muy iluminada.

A 4.39 Busca el significado de la palabra *contraste* en un diccionario.

A 4.40 Describe otras situaciones diferentes a las mencionadas en el texto en que el *contraste* sea importante para la visibilidad de determinados cuerpos.

A 4.41 Los observatorios astronómicos suelen ubicarse en zonas alejadas de las ciudades. Da algunas razones para ello.

4.3.2 ¿Cómo se explica la variada coloración que apreciamos en los cuerpos?

La luz que incide sobre las paredes de la habitación y sobre la hoja de papel en la que escribes proceden de una misma lámpara. ¿Por qué, entonces, las paredes son rosadas, verdes, azules, etc. y, la hoja de papel, blanca? ¿Por qué varios objetos iluminados con la misma luz del Sol son unos rojos y otros verdes, azules, etcétera?

¿Le añaden los objetos algo a la luz que incide sobre ellos, tiñéndola de diferentes colores o, por el contrario, le suprimen algo, dejándole solo los colores que apreciamos?

Ya sabes que la luz habitual es una mezcla de oscilaciones electromagnéticas de diversas frecuencias, correspondientes a diferentes colores. Newton obtuvo el clásico espectro de colores, haciendo incidir sobre un *prisma* la luz solar procedente de la rendija de una persiana.

Cuando el haz de luz atraviesa un prisma, se desvía y se hace más ancho (fig. 4.12), ocurriendo la separación de los colores que lo componen. Este fenómeno se conoce como *dispersión cromática*, o de colores, de la luz. Los haces de diferentes colores se separan debido a que tienen distintas velocidades; mientras menor es la velocidad, mayor es la desviación del haz. A su vez, la diferente velocidad de los haces de colores se explica por sus distintas frecuencias. Como sabes, a mayor frecuencia de la onda, corresponde una menor velocidad de su propagación en el medio.

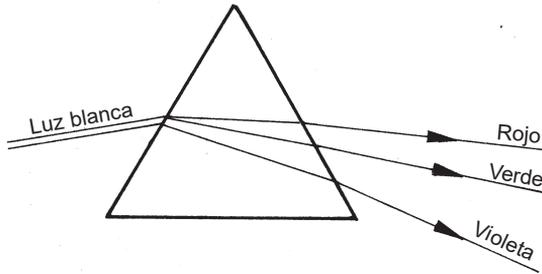


Fig. 4.12 La luz habitual está formada por haces de diferentes colores, los cuales pueden ser separados mediante un prisma.

A 4.42 Describe hechos de la vida cotidiana que apoyen la idea de que la luz natural está formada por una mezcla de luces de diferentes colores.

A 4.43 Indaga acerca de la época en que Newton realizó sus experimentos de descomposición de la luz en haces de diferentes colores.

A 4.44 ¿Por qué en el experimento de la figura 4.12 la luz violeta se desvía más que la roja?

El conocimiento de que la luz habitual está compuesta por diferentes colores y que al incidir sobre los cuerpos, estos absorben o transmiten una parte y reflejan otra, nos permite responder la pregunta con que iniciamos este epígrafe *¿Cómo se explica la variada coloración que apreciamos en los cuerpos?*

El color que apreciamos en un objeto iluminado con luz común está determinado por los colores del espectro que son absorbidos y reflejados. Un objeto parece rojo cuando refleja la luz roja mejor que la de otros colores; verde, cuando refleja mejor la luz verde, etcétera.

A 4.45 Proyecta el espectro de colores de la luz blanca en una pantalla y coloca sobre él, alternativamente, tiras de telas de diferentes colores. Observa lo sucedido y explícalo, teniendo en cuenta lo estudiado anteriormente.

A 4.46 ¿Con luz de cuál color es necesario iluminar un pedazo de papel rojo para que deje de ser visible?

A partir del análisis realizado en el subepígrafe anterior y en este, podemos hacer el siguiente razonamiento. La luz que llega a nuestros ojos procedente de un objeto cualquiera, inevitablemente se cruza en su camino con la emitida por otros muchos cuerpos y, sin embargo, esto no la modifica. De lo contrario vería-

mos al objeto que miramos con un aspecto o color diferente cada vez que cambiaran los que lo rodean. De aquí se desprende la siguiente conclusión:

Cuando varios haces luminosos se cruzan entre sí, ellos no se modifican, se comportan de modo independiente. Cabe señalar que esta es una característica no solo de la luz, sino de las ondas en general.

A 4.47 Diseña y realiza un experimento mediante el cual se ponga de manifiesto la independencia de los haces luminosos.

A 4.48 Diseña y lleva a cabo algún experimento para comprobar la independencia de dos ondas al cruzarse entre sí.

A 4.49 Newton pensaba que la luz está compuesta por pequeños corpúsculos. ¿Podría explicarse satisfactoriamente con esta hipótesis la independencia de los haces luminosos al cruzarse entre sí?

4.4 Regularidades en la reflexión y refracción de la luz

En los epígrafes anteriores profundizaste en la naturaleza de la luz, examinaste importantes características de su propagación y adquiriste cierta noción acerca de cómo se producen la visibilidad de los cuerpos que nos rodean y la variada coloración que apreciamos en ellos. Esto te permite responder numerosas preguntas, por ejemplo: ¿Cómo se forman las sombras? ¿En qué se basa el habitual procedimiento de comprobar la rectitud de los objetos alineándolos con nuestro ojo? ¿Cuál es el origen del arcoiris? ¿Por qué vemos azul el cielo? etc. Sin embargo, para explicar la formación de imágenes mediante espejos y lentes, y para diseñar y construir dispositivos ópticos con características deseadas, se requiere ir más allá y estudiar ciertas regularidades que tienen lugar durante la reflexión y refracción de los haces luminosos. A ello dedicaremos este epígrafe.

4.4.1 Leyes de la reflexión

Consideremos la reflexión de haces luminosos en un *espejo*. Este es uno de los *dispositivos ópticos* más simples creados por el hombre. Ya los antiguos egipcios y griegos empleaban espejos, aunque no de vidrio, sino de metal pulimentado.

Si hacemos incidir un haz de luz estrecho sobre un espejo plano y luego variamos su dirección, observaremos que la dirección del haz reflejado también varía, depende de la dirección del haz incidente.

¿Cómo se relaciona la dirección del haz reflejado con la del incidente?

Para responder esta pregunta, hagamos incidir sobre el espejo un haz de luz en diferentes direcciones y determinemos las correspondientes direcciones de los haces reflejados.

Las direcciones de los haces pueden registrarse con ayuda de un pedazo de cartulina blanca, plana. Luego de varios ensayos, advertiremos que solo es posible observar al mismo tiempo las “huellas” de ambos haces en la cartulina, cuando esta es perpendicular a la superficie del espejo (fig. 4.13). Este resultado es una expresión de la *primera ley de la reflexión*:

El rayo reflejado está en el plano que contiene al rayo incidente y es perpendicular al espejo.

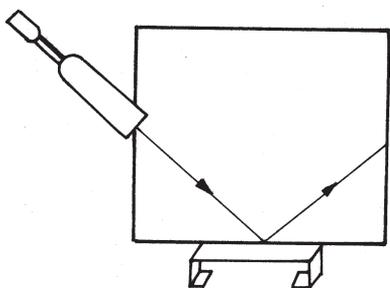


Fig. 4.13 El rayo reflejado está en un plano que contiene al rayo incidente y que es perpendicular a la superficie del espejo.

A 4.50 Coloca un pequeño espejo sobre una hoja de papel blanco. Haz incidir sobre él un haz de luz estrecho, de tal modo que su “huella” sea visible sobre el papel. ¿Qué relación hay entre las direcciones de los haces incidente y reflejado?

Las direcciones de los haces en la cartulina pueden indicarse por medio del ángulo que forman con el espejo; no obstante, lo usual es dar el ángulo respecto a la línea perpendicular a él (NN') en el punto de incidencia (fig. 4.14). El ángulo entre dicha línea y el rayo incidente se llama *ángulo de incidencia* (i) y el formado por ella y el rayo reflejado, ángulo de *reflexión* (r). Los ensayos con distintos ángulos de incidencia permiten llegar a la siguiente conclusión, denominada *segunda ley de la reflexión*:

El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia ($r = i$).

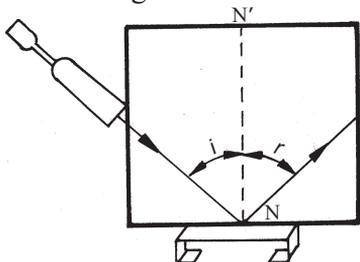


Fig. 4.14 El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

Aunque hemos examinado las *leyes de la reflexión* considerando un espejo plano, ellas son igualmente válidas si el espejo es curvo.

