


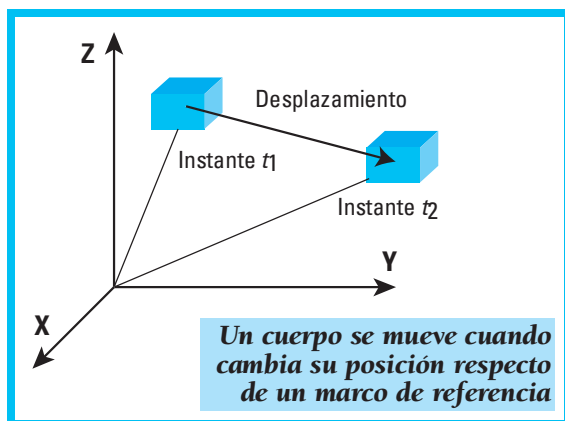
Una característica del equipo recurso didáctico que desarrollamos es la posibilidad que brinda para delimitar y analizar los distintos subsistemas que componen un producto.



## El movimiento

Uno de los fenómenos fundamentales que observamos a nuestro alrededor es el del movimiento. Se mueven las estrellas, los aviones, los ascensores, las personas. Decimos que un cuerpo (puede ser un objeto o una persona) se mueve, cuando cambia su posición respecto de un sistema de referencia dado.

Un sistema o marco de referencia es un conjunto de objetos inmóviles entre sí, que constituye el fundamento para describir la posición y el movimiento de otros objetos. Por ejemplo, dentro de una habitación las aristas que forman la intersección del piso con dos paredes contiguas y la intersección de las dos paredes forman un sistema cartesiano respecto del cual podemos ubicar otros cuerpos. Una persona se mueve si cambia su posición respecto del sistema de ejes.



El movimiento ocurre en el espacio ordinario tridimensional. Para ubicar un avión en el cielo y estudiar su vuelo, necesitamos tener en cuenta las tres dimensiones espaciales. Pero, en ocasiones, el movimiento se estudia en un marco más reducido. Por ejemplo, imaginemos a un director técnico de un equipo de fútbol pensando el movimiento de sus jugadores en el campo de juego. Necesita de una pizarra para ubicar sus posiciones y analizar las variaciones de éstas. En el mundo bidimensional de la cancha, el movimiento de cada jugador es aproximadamente bidimensional y los lados del campo definen bien el marco de referencia.

Decimos que el movimiento ocurre en una dimensión cuando sólo necesitamos una coordenada espacial para describirlo; en este caso, el sistema de referencia se simplifica. Tal es el caso de ubicar en cada instante a la cabina de un ascensor, que se desplaza a lo largo de una línea recta vertical.

La descripción del movimiento implica que haya un observador. La historia también indica que dos de los observadores del movimiento, los más importantes de sus tiempos<sup>16</sup>, Aristóteles y Galileo Galilei, separados casi por 2.000 años, confrontaron con sus ideas sobre el movimiento, como veremos a continuación.

<sup>16</sup>Le proponemos considerar, por ejemplo: Lombardi, O. (1997) "Comparación entre la física aristotélica y la mecánica clásica". *Educación en Ciencias* 1(3), 62-70. Universidad Nacional de General San Martín. San Martín.

## La naturaleza del movimiento. Un poco de historia

La naturaleza del movimiento ha sido objeto de atención desde tiempos remotos. Aristóteles (hacia 350 a. C.) describió –en una síntesis del pensamiento griego– la naturaleza de las causas del movimiento y generó una perspectiva que imperó por siglos. En esta perspectiva, los cielos debían estar formados por una sustancia ideal y por esferas en rotación uniforme. Un intrincado mecanismo de esferas arrastraba a las estrellas, al Sol, la Luna y los planetas en sus diversos movimientos. Dentro de la esfera de la Luna, cada una de las cuatro sustancias fundamentales –el fuego, el aire, el agua y la tierra–, tenían su propia esfera. Los objetos estaban constituidos por mezclas de estos elementos, agitados y mezclados por la rotación del sistema; por ejemplo, en la concepción aristotélica, la madera era una mezcla de fuego y tierra. Al arder, el fuego se libera y la tierra (las cenizas) queda como residuo. Además de sus estados reales, a los sistemas se les atribuían estados potenciales, de la misma manera que a un niño se le atribuye el potencial de llegar a ser adulto. Por ello, un cuerpo material formado, principalmente, por tierra cae a su estado potencial, que es el estado de reposo en su lugar adecuado, la esfera central del Universo. En cambio una llama, al ser fuego, se eleva para tratar de llegar a su lugar propio en una esfera que está bajo la Luna.

La teoría desarrollada también explicaba los cambios no naturales o violentos. De la misma manera que un accidente puede interrumpir el desarrollo de un niño, un impulsor (por ejemplo, un caballo) puede hacer

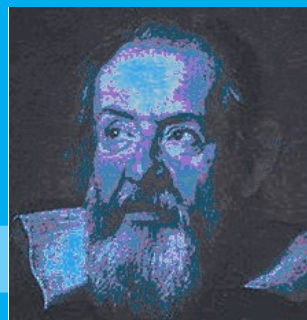
que un objeto pesado (como un carro) se mueva horizontalmente y no verticalmente. Estos movimientos *no naturales* requieren, según Aristóteles, *causas externas*.

El éxito de estas ideas por siglos se debió a que Aristóteles era persuasivo al basarse en nociones comunes e intuitivas, y porque su teoría unificó todo el conocimiento y la experiencia humanos de su época en una sólida estructura.

No obstante, el esquema aristotélico sólo podía ofrecer una explicación somera y cualitativa del movimiento. Por ejemplo, la explicación del movimiento balístico presentaba dificultades. Para Aristóteles, *el movimiento era causado por fuerzas*; es decir, *sobre un cuerpo que se mueve siempre actúan fuerzas*. Una flecha lanzada desde un arco, una vez en el aire, al no estar afectada ya por un impulsor externo (el arquero), debería adoptar su movimiento natural y caer directamente a tierra<sup>17</sup>.



**Aristóteles**



**Galileo Galilei**

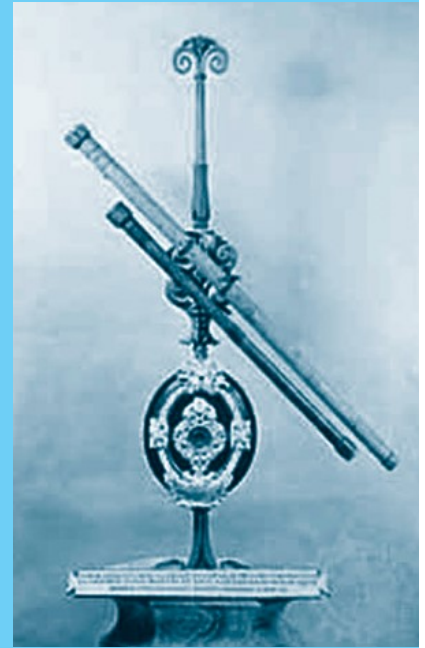
<sup>17</sup>Notamos que la experiencia indica que esto no sucede y que la trayectoria de la flecha es curva.

