

25.000 años de mecánica

Hombres, músculos y máquinas
a través de los siglos



LANCELOT
HOGBEN

DALMONI

ÍNDICE

Las fuerzas naturales

El músculo. — El rodillo y la rampa. — Los animales. — Ruedas, palancas y cabrestantes. — La rueda hidráulica. — Molinos de viento 6

Gravedad y aceleración

El aire pesa. — Un experimento de Galileo. — Por qué cae un proyectil. — La masa. — Ley de Arquímedes. — El muelle. — La balanza de resorte. — La atracción planetaria. — Newton y los satélites artificiales 12

Calor y energía

El vapor de agua: Watt y Newcomen. — La locomotora. — Una unidad de medida: caballo de vapor. — Relación entre calor y trabajo 22

Una tempestad en miniatura

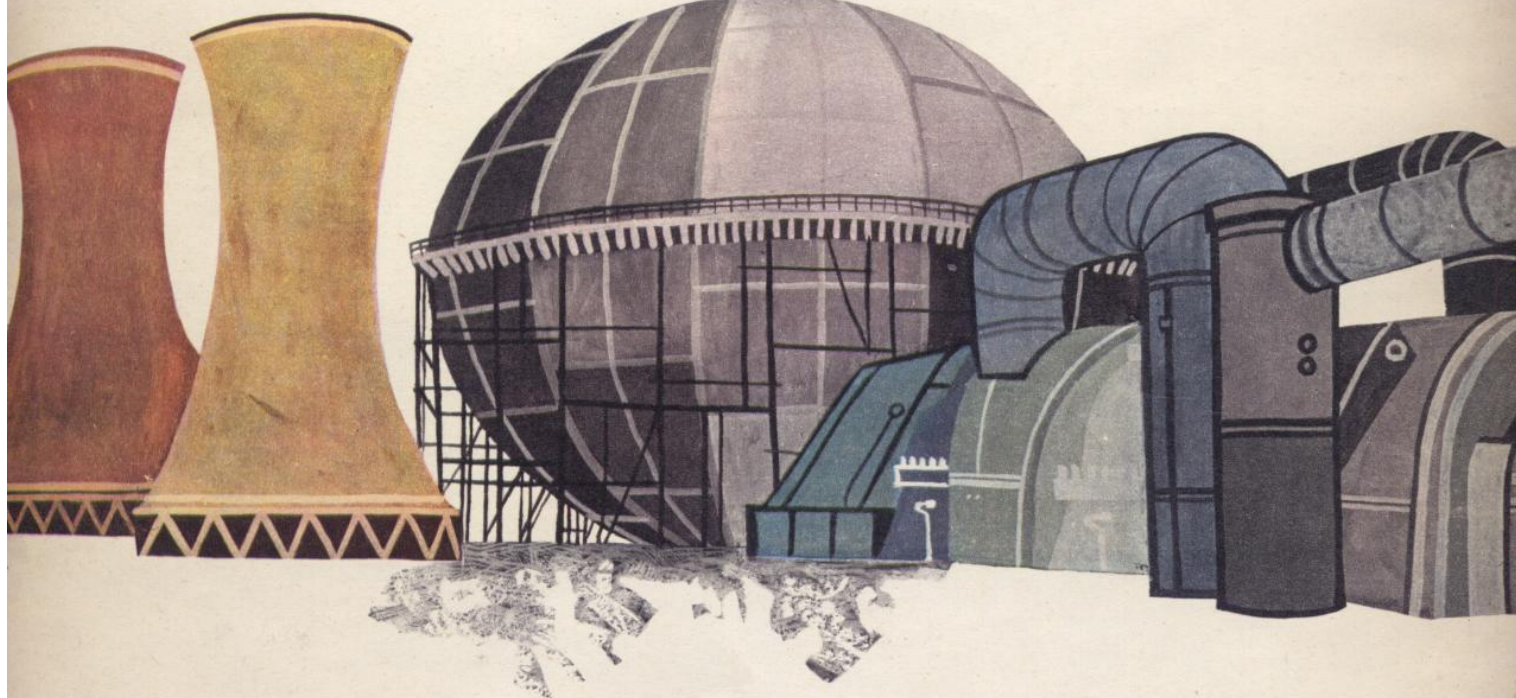
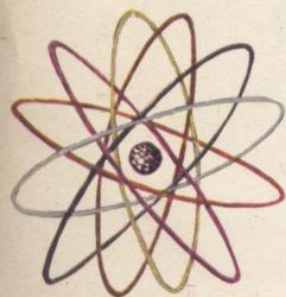
La botella de Leiden. — Galvani y sus ranas. — La pila de Volta. — Electricidad estática y electricidad dinámica. — El motor. — La dínamo. — Cables y conductores. — El transformador 34

Alianza con los átomos

División y compresión de la materia. — Representación gráfica del átomo. — La molécula. — Peso atómico. — Electrolitos. — Los rayos X. — El radio. — Rayos alfa, beta y gamma. — Iones, electrones, neutrones y protones. — La bomba atómica. — Reacción en cadena. — Átomos para la paz 48

La fuerza y el futuro

El agua frente al reactor nuclear. — Otras fuentes de energía: géiseres y volcanes. — El calor del Sol. — El viento y las mareas. — Hacia un mundo mejor 66



Volumen 5.º de la

ENCICLOPEDIA JUVENIL DEL SIGLO XX

© Todos los derechos de edición en lengua española son propiedad de Ediciones Daimon, Manuel Tamayo, 1957, Madrid y Barcelona, Provenza, 282-284, por cesión exclusiva de Rathbone Books, Adprint House, Londres. Título del original, *Men, Missiles and Machines*.

25.000 AÑOS DE MECÁNICA

Hombres, músculos y máquinas a través de los siglos

por

LANCELOT HOGBEN

Traducción del inglés por
Ernesto Mascaró

Ilustraciones de

Eileen Aplin
Barrington Barber
Jeffery Lies
Keith Pickard
Peter Sullivan

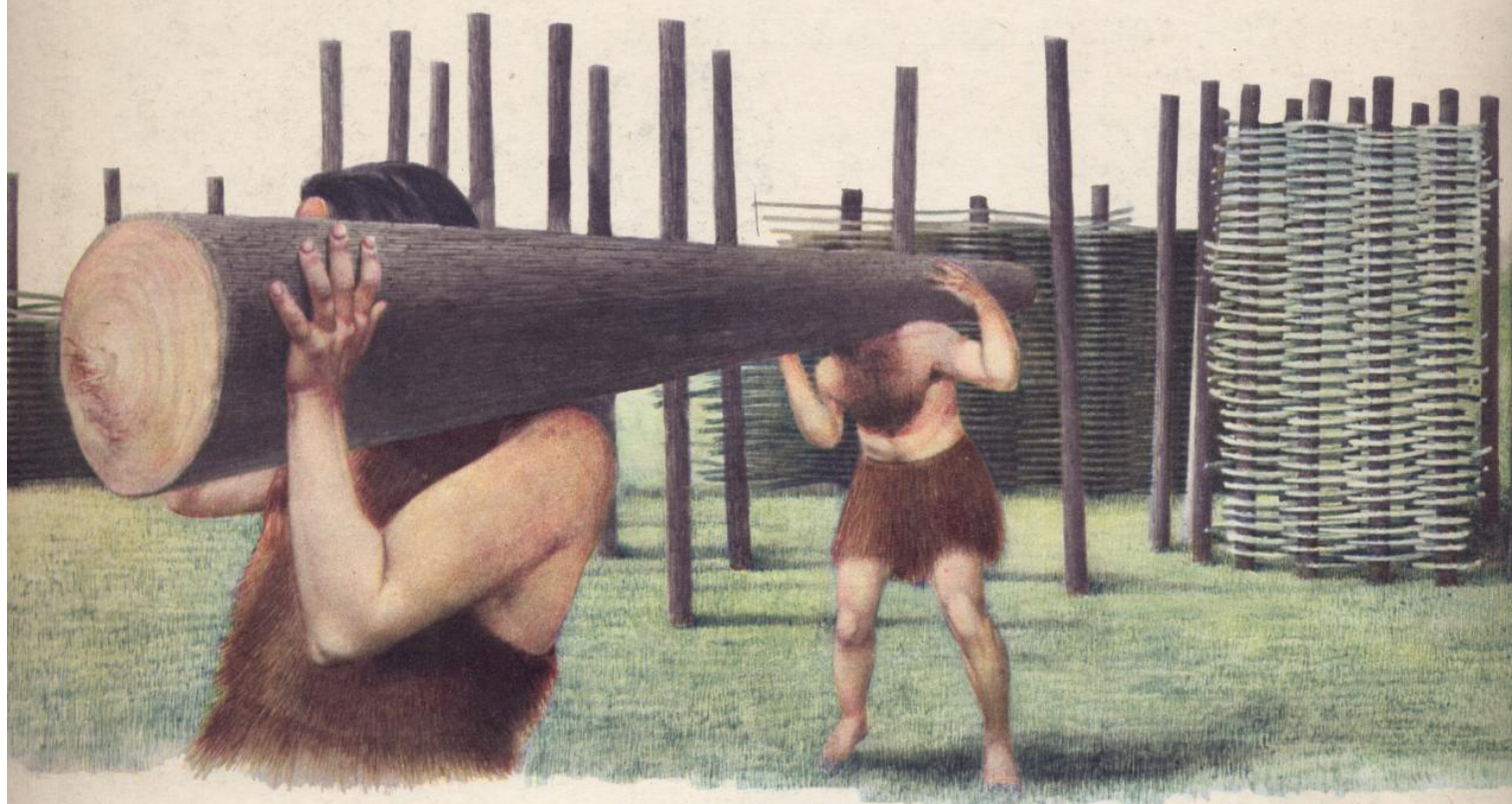
*El Colegio "Franco-Ingles" otorga el
Primer Premio de Exelencia, al alumno
German González Dávalos, del 6º Año "A" de
Primaria.*

1964



EDICIONES DAIMON, MANUEL TAMAYO. BARCELONA

Impresión láminas: L. T. A. Robinson Ltd., Londres (Inglaterra). Composición e impresión texto:
Artes Gráficas Grijelmo, Uribitarte, 4, Bilbao (España).



Las fuerzas naturales

EN UN MOMENTO U OTRO DE NUESTRA VIDA, todos nos hemos complacido alguna vez en el agradable ensueño de una isla tropical y paradisíaca en la que todo fuese luz y color, y en la que vivir no costara ningún esfuerzo. Sin embargo, la realidad nos demuestra que no existe lugar alguno donde podamos eludir el trabajo. Desde los tiempos más remotos, el hombre primitivo se vió ya precisado a convertirse en cazador y cosechero, a guisar sus alimentos, y a levantar con su esfuerzo chozas y cabañas para protegerse del rigor de las estaciones.

Estos hombres y mujeres confiaban principalmente en la fuerza de sus músculos; no obstante, a su alrededor existían abundantes fuentes de energía: rápidos cursos fluviales y cascadas, el calor del sol, el viento, la presión del aire, las tempestades, el magnetismo de la tierra y, en algunos puntos, géiseres y volcanes.

En la primera Edad de Piedra ya se utilizaron algunos de estos medios, aunque sin lograr un total aprovechamiento. Sólo usaron el fuego para preparar sus alimentos, cocer sus vasijas de barro y calentar el interior de sus cabañas; los ríos y corrientes de agua para el transporte de los troncos que cortaban o para deslizarse en canoas; la elasticidad de una vara y de ciertos huesos para construir los arcos y las flechas que utilizaban, tanto para cazar como para defenderse.

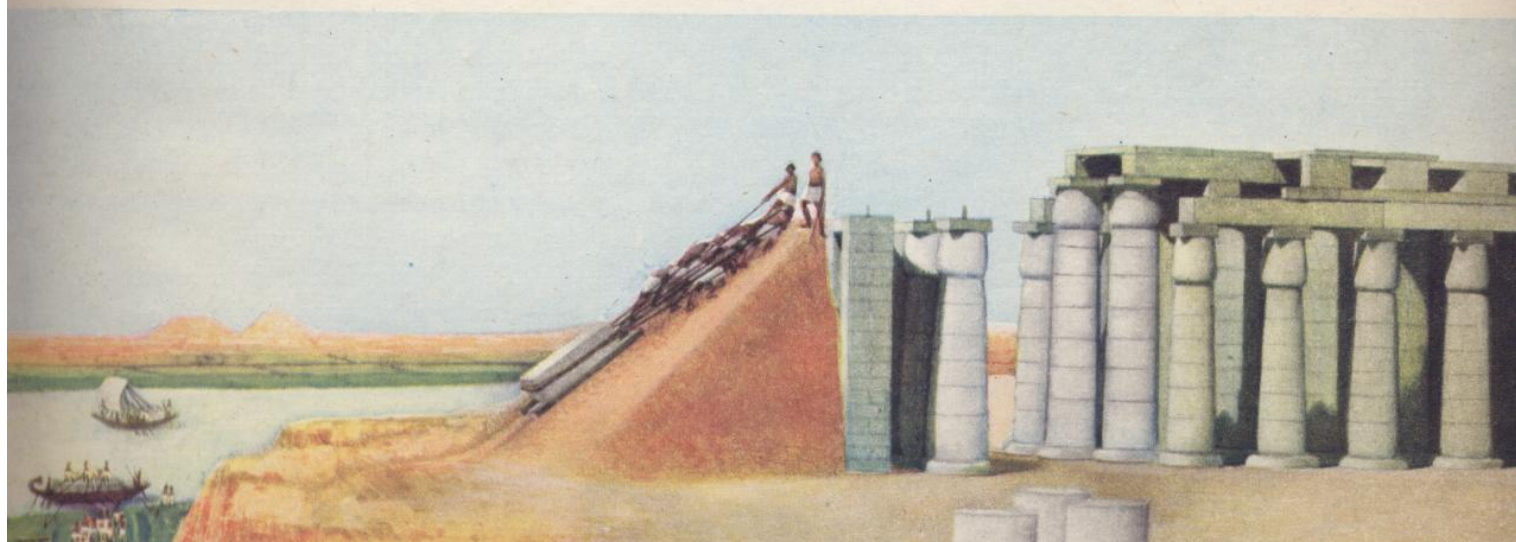
Hubieron de pasar cerca de veinte mil años antes de que el hombre aprendiera a usar el fuego para separar el cobre y el estaño de las menas que lo contienen. Por entonces se utilizaba ya el viento para impulsar las naves sin necesidad de remos. El uso de los metales proporcionó al hombre mejores herramientas. En lo que se refiere a la construcción, aparecen por vez primera dos instrumentos a los que puede darse el nombre de máquinas: uno fué el rodillo y el otro la rampa. Ambos se basaban en el esfuerzo humano como fuente de energía y su utilidad depende del hecho de que el cuerpo humano

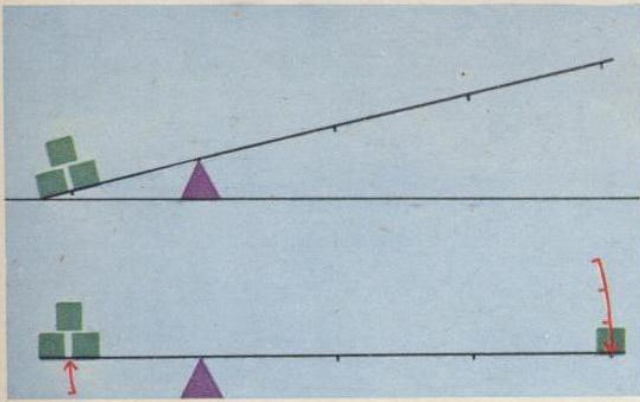


no puede realizar en un momento dado más que un trabajo determinado.

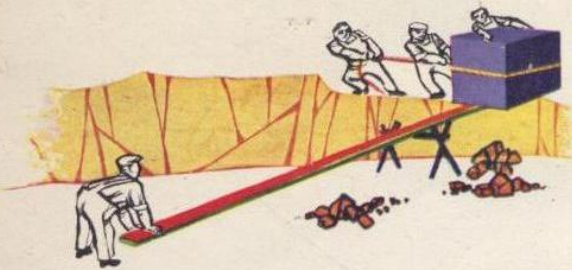
Así, en tanto que izar un bloque de piedra requiere un esfuerzo enorme, no ocurre lo mismo si dicho bloque se arrastra a lo largo de una rampa. Los músculos realizan entonces el mismo trabajo en menos tiempo y con menor fatiga. Y lo mismo ocurre si en vez de arrastrar por el suelo un objeto pesado lo hacemos deslizar sobre dos rodillos.

De todas las fuentes naturales de energía, el hombre primitivo solamente utilizó la leña y los cursos de agua. En la Edad del Bronce aparecieron las dos primeras máquinas de construcción humana: los rodillos y la rampa.





Un peso colocado a un extremo de la palanca, a 3 m del punto de apoyo, equilibra una carga tres veces superior situada en el otro extremo a 1 m de distancia.



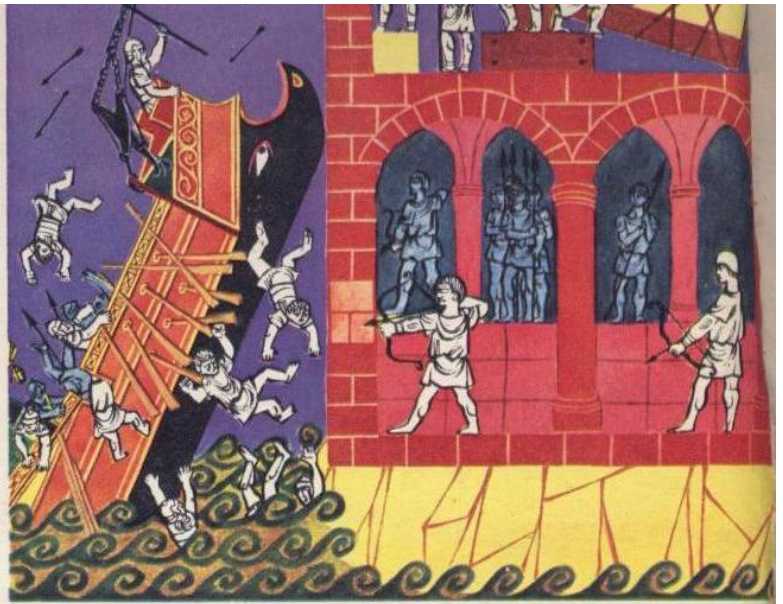
La palanca suple con ventaja al esfuerzo humano.

El período de cinco mil años que se extiende desde los comienzos de la civilización egipcia, hasta el descubrimiento del Nuevo Mundo por Cristóbal Colón, constituye el mayor eslabón en la historia del progreso. Durante esta época se dió gran impulso a la escritura, las matemáticas, la astronomía, la geografía, la arquitectura y la navegación. Y el hombre halló ayuda en algunos animales: el buey, el asno, el caballo y el camello, pero tardó mucho en explotar otras fuentes de energía naturales.

Antes de la era cristiana, la humanidad había ya logrado el perfeccionamiento de algunos inventos anteriores. De ahí resultaron la rueda, la palanca, la polea y el cabrestante. Como la rampa, la rueda redujo la fricción. Y como los rodillos, la palanca, la polea y el cabrestante permitieron realizar trabajos más pesados en menos tiempo.

Era necesario hallar una voz que expresara la proporción en que el hombre o cualquier máquina realizan un esfuerzo determinado. Y apareció el vocablo *potencia*. Por potencia se entiende el trabajo realizado durante una unidad de tiempo.

Cuando el trabajo de los esclavos carecía de todo valor, la gente acomodada o estudiosa apenas tenía contacto con ellos y tampoco sentía curiosidad por saber si el empleo de las máquinas les economizaba



Durante el sitio de Siracusa, Arquímedes ideó un modelo de palanca para hacer zozobrar las naves enemigas.

esfuerzos. Únicamente durante un corto período, los matemáticos griegos se ocuparon de este asunto.

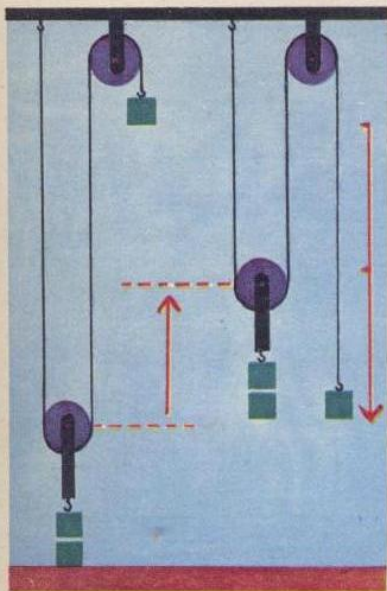
Fué entonces cuando Arquímedes descubrió lo que hoy llamamos teoría de las palancas. Dos pesos, *A* y *D*, se equilibran cuando el peso de *A* multiplicado por su distancia hasta el punto de apoyo es igual que el peso de *B* multiplicado por su propia distancia hasta dicho punto. Este principio se aplica también a la polea y al cabrestante.

Es fácil comprender el significado de esta teoría si observamos la diferencia de esfuerzo que supone levantar determinado peso hasta cierta altura, o bien, un peso mayor hasta una altura semejante: cuanto más peso, mayor será el trabajo a realizar. De ahí que como unidad de medida tomemos el resultado de multiplicar el peso por la altura. El principio de Arquímedes significa, pues, que la palanca permanece equilibrada cuando el brazo humano hace en un extremo la misma cantidad de trabajo que la carga en el otro extremo.

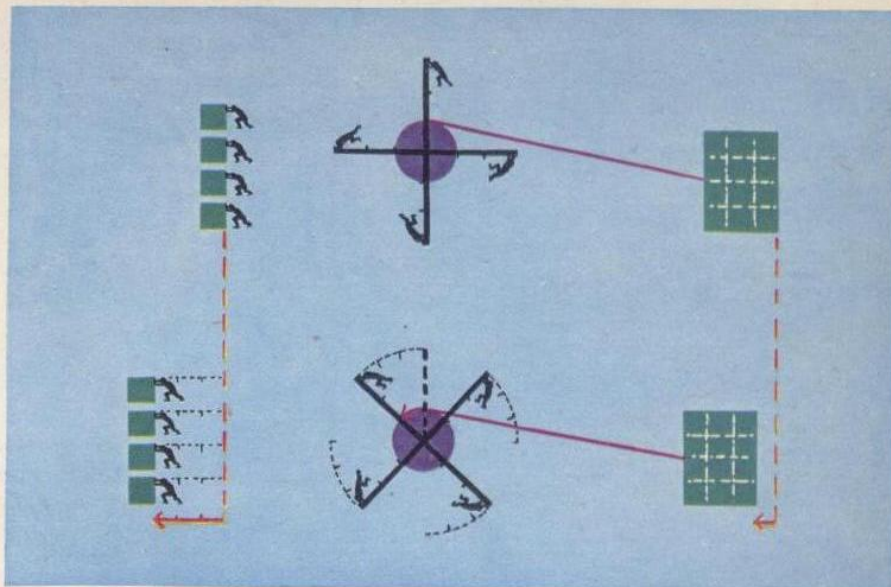
En el siglo III A.J. Arquímedes ideó una palanca especial para hacer naufragar las naves romanas que asaltaban las fortalezas de Siracusa, en Sicilia. Dieciocho siglos más tarde, Domenico Fontana erigió en Roma una colosal columna de piedra sin otras máquinas que poleas y cabrestantes y sin otra fuerza que la muscular de hombres y caballos.

Unos seis siglos después de Arquímedes, Roma se convirtió al cristianismo. El triste espectáculo de

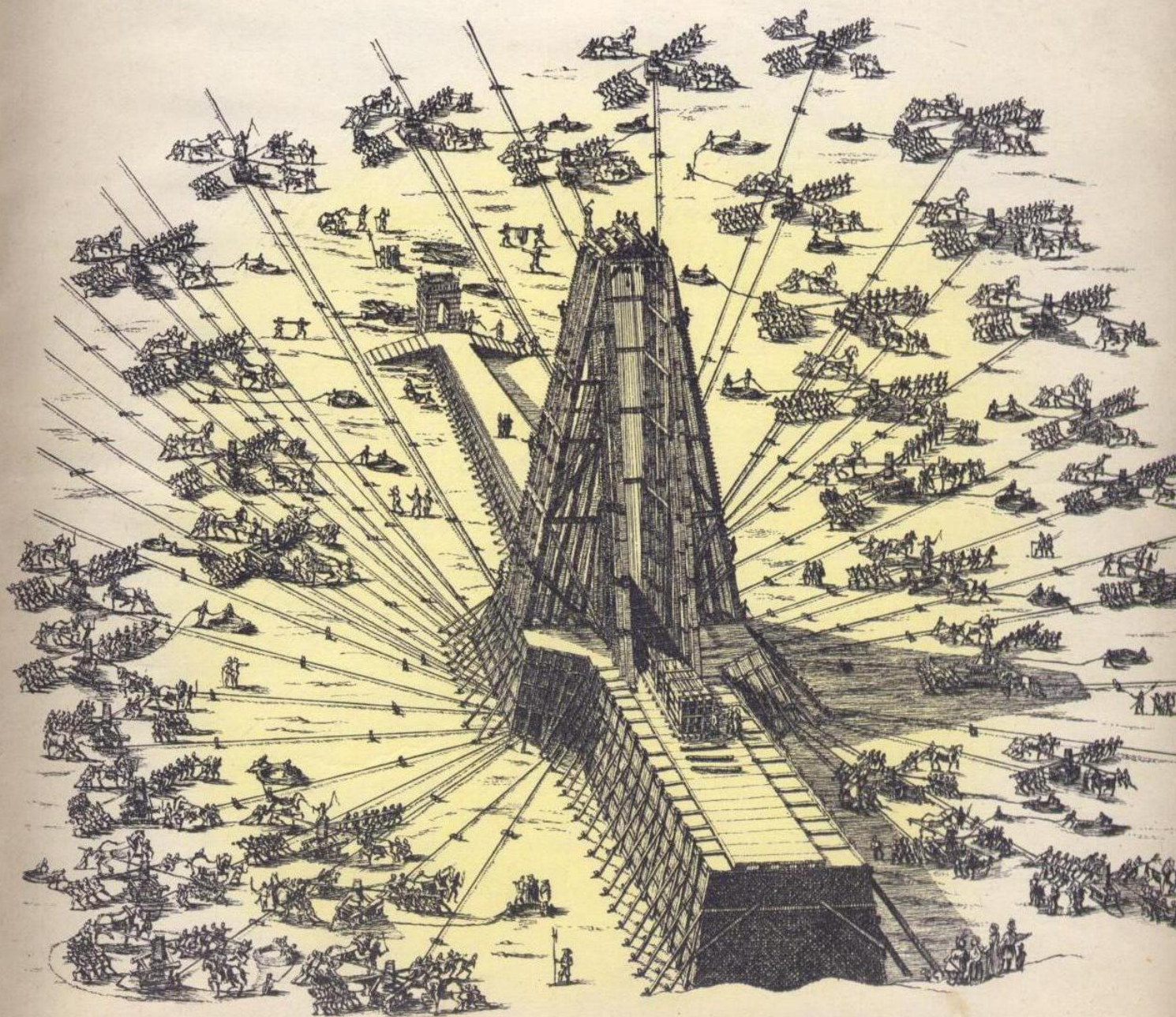
Erección de una columna de cien toneladas, sin más ayuda que poleas, cabrestantes y fuerza muscular.