A 4.51 Reproduce en tu libreta la figura 4.15. En ella se ha representado un espejo plano en diferentes posiciones y las direcciones de los haces incidentes o reflejados. Completa los esquemas trazando las direcciones de los haces incidentes o reflejados que faltan.

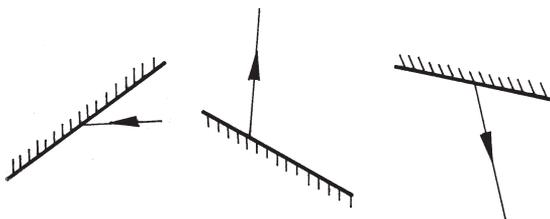


Fig. 4.15 Actividad A 4.51.

Utilicemos ahora las leyes de la reflexión para explicar las imágenes producidas mediante un espejo plano, en particular, el hecho de que cuando situamos un cuerpo delante de un espejo, lo vemos en un lugar en el que realmente no está, detrás de él.

Consideremos primero un objeto muy pequeño (O) situado frente al espejo (fig. 4.16a). Hemos representado un haz de luz que diverge de él e incide en el espejo. Si utilizamos la segunda ley de la reflexión, podemos encontrar cuál es la trayectoria que sigue dicho haz después de reflejarse. Para ello es suficiente aplicar la ley a los rayos 1 y 2 que forman los bordes del haz (fig. 4.16b). Cuando se coloca el ojo como se muestra en la figura 4.16c, el haz parece provenir del punto I . Debido a esto se produce la *imagen* de que el objeto está situado en ese punto.

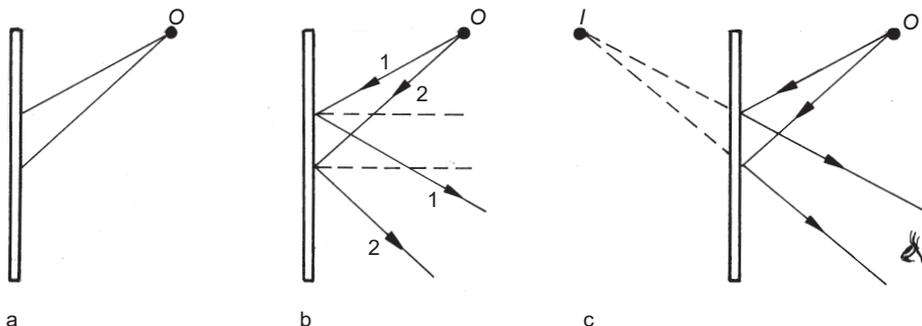


Fig. 4.16 Esquema que ayuda a comprender la imagen mediante un espejo plano.

Lo que vemos en I se denomina *imagen del objeto*, y puesto que ella no existe independientemente de nuestra sensación visual, se le llama *virtual*.

En general, los cuerpos que nos rodean no son tan pequeños como O , pero pueden considerarse formados por infinidad de puntos similares a él.

A 4.52 Coloca un portaobjetos de microscopio (o en su defecto un rectángulo recortado de una lámina de acetato) de canto sobre una hoja de papel blanco. Traza un crucecita cerca de él. Advierte la imagen de la crucecita del otro lado del “espejo” ¿Por qué pese a que el portaobjetos es transparente, actúa como un espejo? ¿Cómo son las distancias del objeto al espejo y de este a la imagen? ¿Cómo pudieras utilizar una instalación similar para calcar un dibujo?

A 4.53 Localiza las posiciones de las imágenes de los objetos (O) representados en la figura 4.17a y b.

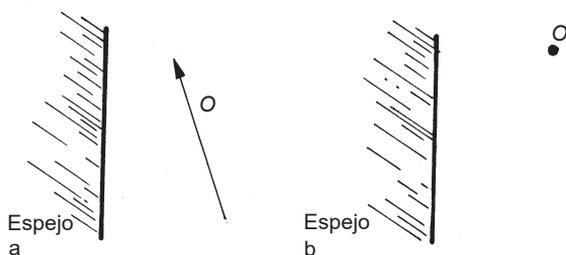


Fig. 4.17 Actividad A 4.53.

4.4.2 Leyes de la refracción

Como ya sabes, cuando un haz de luz llega a un medio diferente -por ejemplo, cuando desde el aire llega al agua o al vidrio- una parte puede reflejarse y otra refractarse (ver figuras 4.4 y 4.5).

¿Cómo se relaciona la dirección del haz refractado con la del incidente?

Los experimentos conducen a un primer resultado, *denominado primera ley de la refracción*, similar al que encontramos en el caso de la reflexión en un espejo:

El rayo refractado está en el plano determinado por el rayo incidente y la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.

A 4.54 ¿Cuál es el ángulo de incidencia y cuál el de refracción, en el esquema de la figura 4.18?

A 4.55 Coloca un cuerpo de vidrio plano, de forma semicircular o rectangular, sobre una hoja de papel blanco en la que se ha trazado una línea recta, que hará las veces de perpendicular a la superficie del cuerpo en el punto de incidencia. Haz incidir sobre el cuerpo un haz de luz estrecho en diversas direcciones y busca posibles regularidades en la refracción de la luz.

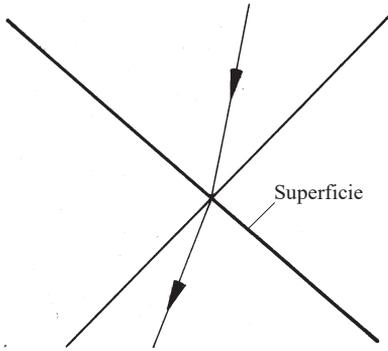


Fig. 4.18 Actividad A 4.54.

Los experimentos permiten establecer, además, una *ecuación* que sintetiza la relación que hay entre los ángulos de incidencia y de refracción (medidos respecto a la perpendicular al plano en el punto de incidencia), denominada *segunda ley de la refracción*. Sin embargo, aquí nos limitaremos a describir cualitativamente algunos aspectos de dicha ley:

1. Si el ángulo de incidencia es de 0° , el ángulo de refracción también es de 0° (fig. 4.19a). Por otra parte, a medida que aumenta el ángulo de incidencia, también aumenta el ángulo de refracción (fig. 4.19b).
2. Cuando el haz de luz pasa de un medio a otro en que su velocidad es menor (por ejemplo, del aire al agua o al vidrio), el rayo refractado se acerca a la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia (fig. 4.19c). Y a la inversa, si pasa de un medio a otro en que su velocidad es mayor (por ejemplo, del agua o vidrio al aire), el rayo refractado se aleja de dicha perpendicular (fig. 4.19d).

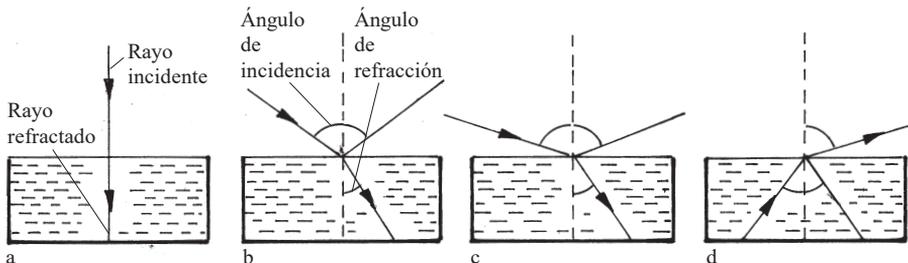


Fig. 4.19 Situaciones que ilustran algunos aspectos de la segunda ley de la refracción.

A 4.56 Indaga acerca de la época en que se estableció la segunda ley de la refracción.

A 4.57 En la figura 4.20 se muestran varios rayos luminosos que inciden sobre las superficies planas de algunos pedazos de vidrio. a) Representa los rayos reflejados. b) Representa, aproximadamente, los rayos refractados.

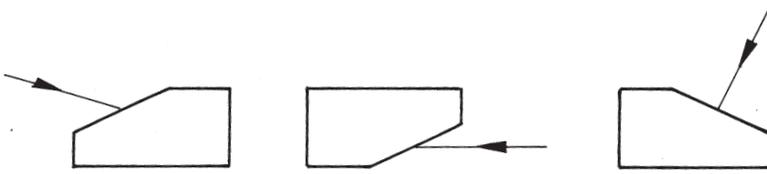


Fig. 4.20 Actividad A 4.57.