Tuvieron que pasar siglos de curiosidad humana y cambios de pensamiento, hasta llegar a un nuevo paradigma sobre el movimiento. En el siglo XVI, Galileo Galilei (1564-1642), físico y astrónomo, establece el principio de inercia: *El movimiento de un cuerpo no requiere causa alguna; sólo el cambio en el movimiento de un objeto requiere una explicación física*. Volviendo al caso de la flecha, según Galileo, la trayectoria es curva porque el movimiento es la combinación de un movimiento horizontal a velocidad constante con un movimiento vertical, completamente independiente.<sup>18</sup>

Es importante destacar que Galileo empleó lo mejor de la tecnología de su época para sus observaciones y experimentos. Por un lado, usó el telescopio para observar el cielo, con lo cual refutó muchas de las creencias aristotélicas de la época sobre el movimiento de los cuerpos del cielo. En sus estudios sobre el movimiento, usó ingeniosos dispositivos especialmente diseñados –planos inclinados, péndulos y medidores de tiempo, entre otros– de su propia construcción<sup>19</sup>. Podríamos decir que la nueva física que emerge con Galileo también es consecuencia del adelanto tecnológico de su tiempo, y que constituye una manifestación cabal de la interrelación entre ciencia y tecnología, interrelación que debemos comprender y valorar. Quizá no es

ya importante discutir si la ciencia se motorizó por la tecnología o si la crisis aristotélica necesitó de nueva tecnología –y el genio de Galileo– que la destronara.

**Telescopio de Galileo Galilei; Galileo innovó sus experimentos con los mejores objetos tecnológicos de su época**



## Las fuerzas

Recordemos que, antes de Galileo, se creía que todo movimiento necesitaba de un impulsor activo, como una persona, un caballo o una máquina. Galileo descubrió que el cambio de velocidad, y no la velocidad misma, requiere de una explicación física. Isaac Newton (1642-1727) dio el nombre de *fuerza* al proceso que proporciona esa explicación. Newton enunció tres leyes en torno al concepto de fuerza y su relación con el movimiento.

<sup>18</sup> En 1638 se publica *Discorsi intorno a due nuove scienze*, escrito por Galileo. En la obra intervienen tres interlocutores: Salviati, que representa a Galileo, Sagredo, espíritu culto de su época, y Simplicio, filósofo peripatético que, frecuentemente, invoca opiniones de Aristóteles. Una versión del libro en castellano es: Galileo Galilei (2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*. Losada. Buenos Aires.

<sup>19</sup> Bozzi, P. et al. (1995) *Galileo e la scienza sperimentale*. Dipartimento di Fisica "Galileo Galilei", Università di Pavoda. Pavoda.

## Leyes de Newton

- Primera ley: Un cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que una fuerza externa no equilibrada actúe sobre él.

- Segunda ley: La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta ejercida sobre él, e inversamente proporcional a su masa:

$$a = \frac{F}{m} \quad (1)$$

- Tercera ley: Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, el objeto B ejerce una fuerza igual y opuesta sobre el cuerpo A (principio de acción y reacción).

Podemos entender el concepto de fuerza como una descripción del proceso por el cual dos objetos interactúan. En sí misma, una fuerza no es un objeto ni tiene existencia alguna independiente de los objetos que interactúan. Al respecto, Hewitt<sup>20</sup> ejemplifica, con razón: “No puedes tocar sin ser tocado...”; la imagen en su libro de una madre levantando a su hijo es elocuente.

De acuerdo con la Tercera ley, las fuerzas siempre se presentan de a pares e, invariablemente, interviene un par de objetos interactuando entre sí. Una de las fuerzas (acción) actúa sobre un cuerpo y la otra (reacción), sobre el otro.

El peso de una persona es el resultado de su interacción gravitatoria con la Tierra y

se calcula como

$$P = mg$$

donde:

- $m$  es la masa de la persona.
- $g$  la aceleración debida a la gravedad,  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

### Clasificación práctica de tipos de fuerzas<sup>21</sup>

Tipo	Nombre	Caso	Dónde se presenta
	<b>Gravitatoria</b>	Peso de un cuerpo	Entre dos cuerpos cualesquiera que tienen masa. En particular, llamamos peso de un cuerpo a la fuerza gravitacional que le ejerce la Tierra.
	<b>Elástica</b>	Resortes, fuerzas normales, tensión en cuerdas, hilos y cables	Cuando se deforma un cuerpo, ejerce una fuerza elástica de dirección contraria a la deformación.
	<b>De fricción</b>	Rozamiento entre dos superficies	Se presenta en superficies en contacto; se opone al movimiento relativo de deslizamiento.
	<b>Provocada por fluidos</b>	Flotación, empuje, resistencia, sustentación, viscosidad	Se ejerce internamente entre elementos distintos de un fluido, o entre un fluido y un sólido sumergido o que se mueve dentro de él.

<sup>20</sup>Hewitt, P. G. (1999, 3ª ed.) *Física conceptual*. Addison Wesley Longman. México.

<sup>21</sup>Lea, S. M. y Burke, J. R. (1998) *Física: La naturaleza de las cosas. Vol. I*. International Thomson Editores. México.

Una persona de masa de 75 kg pesa 735 N, en un lugar donde  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Por la *Tercera ley*, esa persona también ejerce a la Tierra una fuerza del mismo valor; pero, en sentido opuesto.



Imaginemos, inicialmente, a esa persona de pie dentro de un ascensor en reposo. Si el peso fuese la única fuerza que actúa sobre ella, la persona estaría –según la *Segunda ley*–, acelerada, cayéndose, atraída por la Tierra.

Dado que la persona está en reposo, debemos concluir –por la *Primera ley*– que el piso del ascensor está aplicando a la persona una fuerza hacia arriba, que iguala en magnitud al peso, de modo que la fuerza neta sobre la persona es nula.

También notamos que –de acuerdo con la *Tercera ley*–, la persona ejerce al piso del ascensor una fuerza opuesta de igual valor. Por tanto, el piso de la cabina del ascensor debe poder soportar, sin desfondarse, al peso de los pasajeros. Si consideramos personas de peso promedio de  $P = 75 \text{ kg}$  (735 N) y 5 pasajeros permitidos, la carga sobre el piso es  $P_P = 5P = 3675 \text{ N}$ . En todo diseño estructural se requiere considerar tolerancias de seguridad, por lo que podría estimarse una carga máxima de  $1,5 P_P$  y diseñar la cabina (en reposo) para una carga de aproximadamente  $P_T = 5500 \text{ N}$ .

La situación es similar cuando la cabina está moviéndose con velocidad constante. En ambos casos –reposo o movimiento con velocidad constante–, el cable que tire de la cabi-

na tendrá que poder soportar una tensión  $T$  igual a la suma del peso de la cabina  $P_C$ , del peso de los pasajeros  $P_P$  y una parte de su propio peso,  $P_B$  (la parte del cable que cuelga, por lo que  $P_B$  es variable):

$$T = P_C + P_P + P_B \quad (2)$$

La situación cambia cuando, por ejemplo, la cabina se mueve hacia arriba con movimiento acelerado con aceleración máxima  $a_M$ . Ahora –por la *Segunda ley*–, el cable tirará de ella con la máxima fuerza y –por la *Tercera ley*–, el cable estará exigido con la máxima tensión  $T_M$ , dada por:

$$T_M = P_C + P_P + P_B + (m_C + m_P) a_M \quad (3)$$

Un cable está construido por materiales elásticos (hilos, alambres en manojo); por tanto, la tensión a la que esté sometido lo deformará. La elección del cable está sujeta a que pueda soportar una tensión  $T_M$ . Nuevamente, por cuestiones de seguridad, se supone que el cable estará aún más exigido, y se afecta a  $T_M$  por un coeficiente de seguridad  $C_S > 1$ .