Un peso de una tonelada sobre el extremo libre de la polea equilibra otro peso de dos toneladas.



El cabrestante hace posible que cuatro hombres capaces de arrastrar un peso de 400 kgs a tres metros de distancia, arrastren 1200 kgs a un metro, con idéntico esfuerzo.



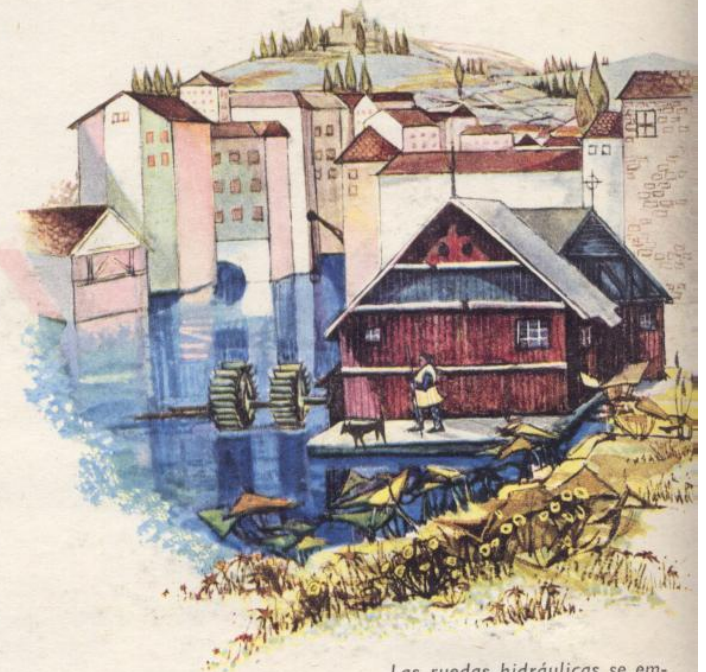


La fundición de hierro dió, hace cuatro siglos, un nuevo uso al carbón.

los gladiadores fué suprimido. La esclavitud fué desapareciendo y aumentó el coste de la vida y de la mano de obra. En las regiones del norte de Europa, donde el cristianismo se asentó hacia el año 700, cuando los árabes se disponían a invadir España, la escasez de brazos para el trabajo fué tan aguda que el hombre se vió obligado a hacer mejor uso de los dones de la Naturaleza.

Si en las antiguas civilizaciones de Mesopotamia se había empleado ya la rueda hidráulica para el riego, en Europa se empezó en esta época a usarla para mover los molinos, accionar sierras circulares y extraer agua de los pozos. Los moros poseían toscos molinos de viento desde ochocientos años después de Jesucristo, pero los molinos que aparecieron en los Países Bajos y en la costa oriental de Inglaterra durante y después de las Cruzadas eran más perfeccionados, con cúpula giratoria para orientar las aspas según el viento. En su construcción, como en la de los molinos de agua, los artesanos se adiestraron en la fabricación de ruedas dentadas.

- A. Horno de fundición cargado con mena y carbón.
- B. Horno descargado.
- C. Pozo que hacía las veces de crisol.
- D. Moldes.
- E. Lingotes.
- F. Mineral en bruto.



Las ruedas hidráulicas se empleaban en los molinos y en las serrerías.

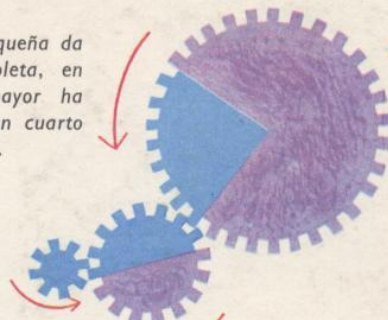
Muchas civilizaciones del Asia y del sur de Europa, han reclamado para sí el honor de haber descubierto la brújula magnética; sin embargo, fué en los brumosos mares del Norte donde por primera vez los marinos hubieron de enfrentarse con sus imperfecciones. La posición de la aguja de las brújulas no es la misma en todos los puntos del Globo, sino que varía, sobre todo alrededor de Islandia y de Groenlandia, cuyas aguas eran muy frecuentadas por los vikingos. Para conducir sus naves en las noches de tormenta y sin estrellas por aquellos mares, era preciso conocer exactamente el valor de la variación sufrida, es decir, la situación precisa del Polo Norte.

Por aquel tiempo se tenía ya conocimiento de que para imantar una barra de hierro dulce bastaba frotarla con piedra imán. Durante un siglo por lo menos se supo también que el ámbar atrae el polvo

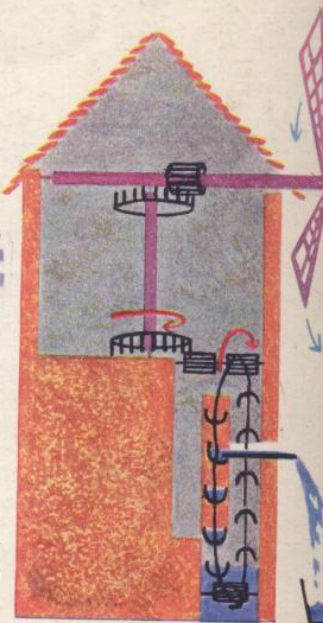


Para aprovechar mejor los vientos se idearon los molinos giratorios.

La rueda más pequeña da una vuelta completa, en tanto que la mayor ha dado solamente un cuarto de vuelta.



Corte esquemático de un molino destinado a elevar el agua mediante arcaduces o cangilones.

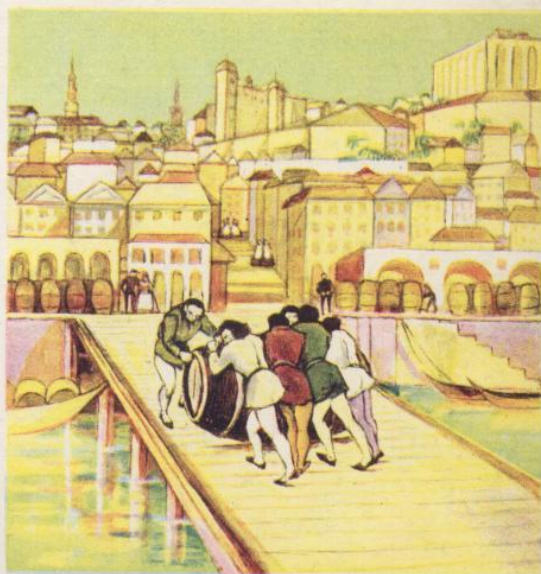


En el sur de Europa el sifón se usaba para el regadío.

y algunas partículas ligeras cuando se frota enérgicamente; pero la electricidad, nombre que proviene de la voz *electrón*, que en griego significa ámbar, era por aquel tiempo desconocida. El rayo tan sólo era una manifestación divina, sin otra significación para el hombre.

Entre los años 500 a 1500 D.J., la práctica sobrepasó la teoría. Durante la Edad Media se continuaron usando los tres inventos más antiguos que se conocían para economizar el esfuerzo humano: la rampa, el sifón y la bomba, aunque sin tener una idea clara de cuál era el esfuerzo economizado.

Para comprender el trabajo realizado por un engranaje hubiera sido preciso poder medir el tiempo a intervalos regulares. Para saber cómo actúan un sifón o una bomba habría sido necesario conocer la presión que ejerce el aire sobre la superficie del agua. Y ambas cosas habían de tardar todavía.



Tanto la rampa como el sifón se usaban continuamente; pero nadie conocía aún las leyes en que se basaban.

Reloj de sol
del siglo XV.



Reloj mecánico primitivo, en la catedral de Wells,
con las veinticuatro horas del día.

Gravedad y aceleración

EN LOS LIBROS DE ESTUDIO se habla a menudo del siglo anterior a la gesta colombiana como de una era de auténtico renacimiento; de ahí el nombre con que se la distingue. En realidad, fué la época durante la cual los países del norte de Europa emergieron de la barbarie gracias al desarrollo de la cultura musulmana que había recogido las enseñanzas de los griegos, de los indios y del lejano oriente, incluido el arte de fabricar el papel y la pólvora. Desde las universidades españolas, muchas ciencias como la astronomía, la geografía y el arte de la navegación, fueron difundiendo hacia el Norte durante los tres siglos anteriores al descubrimiento del Nuevo Mundo.

Los moros habían inventado el reloj de sol, pero en los países nórdicos, tales como Alemania y la Gran Bretaña, siempre nublosos, resultaban de escasa aplicación. No obstante, en las iglesias, siguieron figurando durante algún tiempo junto a los primeros relojes mecánicos como medio inequívoco de comprobar la buena marcha de estos últimos hasta que, poco a poco, los relojeros conscientes de los defectos de que adolecían sus productos, se esforzaron en fabricar mecanismos cada vez más perfectos.

En China, de donde procede el invento de la pólvora, el empleo de petardos y fuegos artificiales constituía un pasatiempo habitual. En tanto, en Europa, el mismo invento recién importado se con-



La pólvora se utilizó en China para los fuegos de artificio; en Europa, para la guerra.

vertía en el más poderoso recurso para la guerra y daba lugar al desarrollo de una nueva rama de la ciencia militar: la balística o estudio de la trayectoria de los proyectiles.

Cuando la guerra se realizaba sin más armas que el arco y las flechas, los arqueros sabían muy bien que para dar en el blanco era preciso tener en cuenta la dirección y la velocidad de sus caballos. La cuerda de un arco impulsa la flecha a una velocidad y en un sentido determinados; el movimiento del caballo la impulsa también hacia otra dirección y a diferente velocidad. La trayectoria de la flecha será la resultante de ambos efectos.

Galileo fue probablemente uno de los primeros en analizar la trayectoria de una bala de cañón en términos científicos.

Por entonces, nadie había estudiado todavía el porqué un objeto aumenta de velocidad durante su caída. La creencia general era de que los cuerpos más pesados descendían más rápidamente que los más ligeros. Galileo dejó caer simultáneamente dos balas de cañón, una de las cuales pesaba cien veces más que la otra desde lo alto de la Torre de Pisa. Ambas llegaron al suelo simultáneamente demostrando que tanto la velocidad como la aceleración eran la misma en ambos casos.

Galileo carecía de instrumentos adecuados para medir la aceleración en descenso vertical, pero supuso, muy acertadamente, que dos bolas de tamaño diferente sufrirían idéntica aceleración al rodar juntas sobre un plano inclinado. Así pues, realizó





Los arqueros sabían perfectamente que para dar en el blanco, debían tener en cuenta la dirección y velocidad de su caballo.

sus primeros experimentos valiéndose de este aparato tan rudimentario y de un simple reloj de agua.

Después de muchas pruebas consiguió hallar la relación que existe entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla. Sobre el plano inclinado, cualquiera que sea su posición, una bola recorre en dos segundos una distancia cuatro veces superior que en uno; en tres segundos, nueve más, y así sucesivamente. En resumen: La distancia recorrida aumenta con el cuadrado del tiempo.

Galileo demostró, además, en qué proporción los cuerpos aumentan de velocidad a medida que aumenta la inclinación del plano, con lo que fué posible determinar la velocidad de descenso en la vertical que, al nivel del mar es precisamente de 9,81 m por segundo durante el primer segundo.

Sabiendo esto, ya no resulta difícil calcular la trayectoria de un proyectil de artillería. Impulsado por su velocidad inicial sigue en el espacio una línea recta determinada por la inclinación del cañón; si la fricción del aire es despreciable, como en el caso de los proyectiles relativamente lentos del tiempo de Galileo, su velocidad en el sentido de marcha es invariable. Pero, durante el tiempo de su trayectoria el proyectil desciende gradualmente aumentando su velocidad de acuerdo con la ley antes enunciada. La curva que describe en el aire recibe el nombre de *parábola*.

Las teorías de Galileo acerca la aceleración aclararon también el misterio de la rampa, a la cual por aquellos tiempos se había dado una aplicación que los antiguos no conocieron. En una rampa cuyo plano inclinado tenga una longitud dos veces mayor que su altura, un peso de doscientos kilos se mantiene en equilibrio con otra carga que pese únicamente la mitad y que se deslice por la vertical.

En una rampa de estas condiciones, una bola gana la mitad de la velocidad que adquiriría en caída vertical. Así, vemos cómo dos cuerpos se equilibran mutuamente si la masa de uno de ellos multiplicada por la velocidad que sería capaz de obtener, es igual a la masa del otro multiplicada por la velocidad que adquiere durante su caída.



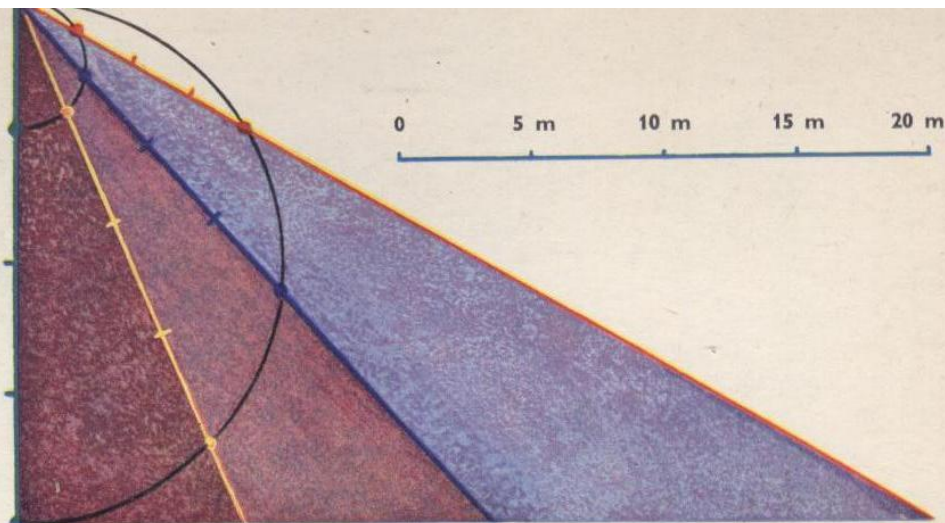
Los artilleros del siglo XVI, no contaban aún con la fuerza de atracción de la tierra al calcular sus disparos.

En resumen: lo que entendemos por «peso» de un cuerpo es el producto de dos factores: su *masa* y su *aceleración*.

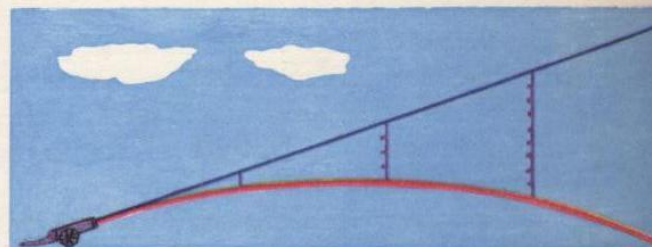
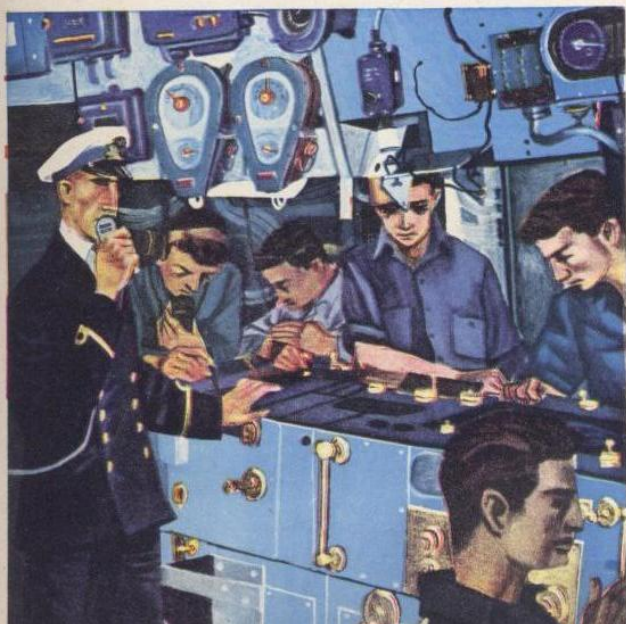
Algo que también preocupó mucho a Galileo, fué el hecho de que las bombas que entonces se utilizaban no pudiesen extraer el agua cuando la profundidad del pozo era superior a nueve metros. Sin embargo, halló la explicación al comprobar que también el aire pesa. Los experimentos que había realizado le permitieron sustentar esta teoría mucho antes de que nadie llegara a imaginarla.

De una parte, había establecido que todos los

Los puntos por donde cruza el semicírculo de menor tamaño indican la distancia recorrida por una bola en un segundo. Aquellos por donde cruza el otro semicírculo, marcan el trayecto recorrido en dos segundos. En un plano inclinado dos veces más largo que la vertical (línea encarnada), dicho trayecto equivale siempre a la mitad del recorrido en caída libre (línea verde).

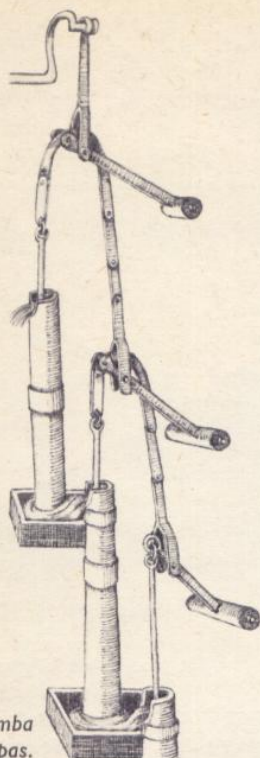


cuerpos sólidos aumentan su velocidad de caída casi en la misma proporción. De otra parte sabía, como todo el mundo, que una hoja de árbol desciende más lentamente que una piedra, y que un globo —que en aquella época consistía en una vejiga de cerdo inflada— casi llegaba a sostenerse en el aire. Tampoco ignoraba lo que ocurre en el agua: ciertos objetos flotan, en tanto que otros se hunden más o menos rápidamente. Arquímedes había descubierto hacía mucho tiempo, la razón de este fenómeno; había hallado que cualquier cuerpo sólido al sumergirse en un líquido desplaza un volumen del mismo equivalente al de su propia masa, y pierde de su peso tanto como pesa el líquido desplazado. Así, una bola con una densidad cinco veces superior a la del agua, pierde una quinta parte de su peso al sumergirla; otra, tres veces más densa, pierde únicamente un tercio de su peso, y, finalmente, un objeto de igual densidad que el agua deja de pesar y, por consiguiente, flota.



El cañón imprime a los proyectiles una trayectoria en línea recta, pero bajo la fuerza de la gravedad describen una parábola.

Los modernos artilleros navales, además del balanceo del buque, la dirección del viento y la velocidad del blanco, tienen en cuenta la fuerza de gravedad.



Modelo de bomba de varias etapas.



La dificultad en subir el agua desde cierta profundidad hizo pensar a Galileo en el peso del aire.

El descubrimiento de Arquímedes cobra un nuevo significado visto a la luz de las recientes teorías de Galileo, es decir, considerado como producto de la masa por la aceleración. Si entendemos por *masa* la cantidad fija de materia contenida en un cuerpo, ninguna de las bolas de nuestro ejemplo sufre un cambio de masa al ser sumergidas en el agua, pero sí un cambio de peso. La única explicación posible es que ninguna de ellas adquiere la misma velocidad durante su caída. Si todas ellas cayeran libremente en el aire, sufrirían la misma aceleración, equivalente a unos $9,81 \text{ m por seg}^2$. En el agua, la primera pierde $\frac{1}{8}$ de su aceleración, la segunda pierde $\frac{1}{3}$ y la tercera pierde el total. Este último cuerpo, carente de aceleración, flota.

Si consideramos que el aire pesa y opone cierta resistencia, el hecho de que una piedra caiga, o de que un globo se sostenga, dejará de intrigarnos. La piedra es muchas veces más densa que el aire; por eso el aire que desplaza apenas reduce su aceleración. El globo, en cambio, tiene más o menos la misma densidad que el aire y su aceleración es prácticamente nula.

Un año después de la muerte de Galileo, en 1642, su discípulo Torricelli, demostró definitivamente el peso del aire. Para ello introdujo un tubo de cristal suficientemente largo en una cubeta de mercurio hasta llenarlo por completo. Luego, poco a poco fué levantando dicho tubo por el extremo cerrado, cuidando de mantener el otro extremo dentro de la

cubeta. Al principio, el tubo permanecía enteramente lleno, pero cada vez que el extremo cerrado alcanzaba una altura superior a los 760 mm, el mercurio empezaba a descender, dejando un espacio libre

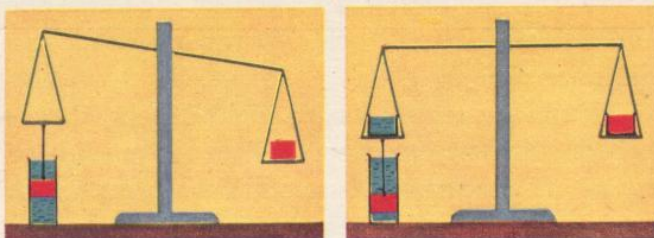
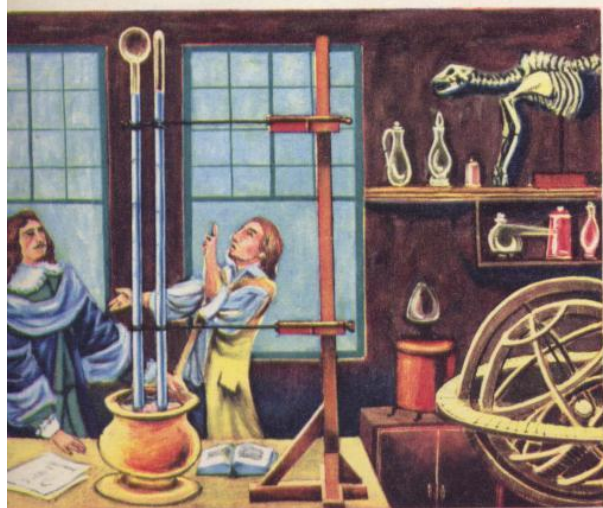


Los ladrillos caen más de prisa que las hojas de los árboles; en cambio, un globo se sostiene en el aire.



Los cuerpos se comportan en el agua como en el aire: unos se hunden más de prisa que otros, algunos flotan.

Torricelli demostró que el aire sostiene el peso de una columna de 760 mm de mercurio.



Dos cuerpos de igual peso dejarán de equilibrar una balanza si uno de ellos está sumergido en el agua. Pero se equilibrará, si añadimos al mismo platillo un volumen de agua idéntico al agua desplazada.

—vacío— en la parte superior. La única explicación a este fenómeno es que el peso del aire sobre la superficie de la cubeta es suficiente para equilibrar el de una columna de mercurio de 760 mm de altura, equivalente a una columna de agua de 10 metros.

Como el aire, al igual que el agua, está compuesto por materia, los cuerpos que pasan a su través encuentran cierta resistencia que, naturalmente, reduce la velocidad de su caída; tanto más, cuanto mayor sea su superficie en relación a la masa. El descubrimiento de la campana neumática sirvió para demostrar que en el vacío, tanto una hoja de árbol como una moneda, descienden a la misma velocidad.

Para cruzar el Atlántico, los marineros del tiempo de Galileo necesitaban una forma realmente eficaz que les permitiese determinar la longitud en el mar. No ignoraban que a cada quince grados que se desplazaban hacia el Oeste a partir del punto de salida, el Sol se presenta en el punto más alto del horizonte, a mediodía, con una hora de retraso, en tanto que sucede lo contrario al navegar hacia oriente. Conociendo la hora local y al mismo tiempo la hora que rige en el punto de salida, resulta fácil calcular la longitud. Mas por aquel entonces, no existían aún relojes capaces de seguir marcando el tiempo sin alteración durante un largo viaje. El movimiento pendular de un reloj depende de la fuerza de la gravedad, y como ésta varía con la latitud y la altura, el mismo péndulo oscila a ritmo diferente en los distintos puntos geográficos.

Poco después de la muerte de Galileo apareció en escena un nuevo elemento: el muelle de espiral. La oscilación de un volante impulsado por uno de estos muelles no depende de la aceleración impuesta por la gravedad, sino únicamente de la elasticidad del metal de que está construido, sin que le afecten ni la altura ni la latitud, a condición de que no varíe la temperatura. Los cronómetros del siglo XVIII, iban provistos, pues, de un volante con muelle de

espiral, construido en varias secciones, de forma que el diámetro de aquél no sufriera variaciones a causa del calor o el frío.