Si en la situación representada en la figura 4.19d continuamos aumentando el ángulo de incidencia, llegará un momento en que el ángulo de refracción será de 90° . ¿Qué sucederá con el rayo refractado si aumentamos todavía más el ángulo de incidencia? ¿Simplemente desaparecerá? ¿Aparecerá otro rayo en el interior del cuerpo?

La experimentación conduce a las respuestas. Como muestra la figura 4.21, el haz refractado desaparece. Por otra parte, la intensidad luminosa del haz reflejado se incrementa.

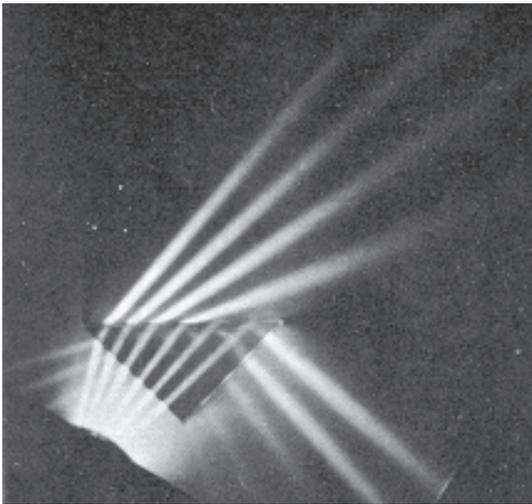


Fig. 4.21 Haces luminosas procedentes de la izquierda que inciden en un prisma. Los dos que entran cerca de la parte inferior del prisma, no dan lugar a haces refractados, sino solo reflejados.

El fenómeno descrito se denomina *reflexión total interna* y el ángulo de incidencia a partir del cual tiene lugar, *ángulo límite*, o *crítico*.

A 4.58 Da alguna razón para que el fenómeno descrito en los párrafos anteriores del texto se haya denominado reflexión total interna.

A 4.59 Argumenta desde el punto de vista de la energía por qué era de esperar que al ocurrir la reflexión total interna aumentase la intensidad luminosa del haz reflejado.

La reflexión total interna de la luz es utilizada en la construcción de las denominadas *fibras ópticas* (conductores de luz), las cuales han encon-

trado gran aplicación en algunas técnicas médicas y en las comunicaciones. El esquema de la figura 4.22 ilustra su principio de funcionamiento. Por uno de los extremos de una varilla de vidrio que tiene forma curva entra un haz de luz y luego de múltiples reflexiones internas sale por el otro extremo. En el dibujo se ha exagerado el diámetro de la varilla, el grueso de una fibra óptica habitual es similar al de un cabello (fig. 4.23).

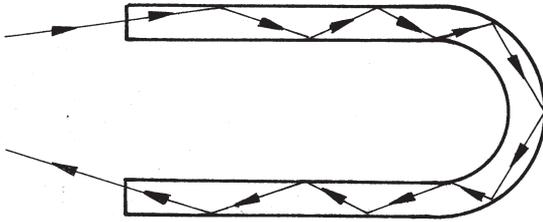


Fig. 4.22 Esquema de la reflexión total interna en una varilla de vidrio curva.

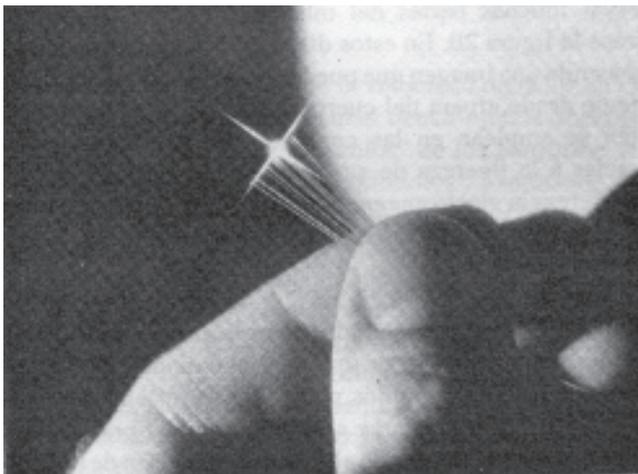


Fig. 4.23 El diámetro de una fibra óptica habitual es similar al de un cabello.

A 4.60 Indaga acerca de las aplicaciones de las fibras ópticas en medicina y en las comunicaciones.

A continuación emplearemos las regularidades de la refracción para explicar la formación de ciertas imágenes.

Colócate frente a un platillo en el cual se ha situado una moneda (fig. 4.24a). Baja la cabeza poco a poco hasta que la moneda deje de verse (fig. 4.24b). Si ahora viertes agua en el platillo, la moneda se hará visible nuevamente. ¿Cómo se explica esto?

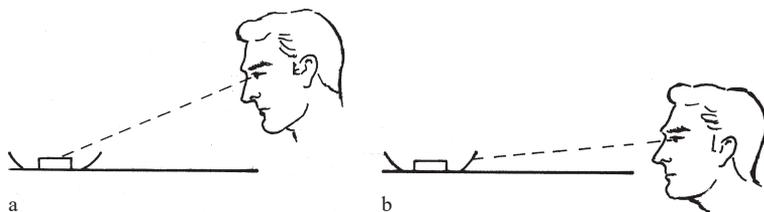


Fig. 4.24 Formación de la imagen de una moneda mediante la refracción de la luz.

Procederemos de modo similar que al interpretar la formación de imágenes mediante espejos: trazando la trayectoria de un haz de luz que diverge de algún punto del objeto.

En la figura 4.25a se ha representado un haz que diverge del punto O de la moneda. Tracemos las líneas perpendiculares a la superficie del agua en los puntos de incidencia de los rayos 1 y 2 (fig. 4.25b). Como la luz pasa del agua al aire, dichos rayos deben alejarse de las líneas perpendiculares que hemos trazado. Al colocar el ojo como se muestra en la figura 4.25c, sobre él incide un haz de luz divergente. El ojo percibe este haz como procedente del punto I , produciéndose así la sensación de que la moneda se encuentra en ese lugar. Esta es una imagen *virtual*, similar a las formadas mediante espejos planos.

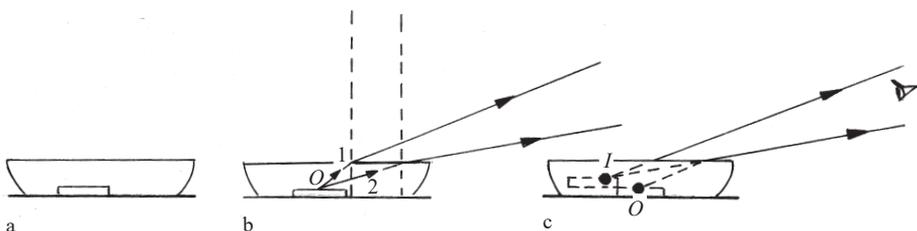


Fig. 4.25 Esquema que ayuda a comprender el aparente cambio de posición de una moneda al verter agua en el platillo en que se encuentra.

A 4.61 Llena bien de agua una taza e introduce en ella un lápiz. Mira el lápiz lateralmente y casi rasante a la superficie del agua. Explica lo observado.

4.4.3 Lentes y espejos esféricos

En la mayoría de los dispositivos ópticos (lupas, microscopios, proyectores, cámaras fotográficas, telescopios y otros muchos) se utilizan *lentes* y ciertos *espejos curvos*. Aunque es posible emplear las leyes de la reflexión y la refracción para construir la trayectoria de los haces luminosos que inciden sobre ellos, esto resulta engorroso. Por suerte, en muchos de estos espejos y lentes, ciertos rayos, denominados *característicos*, o

notables, siguen trayectorias peculiares, las que han sido resumidas en unas pocas reglas, fáciles de recordar y utilizar. Se trata de lentes y espejos cuyas superficies tienen una forma *esférica* o próxima a ella.

A 4.62 Representa un espejo curvo e intenta trazar la trayectoria que sigue un rayo luminoso al incidir sobre él. Repite la operación para el caso de una lente.

En la figura 4.26 se han representado las esferas a las cuales pertenecen las superficies de una lente y de un espejo esféricos. En las lentes, a la línea imaginaria que pasa por los centros de las esferas se le llama *eje óptico principal*. En los espejos, se denomina así a la línea que pasa por su vértice y el centro de la esfera.