Por tanto, el cable debe elegirse para que soporte la tensión de seguridad  $T_{M,S}$ :

$$T_{M,S} = C_S \cdot T_M \quad (4)$$



## La elasticidad de los materiales

Cuando presionamos un trozo de material, éste “cede”, se deforma. Si la fuerza es suficientemente pequeña (el valor depende de cada material y de la forma del cuerpo), el desplazamiento relativo de los diversos puntos

del material es proporcional a la fuerza –decimos que el comportamiento es elástico–. El campo de la elasticidad trata el comportamiento de los cuerpos que tienen la propiedad de recuperar su tamaño y forma cuando se quitan las fuerzas que les producen deformaciones. En cierta medida, la propiedad elástica está presente en todos los sólidos cuando las deformaciones son pequeñas. Los resortes, las

bandas de goma y un cable metálico compar- ten la característica de ser cuerpos elásticos.

En un sistema elástico, conviene establecer relaciones de causa y efecto entre la fuerza aplicada y la deformación que produce.


Se definen:

- **Tensión:** La aplicación de fuerzas exteriores a un cuerpo puede generar solici- taciones de tracción, compresión, flexión, etc. Internamente, el cuerpo reacciona por medio de tensiones. El módulo o intensidad de la tensión se halla dividiendo el módulo de la fuerza por la sección sobre la que actúa. Ejemplo:  $\sigma = F/A$ , la unidad de medida puede ser  $N.m^{-2}$ .
- **Deformación:** Cambio relativo en las dimensiones o en la forma de un cuerpo como resultado de la aplicación de fuerzas exteriores.

A partir del límite elástico o límite de propor- cionalidad, la deformación se hace muy gran- de con pequeños incrementos de tensión. Esto ocurre en el denominado *período de fluencia*; por ello, la tensión donde comienza este fenó- meno es la “tensión de fluencia” ( $\sigma_f$ ). Por ejemplo, un cable de acero de sección trans- versal de  $1\text{ cm}^2$  se deforma permanentemente si se le aplica una fuerza mayor de  $25.000\text{ N}$ . Esto no significa que el cable de acero se rom- perá en ese punto; sino, únicamente, que **no recuperará el tamaño ni la forma** originales luego de que se retire el esfuerzo.


La máxima tensión a la que puede someterse un alambre sin que se rompa recibe el nom- bre de *límite de rotura*. Para el acero es  $490\text{ MN.m}^{-2}$ ; es decir, el cable de  $1\text{ cm}^2$  se rom- perá si la fuerza excede  $49.000\text{ N}$ .

El *módulo de elasticidad*  $E$  de un material se define como el esfuerzo longitudinal por uni- dad de deformación relativa a su longitud inicial<sup>22</sup>. Para el acero,  $E = 207.000\text{ MN.m}^{-2}$ . Podemos estimar que una tensión de  $20.000\text{ N}$  deforma a un cable de  $1\text{ cm}^2$  mucho menos que unas décimas de milímetro.

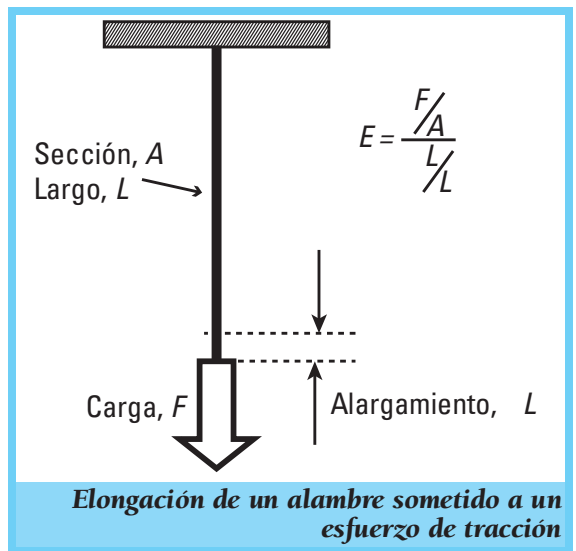


Vemos que el uso de las leyes de Newton nos permiten hacer pre- visible los valores de las fuerzas más rele- vantes presentes en el problema del movi- miento de un ascensor.

Notamos que otras fuerzas presentes en un sistema real –esencialmente, las de fricción– han sido dejadas de lado para estas estimaciones y modifican levemente los cálculos.



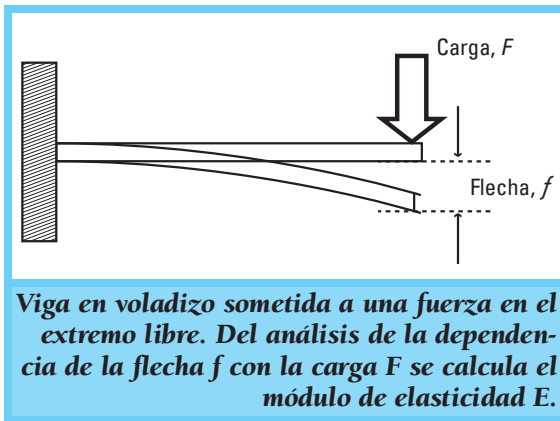
El experimento básico para estudiar las pro- piedades elásticas de un material se esque- matiza en la figura. Éste consiste en aplicar, progresivamente, pesos al extremo libre de un cable e ir midiendo la deformación.



<sup>22</sup> En el Sistema Internacional,  $E$  se mide en  $N.m^{-2}$



Cuando el material no se presenta en la forma de alambre, se recurre a otros diseños. En el caso de vigas, es común estudiar la deformación cuando éstas están sometidas a cargas de la manera que se muestra en la figura. Se trata de relacionar el módulo  $E$  con la flecha en el extremo de la viga en voladizo<sup>23</sup>. Este método produce muy buenos resultados.



**Viga en voladizo sometida a una fuerza en el extremo libre. Del análisis de la dependencia de la flecha  $f$  con la carga  $F$  se calcula el módulo de elasticidad  $E$ .**

Los materiales de construcción presentan diferentes propiedades elásticas y es menester conocerlas previamente al uso que les demos; por ejemplo, para fabricar herramientas, utensilios y máquinas. Es conveniente que una silla que va a usarse repetidamente se construya con un material elástico y, a la vez, resistente. La *durabilidad* depende del material, el diseño, y representa una característica deseable en un objeto de uso continuo.

Conviene, aquí, virar nuestra mirada a un

<sup>23</sup> La realización completa de este experimento en un contexto educativo puede verse en el sitio *web* de la *Red Creativa de Ciencias*: [www.cienciaredcreativa.org](http://www.cienciaredcreativa.org)  
Este sitio ha sido creado como parte de una colaboración entre docentes de ciencias de Argentina. El proyecto aludido puede leerse en: [www.cienciaredcreativa.org/informes/elastic\\_patera.pdf](http://www.cienciaredcreativa.org/informes/elastic_patera.pdf)

contexto tecnológico, para reafirmar la premisa de que nuestro conocimiento científico no tiene que quedar aislado. Es importante, entonces, considerar algunos aspectos de los materiales relacionados con la seguridad de los objetos que componen y con el cumplimiento de las normas (las normas son, asimismo, objetos tecnológicos).

## La calidad y la fiabilidad

Es usual que un producto o un dispositivo se defina en términos de *calidad*<sup>10</sup>. Para esto, sus atributos deben estar definidos, como también sus limitaciones; éstos se determinan en una etapa de ensayo previa al uso del elemento. Notamos que, en cualquier caso, la calidad es un atributo significativo de un producto y confiere a éste un *valor agregado*.