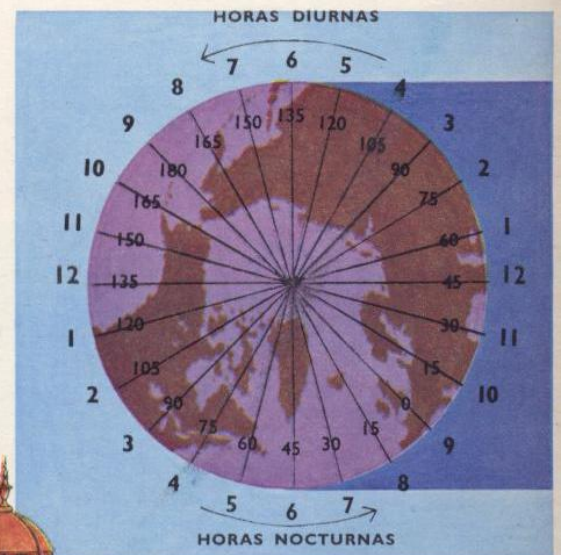
Simultáneamente, el sabio inglés Hooke, descubría otra importante propiedad de los muelles en espiral. Si suspendemos un platillo al extremo de uno de estos muelles y lo cargamos primero con un peso, luego con otro peso igual, y así sucesivamente, veremos cómo la espiral se va desenrollando y extendiendo en idéntica proporción para cada peso añadido, hasta alcanzar cierto límite. Señalando en un cuadrante la medida en que dicho muelle se dilata cada vez, podemos construir lo que se conoce por el nombre de balanza de resorte. Para un lugar determinado, donde los cuerpos sufren la misma aceleración bajo la fuerza de la gravedad, este instrumento resulta bastante exacto para pesar.

Pero la aceleración por la gravedad no es la misma en todas partes. Una bola que suspendida verticalmente de la romana muestra un peso de una libra, tiene una masa de una libra, y una aceleración de $9,81 \text{ m por seg}^2$. En un plano inclinado de 45 grados, dicha bola tendría una aceleración de $6,96 \text{ m por seg}^2$, y su peso en la balanza de resorte resultaría ser de media libra. Es decir: si la aceleración es invariable, la balanza de resorte sirve para medir la masa. Cuando la masa no varía podemos usarla para medir la aceleración.

Si fijamos una bola al extremo de una balanza de resorte y sujetamos el otro cabo al eje de una mesa giratoria, la tensión del muelle permanece inalterable mientras no se imprima movimiento al conjunto; la bola tiene masa pero no aceleración. Si ponemos la mesa en movimiento veremos cómo la balanza de resorte empieza a señalar cierta tensión debido a que la bola, pese a girar a una velocidad constante, cambia continuamente de dirección. Es decir, sufre una aceleración en sentido centrípeto; de otra manera no describiría una curva cerrada, sino que seguiría una línea recta y se escaparía por la tangente. Cuando no existe apenas una fricción que lo impida, la aceleración es proporcional a la velocidad multiplicada por sí misma y dividida por la longitud del radio. En los días de Galileo no existía ningún cañón capaz de lanzar sus proyectiles más allá de unos centenares de metros en sentido horizontal ni de alcanzar una altura superior a unas decenas de metros. Al considerar a la Tierra como una superficie plana

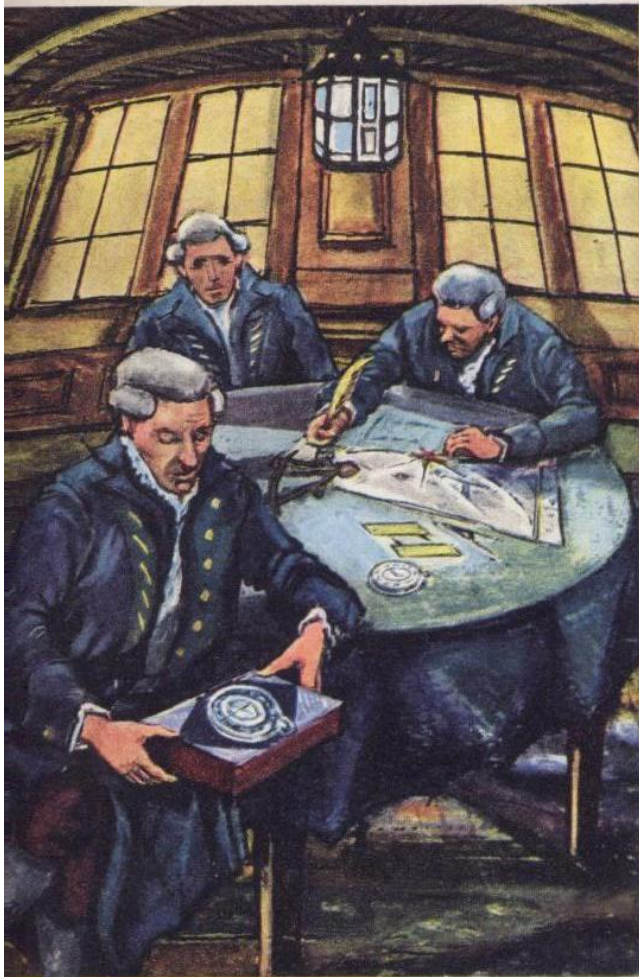


Navegando en buques como éste, los hombres de aquel tiempo descubrieron nuevos continentes; en cambio, no supieron determinar su posición en el océano.



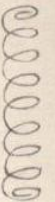
Si en Greenwich son las 9, y en alta mar el reloj marca las 6, el navegante sabe que se halla a 3 horas (45°) al oeste de Greenwich.





Cook determinó la longitud gracias al cronómetro ideado por Harrison.

en la cual la fuerza de gravedad se ejerciera en ángulo recto con respecto a todos sus puntos, Galileo cayó en un error cuando intentó calcular la trayectoria de un proyectil. Tal error era disculpable en aquel tiempo, pero hoy no podemos dejar de ignorar las causas que determinan el comportamiento de los modernos proyectiles destinados a alcanzar enormes distancias y alturas. No podemos desconocer por más tiempo que todo cuerpo lanzado hacia el espacio sufre constantemente un cambio de dirección debido a la atracción de la tierra. Tanto más, cuanto que los experimentos realizados con el péndulo y con la balanza de resorte nos han demostrado las diferencias que existen en cuanto a la fuerza de gravedad medida en la llanura o en lo alto de una montaña.



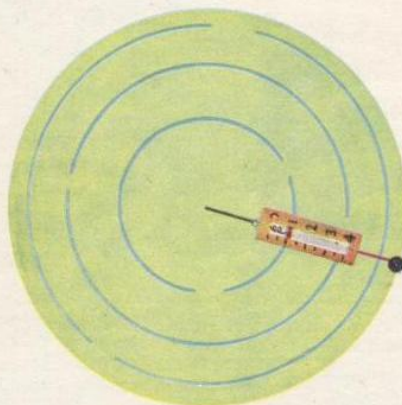
He aquí dos bolas con la misma masa. Al soltarlas, la de la derecha adquirirá una aceleración de $9,81 \text{ m por seg}^2$. La de la izquierda conseguiría solamente la mitad de dicha aceleración.



$$v4, \quad r1, \quad a16$$

$$4 \times 4 : 1 = 16$$

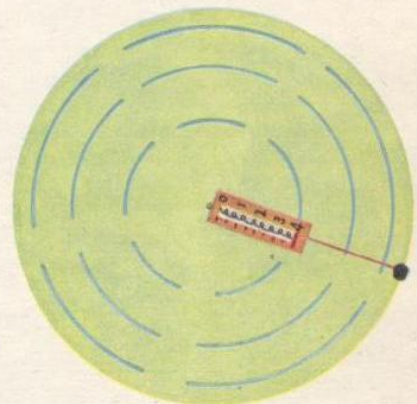
(a16 = en la balanza $\frac{1}{4}$)



$$v4, \quad r\frac{1}{2}, \quad a32$$

$$4 \times 4 : \frac{1}{2} = 32$$

(a32 = en la balanza 1)



$$v8, \quad r\frac{1}{4}, \quad a128$$

$$8 \times 8 : \frac{1}{4} = 128$$

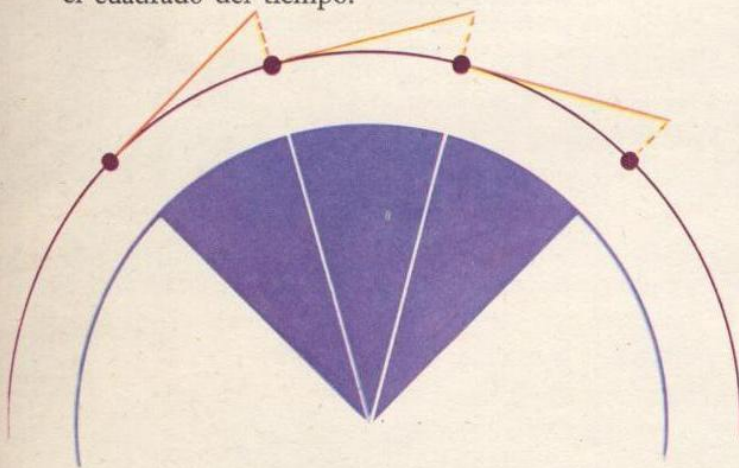
(a128 = en la balanza 4)

Una bola que gire velozmente sobre una superficie plana sufre una aceleración centrípeta: $\text{aceleración} = \text{velocidad} \times \text{velocidad} : \text{radio}$ ($a = \frac{v^2}{r}$)

Un objeto disparado con suficiente fuerza para sobrepasar las últimas capas atmosféricas seguiría indefinidamente dando vueltas a la Tierra debido al insensible pero constante cambio de dirección ejercido por la fuerza de gravedad.

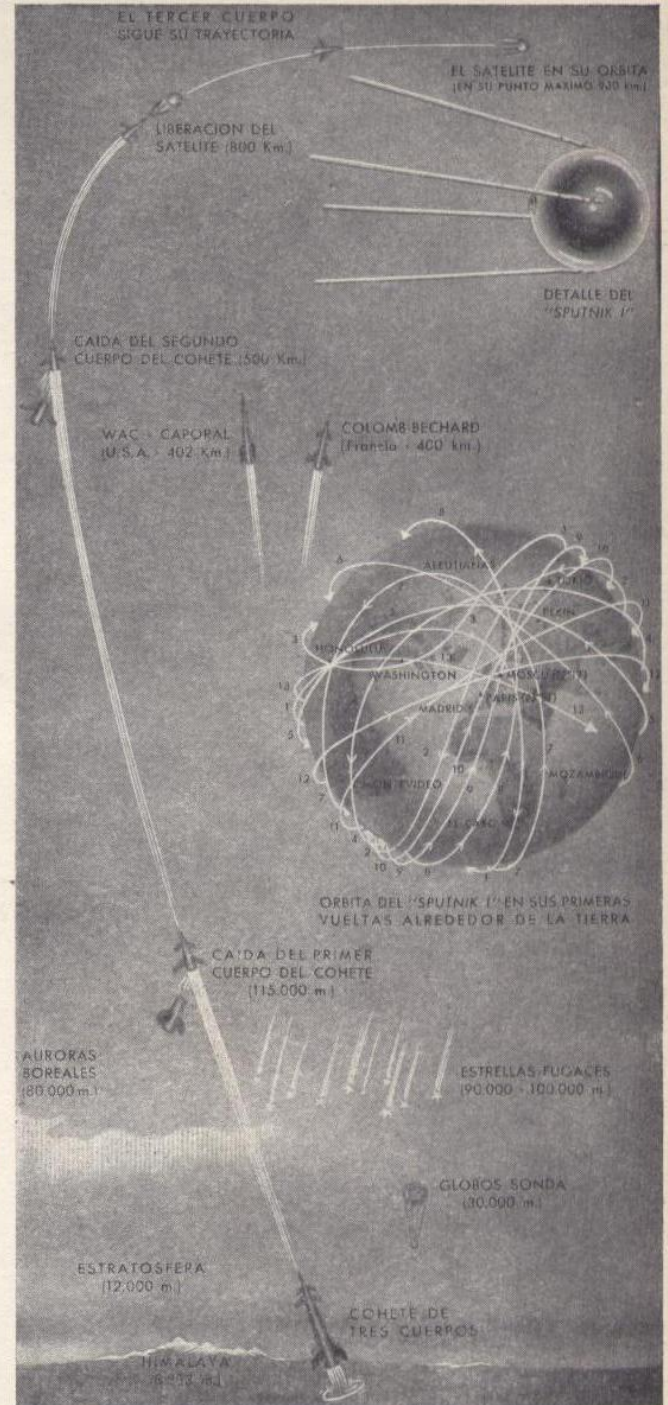
A principios del siglo XVII, Kepler descubrió que el cuadrado de los tiempos empleados por dos planetas en recorrer su órbita, se hallan en la misma proporción que su distancia media al Sol elevada al cubo.

Hemos visto ya que cuando un cuerpo se desplaza con movimiento circular, una fuerza constante le atrae hacia el centro y que su aceleración hacia dicho centro equivale al cuadrado de su velocidad dividido por la longitud del radio. Su velocidad, desde luego, equivale a la circunferencia de aquel mismo círculo dividida por el tiempo que tarda en su revolución; la circunferencia, a su vez, es siempre proporcional al radio. Por lo tanto la aceleración es proporcional al mencionado radio, dividido por el cuadrado del tiempo.



El constante cambio de dirección ejercido por la fuerza de gravedad mantiene al proyectil en una órbita circular.

La ley de Kepler debe interpretarse, pues, en el sentido de que la fuerza de atracción del Sol sobre los planetas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que le separa de los mismos. Fueron varios los científicos que comprendieron que las fuerzas de atracción mutua de los distintos cuerpos, entre ellos la Tierra y la Luna, o la Tierra y un proyectil, habrían de seguir la ley de Kepler. Newton confirmó tales creencias y, sin proponérselo, sentó las bases que habían de hacer posible el lanzamiento de un satélite artificial.



El 4 de octubre de 1957 los científicos rusos, dirigidos por los profesores Sedov y Blogonravov, vieron coronados sus esfuerzos con el lanzamiento del primer satélite artificial. El «Sputnik I», una esfera de 58 cm. de diámetro y 83 kg. de peso provista de dos emisoras de radio y otros muchos aparatos de medida fué lanzada en su órbita, a 900 km. de altura, mediante un potente proyectil de tres cuerpos impulsado, seguramente, por la energía liberada por la fisión del átomo de hidrógeno.

Un mes más tarde, el 3 de noviembre, lanzaron el «Sputnik II» cuyo peso era de más de 500 kilos. Alcanzó la altura de 1.500 km.; su forma era alargada y llevaba un perro, con el fin de observar en él las reacciones de los organismos vivos a tal altura y velocidad, y expuestos a las radiaciones cósmicas y solares.

La órbita de ambos satélites es elíptica, y forma un ángulo de 65 grados con el ecuador. Ahora bien, como la Tierra gira a su vez sobre sí misma, y dada la diferencia de velocidad entre esta rotación y el movimiento del satélite, se produce el curioso arabesco que muestra el gráfico.



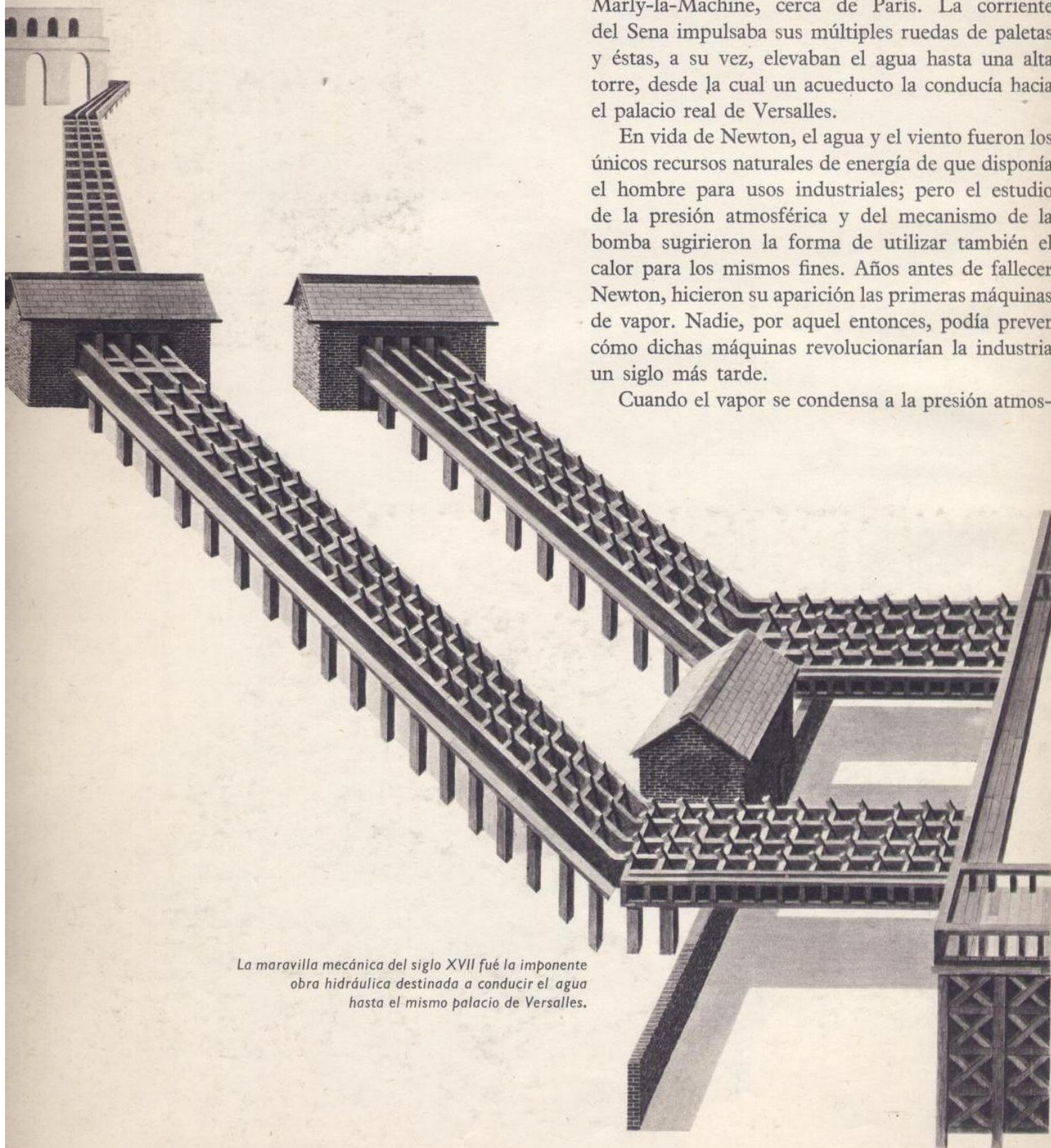
Calor y energía

CUANDO NEWTON DEMOSTRÓ que la misma fuerza que hace caer la bala de un cañón es la que mantiene fija en su órbita a la Luna, no existía la más remota idea de lanzar al espacio un satélite artificial. En el siglo de Newton, el mayor avance técnico había sido el reloj perfeccionado, y el más notable ingenio para aprovechar las fuentes naturales de energía la gigantesca máquina hidráulica que se construyó en Marly-la-Machine, cerca de París. La corriente del Sena impulsaba sus múltiples ruedas de paletas y éstas, a su vez, elevaban el agua hasta una alta torre, desde la cual un acueducto la conducía hacia el palacio real de Versalles.

En vida de Newton, el agua y el viento fueron los únicos recursos naturales de energía de que disponía el hombre para usos industriales; pero el estudio de la presión atmosférica y del mecanismo de la bomba sugirieron la forma de utilizar también el calor para los mismos fines. Años antes de fallecer Newton, hicieron su aparición las primeras máquinas de vapor. Nadie, por aquel entonces, podía prever cómo dichas máquinas revolucionarían la industria un siglo más tarde.

Cuando el vapor se condensa a la presión atmos-

La maravilla mecánica del siglo XVII fué la imponente obra hidráulica destinada a conducir el agua hasta el mismo palacio de Versalles.

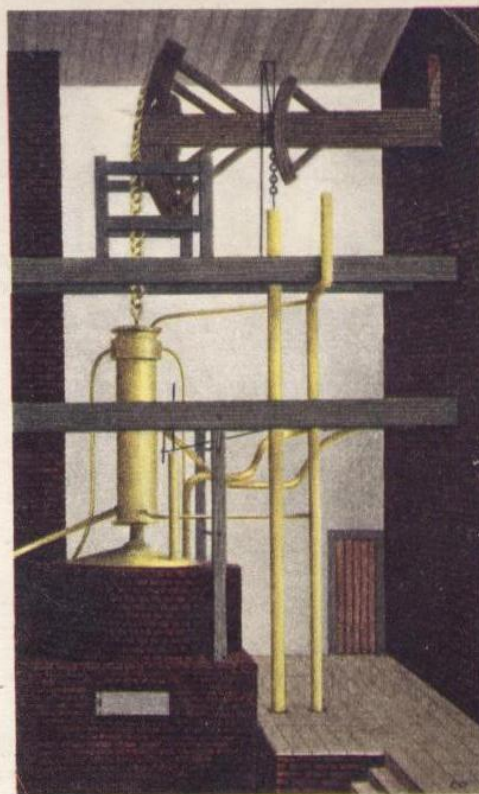


férica, el volumen de agua producido es relativamente pequeño. Entonces, es posible practicar un vacío parcial empleando el vapor para desplazar el aire de la cámara y luego enfriarlo para que se condense. Dicho vacío actuará, aspirando, como una bomba en inversión. Fueron varios los que vieron la posible aplicación de este nuevo ingenio para achicar el agua de las minas. Entre ellos, quien más lo perfeccionó fué Newcomen en 1712.

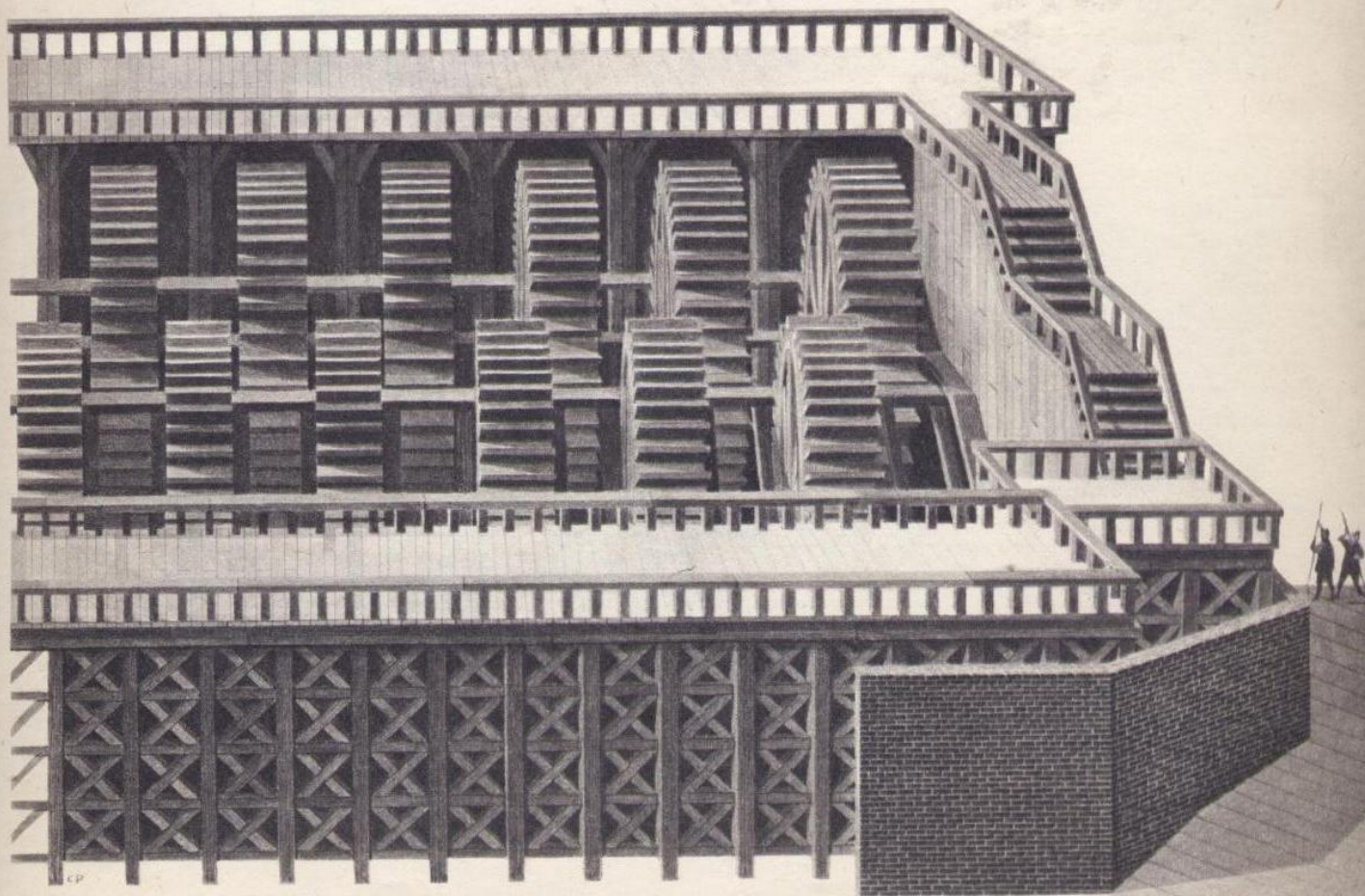
Las partes esenciales de la máquina de vapor inventada por Newcomen eran la caldera y, anexo verticalmente a la misma, el pistón unido al mango de la bomba. En la parte inferior del pistón, un estrecho tubo admitía una corriente de agua fría al final de cada carrera. Esto creaba un vacío parcial al condensar el vapor tanto en la caldera como en el pistón. Entonces, el peso del aire empujaba el émbolo hacia abajo. Naturalmente, el agua perdía el punto de ebullición a cada carrera, siendo necesario que lo recuperase para repetir el proceso.

Tras este primer invento de Newcomen, hubo de pasar medio siglo antes de que viéramos un nuevo avance en el uso del vapor para fines industriales.