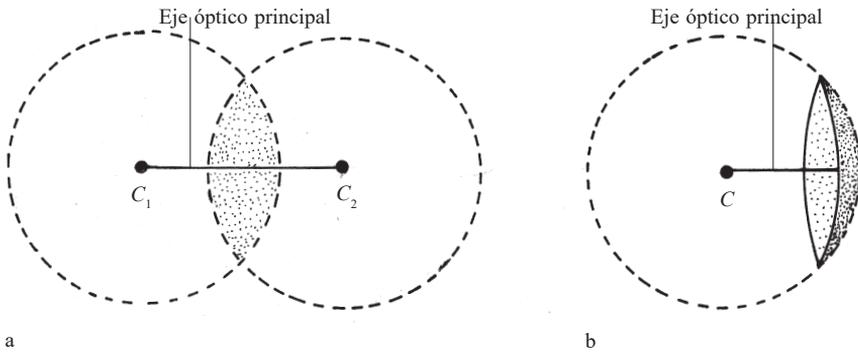


Fig. 4.26 Esferas a las que pertenecen las superficies de: a) una lente, b) un espejo.

Las primeras lentes fueron esferas de vidrio llenas de agua. Eran empleadas en la antigüedad para encender fuego. Actualmente se construye una gran variedad de lentes esféricas, principalmente de vidrio. En la figura 4.27 se han representado algunos de sus tipos más comunes. Las de la parte izquierda son *convergentes* y las de la derecha, *divergentes*. Estos nombres se deben a que los rayos paralelos, por ejemplo los solares, cuando atraviesan las primeras convergen, mientras que cuando atraviesan las segundas divergen. En las lentes de vidrio, si la zona central es más gruesa que el borde, la lente es convergente y, por el contrario, si es más estrecha, divergente. Las lentes pueden ser simétricas o no, como muestra la figura 4.27.

Por su parte, los espejos esféricos son *cóncavos* o *convexos*. Se denomina cóncavo si la parte reflectora de la superficie esférica es la interna (fig. 4.28a) y convexo, si es la externa (fig. 4.28b). Los espejos cóncavos también pudieran denominarse *convergentes* y los convexos, *divergentes*.

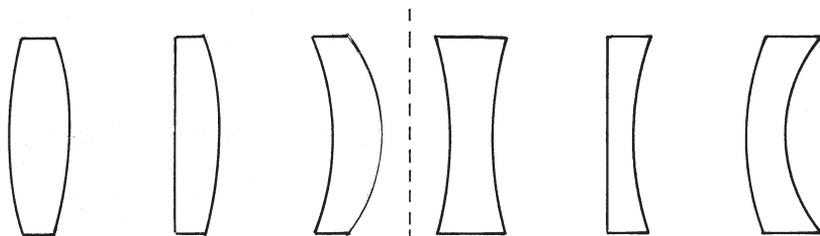


Fig. 4.27 Esquemas de lentes. A la izquierda lentes convergentes y a la derecha, divergentes.

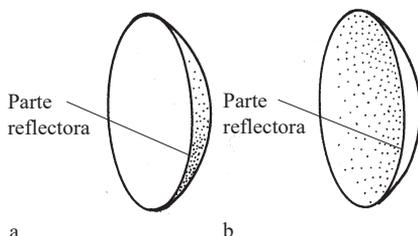


Fig. 4.28 Esquemas de un espejo cóncavo y otro convexo.

A 4.63 Comprueba qué tipo de lente, convergente o divergente, es el utilizado en: a) una lupa, b) los espejuelos de algunas de las personas con las que te relacionas.

A 4.64 ¿Cuáles de las lentes representadas en la figura 4.27 son simétricas y cuáles no?

A 4.65 Una cuchara pulida funciona como un espejo. ¿Cuál de sus caras lo hace como un espejo cóncavo y cuál como convexo?

A 4.66 ¿Por qué crees tú que los espejos cóncavos también pudieran denominarse convergentes y los convexos, divergentes? Apoya tu explicación mediante la realización de alguna actividad práctica, por ejemplo, utilizando una cuchara y la luz solar.

En lo adelante, centraremos la atención en las lentes convergentes simétricas y en los espejos cóncavos. Veamos cuáles son los rayos *característicos* y las trayectorias que ellos siguen al incidir sobre tales lentes y espejos:

1. Los rayos que inciden paralelamente al eje óptico de la lente o espejo, convergen en un punto situado sobre dicho eje (fig. 4.29a y b). Esta propiedad se tiene en cuenta, al emplear lentes y espejos aproximadamente esféricos para concentrar la luz procedente de ciertas fuentes, por ejemplo, del Sol, las estrellas, etcétera.

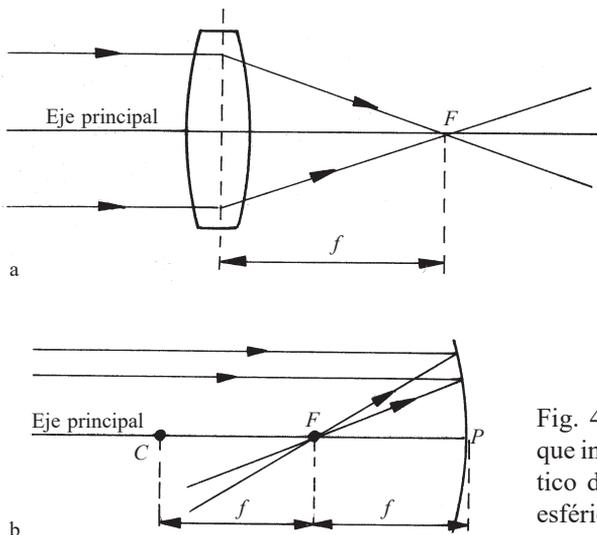


Fig. 4.29 Trayectoria de los rayos que inciden paralelamente al eje óptico de: a) una lente, b) un espejo esférico.

El punto en el cual convergen los rayos paralelos al eje óptico se denomina *foco principal* (F), y la distancia que hay entre él y la lente o el espejo, *distancia focal* (f).

La experiencia muestra que, en los espejos esféricos, el foco principal se encuentra en el punto medio entre el centro de la superficie esférica y el vértice del espejo (fig. 4.29b). Ello posibilita ubicar fácilmente el foco en el esquema de un espejo esférico.

A 4.67 Coge una lente convergente (sirven una lupa, las lentes de algunos espejuelos, etc.) y ensaya la concentración de luz solar mediante ella. Determina, aproximadamente, la distancia focal de la lente y evalúa las principales fuentes de incertidumbre en el resultado. Si la lente es relativamente grande y su distancia focal pequeña, tal vez puedas encender un pedazo de papel con ella.

A 4.68 Entre la capacidad de una lente para hacer converger la luz y su distancia focal, existe una relación inversa. Por eso, se llama *poder convergente* de una lente al inverso de su distancia focal. Cuando esta se expresa en metros, el poder convergente se obtiene directamente en *dioptrías*. Determina las dioptrías de las lentes de algún espejuelo y compara el valor obtenido con el previsto.

2. Los rayos que pasan por el foco, o que parten de él, después de incidir sobre la lente o espejo se propagan paralelamente al eje óptico (fig. 4.30 a y b). Esta propiedad se utiliza en la construcción de muchos proyectores de luz (lámparas de experimentación, faros de navegación, faros de automóviles, proyectores de diapositivas). Por ejemplo, las lámparas que

utilizamos en los experimentos poseen una lente convergente; para obtener un haz de rayos paralelos, manipulamos el cursor hasta colocar el filamento del bombillo en su foco. En las linternas y faros de automóvil, detrás del bombillo, puede observarse una especie de espejo esférico.

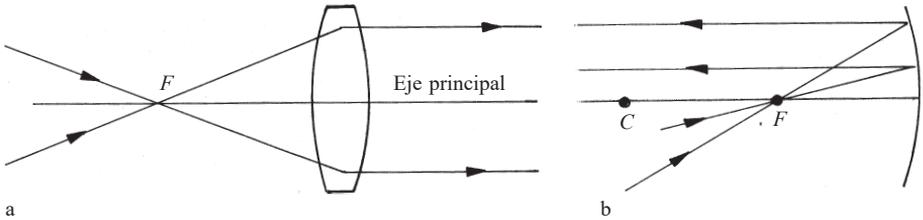


Fig. 4.30 Trayectoria de los rayos que pasan por el foco de: a) una lente, b) un espejo esférico.

- Los rayos que inciden en el centro de la lente (fig. 4.31a), y en el caso del espejo los que inciden sobre él después de pasar por el centro de su superficie esférica (fig. 4.33b), no cambian de dirección.