También tenemos que considerar la *fiabilidad* del dispositivo, en el sentido de que lo usaremos repetidamente y esperamos que no falle. Esto requiere el mantenimiento de la calidad del producto a lo largo del tiempo, lo que queda fijado por el establecimiento de una *política de calidad*, que es de competencia del fabricante. En muchos casos, esta política requiere supervisión o seguimiento externo, cuando se trata de verificar el cumplimiento de normas.

Tomemos el ejemplo de un pulsador en la cabina de un ascensor. Este pulsador se va a usar repetidamente a lo largo del día. Su calidad tiene que garantizar un funcionamiento correcto, sometido a las exigencias de los dis-

<sup>24</sup> Juran, J. M. y Gryna, F. M. (1993, 4ª ed.) *Manual de control de calidad. Vol. I*. McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid.

tintos usuarios. La fiabilidad se refiere a que esta calidad se mantenga durante su uso prolongado –digamos, 100.000 operaciones–.

El fabricante debe ensayar ciertas muestras de estos pulsadores y, mediante esos ensayos, especificar la calidad de su funcionamiento mecánico y eléctrico. Por otro lado, sometiendo a los pulsadores a condiciones severas de funcionamiento un gran número de veces (> 100.000), puede calificar la fiabilidad del dispositivo. Y suponiendo que, en uso normal del ascensor, las 100.000 operaciones se cumplan en 24 meses, este período define lo que se conoce como *vida útil* del elemento. Luego de cumplir su vida útil, el pulsador tiene que ser reemplazado por uno nuevo.

Corresponde también referirnos a las acciones de mantenimiento de las partes de un dispositivo. El mantenimiento adopta diversas formas, según se trate de mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo.

- El **mantenimiento correctivo** requiere el reemplazo de los elementos que se rompen. Es el mantenimiento que hacemos en nuestras casas cuando una válvula de agua gotea o se quema un foco, y corregimos esto cambiando la suelita de la canilla o el foco.
- En el caso del **mantenimiento preventivo**, se necesita una observación permanente del estado y funcionamiento de los dispositivos, a fin de detectar anticipadamente aquellos problemas que puedan, luego, ocasionar roturas o funcionamiento indebido. El análisis de la observación decide si el elemento se reemplaza. Practicamos este mantenimiento cuando vemos, por ejem-

plo, que la correa de un motor empieza a deshilacharse, y pensamos que en el momento menos esperado puede cortarse y darnos problemas (parar una producción, dar lugar a un accidente, etcétera).

- El **mantenimiento predictivo** se apoya en los resultados estadísticos de los ensayos de laboratorio, cuando se estima la vida útil de los dispositivos. El cambio de aceite de un automóvil, tras marchar algunos miles de kilómetros, corresponde a este tipo de mantenimiento. Notamos que no nos importa que el aceite haya perdido o no sus propiedades como refrigerante y lubricante: lo cambiamos igual.

Las normas de seguridad exigen una “cultura de calidad”; ésta debe extenderse a todos los procesos (diseño, fabricación, pruebas, instalación y mantenimiento). En conjunto, con esto se tiende a brindar una máxima garantía para la seguridad de las personas y de los bienes materiales.

## Consideraciones y estrategias para proyectar el cable de un ascensor

Supongamos que tenemos que proyectar el cable de acero del que cuelga la cabina de un ascensor. Supongamos que la cabina pesa 300 kg y sólo estará permitido que viajen 4 pasajeros. Esta última restricción se lee como advertencia en muchos ascensores; pero, una cosa es que las cuatro personas sean niños de 10 años, y otra, que suban cuatro jugadores de básquet de la NBA. Entonces, “4 personas” se refiere a 4 personas de peso prome-



dio, que se toma en 75 kg, el de cada una.

Como todo promedio, representa la posibilidad de que haya valores menores y mayores. Este valor promedio quizá no se supere con 2 adultos y 2 niños; pero, con mucha probabilidad 4 adultos alcanzarán la marca.

Lo deseable sería que un ascensor tenga un sistema de seguridad que le impida arrancar cuando la carga esté excedida. Pero, muchos tienen el cartel al que aludimos pero no el sistema. Y, si bien las normas están para ser cumplidas, en muchas ocasiones un grupo de más de cuatro personas se sube a la cabina, se amontona un poco y ve qué pasa. Si el ascensor arranca, podemos imaginar que el grupo sube o baja con algo de miedo, sabiendo que eludió acatar la norma. Si el ascensor no arranca, alguien se baja. En este caso, el sistema de seguridad es el que hace respetar la norma.

Volviendo al cálculo del cable... Éste tendrá que soportar el peso de la cabina más el de los pasajeros, es decir, unos 600 kg, cuando el ascensor esté parado. Cuando arranque, habrá una fuerza mayor (volveremos sobre esto más adelante). Supongamos que  $a = 0,1$   $g = 1$   $m.s^{-2}$ . Entonces, tenemos que proyectar el cable para una tensión máxima de unos 7.000 N.

Una estrategia para elegir el cable podría ser contar con uno de una sección transversal dada que soporte, sin romperse, el doble de esta carga máxima. Además, podríamos ser más precavidos y poner dos de estos cables, lo que tiene en cuenta la posibilidad de que uno se rompa. Una segunda estrategia consistiría en poner más cables para protegernos más frente a un posible accidente; pero, esto

encarecería el producto. Es decir, tenemos que diseñar el cable y adaptar el número de cables que usemos a las restricciones impuestas para mantener una seguridad adecuada y, al mismo tiempo, no elevar demasiado los costos. Desde luego, no es correcto sacrificar seguridad es pos de abaratamiento.

Las normas establecidas tienen en cuenta estos aspectos aludidos. Muchas de estas normas surgen de la experiencia y del estudio de antecedentes —exitosos o no—; los casos críticos, incluso, determinan el cambio de las normas.

En el caso de los ascensores, no debe esperarse que uno se desplome para analizar las consecuencias sobre las vidas humanas y, recién, establecer criterios de seguridad. Usamos lo que sabemos de física: la convertimos en una hermosa herramienta predictiva para resolver el tema de la seguridad en la elección del cable.

En diciembre de 2004, un gran incendio ocurrido en un local de baile de Buenos Aires produjo la muerte de 194 personas. Es claro que las normas de seguridad estaban, más que incumplidas, violadas. A partir de este caso, se están cambiando las normas de habilitación de los locales y repensándose las medidas de seguridad a adoptar.

## La cinemática en nuestro proyecto

La cinemática es la rama de la física que describe el movimiento de los cuerpos. El nombre se deriva de la raíz griega *kine*, movimiento.

Para describir el movimiento de un cuerpo, necesitamos conocer su posición a cada instante. Un caso especial lo constituye el movimiento rectilíneo, en el cual el cuerpo se mueve siguiendo una trayectoria recta. En este caso, se requiere una única coordenada para ubicar al cuerpo respecto de un marco de referencia. El movimiento vertical de un ascensor se encuadra en este caso. Usaremos  $z$  para definir a la coordenada vertical.