Es creencia general que James Watt fué el in-



La primera aplicación de la máquina de Newcomen, fué la de achicar el agua en las minas de estaño.





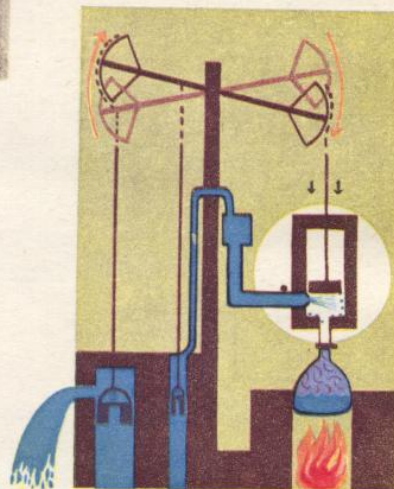
James Watt se propuso construir una máquina en la que no se perdiera ni la más mínima partícula de vapor.



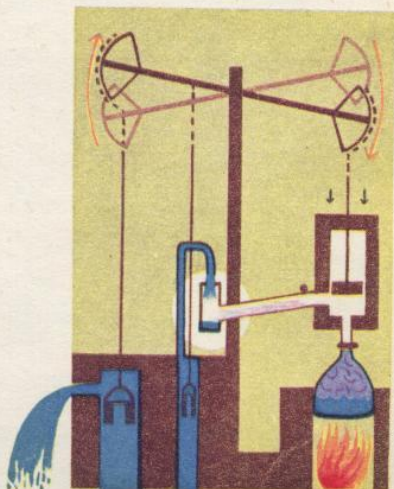
ventor de la máquina de vapor, cuando lo cierto es que Watt construyó la primera caldera capaz de hacer girar las ruedas de la industria. Hacía ya cincuenta años que se empleaban las máquinas de Newcomen, aunque limitadas a cumplir una sola función: la de extraer agua de las minas que de otro modo se habrían inundado. Durante la primera mitad del siglo XVIII, los únicos aparatos capaces de mover la pesada maquinaria fueron los molinos de agua y de viento.

En 1763, Watt, constructor de aparatos de precisión para la Universidad de Glasgow, fué llamado para reparar una máquina del tipo Newcomen. Mientras lo hacía, observó las grandes desventajas de aquel aparato, entre las cuales cabía destacar el procedimiento empleado para recalentar la cámara cada vez que el chorro de agua fría era lanzado al pistón para condensar el vapor. Pensó entonces añadir una cámara separada provista de una bomba para aspirar dicho vapor y refrigerarlo hasta su condensación. Con ello no sólo se ahorraba combustible, sino que se acortaba considerablemente el tiempo promedio entre dos carreras.

Esta máquina, mucho más económica que la de Newcomen, atrajo muy pronto el interés de los fabricantes de Birmingham, que previeron un sinnúmero de posibilidades para la industria de su



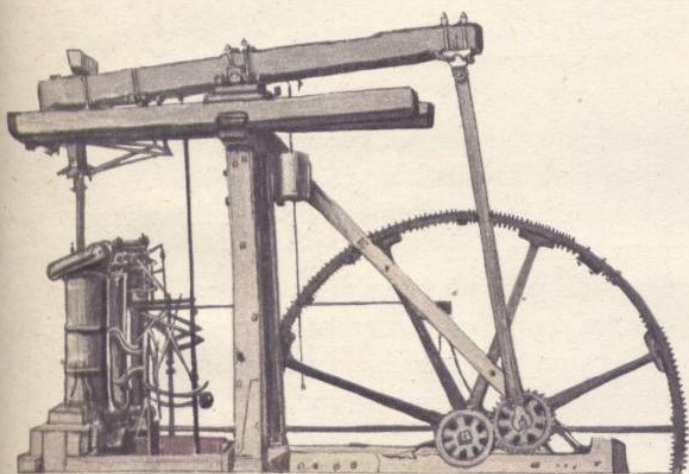
En la máquina de Newcomen el agua fría condensaba el vapor, el pistón debía calentarse de nuevo.



Adaptándole un condensador separado, Watt evitó la pérdida de calor y economizó combustible.

país. Boulton y Roebuck formaron sociedad con Watt para la construcción de su nuevo modelo de máquinas de vapor. La economía y la eficiencia de estos aparatos interesó muy pronto a muchos propietarios de minas. Pero durante años, la empresa no vendió su producto; lo explotaba por un sistema de primas. La sociedad suministraba máquinas a cambio de recibir un tercio del valor del combustible ahorrado, y a los veinticinco años la máquina quedaba en propiedad del comprador.

Al igual que las de Newcomen, las nuevas máqui-

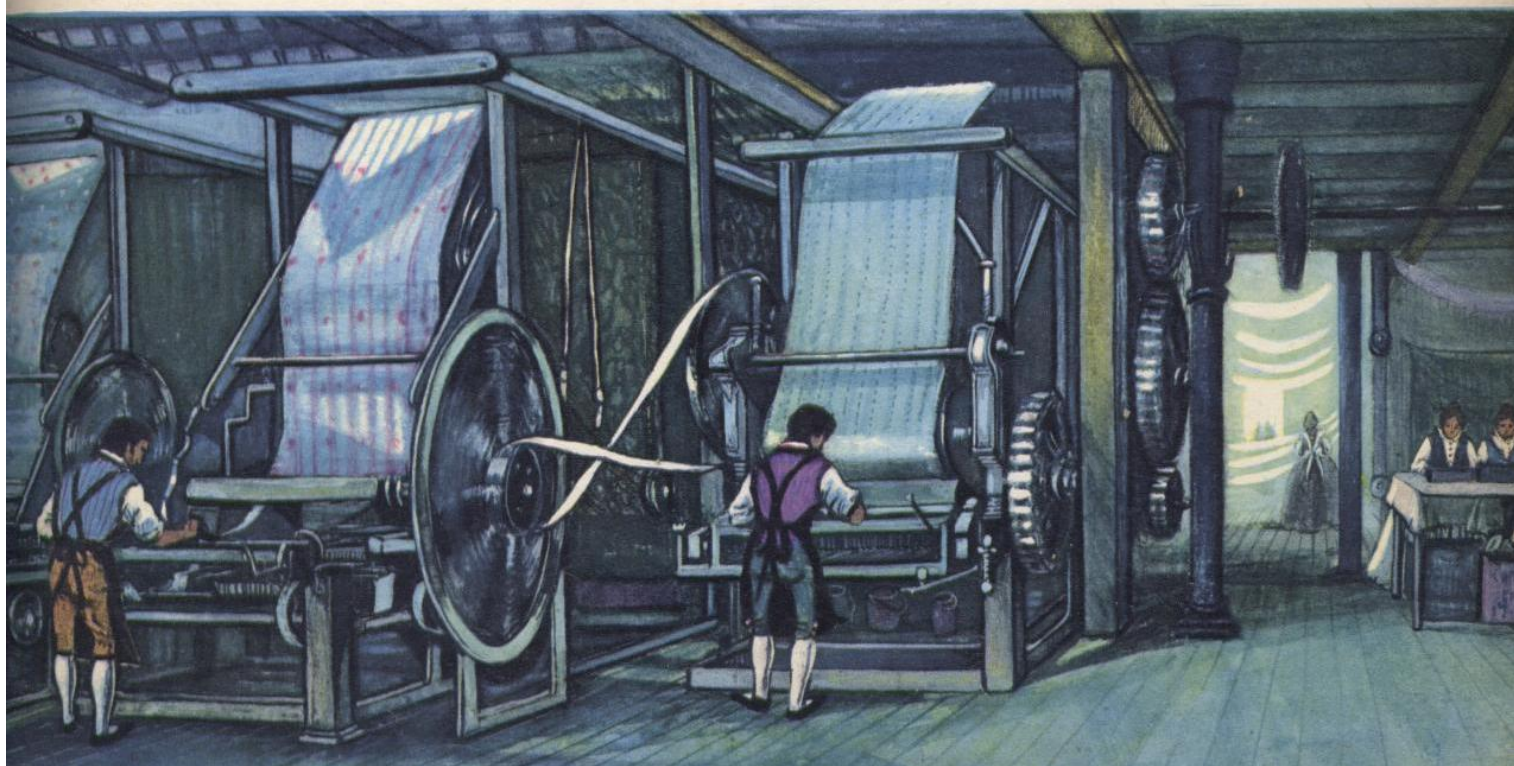


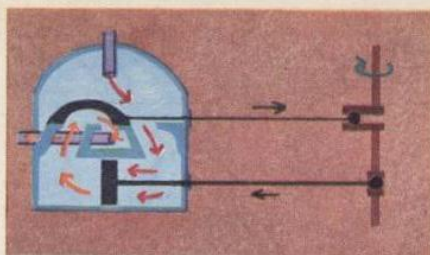
Sistema de volante y bielas, para obtener el movimiento de rotación.

nas no aprovechaban la presión directa del vapor, sino que se valían del vacío parcial originado en la cámara separada, por efecto de la condensación. La presión atmosférica obligaba entonces al émbolo a descender y, por inercia, a dar el impulso necesario para la siguiente carrera. Así, pues, era la atmósfera la que realizaba el trabajo, y por eso la gente empezó a llamar «máquinas de aire» a tales ingenios.

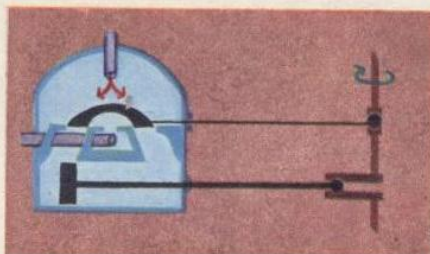
En 1777, había máquinas de Watt en casi todas las minas, pero resultaba obvio que podían realizar otros trabajos. Las máquinas de Newcomen eran demasiado lentas y pesadas para mantener una rueda en movimiento. Con las de Watt no ocurría lo mismo y los ingleses, ávidos de explotar esta fuente de energía supieron aprovechar la ocasión. En 1780, otro inventor patentaba la biela, con objeto de convertir el vaivén del pistón en un movimiento giratorio. Esto obligó a Watt y a sus seguidores a buscar otras ideas para accionar una rueda con el menor espacio posible. Entre otros, el procedimiento más original fué el basado en un plato dentado y un satélite.

Los talleres que empleaban el agua como fuente de energía no solían constituir núcleos fabriles importantes. Pero la máquina de vapor hizo posible la erección de grandes factorías en aquellos puntos de fácil acceso al combustible. Y muy pronto, junto a las regiones mineras de Europa, se levantaron grandes plantas industriales, sobre todo manufacturas de tejidos.

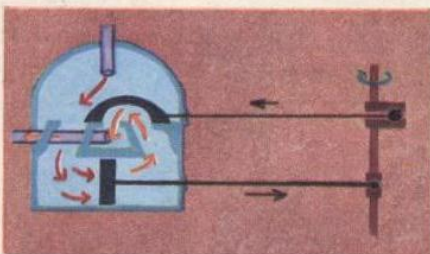




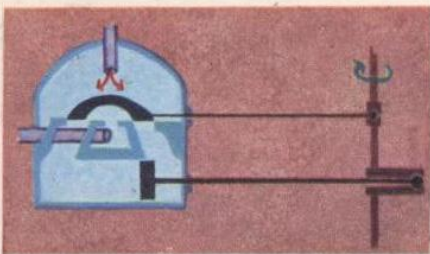
El vapor empuja el émbolo hacia la izquierda, salen los gases quemados y gira el cigüeñal.



El cigüeñal arrastra la válvula y cierra las lumbreras. El émbolo gira aún por inercia.



El émbolo empujado hacia la derecha, da salida a los gases anteriores y actúa sobre el cigüeñal.



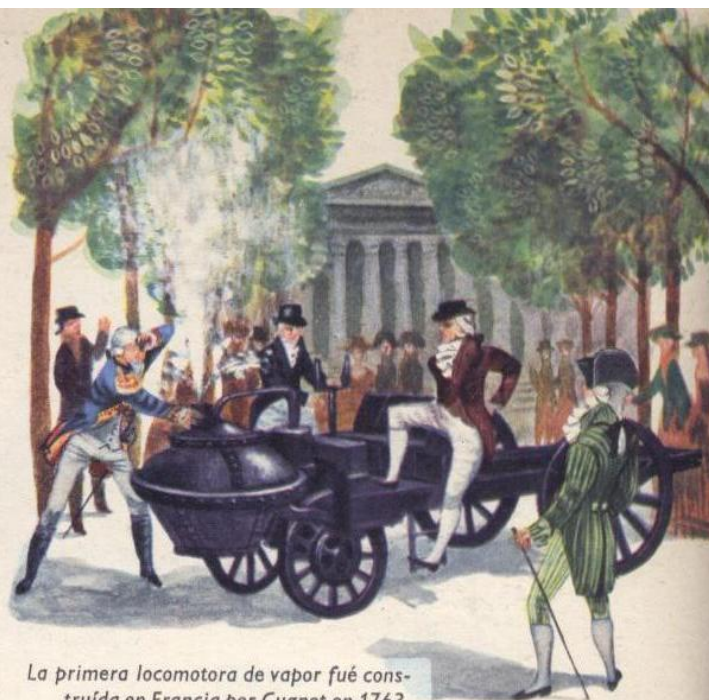
El cigüeñal lleva de nuevo la válvula hasta cubrir las dos lumbreras y se repite el proceso.



Regulador centrífugo.

Entre 1775 y 1800 la Compañía Watt suministró en Inglaterra unas quinientas máquinas de vapor; sin embargo, quedaban inmensas zonas del país en las que el agua continuaba moviendo la maquinaria. Las máquinas de vapor requieren carbón, y el transporte desde las minas hasta el punto de consumo constituía un lento y antieconómico proceso. A la nueva era mecánica debía seguir inexorablemente, un mejor y más rápido transporte.

Si una máquina de vapor podía hacer girar una rueda, era lógico ver en ella un posible medio de tracción; quedaban, empero, dos problemas por re-



La primera locomotora de vapor fué construída en Francia por Cugnot en 1763.

solver antes de que pudiera arrastrar su propio peso. El primero consistía en que un condensador separado necesitaba un suministro de agua fría constante y, naturalmente, era imposible acarrear la cantidad necesaria para un largo viaje; el otro era debido a que los complicados engranajes de los modelos primitivos no permitían imprimir a las ruedas un movimiento suficientemente rápido y regular para la propulsión del vehículo.

La máquina de vapor de doble efecto, patentada en 1781 por Hornblower y en 1782 por Watt, puso fin a ambas dificultades. Un aparato de este tipo no depende de la presión atmosférica, sino que la fuerza del vapor es la que actúa directamente en uno y otro lado del pistón, y puesto que el vapor escapa en el aire ya no es necesario refrigerar la cámara del émbolo.

Al prescindir del condensador se acelera la acción del pistón y por consiguiente de la biela y de la rueda motriz; sin embargo, la elevada presión interna de la caldera constituía un riesgo. Entonces, Watt ideó el regulador centrífugo para evitar la posible explosión: un eje vertical conectado a la caldera da vueltas a medida que la presión del vapor aumenta. Cuando el eje gira con rapidez, dos pesadas bolas adaptadas al mismo se levantan y arrastran consigo un manguito que abre la válvula, por la cual escapa el vapor sobrante. Así quedaba resuelto el transporte mecánico.

En 1773, el francés Nicolás Cugnot había construído ya el primer vehículo a vapor, pero esta locomotora, capaz de recorrer 40 km por hora, no podía rodar más que quince minutos a causa de la poca



El primer ferrocarril de vapor a alta presión fué construído en Inglaterra por Trevithick, en 1802.

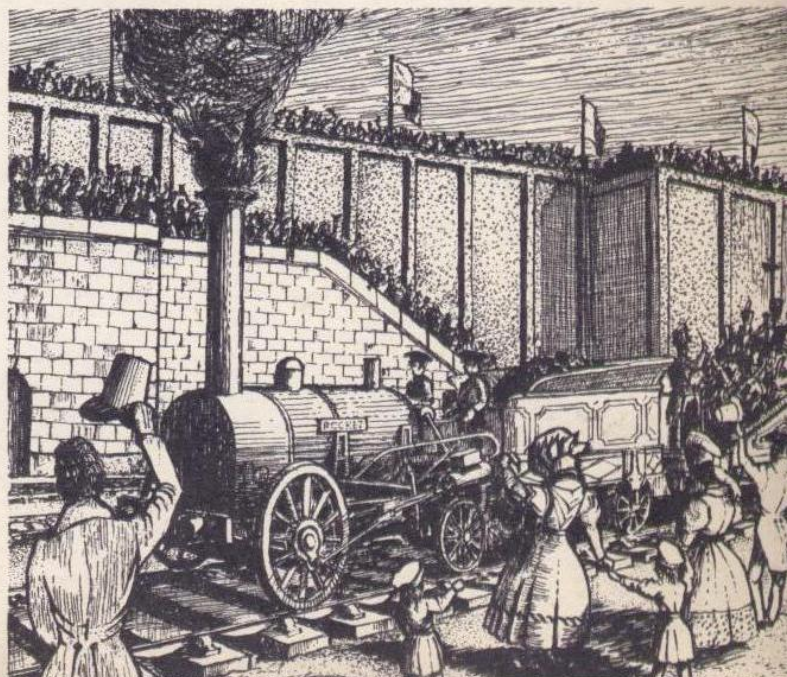
capacidad de su caldera. El aprovechamiento de la fuerza directa del vapor impulsó la construcción de nuevos sistemas de transporte por mar y tierra. Richard Trevithick patentó la primera locomotora en 1802, en Inglaterra, pero el primer buque comercial y de pasajeros movido por vapor entró en servicio en 1807, en el río Hudson, en América. En 1812, un tren de carga con treinta vagones recorría las tres millas que separan las minas de carbón de la ciudad de Leeds. Y el día 15 de septiembre de 1830, la primera locomotora de vapor ponía en marcha un tren de pasajeros desde Liverpool a Mánchester.

¿A qué es debido que los diseñadores de las primeras locomotoras, barcos y máquinas de vapor emplearan precisamente este elemento para imprimir el movimiento de vaivén al pistón? Por aquel tiempo, todos los inventores conocían el simple principio en que se basan los molinos de agua. En ellos, la fuerza del salto empuja directamente las palas de la turbina; en teoría, pues, un chorro de vapor debía actuar de igual manera. Sin embargo, eran muchos los problemas técnicos a resolver antes de que pudiera construirse una turbina de vapor.

La producción en masa del acero estaba todavía en sus principios, y la técnica de fundir una rueda era aún desconocida. Por consiguiente, la turbina de



El «Clermont», primer buque comercial a vapor, surcó el río Hudson en 1807.



El «Rocket», primer tren de pasajeros, salió de Mánchester el 15 de septiembre de 1830.

vapor que habría de sustituir la máquina a pistón en la industria y en la navegación, no apareció hasta un siglo más tarde.

Cuando Boulton y Watt instalaban una nueva máquina, cobraban un porcentaje sobre el combustible ahorrado. A medida que la producción aumentaba, Watt creó una unidad de medida para sus máquinas: el caballo de vapor (H.P.). Dicha unidad representaba el esfuerzo que supone levantar en un segundo 75 kgs. de peso a un metro de altura.

Como el carbón no siempre es de igual calidad, la cantidad consumida no constituye un índice del rendimiento de una máquina de vapor, pero en tiempos de Watt los hombres de ciencia empezaron a medir el calor con mayor precisión, por ejemplo, buscando bajo qué circunstancias afectaba la fusión de una cantidad determinada de hielo. Para ellos, era la única forma de saber lo que hoy nosotros entendemos por temperatura.

El líquido contenido en un termómetro siempre alcanza el mismo nivel cuando sumergimos su extremo en agua hirviendo, e igualmente desciende hasta el mismo punto si lo introducimos en el hielo. Dos termómetros graduados con idéntica escala registrarán la misma temperatura si se colocan juntos en cualquier líquido, sea a temperatura superior al hielo fundido o inferior a la del agua hirviendo. En la escala correspondiente a los grados centígrados,



Sistema esquimal para encender el fuego; el movimiento se convierte en calor.



Galileo demostró la dilatación del aire.

Verted un líquido a la temperatura del hielo en fusión en un tubo de ensayo. Llenad otro a igual nivel con otro líquido a idéntica temperatura.



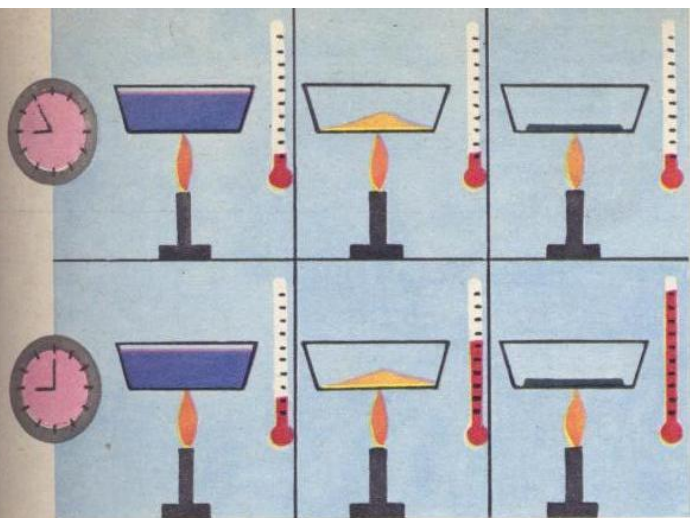
Sumergid dichos tubos de ensayo en agua hirviendo: el primer líquido se elevará en x cm; el segundo, en y cm.



Disponedlos luego en hielo fundente. El primero caerá x cm; el segundo, descenderá y cm.



Al colocar de nuevo ambos tubos en agua tibia, el primero se elevará $0,4 x$ cm; el segundo, subirá $0,4 y$ cm.



El calor necesario para aumentar en 1°C una libra de agua, elevará 5°C la de una libra de arena y 9°C la de una libra de hierro.

los puntos fijos para la fusión del hielo y la ebullición del agua corresponden al 0° y 100° (C), respectivamente; en la escala Fahrenheit, corresponden a 32° y 212° (F).

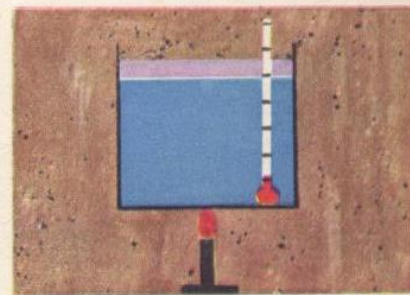
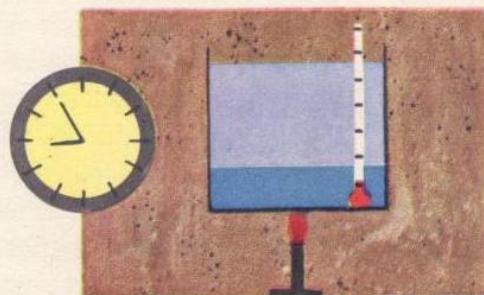
Si para disolver cierto volumen de hielo se necesita un litro de agua tibia, para disolver doble cantidad necesitaremos dos litros. Empleando petróleo a la misma temperatura haría falta mayor cantidad. O sea, que el poder calorífico depende, además de la temperatura, de la masa y de la naturaleza química de los cuerpos. La unidad térmica que utilizamos hoy es la caloría. Equivale a la centésima parte del poder calorífico perdido por un gramo de agua al bajar su temperatura desde los 100° hasta 0° C.



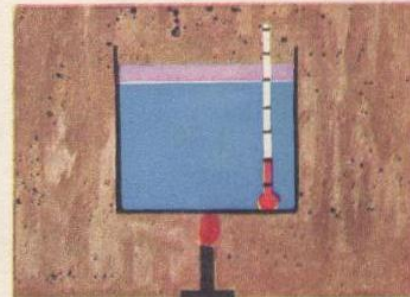
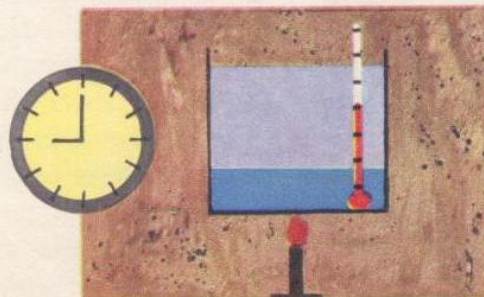
Durante el día la temperatura se eleva con mayor rapidez en la tierra que en el mar. La dirección del viento corresponde a las flechas rojas. Por la noche el proceso se invierte (flechas azules).

Para medir el poder calorífico en calorías es preciso saber que el descenso de temperatura de 100 g de agua caliente es tres veces superior al aumento de temperatura de 300 g de agua fría mezclada con aquella. Si consideramos que la pérdida de calorías por el agua caliente es igual al aumento de calorías por parte del agua fría para alcanzar la misma temperatura, podremos calcular fácilmente cuál será esta temperatura final. Por ejemplo, 100 g de agua a 70° C, mezclados con 300 g a 10° C, alcanzan una temperatura de 25° C. El agua caliente descende $(70 - 25)^{\circ} = 45^{\circ}$ y pierde $45 \times 100 = 4500$ calorías. El agua fría se eleva $(25 - 10)^{\circ} = 15^{\circ}$ y aumenta $15 \times 300 = 4500$ calorías. Llamemos T a la tem-

He aquí dos recipientes: el primero contiene un litro de agua; el segundo tres litros a la misma temperatura.



El calor necesario para elevar en 3°C la temperatura del primer recipiente, aumentará solamente en 1°C la del segundo.





Mediante la caída de un peso que haga girar un tambor dentro del agua, puede medirse el trabajo mecánico en relación con la caída y el calor producido en el interior de dicho recipiente.



7 litros en el primer recipiente, 1 en el segundo, 6 en el tercero.



El primero hierve. El segundo se evaporó. El último sigue frío.