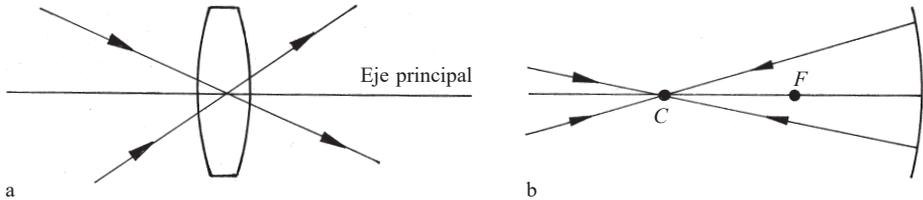


Fig. 4.31 Trayectoria de los rayos que: a) inciden en el centro de la lente, b) pasan por el centro de la superficie esférica a que pertenece el espejo.

A 4.69 De acuerdo con la segunda ley de la refracción, los rayos que inciden sobre la superficie de la lente representada en la figura 4.31a deben desviarse al pasar del aire al vidrio. ¿Por qué entonces en el texto se afirma que dichos rayos no cambian de dirección al atravesar la lente?

A 4.70 Justifica a partir de la segunda ley de la reflexión, la trayectoria que siguen los rayos en la figura 4.31b, luego de reflejarse en el espejo.

4.4.4 Formación de imágenes por medio de dispositivos ópticos

Hemos visto que el conocimiento de la trayectoria de los rayos característicos al incidir sobre lentes y espejos esféricos, posibilita diseñar dispositivos con el propósito de dirigir los haces luminosos en determinadas

direcciones. Pero ello también permite, como veremos en este subepígrafe, explicar el funcionamiento óptico del ojo y construir múltiples instrumentos para producir imágenes de objetos, que de otro modo sería imposible apreciar.

La cámara fotográfica

Nos limitaremos a examinar su principio de funcionamiento óptico básico. Su antecesora es la *cámara oscura*. Esta consiste, como viste en la actividad 4.18, en una caja con un pequeño orificio en una de sus caras, a través del cual penetra la luz procedente del exterior, proyectando la imagen de los objetos sobre la cara opuesta. Cuando el orificio se hace más grande, aumenta la cantidad de luz que penetra en la cámara, pero la imagen se torna borrosa. Sin embargo, si en el lugar del orificio se coloca una lente convergente, entonces la imagen es mucho más nítida. *¿Cómo ocurre la formación de la imagen por medio de la lente?*

A 4.71 Intenta explicar por qué al aumentar el tamaño del orificio de una cámara oscura, la imagen que se forma se torna borrosa.

Para facilitar el análisis, consideremos un objeto muy simple, por ejemplo, uno que tiene forma de flecha. En la figura 4.32 se ha representado la flecha (OO') y, a su derecha y alejada de ella, una lente convergente. Examinemos, como en ocasiones anteriores, la trayectoria de un haz de luz que diverge de algún punto del objeto, digamos, de la punta de la flecha (O), e incide sobre la lente. El haz puede ser cualquiera que parta de O y llegue a la lente, sin embargo, ya que conocemos la trayectoria que siguen los *rayos característicos*, consideremos un haz cuyos bordes sean dos de estos rayos, por ejemplo, el 1, que incide paralelamente al eje óptico de la lente y el 2, que pasa por su centro. Estos rayos se cortan en el punto I . Insistimos, hemos seleccionado dos *rayos característicos* porque conocemos de antemano la trayectoria que seguirán, pero cualquier otro haz divergente que parta de O y atraviese la lente; también convergerá en el punto I . De este modo, en el punto I se forma una imagen de la punta de la flecha. Puedes comprobar por ti mismo que dos rayos característicos que partan del punto O' convergen en el punto I' . Ello significa que la imagen del extremo de la flecha se forma en I' .

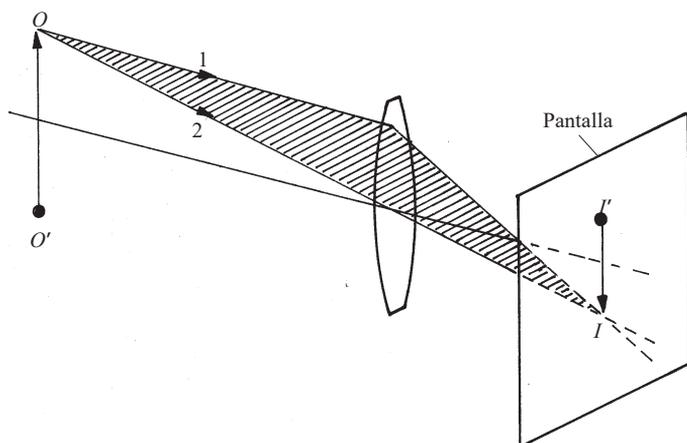


Fig. 4.32 Esquema para explicar la formación de imágenes por medio de lentes convergentes.

Si en II' se coloca una pantalla, la imagen podrá verse con nitidez. Ella tiene las características que muestra el esquema de la figura 4.32: invertida y de menor tamaño que el objeto. Al variar la distancia entre el objeto y la lente, también varían el tamaño y el lugar donde se forma la imagen. Para verla nítidamente, se hace necesario situar la pantalla a la distancia adecuada de la lente.

A 4.72 Coge una lente convergente (puede servir una lupa, algunas lentes de espejuelos, etc.) y ensaya la formación de imágenes de diversos objetos: una lámpara, una ventana, algún objeto bien iluminado, etc. Como pantalla puedes utilizar algún material traslúcido o, simplemente, una hoja de papel blanco. Estudia lo que sucede con la imagen al variar las distancias entre el objeto, la lente y la pantalla.

A 4.73 En el esquema de la figura 4.32 se trazaron las trayectorias de dos de los haces “característicos”. Comprueba que el tercer rayo “característico” (el que parte de O y pasa por el foco de la lente) también converge en el punto I .

Las cámaras fotográficas actuales no utilizan una sola lente para formar las imágenes en la película fotográfica, sino un sistema de ellas, denominado *objetivo*. Sin embargo, este actúa como una lente convergente. El objetivo tiene la posibilidad de desplazarse hacia delante o hacia atrás y, de ese modo, variar su distancia a la película fotográfica, a fin de producir una imagen nítida en ella.

El funcionamiento de la cámara fotográfica, como el de otros muchos sistemas, puede ser descrito utilizando los términos de entrada, salida y control. La “entrada” es la luz que llega a la cámara procedente de algún

objeto. Con esta luz, el objetivo forma una imagen en la película fotográfica, la cual representa la “salida”. El “control” se realiza, desplazando el objetivo para lograr un enfoque adecuado, y mediante un obturador, que permite abrir un diafragma durante determinado tiempo, regulando así la cantidad de luz que penetra en la cámara.

A 4.74 Utilizando los conceptos de entrada, salida y control, describe mediante un esquema el proceso de formación de imágenes en una cámara fotográfica.

El ojo humano

Tiene la forma de un globo aproximadamente esférico, de diámetro 2,3-2,5 cm (fig. 4.33). Los medios transparentes que lo constituyen (córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo) actúan, en conjunto, como una lente convergente de 1,7 cm de distancia focal, aproximadamente. La luz penetra en el ojo por la pupila, la cual es una abertura que hay en el iris. Mientras menor sea la iluminación de los objetos que observamos, mayor será la abertura de la pupila. Este mecanismo de regulación se realiza automáticamente, sin que seamos conscientes de ello. En la retina, la cual constituye una especie de pantalla, se forma una imagen invertida del objeto que miramos. La sensación visual se produce cuando la luz incide en las terminaciones nerviosas de la retina.

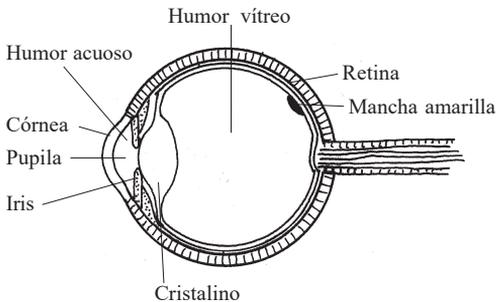


Fig. 4.33 Representación esquemática del ojo humano.

Desde el punto de vista óptico, el ojo humano puede representarse como en el esquema de la figura 4.34. La distancia entre la “lente” y la “pantalla” es fija y no varía al mirar objetos lejanos o cercanos. *¿Cómo es posible, entonces, que se logre formar una imagen nítida del objeto que miramos, para distancias muy diferentes entre él y el ojo?*

A 4.75 Indaga acerca del procedimiento utilizado por los peces para enfocar imágenes de objetos que se encuentran a diferentes distancias del ojo.