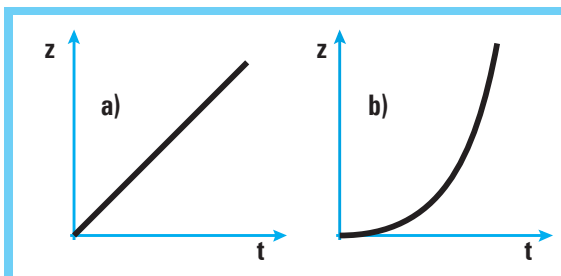
El movimiento rectilíneo puede ser a velocidad constante o acelerado.

- En el primer caso, el cuerpo se desplaza distancias  $\Delta z$  iguales en tiempos iguales  $\Delta t$  (a).
- En el segundo caso, las distancias recorridas en distintos intervalos de tiempo dependen de cómo es la aceleración. Cuando la aceleración es constante, el movimiento se denomina uniformemente acelerado y el desplazamiento  $\Delta z$  se calcula con:

$$\Delta z = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad (5)$$

donde:

- $v_0$  es la velocidad inicial del cuerpo (b).



**Comportamiento cualitativo del desplazamiento en función del tiempo:**

- a) movimiento con velocidad constante;**
- b) movimiento con aceleración constante**

En el caso del movimiento de un ascensor, el movimiento rectilíneo es, en parte, acelerado y, en parte, a velocidad constante. La aceleración ocurre en los momentos inicial de arranque y final de frenado, mientras que el tramo a velocidad constante es el intermedio.

Vale la pena considerar que un ascensor de pasajeros se proyecta de manera que, en los tramos inicial y final, la aceleración no supere valores que puedan afectar al pasajero. Esta consideración recae directamente en el concepto del ascensor como objeto tecnológico. Esto es así, dado que el sistema mecánico que mueve al ascensor aplica una fuerza para acelerarlo con aceleración  $a$ , y son las personas las que se aceleran con él.

Es el piso del ascensor el cuerpo que ejerce al pasajero la fuerza impulsora necesaria. Esta fuerza tiene distinta magnitud, según los casos:

1. Subida, arranque:  $F = P_P + m_p a$
2. Subida, frenado:  $F = P_P - m_p a$
3. Bajada, arranque:  $F = P_P - m_p a$
4. Bajada, frenado:  $F = P_P + m_p a$

Nótese que el pasajero se sentirá “más pesado” en las situaciones 1 y 4, mientras que se sentirá “más despegado” del piso en las situaciones 2 y 3. Estas sensaciones durante el movimiento ocurren en tiempos muy cortos; pero, en general, son notables.

Estas fuerzas deben calcularse tomando en cuenta el valor de la aceleración máxima a la que funciona el ascensor. Para sintetizar ideas, podemos considerar que un ascensor acelera a  $1 \text{ m/s}^2$  y mantiene ese valor duran-

te un breve lapso –digamos, un segundo–. Es conveniente, a modo de comparación, expresar esta aceleración como un múltiplo de  $g$ , la aceleración debida a la gravedad, es decir:

$$a_M \approx \frac{1}{10} g.$$

Cabe notar que este valor es mucho menor que la aceleración a la que una persona empieza a sentirse incómoda, cuyo umbral se estima en  $a_M \approx 1/3 g$ . Cabe comentar que en experimentos sobre los efectos de la aceleración sobre el cuerpo humano, se llegó a aceleraciones hasta 100 veces la aceleración de la gravedad.

Nuestra capacidad de soportar una aceleración depende tanto de su valor como del tiempo que dure. Debido a la inercia de la sangre y de los órganos dilatables, los efectos de una aceleración moderada, de unas

Si usted ha viajado en un ascensor rápido, habrá experimentado algunos efectos de la aceleración vertical, ya sea en subida o en bajada. Los efectos están relacionados con el hecho de que nuestro cuerpo no es totalmente rígido. La sangre circula por vasos dilatables; de manera que, cuando el cuerpo es acelerado hacia arriba, la sangre se acumula en la parte inferior del cuerpo. Cuando la aceleración es hacia abajo, aumenta el volumen de sangre en la parte superior del cuerpo. A su vez, los órganos internos del cuerpo no se mantienen rígidamente en su sitio; el desplazamiento de éstos durante las aceleraciones puede producir sensaciones desagradables (el típico malestar en el estómago). En cambio, el cuerpo es menos sensible a la aceleración horizontal.

pocas  $g$ , son mínimos, si la aceleración dura un tiempo corto –digamos, un segundo–.

En un ascensor podemos estimar una aceleración típica comprendida entre 0,1  $g$  y 0,2  $g$ , que dura entre 1 y 2 segundos. El límite de confort corresponde, aproximadamente, a 0,3  $g$ ; y una parada de emergencia puede provocar una aceleración de 2,5  $g$ .

Es útil comparar los valores previos con las aceleraciones de un automóvil. Una parada confortable que dure entre 5 y 8 segundos se hace a 0,25  $g$ ; una aceleración de 0,45  $g$  es desagradable si dura entre 3 y 5 s; la máxima posible es alrededor de 0,7  $g$  y puede mantenerse durante unos 3 s; y, en un choque frontal, puede llegar a estar entre 20  $g$  y 100  $g$ , durante un tiempo muy corto –del orden de 0,1 s– y sin garantía de la supervivencia del pasajero.<sup>25</sup>

En el otro extremo, los humanos también somos sensibles a aceleraciones diminutas. En nuestros oídos hay pequeñas cámaras llenas de fluidos, que contienen fibras nerviosas sensibles al movimiento del líquido<sup>26</sup>. Nuestro cerebro usa esas señales nerviosas, todo el tiempo, para mantener el equilibrio al pararnos y movernos.

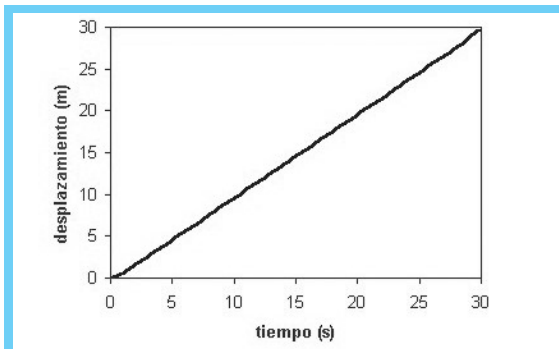
La velocidad estable del ascensor en el tramo intermedio del recorrido depende de las necesidades de transporte. En un edificio de departamentos de 5 pisos, un ascensor completa su recorrido en, aproximadamente, 20 segundos. Considerando que cada piso tiene alrededor de 4 m de altura, el trayecto es de

<sup>25</sup> Krane, J. W. y Sternheim, M. M. (1998, 2ª ed.) *Física*. Reverté. Barcelona.

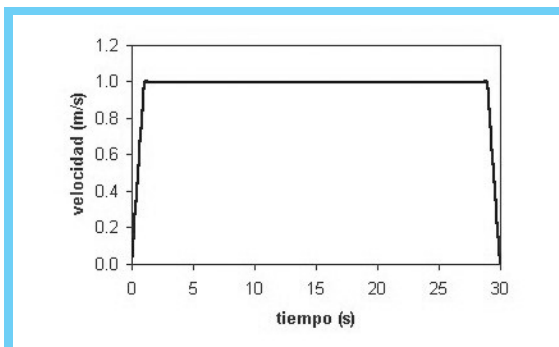
<sup>26</sup> Curtis, H. y Barnes, N. S. (1996) *Invitación a la Biología*. Médica Panamericana. Madrid.