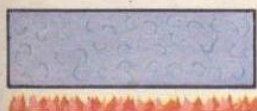
Pero si conducimos el vapor del segundo al tercero, éste acabará por contener 7 litros y hervirá al mismo tiempo que el primero.

peratura final. Si mezclamos 30 g de agua a 80°C , con 3 g a 14°C el agua caliente descenderá $(80 - T)^{\circ}$ perdiendo $30(80 - T)$ calorías, y la fría subirá $(T - 14)^{\circ}$ aumentando $3(T - 14)$ calorías. Si $30(80 - T) = 3(T - 14)$, $33T = 2442$ y $T = 74$.

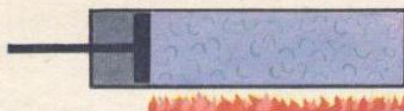
Las máquinas de vapor trabajan con combustible. Es decir, su acción consiste en convertir el calor en trabajo. Asimismo, podemos afirmar que el trabajo puede convertirse en calor. Desde tiempos remotos, el hombre comprobó que cuando trabaja, las herramientas se calientan. Hoy sabemos que ello es debido al roce o fricción. Esta fué la primera forma, la más elemental para encender el fuego.

Si una máquina da un rendimiento determinado para una cantidad fija de calor, consecuencia natural es que también exista cierta relación entre un determinado rendimiento vital y la cantidad de trabajo que se pierde por fricción. Cuando Newcomen inventó su bomba de vapor, no se dió cuenta de ello por dos razones elementales. Primera, porque el poder calorífico sólo era considerado como algo capaz de aumentar la temperatura de un cuerpo. Cuando se pudo medir el grado de calor y considerarlo como temperatura, los hombres de ciencia vieron que el agua permanece invariable desde que se inicia la ebullición hasta la evaporación. A primera vista parece como si el combustible consumido dejara de proporcionar poder calorífico; como si parte del calor dejara de ser efectiva.

Sin embargo, Joseph Black demostró que tal fenómeno no se produce en la realidad. Cuando el agua, a los 100°C se convierte en vapor a 100°C , dicho vapor eleva la temperatura del agua fría. Y si realizamos este experimento veremos cómo el calor así transmitido es el mismo que parece haberse per-



En un recipiente cerrado, el vapor no puede dilatarse.



En este caso el mismo volumen de vapor a igual temperatura se dilata.



El aumento de calor obliga a subir más la temperatura.

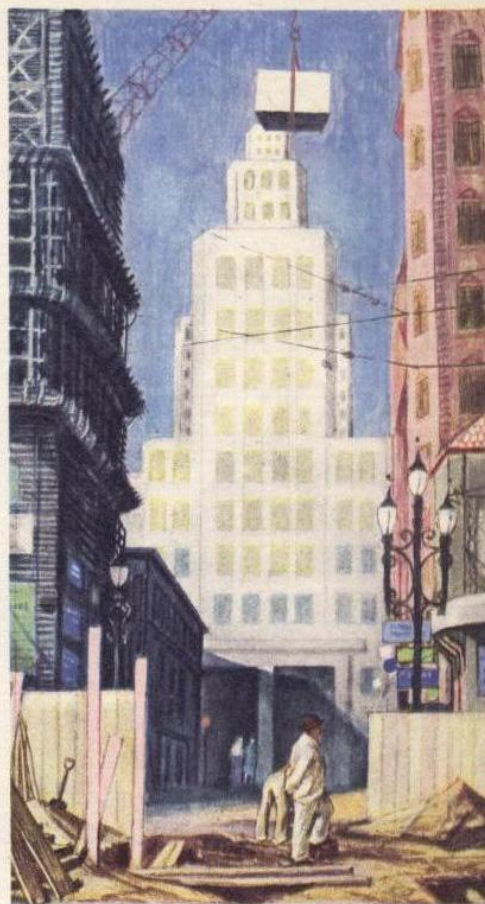


Aquí el aumento es mínimo, pero el vapor se dilata y empuja el émbolo.

dido a partir del momento de la ebullición. Midiendo el poder calorífico acumulado en el vapor veremos que representa seis veces las calorías necesarias para convertir en vapor el agua hirviendo, tomando como base las que son precisas para producir el mismo efecto a partir de la temperatura ambiente.

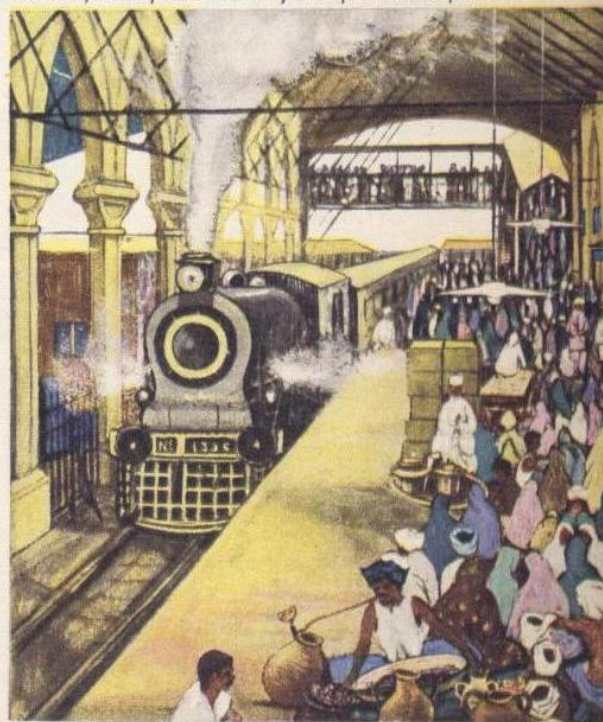
Mientras los termómetros no alcanzaron la perfección de los actuales, los científicos tenían una segunda razón para dudar de la existencia de una relación fija entre el calor y el trabajo. En efecto, creían que un salto de agua, por ejemplo, no generaba calor a pesar del roce con las rocas. En 1830, el inglés Joule intentó medir la temperatura de las aguas de una cascada sin que hallara la menor diferencia entre el curso superior y el inferior de la misma. Hoy en día, en cambio, ha sido posible establecer esta diferencia casi inapreciable. Joule empleó la acción de un peso que al caer ponía en movimiento el tambor contenido en un recipiente lleno de agua y completamente aislado. Un peso de una libra desarrolla una energía de 32 unidades, medidas en pies y libras (aceleración $\times$ masa), o sea, de 320 unidades de trabajo para una caída de 10 pies. Con ello, la temperatura de una libra de agua se eleva menos de una centésima parte de grado centígrado.

Otra manera de medir el intercambio de unidades de trabajo y el aumento de calorías consiste en aplicar cantidades equivalentes de calor a dos cantidades iguales de vapor, una de ellas encerrada en una cámara estanca, y la otra en el cilindro de un pistón cuyo émbolo se desplace libremente y levante una carga. En seguida se aprecia cómo en esta segunda cámara, en la que el pistón ha realizado una cantidad determinada de trabajo, el aumento de temperatura ha sido inferior al de la cámara estanca.



El calor necesario para elevar una libra de agua desde 18° hasta 100°C levantaría 1000 kg de peso a 35 m.

Es imposible convertir todo el calor en trabajo. Una parte se pierde por radiación y otra por los escapes.



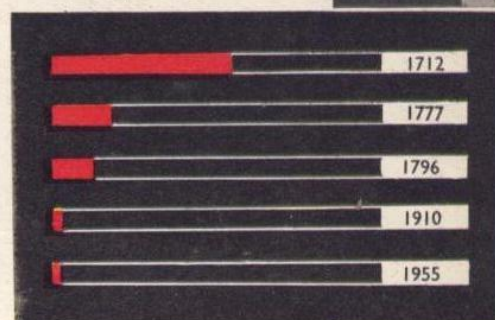
El trabajo realizado por el pistón puede medirse en kilográmetros y compararse con el aparente déficit de calorías.

De esta forma puede saberse con exactitud la cantidad de trabajo de que puede disponerse, en el supuesto de que sea posible aprovechar todo el poder calorífico del combustible.

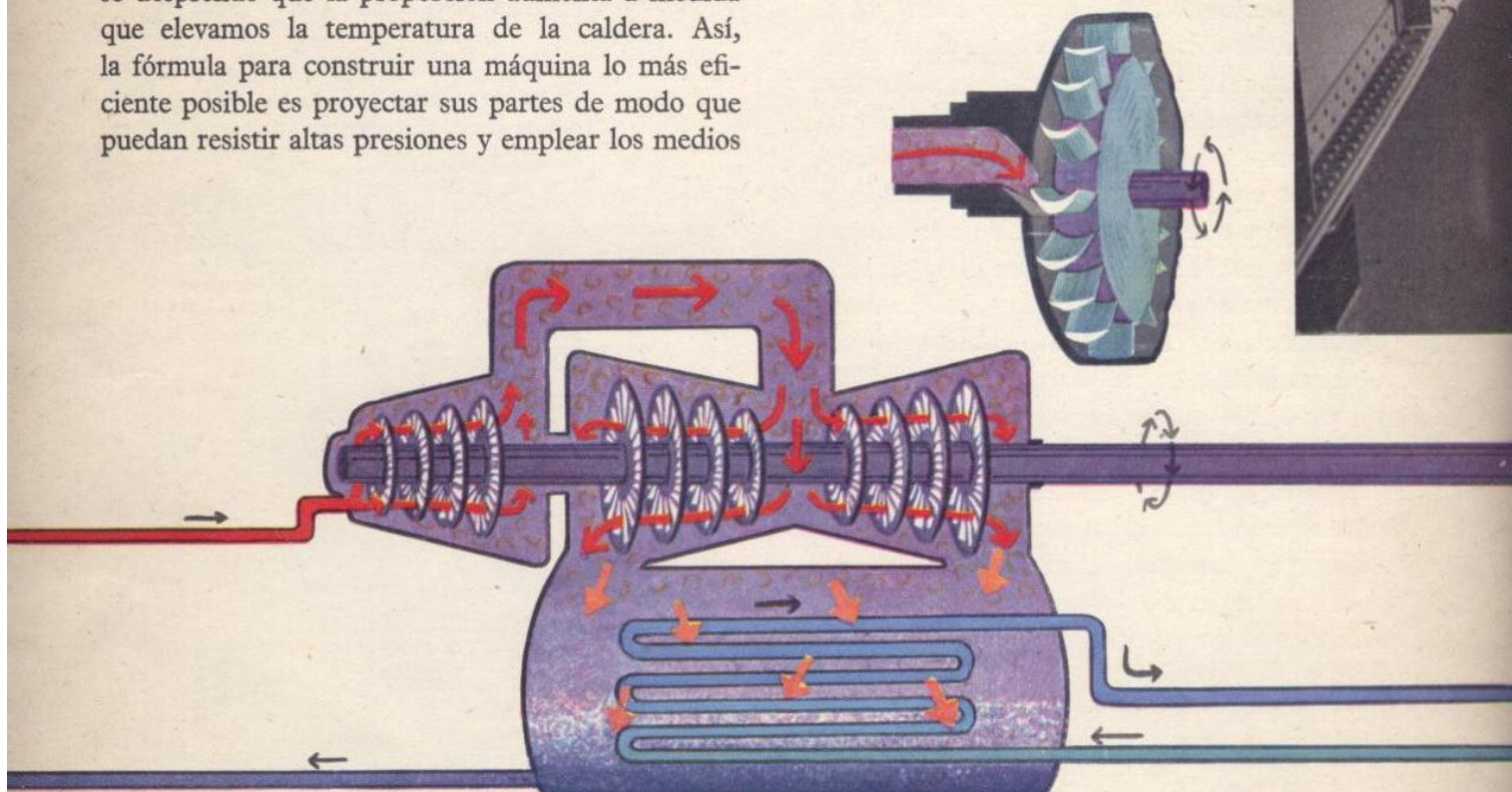
Cuando un peso acciona una rueda de paletas en el interior de una cámara de agua debidamente protegida para que no pierda calor, lo único que nos demuestra el trabajo realizado por ella es el cambio de temperatura. Cuando el vapor contenido en el cilindro de un pistón desciende hasta alcanzar la temperatura a la que una cantidad idéntica de combustible haría aumentar una masa equivalente de vapor en una cámara estanca, lo único que tenemos para comprobar el déficit del poder calorífico es el trabajo que el pistón pueda haber realizado. La proporción fija de poder calorífico conseguida para desarrollar un trabajo en la primera cámara corresponde al déficit de la misma proporción en cuanto a la capacidad de trabajo de la segunda.

Solamente una parte del poder calorífico del combustible puede proporcionar presión sobre el pistón o sobre los álabes de una turbina. De ello se desprende que la proporción aumenta a medida que elevamos la temperatura de la caldera. Así, la fórmula para construir una máquina lo más eficiente posible es proyectar sus partes de modo que puedan resistir altas presiones y emplear los medios

Las líneas rojas muestran el combustible consumido para un mismo trabajo en diferentes épocas.



MÁQUINAS	EFICIENCIA
Newcomen	1 %
Watt	3 %
Watt	4 %
Parsons	18 %
Modernas	38 %



El vapor a alta presión que penetra en la turbina hace girar los discos; luego, penetra a baja presión hacia una segunda cámara, donde realiza el mismo trabajo. De allí pasa a un condensador; un serpentín refrigerado lo convierte en agua para volver de nuevo a la caldera, repitiéndose todo el proceso.



Turbinas de vapor en una central eléctrica moderna.

de seguridad necesarios para evitar el efecto de la expansión súbita, causa frecuente de explosión.

Cuando los ingenieros se dieron cuenta de que la meta consistía en construir una caldera capaz de trabajar a elevadas temperaturas, comprendieron también la necesidad de conseguir una mejor calidad en los aceros así como estudiar su resistencia a la dilatación y contracción.

Resulta fácil comprender por qué no fué posible construir turbinas de vapor más eficientes que las de pistón hasta fines del siglo XIX, o sea hasta que se

logró la producción en masa de aceros y se simplificaron los procedimientos de moldeo. Al disponer de materiales adecuados, los ingenieros pudieron al fin diseñar las turbinas a vapor que pronto habían de emplearse para la obtención de energía eléctrica.

De no haber sido por la aparición de las turbinas, es indudable que hubiera resultado más laborioso el proceso de aprovechamiento de los grandes saltos de agua para la producción de electricidad. Pero la forma cómo se llegó hasta ello constituye tema suficiente para otro capítulo.



Una tempestad en miniatura

EN TIEMPOS DE WATT, el estudio de la electricidad estaba muy atrasado. Durante más de un siglo, no se había logrado ningún avance en este campo de la ciencia, ni se sabía mucho más de lo que nos legaron los antiguos griegos, es decir, que el ámbar (*electrón* en aquel idioma) atrae las partículas de polvo, las barbas de una pluma y otros objetos ligeros cuando se frota con un paño seco, seda o piel. Los hombres de ciencia contemporáneos de Newton, sabían que existen también otras sustancias en las que se observa el mismo fenómeno. De hecho, todos los cuerpos pueden producirlo, a condición de aislarlos del contacto de la mano. Así fué cómo se llegó a distinguir los cuerpos aislantes, o malos conductores, que retienen su poder de atracción después de frotados, y los buenos conductores, que pierden esta propiedad salvo que vayan provistos de un mango aislador.

Guericke, que vivió en tiempos de Newton, construyó una bola de azufre a la que daba vueltas con una manivela. Frotando dicha bola cuando rodaba se reproducían los fenómenos de atracción y de vez en cuando producía, además, un leve chasquido y una pequeña chispa. Se trataba, pues, de la primera máquina capaz de reproducir en miniatura los fenómenos de la Naturaleza. Animados ante esta novedad, otros investigadores construyeron aparatos más potentes hasta dar con uno en el que se



Franklin obtuvo resultados semejantes utilizando la electricidad atmosférica.

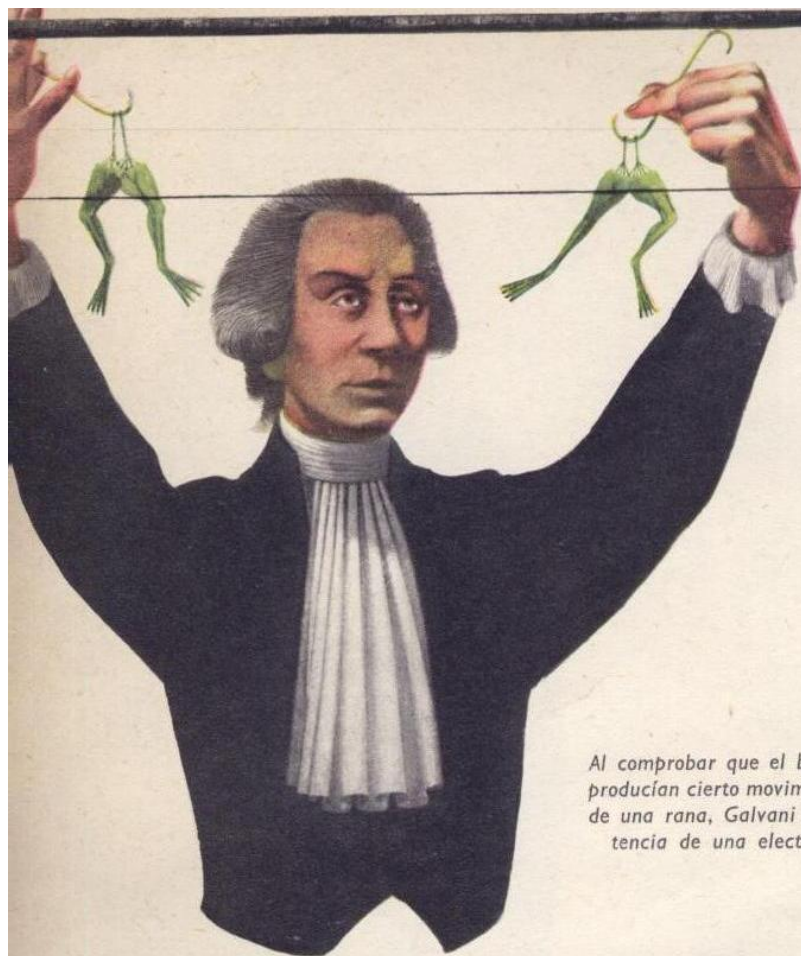
podía almacenar la energía desarrollada: la botella de Leiden. Cuando una botella de Leiden descarga repentinamente la energía acumulada, emite un fuerte chispazo seguido de una explosión.

Entre los que más se distinguieron en el estudio de los fenómenos eléctricos cabe citar a Benjamín Franklin, en los Estados Unidos. A Franklin le cupo el honor de realizar el primer intento eléctrico de su tiempo: el pararrayos. Naturalmente, hubo de demostrar primeramente que una tempestad no se diferencia en esencia de una máquina de Guericke, para lo cual se sirvió de una cometa sujeta a una cuerda húmeda, mediante la cual logró transmitir la electricidad de las nubes hasta el suelo.

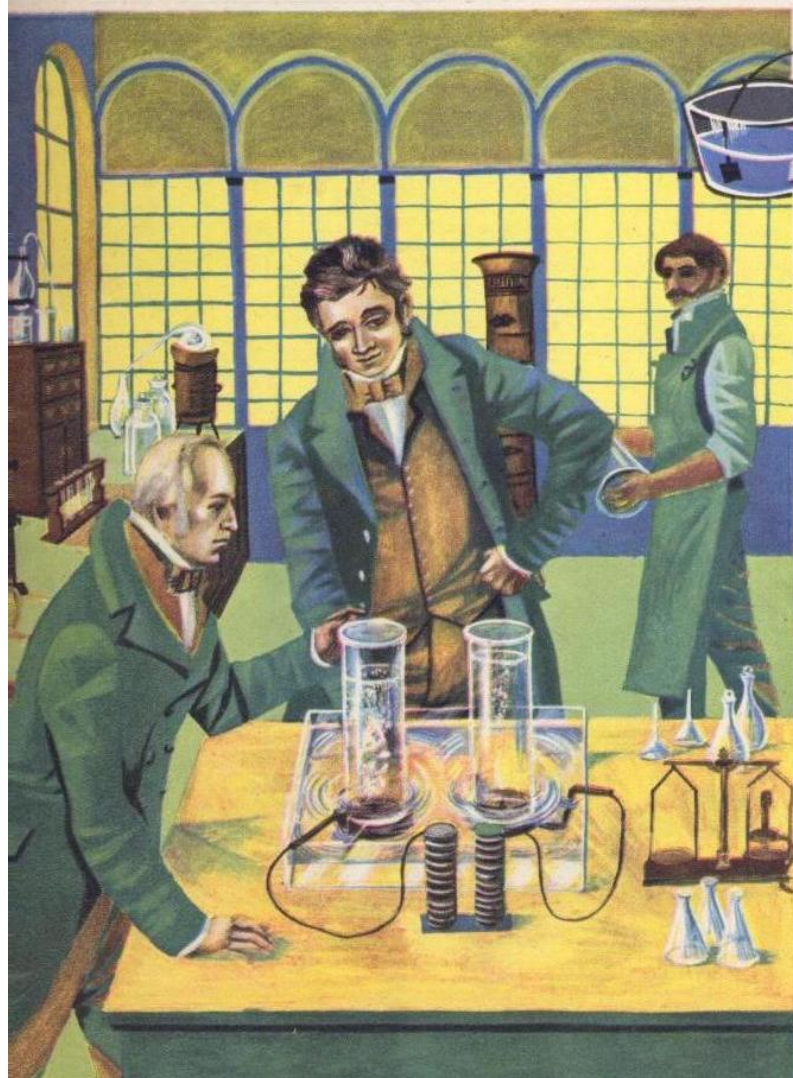
A fines de siglo, Galvani hizo un descubrimiento casual que haría posible un nuevo generador.



En la segunda mitad del siglo XVIII los científicos de toda Europa se dedicaron a experimentar los efectos de la nueva máquina electrostática. Gralath, burgomaestre de Danzig, demostró que la electricidad generada por el roce de la bola de azufre, conducida a lo largo de un tubo de metal y atravesando el cuerpo y una espada, podía encender de nuevo una vela recién apagada.



Al comprobar que el bronce y el hierro producían cierto movimiento en las patas de una rana, Galvani pensó en la existencia de una electricidad animal.

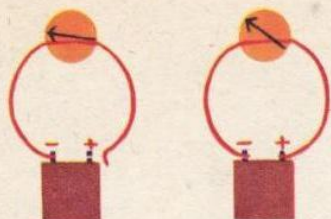


Volta demostró que la diferencia entre dos metales genera electricidad.

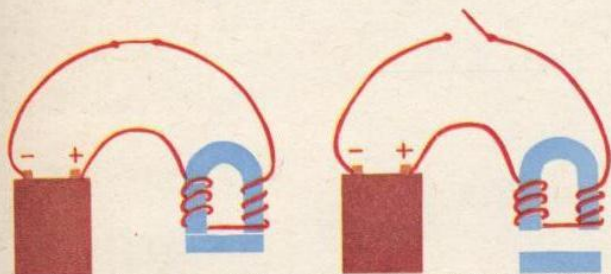
Observó que poniendo en contacto unos alambres de bronce y de hierro con las terminaciones nerviosas de las patas traseras de una rana recién sacrificada, dichas extremidades se contraían. De esto sacó la errónea conclusión de que había descubierto algo relacionado con la Fisiología. Fué otro italiano, Alejandro Volta, quien demostró que se trataba de un fenómeno eléctrico. Volta dispuso varias placas intercaladas de metales diferentes, A y B, tales como hierro y bronce o cinc y cobre, poniendo entre ellas unas almohadillas, C, humedecidas en una solución de agua acidulada, disponiéndolas en este orden: ABCABCABC...CAB. Al unir los extremos de los conductores soldados a cada placa terminal se producía una chispa y la consiguiente detonación.

La pila de Volta fue el primer generador químico. En su forma más simple, cada elemento consiste en

Carlisle y Nicholson usaron la electricidad originada en un proceso químico para dar lugar a nuevos cambios químicos.



Una corriente eléctrica que atraviesa el campo magnético de una brújula origina la desviación de la aguja.



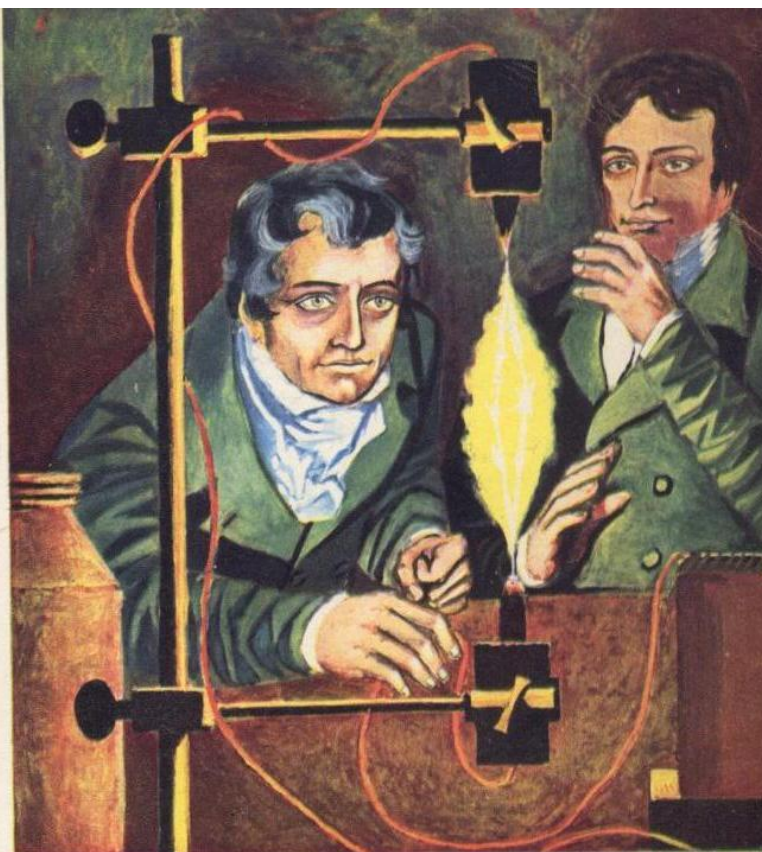
El alambre conductor conectado a una batería y enrollado a un hierro en forma de herradura, convierte a dicha pieza en un imán en tanto que siga circulando la corriente.

dos placas de distinto metal sumergidas en agua salada, acidulada o alcalinizada. Una batería es la unión, mediante cables conductores, de una serie de tales elementos.