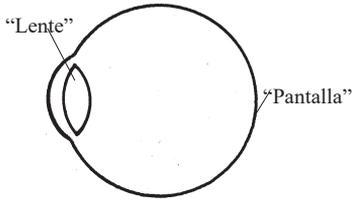


Fig. 4.34 Representación del ojo humano desde el punto de vista óptico.

A medida que acercamos al ojo, el objeto que miramos, mediante un acto reflejo (involuntario), aumenta la curvatura del cristalino, haciendo que la “lente” sea más convergente. De otro modo veríamos al objeto “desenfocado”, pues su imagen nítida se formaría en un lugar más allá de la retina. Este proceso se denomina *acomodamiento del ojo*, y explica por qué no podemos ver con nitidez objetos cercanos y lejanos simultáneamente.

A 4.76 Compara entre sí la formación de imágenes en una cámara fotográfica y en la retina del ojo humano.

A 4.77 Describe el proceso de visión de los objetos utilizando los términos de entrada, salida y control.

A 4.78 Cuando una persona con visión normal acerca mucho un objeto a sus ojos, lo ve “desenfocado”. ¿Cómo se explica esto? ¿Por qué, a diferencia de los niños, las personas mayores tienden a alejar los objetos para poder verlos bien, o de lo contrario utilizan espejuelos?

A 4.79 En los miopes, la imagen nítida de los objetos alejados se forma delante de la retina del ojo; en los hipermétropes se formaría fuera del globo del ojo, detrás de la retina. Para corregir estos defectos se utilizan, respectivamente, lentes divergentes y convergentes. Explica el papel de dichas lentes.

La experiencia muestra que mientras mayor sea la distancia desde la cual observamos un objeto, menores *parecerán* sus dimensiones y peor veremos sus detalles. ¿Cómo se explica esto?

El *tamaño aparente* de un objeto y la *visibilidad de sus detalles*, están determinados por el tamaño de su imagen en la retina del ojo. En la figura 4.35 se representa un mismo objeto, pero situado a diferentes distancias del ojo. En el caso *b* el objeto parece mayor, porque la imagen que se forma en la retina también es mayor. Por otra parte, mientras más amplia sea esta imagen, mayor será el número de terminaciones nerviosas de la retina que participa en la sensación visual y, por eso, mejor se verán los detalles. A medida que disminuye el tamaño

de la imagen en la retina, van desapareciendo los detalles que distinguimos.

En realidad, el tamaño de la imagen en la retina está determinado por el ángulo bajo el cual se observa el objeto (φ) (fig. 4.35).

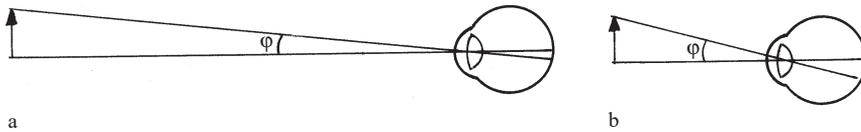


Fig. 4.35 El tamaño aparente de un objeto está determinado por el tamaño de su imagen en la retina del ojo, y este, a su vez, por el ángulo bajo el cual se observa el objeto.

A 4.80 Determina, aproximadamente, el tamaño que tendrá la imagen que se forma en la retina cuando miramos un objeto que tiene 1 m de alto y está situado de nosotros a: a) 5 m, b) 20 m. Considera que la distancia entre la “lente” del ojo y la retina es de unos 2 cm.

De acuerdo con lo anterior, para ver mejor los detalles de un objeto podemos acercarlo al ojo, a fin de que aumente el ángulo bajo el cual lo vemos. Sin embargo, no siempre es posible hacer esto, como por ejemplo, en el caso de los astros o de la cima de una montaña. Por otra parte, aún en aquellos casos en que sea posible, el acercamiento está limitado por la capacidad de acomodamiento del ojo. Para una persona adulta con visión normal, la distancia mínima a que el ojo puede realizar el acomodamiento de modo natural es de unos 25 cm.

Con el propósito de resolver las dificultades anteriores, se emplean ciertos instrumentos ópticos: la lupa, el microscopio, el telescopio, etcétera.

La lupa

Denominada también *microscopio simple*, en su variante más elemental consiste en una sola lente convergente, a veces llamada *lente de aumento*.

En la figura 4.36 se ha representado un objeto -una flecha- a una distancia del ojo mucho menor de 25 cm. A esa distancia el ojo normal tiene dificultad para acomodar, por lo que el objeto se verá “desenfocado”.

A 4.81 ¿Dónde se formaría la imagen nítida, “enfocada”, de un objeto que acercamos mucho al ojo?

En esas condiciones, intercalemos una lupa entre el objeto y el ojo (fig. 4.37). La figura muestra la trayectoria de un haz de luz que diverge

de la punta de la flecha. A fin de trazar con facilidad la trayectoria del haz, lo hemos escogido de tal modo que sus bordes sean dos rayos característicos: el que incide paralelo al eje óptico de la lente y el que pasa por su centro. Los haces que llegan al ojo parecen provenir de un objeto como el I , produciéndose por eso la imagen de que la flecha se encuentra en ese lugar.

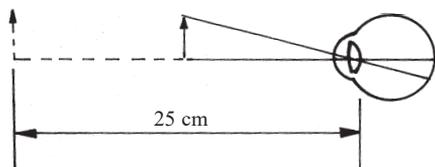


Fig. 4.36 El ojo normal tiene dificultad para realizar la “acomodación” cuando el objeto que mira se encuentra a una distancia menor de 25 cm .

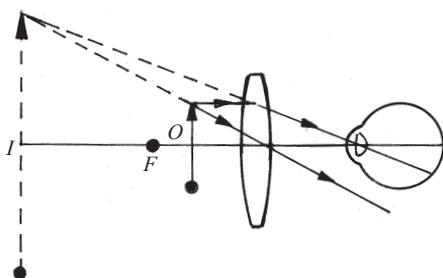


Fig. 4.37 Esquema para explicar la función que realiza una lupa.

De este modo, la lupa provoca dos efectos básicos: 1) aumenta el ángulo de observación y, con ello, el tamaño de la imagen en la retina y 2) los haces inciden en el ojo como si proviniesen de un objeto situado a una distancia mayor de 25 cm, a la cual el ojo puede acomodar sin dificultad. En consecuencia, en la retina se forma una imagen aumentada y enfocada del objeto, con lo cual sus detalles se ven mejor. La lente convergente funciona en calidad de lupa cuando el objeto se encuentra entre ella y su foco, como se representó en la figura 4.37.

A 4.82 ¿Cómo se relaciona el aumento de una lupa con su distancia focal?

A 4.83 Intenta medir en la práctica el aumento producido mediante una lupa

Mediante lupas se consigue aumentar el tamaño aparente de objetos pequeños hasta 25 veces. Pero ya para aumentos mayores de 5-10 veces, las imágenes se deforman.

El microscopio óptico

Se emplea para obtener grandes aumentos (de varios cientos de veces). Está compuesto, básicamente, por dos sistemas ópticos convergentes. Uno de ellos, denominado *objetivo*, forma una imagen aumentada del objeto; el otro sistema, llamado *ocular*, debido a que el ojo se aplica en él, se utiliza en calidad de lupa para observar la imagen formada por el primero. Se realizan así dos ampliaciones sucesivas. En la figura 4.38 se ha representado la formación de imágenes en un modelo de microscopio en el que el objetivo y el ocular son simples lentes convergentes.

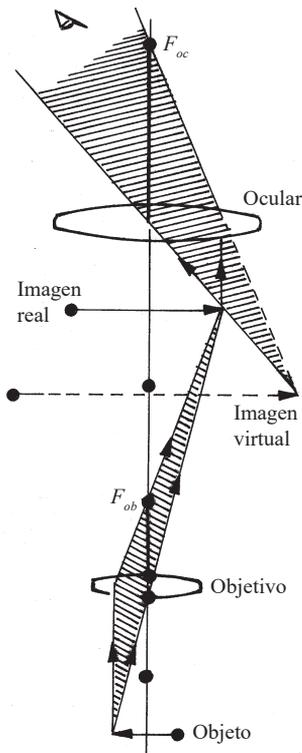


Fig. 4.38 Modelo simple de microscopio óptico.

A 4.84 Indaga acerca de la época en que se inventó el microscopio óptico y de importantes descubrimientos realizados con su ayuda.