20 m, y se deduce una velocidad media de 1 m/s (3,6 km/h). En edificios de mayor altura, y dependiendo del tránsito de personas, la velocidad media puede llegar a ser de hasta 3 m/s (10,8 km/h). A diferencia de lo que sucede en movimiento acelerado, estas velocidades constantes no producen malestar en las personas. Nótese que, cuando viajamos en automóvil, llegamos a viajar a 100 km/h, y que en un avión de pasajeros vamos a 1.000 km/h.

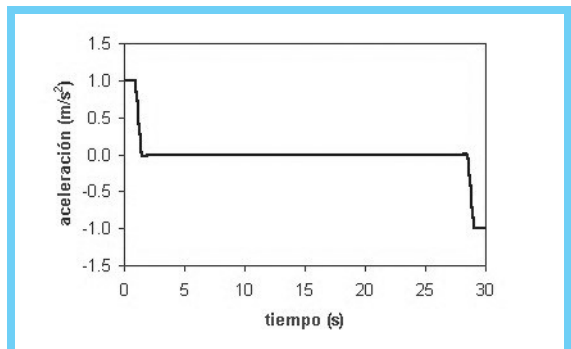
La situación corresponde al movimiento de subida desde un nivel dado hasta otro. La primera parte corresponde al arranque y el movimiento es acelerado; en la segunda parte, el ascensor adquiere una velocidad constante  $v_E$ ; la tercera parte corresponde al frenado y a la detención.



**Desplazamiento en función del tiempo**

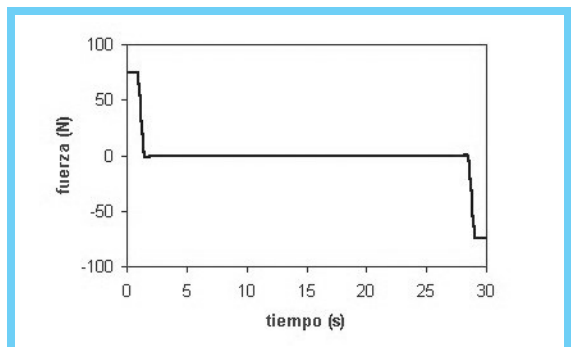


**Velocidad en función del tiempo**



**Aceleración en función del tiempo**

**Nótese el intervalo sin aceleración**



**Fuerza sobre un pasajero de una masa de 75 kg**

Estos gráficos ilustran las características del movimiento de un ascensor; su análisis ayuda a anticipar su comportamiento (al menos, en forma aproximada) en un caso real.

Al momento de proyectarse un vehículo (automóvil, satélite, ascensor), los conceptos de velocidad, aceleración y fuerza no pueden estar ausentes en la discusión previa, dado que estas magnitudes imponen condiciones al diseño y a los insumos necesarios para la

**El movimiento de un ascensor puede describirse de este modo, donde se muestran la distancia recorrida y la velocidad en función del tiempo de marcha, respectivamente. Nótese el intervalo a velocidad constante.**

construcción. En el caso de un automóvil, las piezas del motor tienen que ser suficientemente resistentes y soportar sin mayores deformaciones permanentes las temperaturas a las que estarán sometidas. Los materiales de un satélite requieren consideraciones análogas, aunque los parámetros de diseño y elección de materiales van a ser más especiales, puesto que, por un lado, el medio donde funcionará es diferente y, por otro, habrá más dificultades para hacerle mantenimiento. En todos los casos se tiene que asegurar, además del correcto funcionamiento, la seguridad de las personas o los bienes que se transporten. El impacto que el uso de estos dispositivos genera en el medio, también debe evaluarse.

## El trabajo que realizan las fuerzas

Cuando se desea provocar el desplazamiento de un cuerpo, se tiene que aplicar una fuerza neta. Por ejemplo, para levantar una viga desde la calle hasta la azotea de un edificio, para mover electrones a través de la pantalla de un televisor y para elevar un ascensor, se requiere, en cada caso, la aplicación de fuerzas.

Cuando tratamos de levantar un cuerpo (una valija, por ejemplo), al comienzo no logramos moverla. Pero, si incrementamos progresivamente la fuerza que hacemos, llega el momento en que la valija se desplaza. En física, este logro se define como *trabajo*.

El término *trabajo* tiene una definición explícita. Para que se realice trabajo:

- Debe haber una fuerza aplicada.

- La fuerza debe actuar a través de una cierta distancia, llamada desplazamiento.
- La fuerza debe tener una componente a lo largo del desplazamiento.

Suponiendo que se cumplen estas condiciones, se define:

**Trabajo:** Cantidad igual al producto de las magnitudes del desplazamiento y de la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.

$$W = F_x \Delta x \quad (7)$$

En el ejemplo de levantar una valija, supongamos que ésta tiene una masa de 10 kg y, por tanto, pesa 98 N. Si hacemos una fuerza hacia arriba, de magnitud menor que el peso de la valija, no logramos moverla. Pero, cuando la fuerza supera los 98 N, logramos desplazarla. Si la movemos aplicando, por ejemplo, 100 N, y la elevamos verticalmente 1 metro, el trabajo que hacemos es  $W = 100 \text{ N}\cdot\text{m}$ ;  $W = 100 \text{ joule}$ .

Pero, la fuerza que hacemos no es la única que actúa sobre la valija. El peso es la otra fuerza relevante y también realiza trabajo sobre la valija. Es decir, sobre la valija obra una fuerza neta o resultante, y puede definirse el trabajo neto.

Cuando consideramos el trabajo de varias fuerzas que actúan sobre un objeto, es útil distinguir entre trabajo positivo o negativo:

- El **trabajo es positivo** si la componente de la fuerza se encuentra en la misma dirección que el desplazamiento.
- El **trabajo negativo** es realizado por una componente de una fuerza opuesta al desplazamiento.

Entonces, el trabajo que hacemos nosotros al levantar una valija es positivo, mientras que el trabajo de la fuerza peso es negativo. Finalmente, si varias fuerzas actúan sobre el mismo objeto, el trabajo neto es la suma algebraica de los trabajos de las fuerzas individuales.

Vale la pena considerar, en este punto, la situación que se presenta cuando se eleva un ascensor. La fuerza ascendente  $F_m$  la realiza un motor que tira de un cable. Como en el caso de la valija, para iniciar el movimiento, esta fuerza tiene que ser mayor que el peso  $P$ . En tal caso, el ascensor se acelera por efecto de la fuerza neta  $F_m - P$ . Una vez puesto en movimiento, puede reducirse la fuerza  $F_m$  a un valor igual al peso, y el ascensor continúa moviéndose hacia arriba con velocidad constante. De esta manera, el motor –que realiza el trabajo positivo– puede esforzarse menos luego de que se inicia el movimiento. Como vimos, el valor máximo de  $F_m$  será  $P + m a$ , donde  $a$  es la aceleración del ascensor en el momento del arranque. El trabajo del motor será  $F_m \times \Delta_z$ , el del peso será  $-P \times \Delta_z$ . El trabajo neto, por tanto, es positivo e igual a  $(F_m - P) \times \Delta_z$ . Vale la pena destacar que, cuando el ascensor se mueve en el tramo intermedio de su ascenso con velocidad constante,  $F_m = P$ , la fuerza neta sobre él, es cero; y, por tanto, el trabajo neto sobre él es nulo.

Para concluir: Vemos que el análisis de un problema en términos de fuerzas y trabajo es relevante y da lugar a matices conceptuales importantes de destacar en el aula y durante el desarrollo del proyecto.

Nos interesa considerar que el conocimiento de estas variantes da libertad al tecnólogo para recurrir a distintas posibilidades, en el camino de encontrar una solución a un problema.