Como al unir entre sí los terminales de una pila de este tipo se observaban burbujas gaseosas ante cada placa, se creyó que tales generadores ejercían determinados cambios químicos. Estas burbujas también se formaban alrededor del extremo libre de los terminales cuando éstos se introducían en agua con unas gotas de ácido o unos gramos de sal.

En 1800, los químicos ingleses Carlisle y Nicholson analizaron tales burbujas y comprobaron lo que Watt y otros habían intuido. Una chispa eléctrica producida en un ambiente de hidrógeno y oxígeno da origen a una fina película de agua. Esto parecía demostrar que el agua es un compuesto de hidrógeno y de oxígeno.

Al sumergir los extremos libres de los conductores conectados a una batería, las burbujas que se forman junto a uno de ellos contiene oxígeno y las formadas junto al otro, hidrógeno. Este proceso de descomposición se prolonga hasta la desaparición del líquido, observándose entonces que el volumen del hidrógeno recogido es doble que el de oxígeno. De lo que Nicholson y Carlisle dedujeron que la corriente eléctrica descompone el agua en tales elementos, los cuales se combinan en la proporción de 2 a 1 (H_2O).

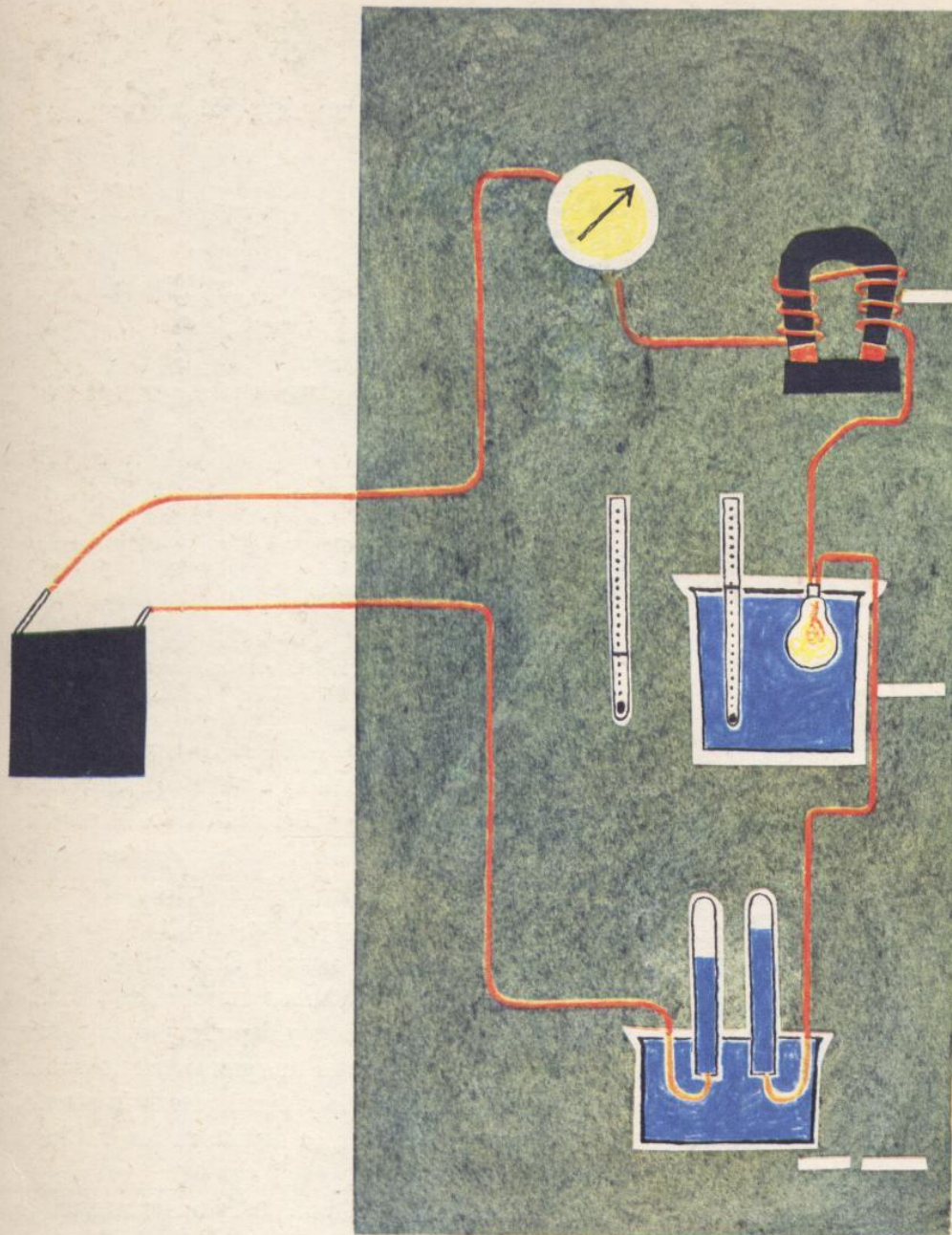


Davy demostró que el diamante, pese a su apariencia, es carbono.

Sir Humphry Davy descubrió que pasando una corriente de cierta intensidad a través del hidróxido de sodio (sosa cáustica) y del hidróxido de potasio (potasa), estas sustancias se funden y descomponen, convirtiéndose en algo hasta entonces desconocido, sodio en el primer caso y potasio en el segundo. Un nuevo capítulo se abría para la Química, ya que la corriente eléctrica descompone también las soluciones de otras sales metálicas y deposita una capa más o menos gruesa del metal de que se trate sobre la placa conectada a uno de los terminales de la batería, en tanto que en el otro se acumulan las burbujas gaseosas.

Davy construyó una potente lámpara acercando dos carbones conectados a los terminales de una batería. Entonces demostró que un diamante arde en la llama producida por el arco y que el gas que desprende —bióxido de carbono— es de la misma naturaleza que el de los carbones. También probó que, en estas condiciones, un diamante produce idéntica cantidad de gas que una masa equivalente de grafito.

Dos simples observaciones dieron la clave para utilizar esta nueva fuente de energía. Por una casualidad se supo que el conductor de una batería puede desviar la aguja de una brújula, y también dar lugar a la formación de un imán. Esto sucedía en 1825. Al cabo de pocas décadas la electricidad empezaría a transformar el mundo.



Efectos magnéticos

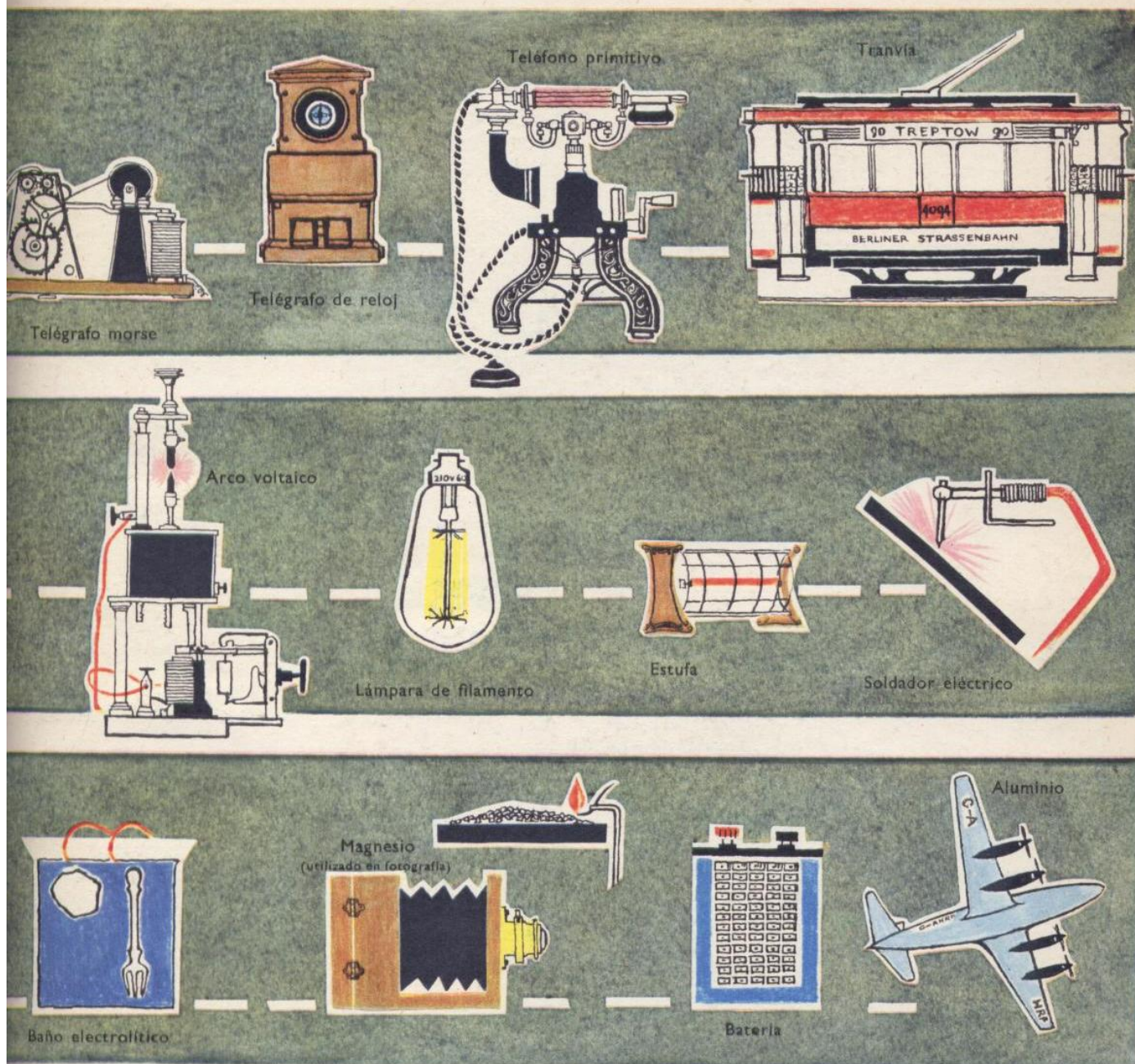
Efectos caloríficos

Efectos químicos

Los efectos magnéticos se aplicaron primero en el telégrafo eléctrico, luego en el teléfono y después en los transportes públicos; los efectos caloríficos fueron empleados en la lámpara de arco, en las de filamento, estufas y aparatos de soldadura eléctrica; los efectos químicos se emplearon en la galvanoplastia, para platear o sobredorar objetos metálicos por electrolisis y para la producción de magnesio y de aluminio, que más tarde habrían de encontrar tan vasto empleo en la fotografía y en la construcción de aeronaves. El descubrimiento de la batería, llevó

en pocos años a la implantación de dos nuevos sistemas para transmitir señales.

El primero fué el semáforo, en el cual se utiliza el fluido eléctrico para desviar la aguja hacia uno y otro lado; el segundo fué el telégrafo Morse, por el cual un zumbador electromagnético produce un sonido cada vez que se pulsa por más o menos tiempo un interruptor vibrátil. Este nuevo aprovechamiento de la electricidad coincidió con la implantación del ferrocarril. Cuando se viajaba en diligencia o a caballo, no hacía falta establecer horarios, pero al entrar



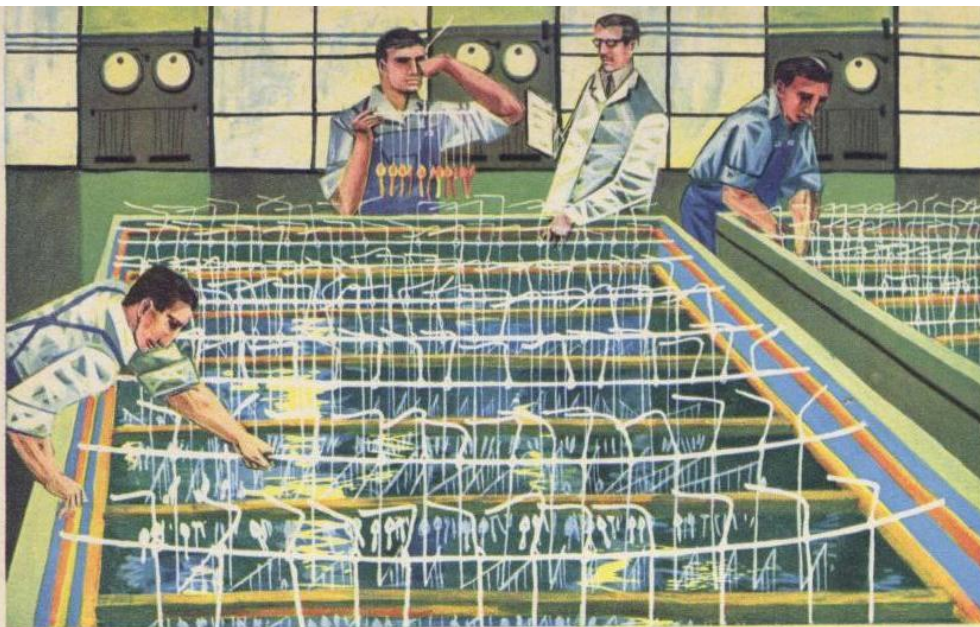
en servicio los ferrocarriles de vía única, sin otros desvíos que los indispensables para cruzarse o adelantarse los convoyes, se sintió, por primera vez la necesidad de poder avisar la llegada de un tren con suficiente anticipación. En este aspecto, el empleo de las nuevas baterías resultó muy ventajoso.

También fué un éxito su aplicación a la galvanoplastia, ya que permitió dar una capa de metal más gruesa y uniforme con un coste mucho menor. El siglo XVIII vió el gran desarrollo de las factorías de Sheffield en las que se plateaba el cobre por elec-

trolisis; el galvanizado resultó ser el medio más económico para conseguir este resultado y con ello se puso al alcance de todas las fortunas el uso de los cubiertos plateados.

En cambio, la luz proporcionada por la lámpara de arco resultaba demasiado cara. Las baterías se agotaban en seguida y eran difíciles de sustituir. Entonces se empezó a pensar en la posibilidad de otros medios más económicos.

Los hombres de aquel tiempo, acostumbrados a utilizar el molino de agua, pensaron en medir el



La industria de la galvanoplastia sustituyó rápidamente cuantos procedimientos anteriores existían para platear el cobre por medio del calor. No solamente se alcanzaba una mayor economía, sino también mejor calidad.

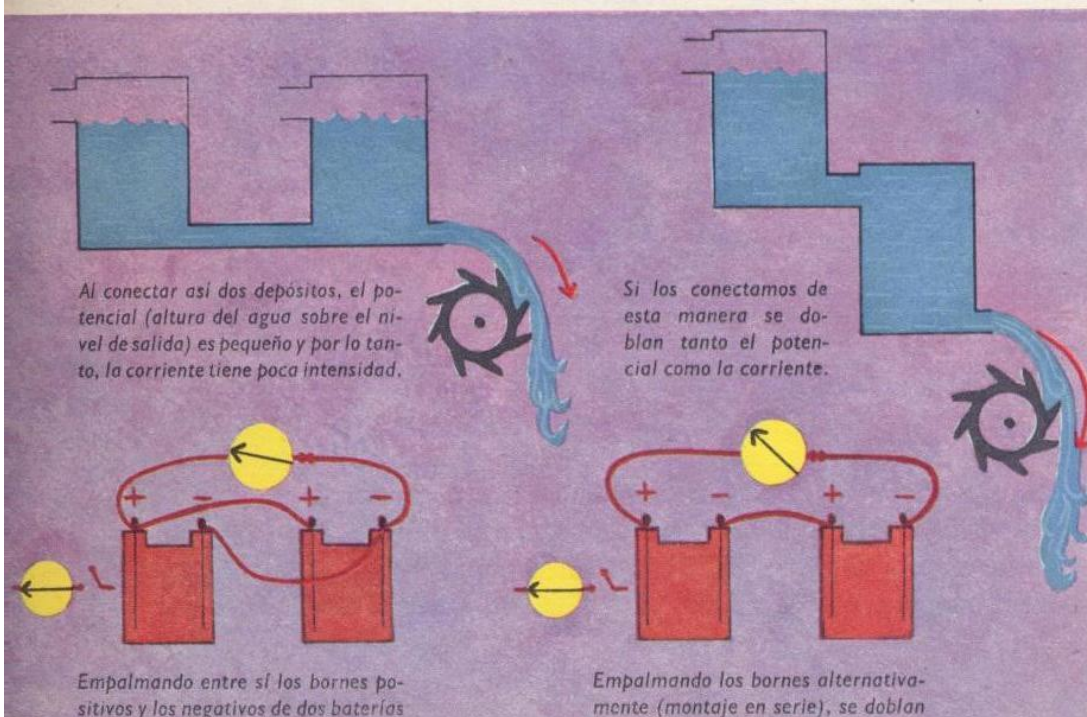


trabajo realizado mediante lo que llamaban «corriente eléctrica», comparando las masas de metal que durante la electrolisis se depositan en la placa de uno de los polos durante un tiempo determinado.

Conectando los diversos elementos de una batería por sus polos de nombre contrario, es decir, en *serie*, la fuerza electromotriz resulta proporcional al número de elementos que la componen, a condición de que no varíe la sección ni el largo de los conductores que constituyen el circuito. Si aumentamos la longitud de dichos conductores, la intensidad de la corriente disminuirá proporcionalmente, lo cual nos lleva a pensar en que dicho fluido está rela-

cionado con dos cantidades: la potencia del generador y la resistencia que oponen los conductores al paso de la corriente.

Y así como sabemos que aumentando la presión en la parte superior de un depósito, el agua fluye con más fuerza por su parte inferior, en tanto que un tubo de salida estrecho disminuye dicha fuerza, podemos afirmar que añadiendo a una batería nuevos elementos en serie se incrementa su fuerza motriz, mientras que si se intercala en el circuito un conductor más largo, se la reduce. Esta fórmula se simplifica si empleamos I para la corriente, V para la fuerza del generador (voltaje), y R para la resistencia





En sus comienzos el alumbrado eléctrico resultaba mucho más caro que las antiguas luces de gas.

4

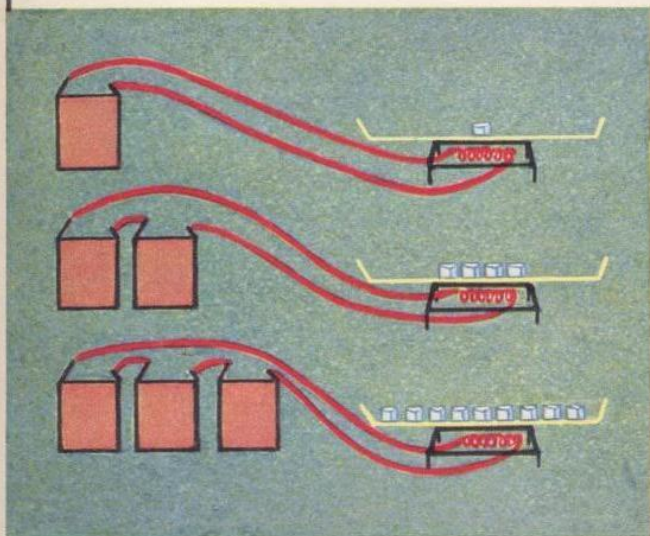
que opone el circuito a la corriente. Entonces resulta que $I = V : R$.

Decimos que una corriente tiene la intensidad de un amperio cuando en la electrolisis se deposita sobre la placa cierta cantidad de plata por segundo. Determinada esta cantidad, podemos deducir fácilmente que un generador dado tiene el potencial de un voltio para cada elemento. También podemos afirmar que la resistencia de los conductores es de un ohmio, si un generador de un voltio produce en ellos la corriente de un amperio.

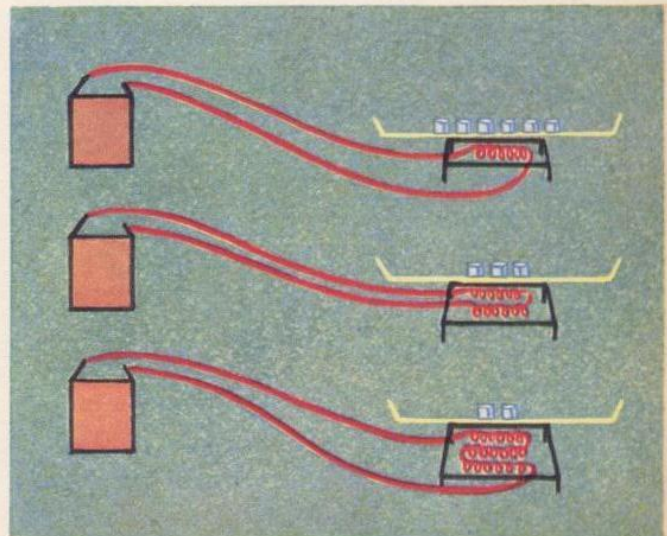
La resistencia del conductor depende de tres factores: su grueso o sección, su longitud y el metal de que está hecho. Cualquiera que sea éste, la resistencia disminuirá proporcionalmente cuanto mayor sea el diámetro, y aumentará con su longitud.

Joule descubrió una sencilla regla para determinar el calor producido por la corriente eléctrica. El calor generado durante un tiempo fijo es siempre proporcional a la corriente multiplicada por el voltaje. Para una corriente determinada, el voltaje es menor a medida que aumenta la resistencia. Por esta razón, un conductor muy delgado se funde con más facilidad que otro más grueso. Tal es el principio en que se basan los fusibles cortacircuitos.

Puesto que existe una proporción fija entre el calor y el trabajo, podemos expresar la producción de calor por hora como rendimiento de una corriente eléctrica. Así, podemos medir la energía como producto de corriente $\times$ voltaje. La unidad llamada vatio, es la potencia de un circuito en el que la co-



A igualdad de resistencia, si una batería funde un cm^3 de hielo en un minuto, dos baterías fundirán 4 cm^3 y tres baterías fundirán 9 cm^3 .



Si con una resistencia (R) se consigue fundir 6 cm^3 de hielo en un minuto, con dos R se fundirán 3 cm^3 ; con tres resistencias, 2 cm^3 .

riente es de un amperio circulando entre conductores de un voltio.

A principios del siglo XIX, los efectos químicos, magnéticos y caloríficos de la corriente eléctrica, tuvieron múltiples aplicaciones. Pero hasta que se construyó un generador más económico que la batería, fué necesario realizar muchas pruebas. Las pilas de Volta eran difíciles de sustituir y, su desgaste dependía de la corriente utilizada. En el galvanizado o en un semáforo, la cantidad de corriente era mínima; en cambio, en una lámpara de arco o un motor industrial el consumo era muy elevado.

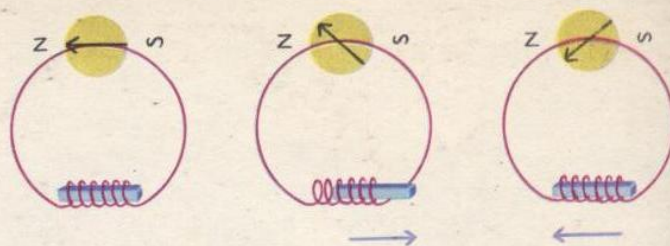
Cuando se comprobó que el fluido eléctrico podía desviar la posición de una brújula y convertir un trozo de hierro en electroimán, fué asimismo posible utilizarlo para mover una rueda. De la misma forma que el pistón de una máquina de vapor regula la válvula en que el vapor debe actuar sobre el émbolo, podemos emplear la atracción del hierro por un electroimán para accionar un interruptor que corta la corriente de su propia bobina y la dirige hacia la bobina de un segundo electroimán. Este es en esquema el mecanismo de un motor eléctrico.

Por entonces se estudiaba la posibilidad de que un imán pudiera generar corriente. Y en 1831, Faraday demostró dicha posibilidad. Cuando un imán gira rápidamente alrededor de una bobina, se origina una corriente eléctrica que circula en sentido contrario. Al dominar este principio, se entró en posesión de la clave que habría de permitir la construcción de un generador más potente y económico que la batería.

Si una espiral de alambre conductor gira entre los polos opuestos de un imán, la dirección de la corriente cambia a cada media vuelta (alterna); pero si utilizamos un conmutador de inversión, conseguiremos que la electricidad fluya siempre en el mismo sentido (continua).

La corriente continua producida por este nuevo generador llamado dínamo, deposita en el proceso de electrolisis una capa de plata más fina que la corriente continua de una batería. Así pues, ello amplió considerablemente la industria del galvanizado en el último tercio del siglo XVIII.

Dos hechos fueron los que llevaron a diseñar nuevas y más potentes dinamos movidas por vapor. Uno de ellos fueron los faros, que funcionaban todavía a base de aceite; el otro, que los motores



Al desplazarse un imán por el interior de una bobina, origina una corriente cuyo sentido cambia también alternativamente.

Si conectamos los dos bornes de una bobina a sendas anillas metálicas, empalmadas a un conductor exterior al que hacemos girar entre los polos de un potente imán, notaremos que una corriente atraviesa el circuito y cambia de dirección a cada media vuelta.



Conectemos ahora los extremos de la bobina a dos medias anillas, a las que llamaremos conmutador. Mediante este dispositivo tan sencillo, el sentido de la corriente obtenida dejará de ser alterno para convertirse en continuo.



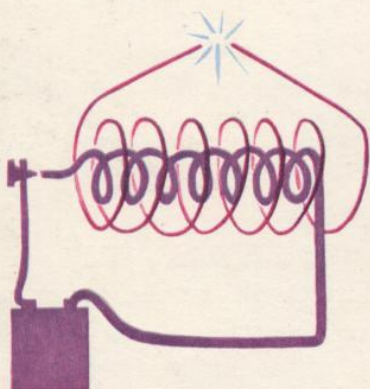
eléctricos estaban ya demostrando su utilidad en la industria.