A 4.85 Describe el funcionamiento del microscopio óptico, utilizando los términos de entrada y salida.

El telescopio

Su variante más simple consiste en una sola lente convergente. Si el objeto está muy alejado, entonces se formará una pequeña imagen de él cerca del foco de la lente. Pese a la pequeñez de esta imagen, el ángulo bajo el cual se observa es mayor que al mirar el objeto directamente ($\beta > \alpha$), de ahí que la imagen formada en la retina también sea más grande, dando lugar al aumento (fig. 4.39).

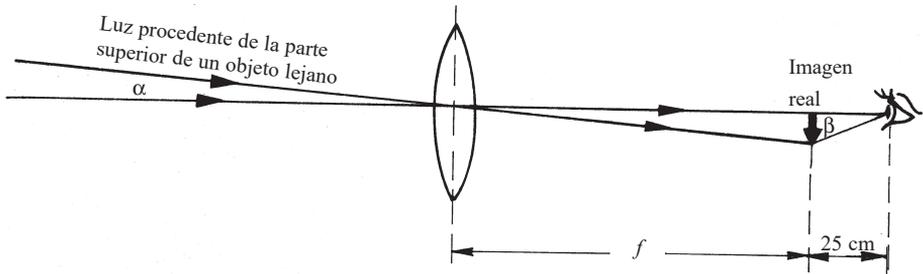


Fig. 4.39 Esquema de la formación de la imagen mediante un telescopio de una sola lente.

Mientras mayor sea la distancia focal de la lente, más lejos de ella se formará la imagen y mayor será su tamaño. Por tanto, el ángulo bajo el cual se observa y el tamaño de la imagen en la retina también serán mayores. Los cálculos muestran que para obtener un aumento de 100, la lente debe tener una distancia focal de 25 m, lo que ya sería un telescopio muy largo. Sin embargo, el problema puede resolverse de modo similar que en el microscopio, realizando una segunda amplificación mediante otra lente. En la figura 4.40 se ha representado el esquema de la formación de imágenes en un telescopio constituido por dos lentes. Al igual que en el microscopio, una se denomina *objetivo* y la otra *ocular*. El aumento de un telescopio puede calcularse mediante la ecuación $A = F/f$, donde F es la distancia focal del objetivo y f , la del ocular.

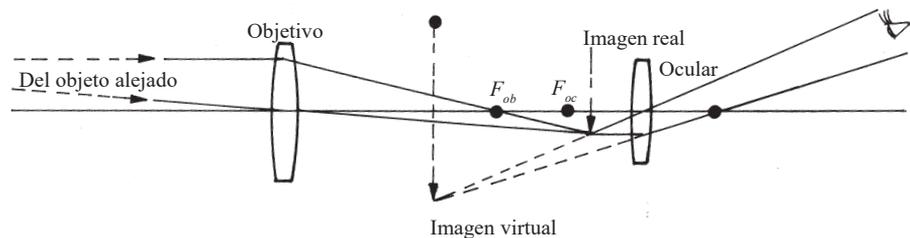


Fig. 4.40 Esquema de la formación de imágenes en un telescopio de dos lentes.

A 4.86 Consigue dos lentes convergentes cuyas distancias focales difieran notablemente entre sí. Colócalas (preferiblemente en un tubo de cartulina) a una distancia una de otra aproximadamente igual a la suma de sus distancias focales. Mira a través de ellas hacia un objeto lejano. Para lograr una imagen nítida, acerca o aleja ligeramente una lente a la otra. Calcula el aumento del “telescopio” que has construido.

Mientras más grande sea el diámetro del objetivo, mayor será la cantidad de luz procedente del objeto que es utilizada para formar la imagen y, por consiguiente, más nítida se verá. En la práctica, es difícil y costosa la fabricación de lentes de más de 1 m de diámetro. Por eso, los telescopios de los grandes observatorios astronómicos en calidad de objetivo emplean espejos cóncavos, en lugar de lentes. El telescopio se denomina *refractor* si su objetivo es una lente y *reflector* si es un espejo.

A 4.87 Argumenta con ayuda de un esquema, por qué mientras mayor sea el diámetro del objetivo de un telescopio, mayor será la cantidad de luz procedente del objeto que es utilizada para formar la imagen.

En la figura 4.41 se muestra el esquema del primer telescopio *reflector*, construido por Newton alrededor de 1668. Su aumento era de 38 veces y el diámetro de su espejo cóncavo tan solo de 2,5 cm.

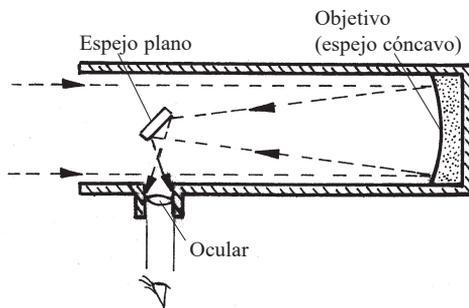


Fig. 4.41 Esquema del primer telescopio reflector, construido por Newton.

A 4.88 En el telescopio de Newton, indica el lugar donde el espejo cóncavo forma la imagen de un objeto lejano.

En la actualidad se han instalado numerosos telescopios reflectores, con espejos cóncavos de varios metros de diámetro. En 1990 se puso en órbita alrededor de la Tierra el telescopio Hubble, cuyo espejo principal tiene un diámetro de 2,4 m. Pronto fue descubierto que, debido a un error en su fabricación, el espejo no enfocaba bien, y en 1993 fue enviada una misión espacial que le instaló algunos dispositivos de corrección óptica. El espejo del telescopio Keck -el mayor del mundo hasta el año 2001- tiene un diámetro de 9,8 m.

Mediante los telescopios reflectores pueden obtenerse detalles del Sol, la Luna, los planetas y de otros cuerpos celestes relativamente cercanos. Pero las estrellas se encuentran tan lejanas, que aún con los más potentes telescopios, la imagen que se forma de ellas en la retina es extremadamente pequeña, debido a lo cual no es posible distinguir detalles. Lo que aumenta el telescopio en este caso no son, pues, los detalles, sino la cantidad de luz que llega al ojo. Su espejo concentra una cantidad de luz proveniente de las estrellas, millones de veces mayor que la pupila del ojo. Como resultado, la iluminación de la retina también es varios millones de veces mayor, lo que hace posible observar estrellas tan débiles o lejanas que no se distinguen a simple vista.

A 4.89 Indaga acerca de importantes datos obtenidos mediante el telescopio espacial Hubble.

A 4.90 Calcula cuántas veces mayor es el diámetro del espejo del telescopio Keck, comparado con el de la pupila de nuestros ojos.

4.5 Actividades de sistematización y consolidación

1. Confecciona un listado de los conceptos e ideas esenciales estudiados en este tema.
2. Elabora un esquema o cuadro sinóptico que refleje las relaciones entre los conceptos e ideas esenciales estudiados.
3. Responde, resumidamente, las preguntas planteadas en la introducción. ¿En cuáles sería de interés profundizar? Plantea nuevas cuestiones que sería interesante estudiar.
4. Explica por qué la mayoría de las sombras que observamos diariamente no tienen los bordes bien definidos.
5. Construye una cámara oscura y observa algunas imágenes formadas en ella, por ejemplo, de una ventana, de la llama de una vela, etc. Compara las características de dichas imágenes con la de los objetos reales a que corresponden. Mediante un esquema y el trazado de rayos, explica la formación de las imágenes en la cámara oscura.
6. Cuando por el día abrimos las ventanas de una habitación, vemos los objetos que se encuentran en su interior sin necesidad de encender una lámpara. ¿Cómo explicas esto?
7. Describe cómo veríamos el mundo a nuestro alrededor si los objetos que nos rodean fueran tal y como son, pero no poseyeran la propiedad de reflejar la luz.

8. ¿Qué factores influyen en la intensidad luminosa de una lámpara?
9. Indaga acerca de los factores que determinan la mayor eficiencia energética de las lámparas fluorescentes, en particular las compactas (bombillos ahorradores), en comparación con los bombillos incandescentes tradicionales.
10. Cuando nos sentamos alrededor de una fogata y observamos las caras de las personas que tenemos en frente, notamos ciertas deformaciones. ¿Cómo se explica esto?
11. La figura 4.42 representa una olla de poca profundidad llena de agua, en cuyo interior se ha colocado un espejito. Guiándote por el esquema, manipula los objetos hasta obtener el espectro de colores de la luz solar en la pantalla (como pantalla puede servir una pared o un pedazo de cartulina blanca). Explica por qué los haces de colores se separan.