## La energía en nuestro proyecto

De la experiencia cotidiana surge que, en el acto de mover un objeto, debemos aplicar fuerzas. Estas fuerzas realizan trabajo y, como resultado, logramos desplazar al objeto. Decimos que tenemos energía porque fuimos capaces de realizar un trabajo sobre el objeto. Finalmente, cuando realizamos trabajo sobre el objeto, le proporcionamos una energía igual al trabajo realizado sobre él. La unidad de energía es la misma que la de trabajo, el *joule*.



Para nuestro proyecto tecnológico nos interesan dos tipos de energía:

**Energía cinética.** Es la energía que tiene un cuerpo en virtud de su movimiento. Por ejemplo, una persona que camina, una hoja de árbol que cae, un pájaro que vuela, tienen energía cinética.

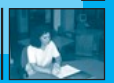
La energía cinética  $E_C$  de un cuerpo de masa  $m$  que se mueve con velocidad  $v$  respecto de un marco de referencia dado es:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 \quad (8)$$

**Energía potencial.** Es la energía que tiene un cuerpo en virtud de su posición o condición. Por ejemplo, un libro que ha sido llevado a un estante alto tiene más energía potencial gravitatoria que cuando está sobre la mesa; un resorte comprimido tiene energía potencial elástica.

Nos interesa especialmente la energía potencial gravitatoria,  $E_P$ . Para un cuerpo de masa  $m$  que se ha levantado una altura  $h$  es:

$$E_P = mgh \quad (9)$$





La energía potencial depende de la elección de un nivel de referencia (en el caso gravitatorio, desde donde se mide  $h$ ), y sólo la definición de un nivel de referencia le confiere significado físico. La elección del nivel de referencia es arbitraria; finalmente, lo que importa es el cambio de la energía potencial y, no tanto, su valor.

En el caso de un ascensor, cuando asciende tirado por el cable y se mueve con una cierta velocidad, tiene una energía cinética –dada por la ecuación 8–. Al mismo tiempo, a medida que asciende –según la ecuación 9– va ganando energía potencial.

En términos de energía, vemos que la fuerza que eleva al ascensor realiza trabajo y aumenta la energía potencial del ascensor. En este caso, en un edificio, el nivel de referencia “natural” es el nivel del piso más bajo, donde tomamos  $h = 0$ .

## La potencia

Una tarea puede durar una hora o un mes. Al finalizarla, hecha está. De la misma manera, el trabajo que realizamos para desplazar un objeto desde un lugar a otro no depende del tiempo que empleemos.

Cuando el tiempo importa, tenemos que hablar de la *potencia*. Por ejemplo, decimos que una computadora tiene más potencia de cálculo que otra cuando realiza las mismas cuentas en un menor tiempo.

En términos de potencia, no es lo mismo subir por una escalera desde un piso a otro caminando que corriendo. Al correr, demo-

stramos menos tiempo para llegar al mismo lugar que cuando caminamos y decimos que nos movimos con mayor potencia. En este caso, nuestros músculos desarrollaron esa potencia. La misma idea se aplica a cualquier máquina o dispositivo que realiza trabajo.

**Potencia.** Es la rapidez con la que se realiza el trabajo.

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (10)$$

La unidad de potencia es el J/s, que se llama watt (W).


Esta unidad es común de ver en la denominación de lámparas incandescentes. Por ejemplo, una lámpara de 75 W que compramos para iluminar una habitación consume cada segundo una energía de 75 J. Si la mantenemos encendida durante 5 horas por día, consume 375 J (y es esta energía consumida la que pagaremos a la compañía que nos provee de energía eléctrica en nuestro domicilio).

La factura de energía eléctrica que pagamos cada mes indica nuestro consumo de energía medido en kW/h.

Los artefactos eléctricos tienen una denominación de potencia que es la potencia que requieren para funcionar. Por ejemplo, una plancha de 1.000 W requiere el suministro de 1.000 joule por segundo para funcionar. Cuando la plancha alcanza su temperatura de trabajo, el calor que se produce se libera a la misma rapidez: 1.000 W.

En el caso de un motor, su denominación de potencia está relacionada a la potencia que


puede desarrollar cuando realiza trabajo. Se entiende, entonces, que un motor de 10 kW puede desarrollar un trabajo de 10 kJ por cada segundo que esté en funcionamiento.



Para conectar estas ideas con lo que requiere nuestro proyecto, supongamos que un motor acciona un ascensor que pesa 10.000 N, y se requiere que suba 10 metros en 20 segundos. Podemos ver que:

**Trabajo a realizar:**  
 $W = 10.000 \text{ N} \times 10 \text{ m}$   
 $W = 100.000 \text{ J}$

**Potencia requerida:**  
 $P = W / \Delta t$   
 $P = 100.000 \text{ J} / 20 \text{ s}$   
 $P = 5.000 \text{ W}$   
 $P = 5 \text{ kW}$



Asimismo, es instructivo valorar el trabajo y la potencia que desarrollan las máquinas en nuestra vida cotidiana para reconocer su relevancia en la sociedad tecnológica actual. Si quisiéramos desarrollar con nuestros músculos una potencia de 75 W, y aprovechar esta potencia, por ejemplo, para prender una lamparita, deberíamos realizar un trabajo de 75 joule en un segundo. Si este trabajo consistiera en levantar desde el suelo hasta una mesa de 1 metro de altura una piedra de 7,5 kg, al levantarla haríamos un trabajo de 75 J (tomamos  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ ), y deberíamos demorar sólo 1 segundo para la maniobra para desarrollar los 75 W requeridos. Repitiendo esta tarea (suponemos que no nos cansamos), podemos mantener prendida la lámpara. Si es ésta la forma en que vamos a desarrollar la potencia requerida para usar la lamparita, por cierto que abandonaremos pronto. Por otra parte, ¿cuánto nos pagarían por este trabajo desarrollado? En Argentina,

1 kW/h (que equivale a 3.600.00 joule) cuesta, aproximadamente, \$ 0,10; entonces, el valor pecuniario del trabajo realizado para levantar la piedra del suelo a la mesa sería apenas \$ 0,000002 (dos “micropesos”).

Terminamos así de convencernos de que debemos recurrir a dispositivos que produzcan con mucha mayor eficiencia la energía necesaria y al ritmo adecuado (a la potencia adecuada). Gran parte del desarrollo tecnológico actual depende de esos dispositivos (generadores de energía eléctrica).

## La energía eléctrica

El requerimiento actual de energía impone la necesidad de disponer de dispositivos que brinden energía eléctrica. Estos dispositivos transforman un tipo de energía (potencial del agua de un dique, eólica, nuclear) en energía eléctrica, a un ritmo dado o potencia. Esta energía está disponible en casas y fábricas, y se transporta desde la central productora por cables de alta tensión. La salida de tensión en las centrales es de alrededor de 20 MV; estaciones de transformación se encargan de variar este valor de tensión eléctrica, reduciéndola para adaptarla a las necesidades de consumo. En Argentina, la tensión eficaz domiciliar es 220 V, que resulta de una serie de transformaciones desde la central. Asimismo, algunos dispositivos emplean menor tensión para funcionar (110 V, en algunos casos), por lo que requieren transformadores extras para reducir la tensión un poco más.