La dínamo alcanzó su plenitud cuando fué posible sustituir el imán permanente por un electroimán magnetizado por la misma corriente del generador. Por el año 1880, varios inventores ingleses y americanos empleaban la corriente eléctrica para poner incandescente hasta el blanco brillante un filamento de carbón en un tubo al vacío. Cuando se vió que tales lámparas reducían el peligro de incendio y también el coste de instalación, aumentó considerablemente la demanda de energía eléctrica.

Faraday, en Inglaterra, y José Henry, en América, fueron los primeros en estudiar el empleo del electroimán para generar una corriente. También

Cuando el circuito de una batería se abre y se interrumpe bruscamente, la corriente de la bobina principal es inducida a otra bobina secundaria próxima a la primera.

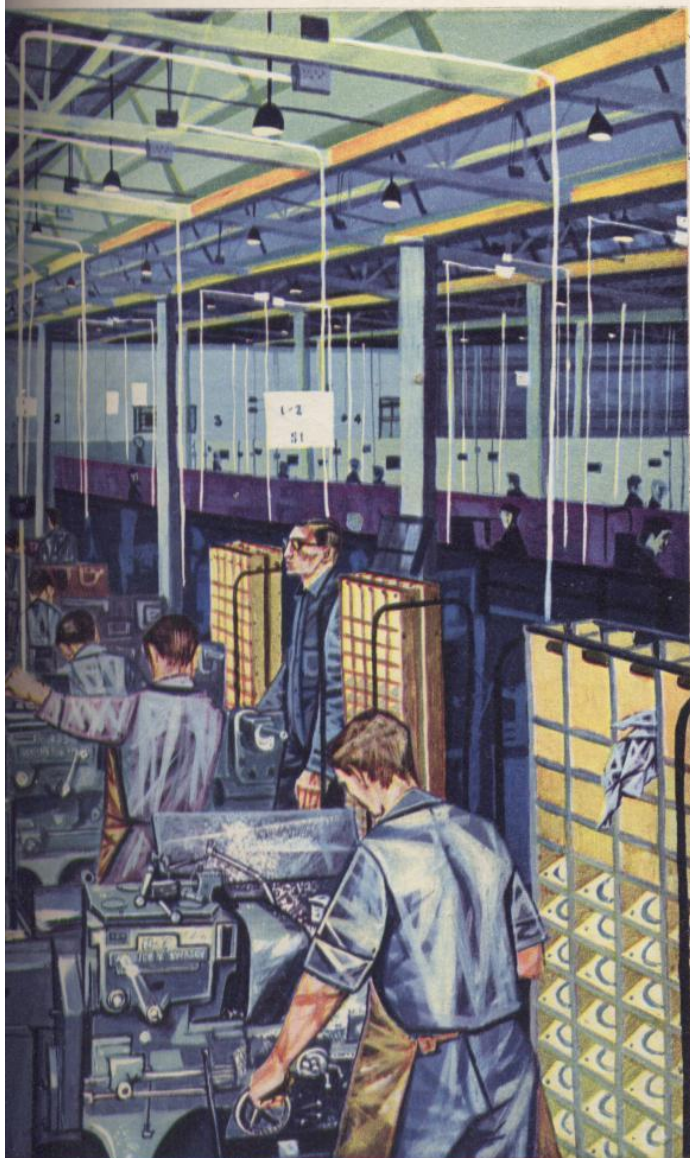
Cuando el circuito secundario alcance cierta resistencia, saltará una chispa entre sus dos terminales cada vez que se interrumpa la corriente de la bobina principal.



realizaron juntos otro importante descubrimiento. Un carrete de alambre conductor por el que discurre una corriente eléctrica de sentido alterno (bobina de inducción) puede producir una corriente inducida en otro carrete colocado cerca del primero (bobina secundaria). Si los dos carretes son idénticos, el voltaje será el mismo. Si el carrete secundario tiene más vueltas que el primario, el voltaje será proporcionalmente más elevado, y viceversa. Por consiguiente, es posible calcular una disposición que permita transformar convenientemente el voltaje.

Un carrete de inducción con un interruptor provisto de una rueda giratoria, puede producir una chispa intermitente en una cámara adecuada en la que se halle contenida una mezcla explosiva. Tal es el principio de los motores de combustión interna.

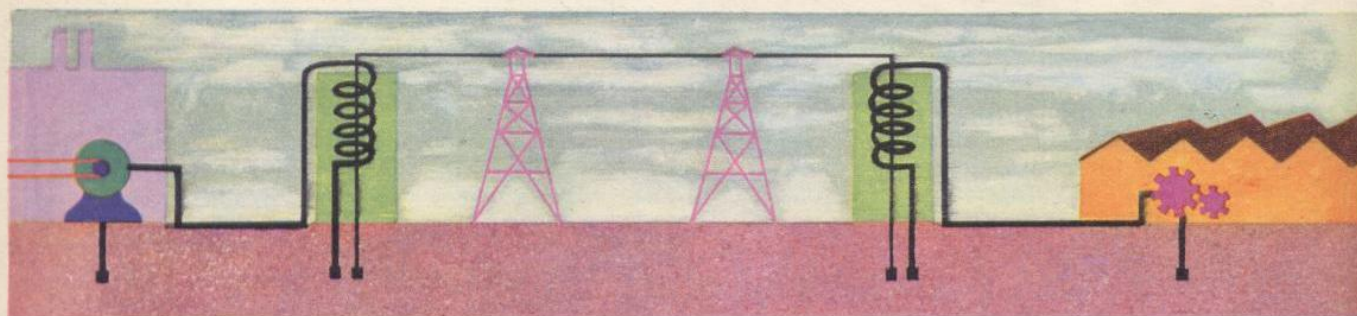
La electricidad adquirió gran importancia por el año 1900; sin embargo, la fuente de energía que le seguía en importancia era todavía el vapor. La



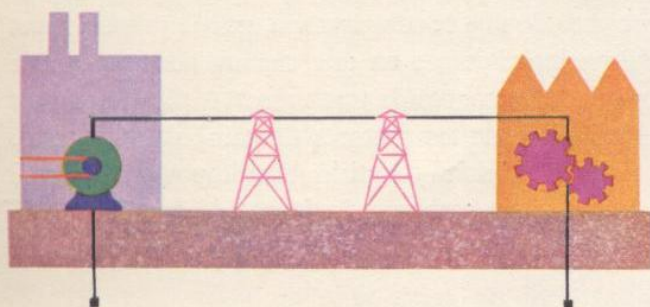
La electricidad desplazó de las modernas factorías las correas de transmisión, e implantó la maquinaria de puesta en marcha individual.



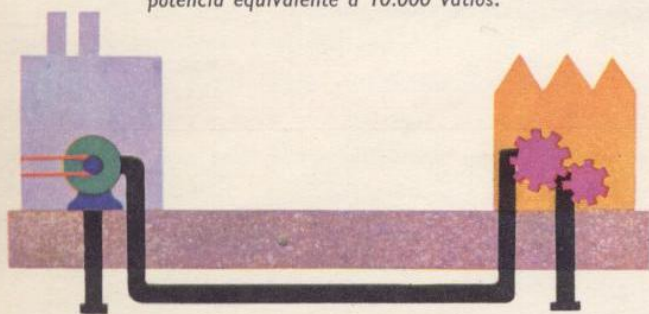
Moderno ferrocarril eléctrico



La dinamo produce la corriente. Un conductor de gruesa sección lleva la energía hasta el transformador. Allí, la tensión aumenta, en tanto que la intensidad se reduce. Un conductor delgado transporta la corriente hasta un segundo transformador, donde se invierte todo el proceso.



Potencia = amperaje $\times$ voltaje. Amperaje = voltaje : resistencia. Un conductor delgado con una resistencia de 100 ohmios, transportando una corriente de 10 amperios a 1000 voltios, transmite una potencia equivalente a 10.000 vatios.



Un conductor de sección cien veces superior tiene una resistencia de 0,01 ohmios. Transporta 1000 amp a 10 volt, con igual potencia.

dinamo era útil porque permitía lo imposible hasta entonces y porque resultaba económica. La electricidad podía, asimismo, conducir la energía a través de un cable desde los lugares donde se producía hasta los puntos de consumo. Ya no era necesario transportar el carbón desde las minas a los centros fabriles.

Cuando la electricidad era utilizada en nuevas empresas, su coste no importaba. Pero cuando se trataba de ahorrar trabajo o de disminuir el coste del transporte de combustible se presentó un nuevo problema de orden económico. Veamos ante todo los procedimientos disponibles para conducir la energía a largas distancias.

El matemático alemán Gauss sugirió que en los ferrocarriles las vías podían servir como conductores de la electricidad, sin necesidad de aumentar el coste con la instalación y tendido de cables. Pronto se vió que tal teoría no era practicable, puesto que parte de la energía se perdía al contacto con las traviesas y el suelo. Otro alemán, Steinheil, descubrió que la corriente puede cerrar su circuito utilizando la tierra en vez de un segundo conductor. Lo que debe hacerse es hundir profundamente en tierra las placas metálicas conectadas a uno de los terminales de la dinamo y el otro extremo a uno de los terminales del aparato eléctrico en cuestión.

La máxima economía se consigue utilizando acertadamente los conductores por los que ha de circular la corriente a lo largo del circuito. Toda vez que la potencia en un circuito es el producto de la intensidad por el voltaje, podemos disminuir la corriente y elevar el voltaje o viceversa sin alterar la potencia.

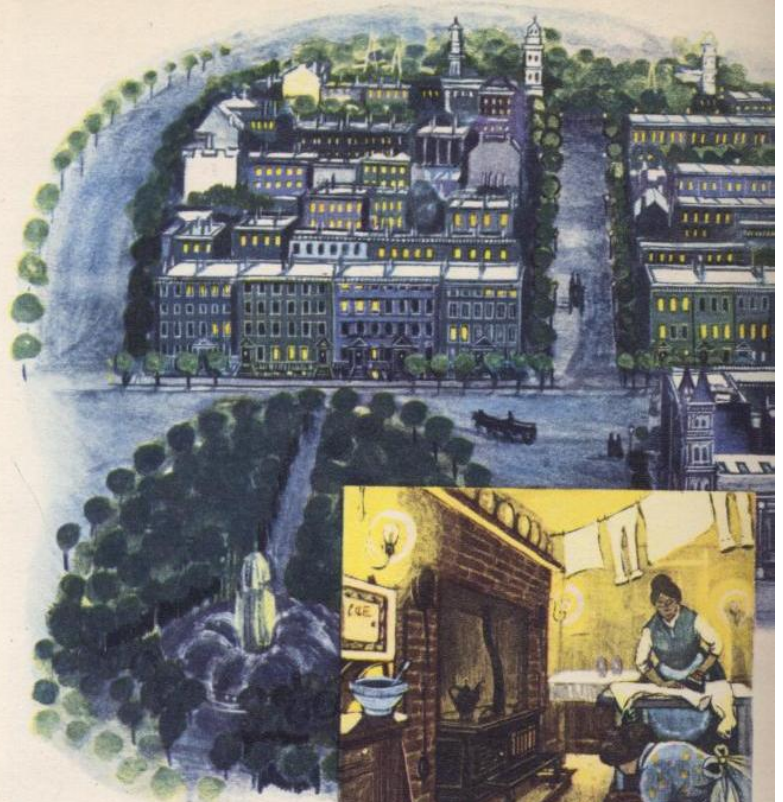
Para un rendimiento fijo de 10.000 vatios podemos transmitir una corriente de 10 amperios a 1000 voltios, o bien 1000 amperios a 10 voltios. Sabemos que la corriente = voltaje : resistencia ($I = V : R$). Si preferimos la primera alternativa, la resistencia requerida será de 100 ohmios ($10 = 1000 : 100$). Si preferimos la segunda será de 0,01 ohmios ($1000 = 10 : 0,01$).

La resistencia de un conductor, conocidos su material y longitud, depende de su grueso o sección, y la resistencia es inversamente proporcional al cuadrado de dicho grueso. Esto significa que un alambre de cobre de 1/100 de pulgada ofrece una resistencia de 100 ohmios; por consiguiente, sería preciso un alambre de idéntico metal y longitud pero de una pulgada de grueso para obtener una resistencia de 0,01 ohmios. Para mantener una fuerza motriz de 10.000 vatios a 10 voltios sería preciso emplear

cien veces más de metal que para conservar la misma energía a 1000 voltios.

Por eso en las centrales eléctricas se utiliza un transformador que aumenta el voltaje. Entonces, puede emplearse un alambre de cobre más fino y por lo tanto más económico para conducir la energía eléctrica a distancia. En una dínamo generadora de corriente continua, el alto voltaje origina una gran cantidad de chispas a través del conmutador de inversión, el cual queda pronto fuera de uso. Si deseamos utilizar un conductor de escasa sección será preferible emplear un generador de corriente alterna, el cual no requiere dicho conmutador.

Se da el nombre de *aislantes* a las sustancias que,



La ciudad de Nueva York, antes y después de la invención de la dínamo.





Una varilla de cristal adquiere carga positiva al frotarla con seda, y atrae la bolita de pan de oro, la cual le transmite su carga negativa, adquiriendo la positiva. La varilla entonces, frotada de nuevo, la repele; en cambio una barrita de lacre, que adquiere carga negativa, la atrae.



En el electroscoio, la varilla con carga negativa repele las partículas negativas de la cabeza hacia las patas móviles, las cuales se separan.



Las patas, descargadas, caen a lo largo del electroscoio en tanto que la varilla repele la carga negativa, manteniéndola en dichos extremos.



Si estando en contacto con la varilla de cristal se toca con la mano la base del electroscoio, la carga negativa deriva por el cuerpo hacia tierra.



Al separar la varilla, la carga negativa se equilibra. El electroscoio sigue conservando su carga positiva y los extremos móviles se separan.



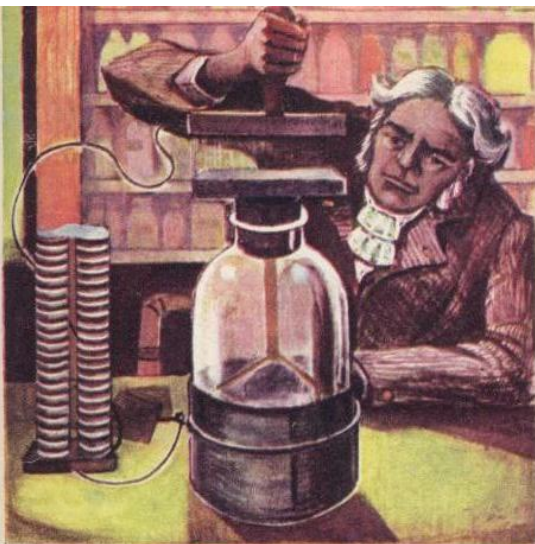
como el papel, se adhieren a otros cuerpos cargados de electricidad estática. Las sustancias que, como el pan de oro, se mueven hacia un cuerpo cargado, para retroceder en el mismo momento de alcanzarlo se denominan *conductores*.

De cómo los cuerpos de una u otra clase se atraigan depende de aquello con que se les frote. En las dos últimas imágenes de la figura superior, el cristal frotado con seda repele la bolita recubierta con pan de oro, en tanto que la barrita de lacre frotada con pieles la atrae. Ello demuestra la existencia de dos tipos de carga. Benjamín Franklin, les dió el nombre de carga *positiva* y carga *negativa*, lo cual sirve para recordar que dos cuerpos de igual carga se atraen y con carga diferente se repelen.

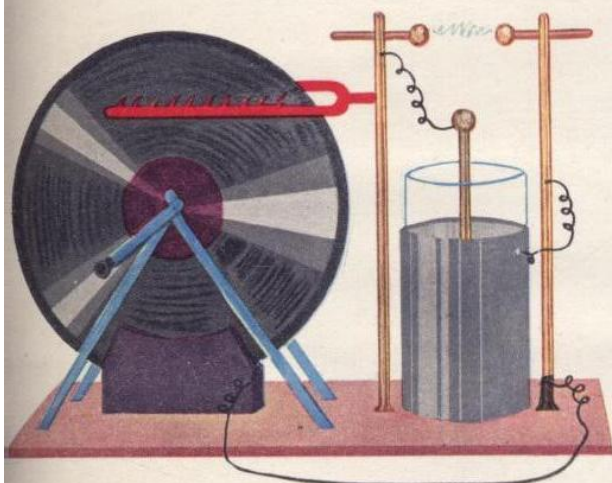
La gente designó con el nombre de «*eléctricos*» a cuantos aparatos reproducían en miniatura los fenómenos de la tempestad mucho antes de conocer el parecido existente entre la descarga de una botella de Leiden y una batería de Volta.

Hay un hecho que salta a la vista. El elemento de una batería produce efectos *magnéticos* y efectos *químicos* (descomposición); en cambio, no es fácil demostrar que produzca atracción, toda vez que sus terminales no ejercen influencia sobre los cuerpos ligeros. Por otra parte, una máquina electrostática de inducción genera una poderosa fuerza atractiva, pero sus inventores nunca demostraron que produjera efectos magnéticos o químicos.

Faraday dió solución a este enigma. Con un detector muy sensible de pan de oro (electroscoio) demostró que una batería de Volta suficientemente poderosa producía el fenómeno de la atracción y repulsión. Asimismo, probó que dándole tiempo a la corriente generada por una máquina electrostática para descargarse a través de una elevada resistencia, producía también efectos magnéticos. Mediante la descarga lenta de la resistencia de un condensador alimentado por una máquina electros-



Faraday demostró que una batería produce los mismos efectos de atracción que una máquina electrostática...

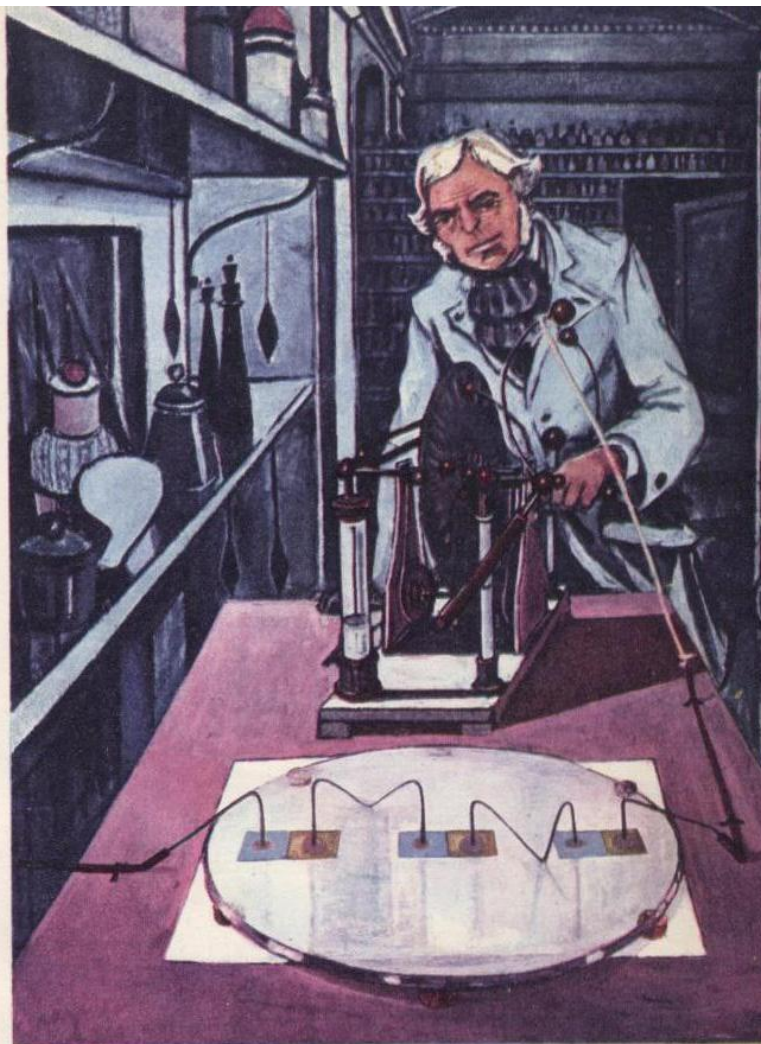


Un disco de fricción frotado por dos almohadillas de seda adquiere carga positiva, con lo que atrae la carga negativa de las púas neutras de la horquilla superior. El exceso de carga positiva en dichas púas se almacena en un condensador. El disco giratorio sigue obteniendo carga positiva en tanto que cede carga negativa a las almohadillas, la cual es conducida hasta la parte externa del condensador. Cuando la capacidad del condensador se cubre con exceso, salta una chispa entre los dos bornes separados del mismo.

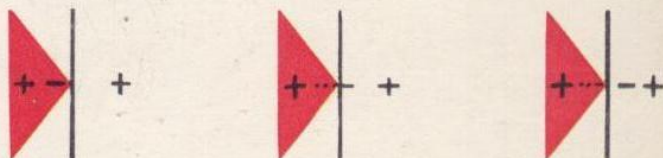
tática, consiguió producir los mismos cambios químicos que podían obtenerse con una batería de Volta.

Los generadores de ambas clases pueden desempeñar idénticas funciones, pero una de ellas no depende de la corriente. La corriente se produce cuando existe un desequilibrio en las cargas; en cambio, la fuerza de atracción puede existir sin la presencia de un flujo eléctrico.

La observación del electroscope nos ayudará a comprenderlo si consideramos como pequeñas bolitas de pan de oro a los signos positivos representados en el diagrama de la izquierda, y como elementos libres a los signos negativos. Acercando una varilla de cristal cargada con electricidad ne-



... y que la máquina electrostática puede producir, a su vez, los mismos efectos químicos que tienen lugar en una batería.



gativa a la cabeza del electroscope, las partículas negativas que ésta contiene son rechazadas hacia abajo y desviadas hacia los extremos móviles del aparato, los cuales también se repelen mutuamente. Retirando la varilla, las partículas negativas se reparten otra vez por el electroscope, el cual se neutraliza eléctricamente, y sus patas recobran la posición natural. Si tocamos con la mano la parte inferior de la cabeza antes de retirar la varilla, algunas partículas negativas escapan hacia tierra a través de nuestro cuerpo. En este caso, al retirar el cristal, el electroscope conserva una carga positiva opuesta a la de la varilla; las patas contienen el mismo signo y se repelen. Eso se llama carga por inducción.

Alianza con los átomos

YA EN LOS ALBORES DEL SIGLO V A.J., algunos filósofos griegos habían debatido la cuestión de si la materia es en realidad tan compacta como parece. Demócrito, Epicuro y otros, convencidos como estaban de que el aire tiene peso propio, sustentaban la teoría de que toda materia consiste en una reunión de finas partículas más o menos juntas entre sí. Según ellos, cuando se corta con un cuchillo un cuerpo sólido o se esgrime una espada en el vacío, no se divide ninguna partícula, sino que simplemente se separan. La palabra *átomo*, que proviene del griego, significa «indivisible».

Nadie tomó en serio tal opinión, hasta que Torricelli demostró qué era y cómo se conseguía crear el vacío. Poco después de este descubrimiento, un filósofo francés, Gassendi, escribió un tratado acerca de las especulaciones de aquellos griegos de la Antigüedad. Por entonces, la noción de que la materia es tan compacta como parece empezaba a resultar dudosa, tras los conocimientos adquiridos en relación con el aire y otros gases.

Con los instrumentos de que se disponía antes de Galileo hubiera resultado imposible demostrar que la materia es compresible; pero con la aparición de la bomba de aire y del termómetro pudo verse fácilmente que podemos variar el volumen ocupado por

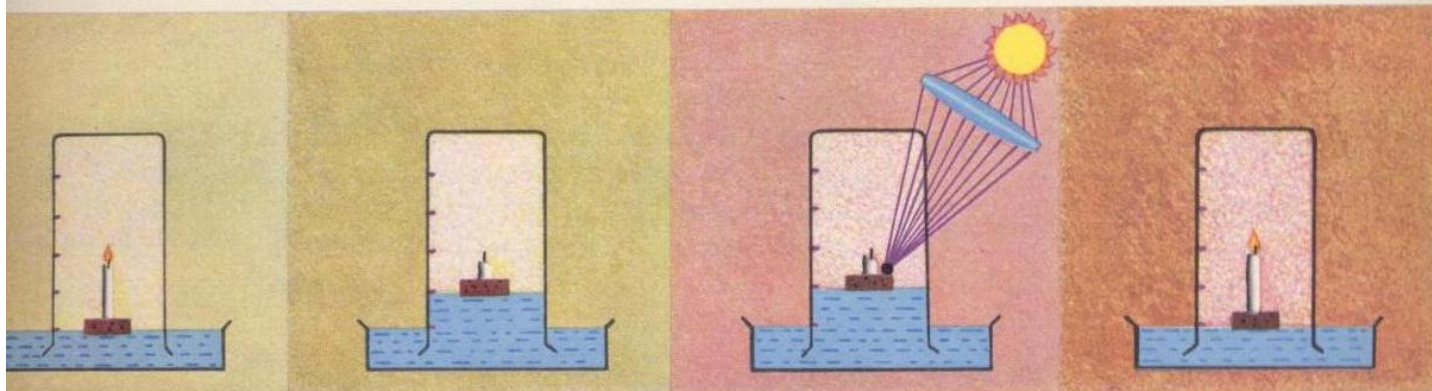
una masa determinada si se modifica la presión o la temperatura.

A mediados del siglo XVI, Boyle y Hooke estudiaron los efectos de la presión sobre el volumen del aire. A una temperatura constante, la regla es sencilla: doblando la presión, el volumen se reduce a la mitad. Reduciendo a la mitad la primera, se aumenta al doble su volumen. Si entendemos por materia lo que constituye la masa, vemos que la cantidad de materia permanece inalterable aunque doblemos o dividamos el espacio que la contiene.

Un siglo más tarde, el gran físico y matemático francés Charles descubría las leyes por las que se rige la dilatación térmica de los gases. Todo gas libre de expandirse a la presión atmosférica, aumenta proporcionalmente de volumen por cada grado más de temperatura; sin embargo, su masa continuará siendo la misma.