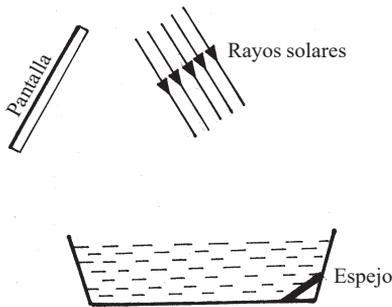


Fig. 4.42 Actividad 11.

12. ¿De qué colores son los haces luminosos que mejor reflejan: a) una hoja de papel blanco, b) la pañoleta de pionero, c) una hoja de papel negro?
13. Un haz de luz habitual, después de atravesar un vidrio de color azul, aparece también azul ¿Cómo se explica esto?
14. ¿En qué se diferencia la reflexión en espejos y superficies pulimentadas de la reflexión en los objetos comunes que nos rodean?
15. ¿Por qué un trozo de vidrio común se vuelve mate cuando se frota con esmeril?
16. Explica por qué un haz de luz que no es visible normalmente, puede ser observado cuando atraviesa una nube de humo o polvo.
17. Conociendo que las moléculas de la atmósfera absorben mejor las ondas luminosas de frecuencias altas, argumenta por qué cuando el Sol está en el horizonte, lo vemos con un tono anaranjado. Intenta explicar por qué no ocurre lo mismo cuando el Sol está en una posición alta.

18. Las moléculas de la atmósfera no solo absorben las ondas luminosas de frecuencias altas, sino que las emiten nuevamente en todas direcciones. Teniendo en cuenta esto, intenta explicar el color azul que vemos al mirar hacia arriba en la atmósfera. ¿De qué color veríamos el cielo si la Tierra no tuviera atmósfera? ¿Cómo se verá durante el día el cielo en la Luna?
19. En un día soleado, mira hacia el exterior a través de una ventana o puerta de vidrio; esta parecerá completamente transparente, casi invisible. Si la observación se repite por la noche, los objetos de la habitación se verán reflejados en el vidrio ¿Cómo se explica la diferencia entre lo que se observa de día y de noche?
20. Cuando en una habitación tratamos de escribir algo con solo la luz de una vela, es conveniente colocar detrás de esta un espejo. ¿Por qué?
21. Para la observación de la superficie del mar desde un submarino que se encuentra a poca profundidad, o para la observación de un campo de batalla desde un refugio, puede utilizarse un instrumento denominado periscopio. En la figura 4.43 se ha representado el esquema de un periscopio de espejo simple. a) Explica su funcionamiento. b) ¿En qué lugar el observador verá situado un objeto que se encuentra en O ?

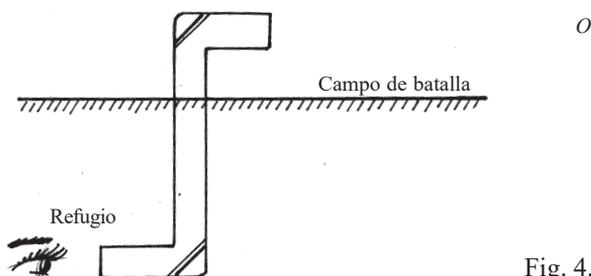


Fig. 4.43 Actividad 21.

22. Párate frente a un espejo y levanta tu mano derecha. La imagen que observas de ti parece levantar la mano izquierda. Al formarse la imagen, parecen invertirse la derecha y la izquierda; sin embargo, no ocurre lo mismo con la parte de arriba y la de abajo, con la cabeza y los pies al mirarte en un espejo. ¿Pudieras explicar esto?
23. En la figura 4.44 se muestran varios esquemas de dos porciones, una de aire y otra de agua, la superficie de separación entre ellas y las posibles trayectorias de los rayos incidentes y refractados. ¿Cuáles de los esquemas son correctas y cuáles no? Argumenta tu respuesta.

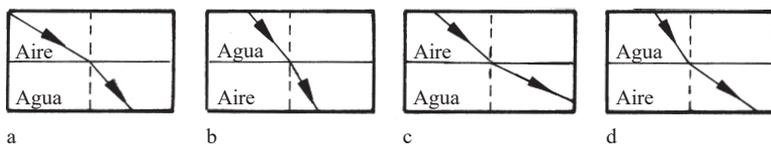


Fig. 4.44 Actividad 23.

24. En la figura 4.45 se han representado dos cuerpos de vidrio sobre los cuales inciden sendos haces luminosos. Utilizando la segunda ley de la refracción, continúa en cada caso la trayectoria aproximada del haz hasta salir del vidrio.

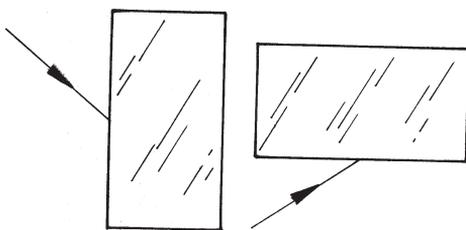


Fig. 4.45 Actividad 24.

25. Una cisterna parece tener menor profundidad llena de agua que vacía. ¿Cómo se explica esto?
26. Haz un pequeño trazo sobre una hoja de papel blanco y coloca encima el borde recto de un cuerpo de vidrio plano de forma semicircular (fig. 4.46). Observa el trazo a través del cuerpo de vidrio, desde arriba y, poco a poco, baja la posición del ojo. ¿Qué ocurre con la imagen del trazo? ¿Cómo se explica lo observado?

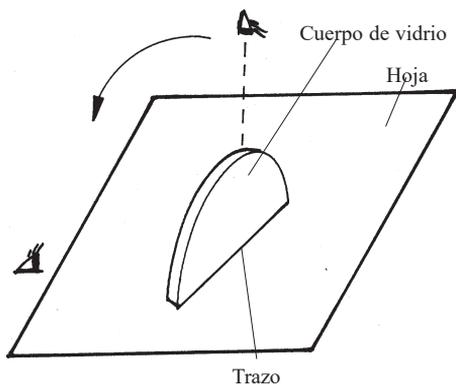


Fig. 4.46 Actividad 26.

27. Sitúa una moneda en un platillo, y encima de este coloca un vaso de pared lisa y transparente. La moneda puede verse mirando a través de la pared del vaso, pero si se vierte agua en él, deja de ser visible. ¿Cómo se explica esto?
28. Reproduce en tu libreta la figura 4.32 y traza el camino de un rayo “no característico” que parta del punto O y atraviese la lente.
29. Construye las imágenes de una flecha formada por una lente convergente cuya distancia focal es 5 cm. Considera los casos en que la flecha se sitúa a: a) 10 cm y b) 7 cm. Describe las características de la imagen en cada caso. ¿Cuántas veces mayor (o menor) será la imagen que el objeto? Comprueba tus conclusiones mediante un experimento.
30. La figura 4.47 representa un objeto y una lente convergente. Construye la imagen del objeto.

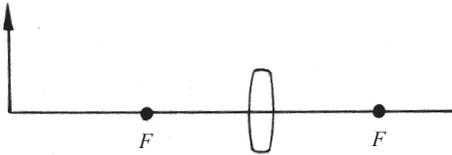


Fig. 4.47 Actividad 30.

31. En un día en que la Luna se ve prácticamente completa, temprano en la mañana, coge una regla y, con el brazo bien extendido, mide su diámetro aparente. Dibuja un esquema de la Luna, los rayos que van desde los extremos del diámetro medido hasta el ojo, y la regla. Utiliza dicho esquema para determinar el diámetro de la Luna, conociendo que está a unos 380 000 km de nosotros.



Colección Secundaria Básica

Esta obra ha sido elaborada para los alumnos de noveno grado de la Educación General Politécnica y Laboral de la República de Cuba. Con ella continúan el estudio, en forma sistemática, de cuestiones elementales de Física.

El texto comprende el estudio de los temas: Un tipo especial de cambio: las oscilaciones y las ondas, Electricidad y circuitos eléctricos, Electricidad y magnetismo, y Luz y dispositivos ópticos. Dos conceptos claves que también subyacen en el estudio de estos temas son *sistema* y *cambio*. Se han tratado de reflejar las relaciones de la física con otras ciencias y la tecnología, y su implicación en la sociedad.

El libro fue concebido para que los alumnos trabajen con él. Por eso, a través de su texto se han intercalado numerosas actividades. Ellas proponen, entre otras cuestiones, reflexionar sobre el tema estudiado, plantear asuntos de interés, realizar cálculos y experimentos, profundizar e indagar acerca de determinadas interrogantes.