La tecnología eléctrica moderna comenzó con los descubrimientos de Faraday y su ley

de inducción<sup>27</sup>. Richard Feynman, premio Nobel de Física en 1965, se refiere a la tecnología eléctrica con una exquisitez literaria rara vez vista en libros de texto<sup>28</sup>. Considera que el milagro de luces calientes de una casa proviene del agua fría de una represa a mil y pico de kilómetros de distancia, todo realizado con pedazos de cobre y de hierro dispuestos de manera especial, y que es el resultado de la ingeniería y del diseño esmerado de nuestra tecnología eléctrica. "Solamente" se necesita una represa que acumule agua y que, luego, la dirija por una cañería para que mueva las ruedas de un generador. Estas ruedas están acopladas a un lío de hierro y cobre, primorosamente intrincado, retorcido y entretrejido, con dos partes: una que da vueltas y otra que no. Toda una mezcla de unos pocos materiales, mayormente hierro y cobre; pero, también, algo de papel y de barnices para aislar. Hay ahí algo gigantesco que da vueltas: el generador.

Por algún lado del enredo de metales salen unos pocos pedazos de cobre. La represa, la turbina, el hierro y el cobre, todo junto puesto allí para hacer que algo especial ocurra a unas pocas barras de cobre: una fuerza electromotriz, una *fem*. Luego, las barras de cobre se alejan un poco y rodean varias veces otros pedazos de hierro en un transformador; entonces, la tarea está concluida.

Pero, alrededor del mismo pedazo de hierro se enrolla otro cable de cobre que no tiene

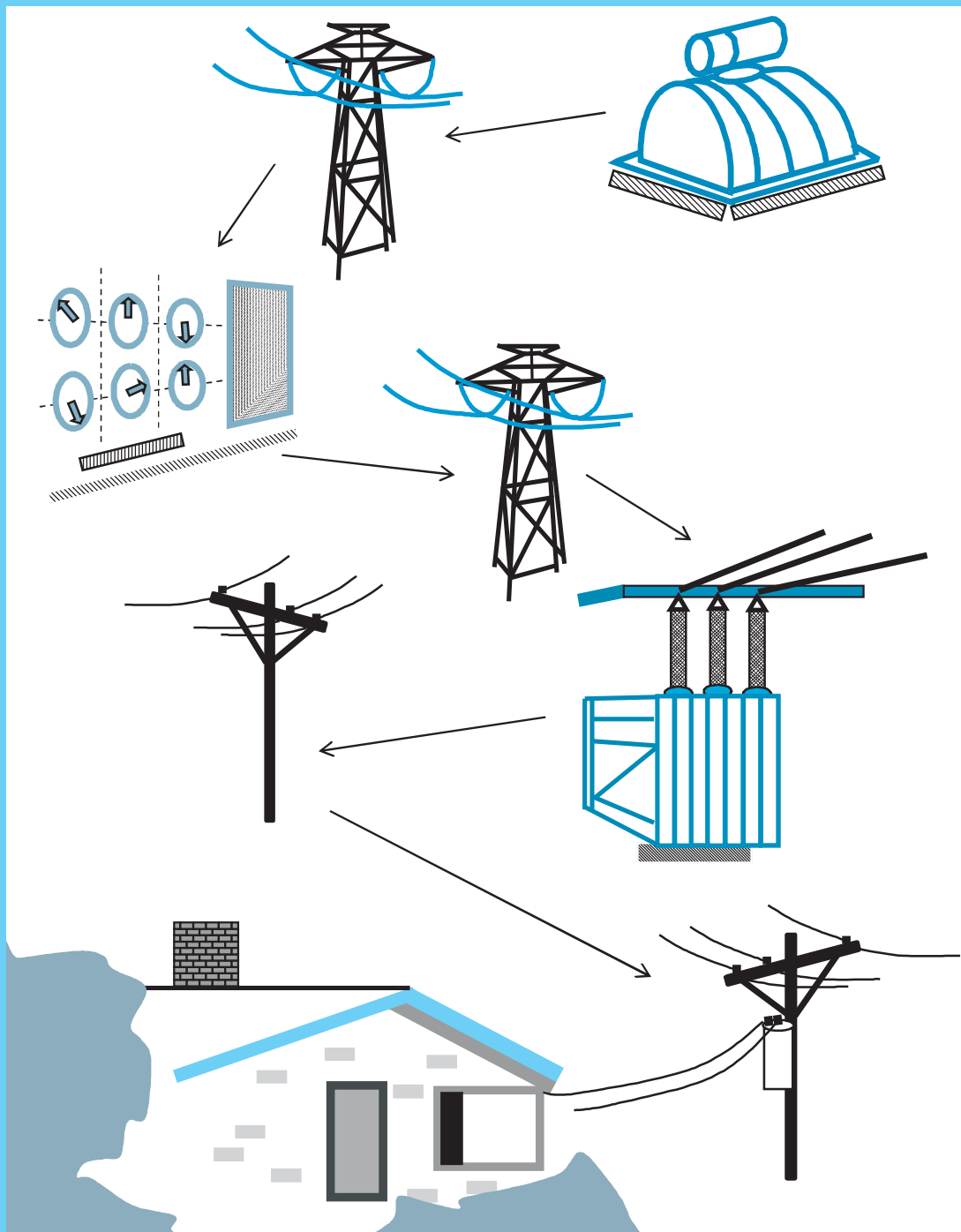
<sup>27</sup> Cuando Faraday presentó su descubrimiento en la Royal Society de Londres, le preguntaron para qué servía, a lo que respondió: "¿Para qué sirve un bebé recién nacido?". No hay dudas de que el bebé ha crecido, goza de buena salud y produce resultados revolucionarios.

<sup>28</sup> Feynman, R., Leighton, R, y Sands, M. (1990) *Física. Vol. II: Electromagnetismo y materia*, Addison-Wesley Iberoamericana. México.

conexión directa alguna con las barras provenientes del generador. Simplemente, han sido influidas porque pasaron cerca de ella (para obtener su *fem*). El transformador convierte la potencia desde los voltajes relativamente bajos necesarios para un diseño eficiente del generador hasta las tensiones altísimas que son los mejores para una transmisión eficiente de la energía eléctrica por largos cables, a través de largas distancias. Y todo debe ser enormemente eficiente para que, por las varillas de cobre, se transporte la potencia de un río gigantesco, atrapado en una represa gigantesca.

Cuando hacemos funcionar un artefacto eléctrico, "consumimos" energía eléctrica, transformándola en otro tipo. Consumimos una pequeña parte de la energía del agua de la represa. En este otro extremo, esta energía eléctrica se manifiesta a escala microscópica por el movimiento de las cargas eléctricas a través de los artefactos que se conectan a la red. El movimiento de las cargas resulta, a escala macroscópica, en una *corriente eléctrica*.

La condición para que haya una corriente es que las cargas formen parte de un *circuito* y que éste esté cerrado. Un circuito básico consiste en una fuente de tensión, una lamparita, cables de conexión y un interruptor. Este circuito simple corresponde, por ejemplo, al de una linterna. Cuando el interruptor está cerrado, la fuente de tensión empuja a las cargas eléctricas que quedan habilitadas para circular por la lamparita. El resultado de esta corriente es producir calor en los cables y en el filamento de la lámpara. En la lámpara, el calor es tan intenso que la temperatura aumenta lo suficiente para que el filamento se ponga incandescente y produzca luz.



**La complejidad del transporte de energía eléctrica desde una central hasta nuestros domicilios. Adaptado de Wilson, J. D. (1996; 2° ed.) Física. Prentice Hall Hispanoamericana. México.**