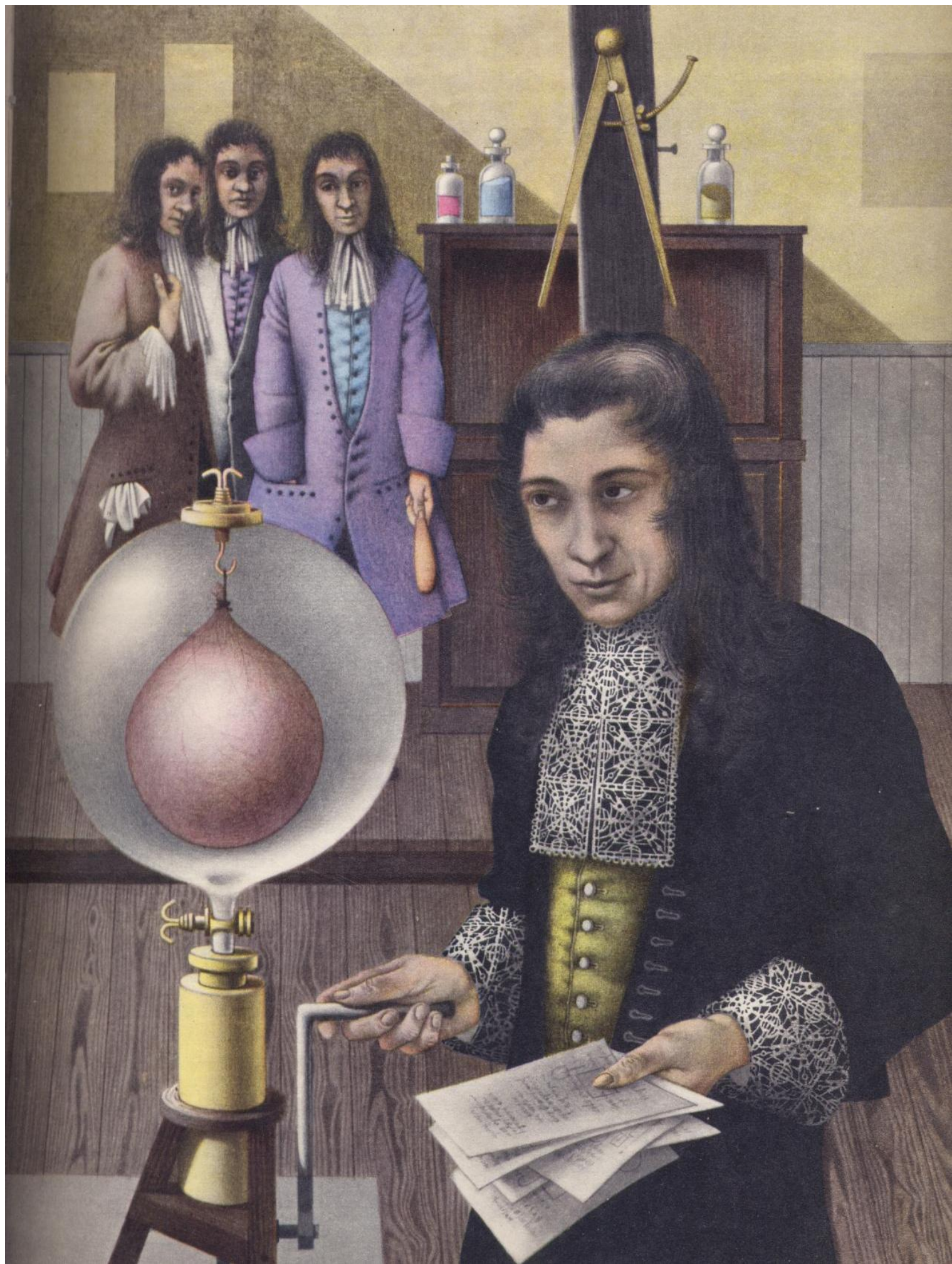
Tales hechos llevaron inevitablemente a considerar la masa bajo uno de estos dos aspectos: o como una esponja, o bien como un montón de hollín. Puesto que podemos aplastar una esponja, y también comprimir las partículas de hollín, ambos cuerpos nos sirven igualmente como ejemplo.

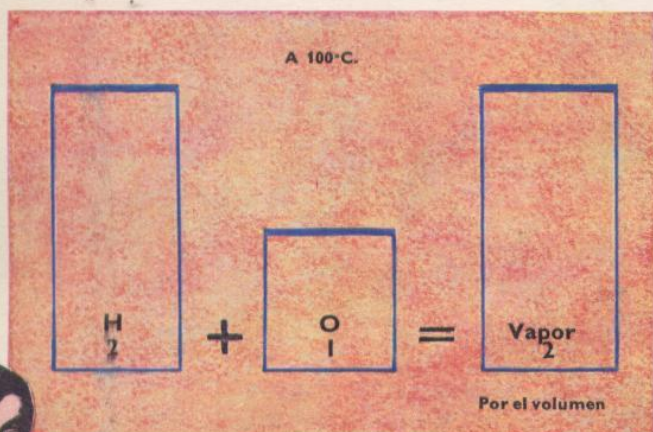
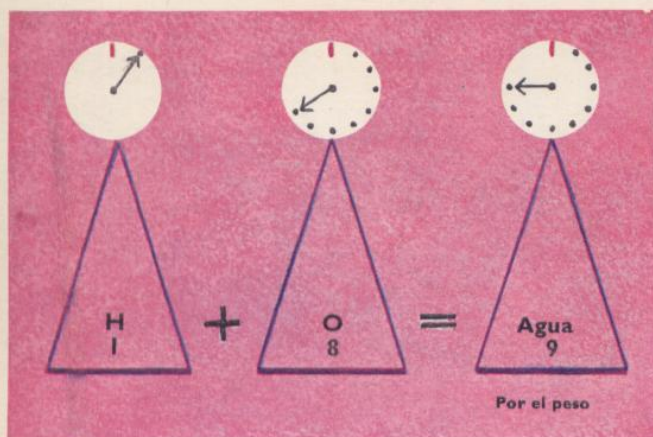
Mejor que con las esponjas puede demostrarse la penetrabilidad de los cuerpos mezclando dos sustancias capaces de formar un compuesto. Aunque Boyle y Hooke preferían comparar los gases con una nube de partículas, porque así podían demostrar que el aire está formado por dos materias diferentes. Hoy sabemos que dichas materias son el oxígeno y el nitrógeno.



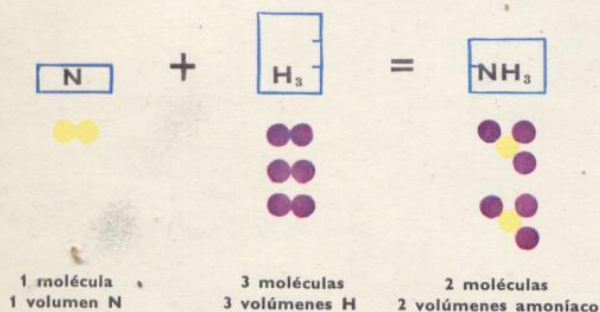
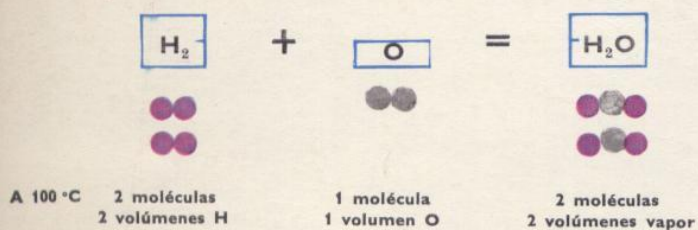
El fuego solamente arde cuando dispone de oxígeno con el que poder combinarse. Una vela se apaga cuando la quinta parte del aire contenido en el recipiente se agota. Una pequeña cantidad de nitro potásico fuertemente calentada restituye el oxígeno quemado y la vela arde nuevamente.

El experimento de Boyle, sirvió para demostrar que a medida que disminuía la presión del aire sobre las paredes de un globo inflado, aumentaba la presión interior.





Avogadro reconcilió la fórmula de Dalton para el vapor, HO , basada en el peso, con la fórmula de Gay-Lussac, H_2O , basada en el volumen. La concepción de que las moléculas gaseosas estaban constituidas por dos átomos coincidía con ambas y condujo a Avogadro a proponer la ley según la cual, dos volúmenes iguales de gas a la misma temperatura y presión contienen idéntico número de moléculas.



A finales del siglo XVIII los químicos habían descubierto ya muchos gases. Y habían calificado de elementos, o cuerpos simples, a aquellos que no podían descomponerse, tales como el oxígeno, el nitrógeno o el hidrógeno, y de cuerpos compuestos a los que estaban formados por la combinación de otras sustancias en proporción fija, como el amoníaco. Entre los elementos simples líquidos, contaron el mercurio, y entre los sólidos el carbono, el fósforo, el oro, la plata, el cobre, el estaño, el plomo y el zinc.

Hallaron, además, que cuando se combinan varios elementos para formar un cuerpo compuesto, siempre lo hacen en una proporción fija e inalterable, independientemente de la cantidad que se produzca de la nueva sustancia. Todo ello, ciertamente, no resulta explicable valiéndose de la comparación de las esponjas. En 1808, cuando Dalton revisó las teorías atómicas de Hooke y Boyle, los químicos obtuvieron una solución a esta fórmula. Si nos imaginamos la más pequeña fracción de amoníaco a semejanza de un racimo formado por un número determinado de átomos de hidrógeno, cada uno de ellos con idéntica masa, y un número igualmente concreto de átomos de nitrógeno, la proporción de ambos componentes permanecerá invariable por muchos de estos racimos que vayamos amontonando para aumentar la cantidad total.

Al representar de esta forma al átomo, es preciso tener en cuenta el hecho de que cada elemento gaseoso tiene su densidad característica. Por ejemplo, el nitrógeno pesa 14 veces más que un volumen de hidrógeno a la misma temperatura y presión. Si consideramos que las partículas de nitrógeno y las de hidrógeno tienen idéntica masa, el mismo volumen de nitrógeno deberá contener 14 veces más partículas que el hidrógeno; pero si afirmamos que las partículas de nitrógeno son 14 veces más pesadas que las de hidrógeno, dos volúmenes iguales de ambos gases a idéntica temperatura y presión deberán contener el mismo número de partículas.

Si preferimos considerar tales partículas en su más mínima expresión de materia, hemos de abandonar el primer punto de vista. El espacio que ocuparía una sola partícula de hidrógeno sería entonces el mínimo posible; el número de partículas de hidrógeno contenidas en este mínimo espacio sería de 14 y la mínima cantidad de nitrógeno sería igualmente de 14. Además, nuestro primer punto de



Durante cincuenta años los químicos ignoraron la propuesta de Avogadro. En la primera Convención Internacional de Karlsruhe, en 1860, un profesor italiano, Cannizzaro, expuso aquellas teorías en un folleto avalado por un químico alemán, Lothar Meyer, y lo distribuyó entre los asistentes.

vista no nos ofrece la solución al por qué el nitrógeno y el hidrógeno difieren en tantos otros aspectos además del peso.

Si nos inclinamos por el segundo, habremos de preguntarnos si las partículas de un elemento existen como simples átomos o como racimos de ellos, a semejanza de las partículas de un cuerpo compuesto, que hoy llamamos moléculas. Un químico francés dió con la clave del enigma. Gay-Lussac, demostró que cuando los elementos gaseosos se combinan lo hacen siempre mediante una simple proporción numérica con respecto al volumen.

A la temperatura de 100°C y a la presión atmosférica, 200 volúmenes de hidrógeno se combinan con 100 volúmenes de oxígeno para formar 200 volúmenes de vapor de agua.

Si dos volúmenes iguales contienen el mismo número de partículas, una partícula de oxígeno deberá entrar a formar parte en la composición de dos moléculas de vapor. Así, la partícula de oxígeno deberá contener, por lo menos, dos átomos.

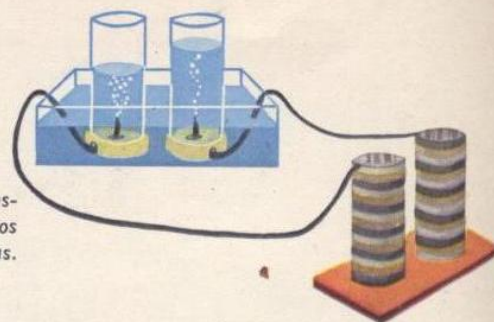
En 1811, un químico italiano llamado Avogadro llegó a la conclusión de que dos volúmenes iguales

de gases diferentes a la misma presión y temperatura, contenían el mismo número de moléculas. Si, por ejemplo, las moléculas de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro contienen todas ellas varios átomos, es lógico suponer que sean *dos*, ya que siendo así, las masas de sus átomos se encuentran en la misma proporción que sus densidades a idéntica presión y temperatura. Por otra parte y tomando este hecho como base, es posible demostrar cómo el peso de un átomo de cualquier elemento gaseoso se corresponde con el de un átomo de hidrógeno. Si consideramos como unidad (1), el peso de un átomo de hidrógeno, el del nitrógeno será 14, el del oxígeno, 16, y el del cloro 35,5. Estas cifras corresponden, pues, al peso atómico de cada uno de estos elementos.

De todo ello resulta un excelente medio para simplificar el registro escrito de un compuesto químico. Así, cuando decimos NH_3 , queremos significar que 1 litro de nitrógeno se combina con 3 litros de hidrógeno para constituir 2 litros de amoníaco y, al propio tiempo, que 14 gramos de nitrógeno se combinan con 3 gramos de hidrógeno para formar 17 gramos de gas amoniacal.



Tanto al comprimir el aire como el vapor, y también en la transmisión de la corriente o en la descomposición del agua, podemos representarnos la materia como un compuesto de varias partículas.



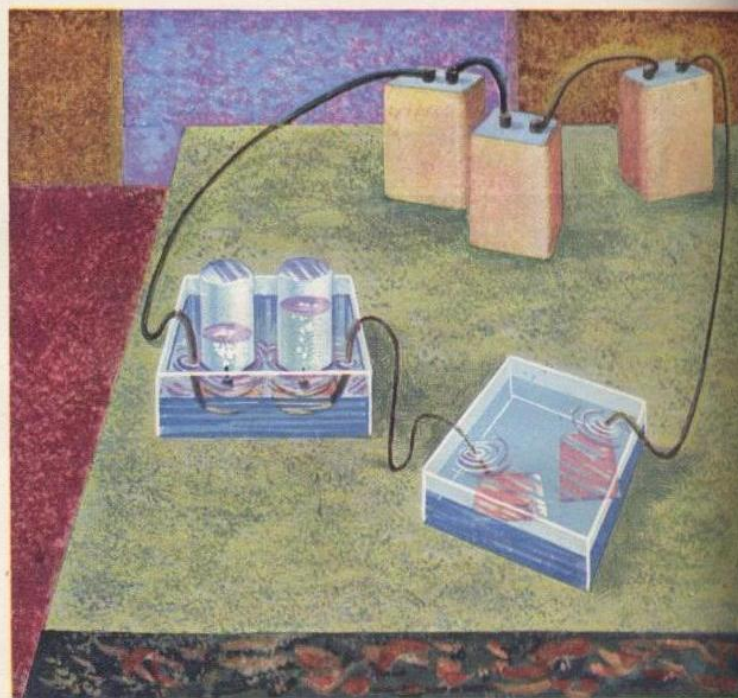
El agua químicamente pura o la que contiene azúcar es un cuerpo aislante. En cambio, si contiene sal, se convierte en buena conductora de la electricidad. Todas las sustancias, como las sales metálicas que hacen conductora al agua, se precipitan durante el proceso de la electrolisis, y al ocurrir esto, descomponen también el agua. Dichas sales reciben entonces el nombre de *electrolitos*.

El caso de la bolita que es atraída por la electricidad estática nos hace pensar que la corriente es como un verdadero chorro de partículas cargadas. Por consiguiente, los electrolitos habrán de ser sustancias cuyas moléculas con carga positiva sean atraídas por el terminal negativo —cátodo— y las que llevan carga negativa, por el positivo —ánodo—.

Faraday descubrió que cuando la misma corriente libera dos elementos diferentes por descomposición, las masas liberadas dependen de su respectivo peso atómico. Así, cuando procedemos a descomponer sales de plata en una cubeta e hidrógeno en la otra, la masa de la plata depositada es 108 veces mayor que la del hidrógeno, lo cual corresponde a su respectivo peso atómico. Esto confirma nuestras suposiciones en cuanto a que el agua acidulada contiene átomos de hidrógeno con carga positiva, así como que son igualmente positivos los átomos de plata contenidos en la solución de sales de dicho metal. La proporción entre las masas precipitadas de cada sustancia, nos indica que el número de átomos atraídos por el cátodo de cada una de las cubetas es siempre el mismo para una corriente y un tiempo determinados.

Ahora podemos imaginar la fuerza de una corriente como la proporción en la cual el cátodo y el ánodo toman, respectivamente, su carga positiva y negativa. Cuando la corriente que fluye es la misma, los átomos cargados —iones— de hidrógeno llevan idéntica carga que los iones de plata.

Una corriente de agua puede medirse dividiendo



Faraday demostró que la masa de plata (peso atómico 108) que deposita una corriente de intensidad determinada, es 108 veces mayor que la masa de hidrógeno (peso atómico 1) que se deposita durante igual tiempo.

el total del líquido recogido por el tiempo que ha tardado en recogerse. De igual forma podemos medir una corriente eléctrica (amperios) dividiendo la cantidad total de carga por el tiempo (segundos). Y si la corriente es el cociente de dividir la carga por el tiempo, la carga será igual al producto de la corriente (amperios) por dicho tiempo (segundos).

La oscilación producida en la aguja de un galvanómetro por una corriente eléctrica depende únicamente de la carga considerada en este sentido. Así pues, podemos medir exactamente cómo la fuerza de atracción depende de la carga, y de ahí qué carga basta para retener en suspensión a una partícula entre las dos placas. Veremos cómo tal carga siempre constituye el múltiplo de una cifra que deberemos

considerar la carga mínima posible. Llamémosla e .

La exposición presentada por Faraday de cómo se comportan las soluciones nos lleva a un fácil medio para medir la masa de un átomo. Supongamos que una corriente de $1/10$ amperios descompone el agua durante 1000 segundos. Puesto que la carga equivale a la corriente multiplicada por el tiempo, dicha carga, en nuestro caso será $1/10 \times 1000$, o sea, 100 amperios-seg. Si nuestra carga total es, pues, 100, y llamamos e a la cantidad mínima de carga, nos será posible hallar la *cifra* de carga simple dividiendo la carga total, 100, por la cantidad de carga mínima e . Y toda vez que cada átomo de hidrógeno lleva una sola carga, este número $\frac{100}{e}$ equivale también al número de átomos de hidrógeno liberados por la corriente de que disponemos, durante 1000 segundos. Podremos medir sin dificultad la masa total de hidrógeno recogida en el cilindro correspondiente al cátodo, y puesto que conocemos el número $\frac{100}{e}$ de los átomos de hidrógeno contenidos en esta masa total, podremos calcular en seguida la masa de un solo átomo de hidrógeno.

Otros procedimientos condujeron al mismo resultado cuando los físicos estudiaron el comportamiento de la corriente en un ambiente gaseoso. Además, los químicos hallaron por su parte otro sistema para detectar la presencia de la más mínima partícula de cualquier elemento.

Hoy sabemos que la sal de cocina (un compuesto sódico), produce una intensa luz amarilla cuando arde en una llama azul apenas visible. Asimismo, cualquier otro elemento intensifica el color de una zona determinada del espectro. De esta forma, mediante el espectroscopio podemos determinar inmediatamente la presencia de la cantidad más insignificante de materia.



Al pasar a través de un prisma, la luz blanca se descompone, dando lugar a la formación de un espectro completo.



Cada elemento, como el sodio por ejemplo, presenta en la descomposición del espectro un color propio y definido.

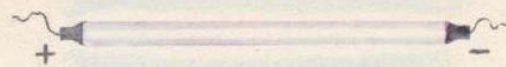


Siempre que en un compuesto se encuentre una diminuta partícula de litio, las rayas aparecerán en esta posición.

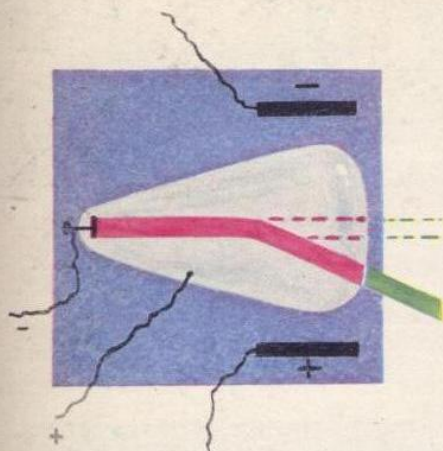


Los compuestos a base de bario, con su espectro verde, se utilizan para dar este color a los fuegos de artificio.

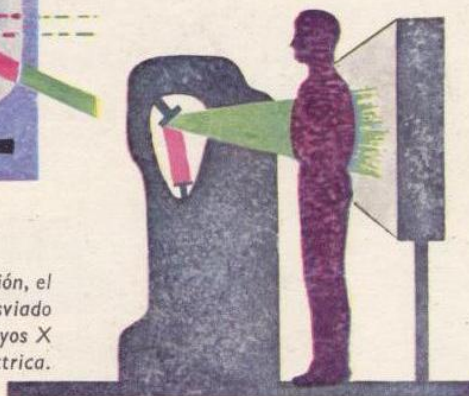




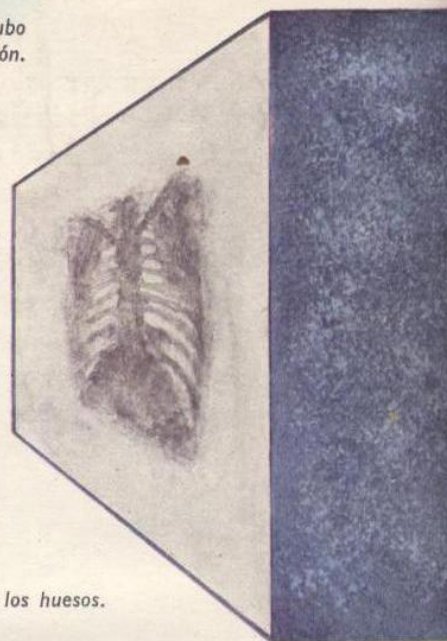
Una luz de neón consiste en un tubo catódico alargado, lleno de gas neón.



En el tubo catódico de baja presión, el haz de electrones puede ser desviado por un campo magnético. Los rayos X resultantes carecen de carga eléctrica.



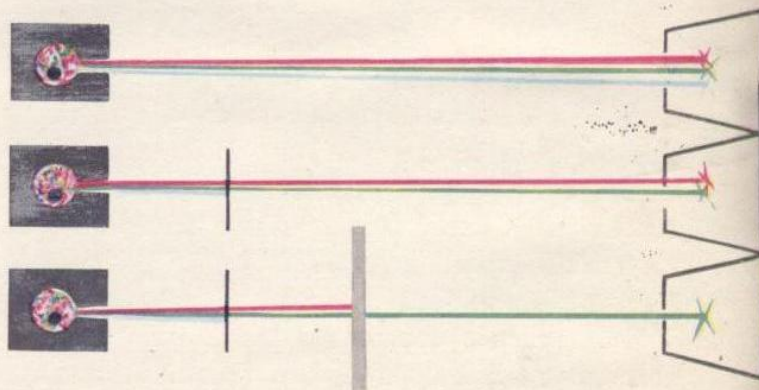
Los rayos X atraviesan el tejido muscular del hombre, pero no los huesos.



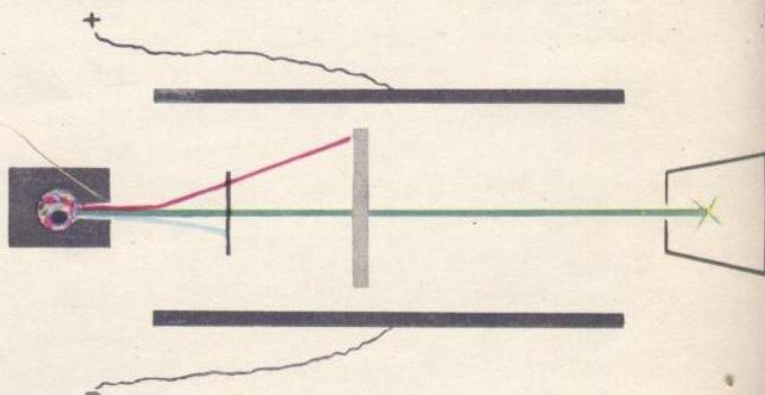
En 1740, el sacerdote y físico francés Nollet, que tanto había trabajado para perfeccionar el condensador usado en las antiguas máquinas electrostáticas, realizó una nueva e interesante observación. Haciendo que una descarga eléctrica atravesara una ampolla de cristal cerrada y conectada a una bomba de vacío, vió cómo una sucesión de menudas chispas daba lugar a un resplandor fluorescente, como el que tiene lugar en un tubo de neón cuando la presión interna es reducida.

Este descubrimiento no tuvo, sin embargo, otras consecuencias hasta que Faraday se ocupó de ello, después que Nollet hubo abandonado sus experimentos. En 1850, los investigadores sabían ya que el aire enrarecido es un buen conductor de la corriente a un voltaje elevado. En 1858, otro científico alemán llamado Plucker observó, además, que el haz luminoso continuo producido en tales condiciones se desvía, formando un ángulo, cuando se le acerca un electroimán.

Al parecer, el agua conduce la corriente porque sus moléculas se descomponen en átomos de carga positiva y negativa o en racimos de átomos, llamados iones. Los físicos empezaron a considerar que algo muy parecido tenía lugar durante la descarga de chispas, especialmente, cuando otros experimentadores demostraron que una placa cargada positivamente desviaba el haz luminoso producido por el tubo a baja presión. La dirección en la que un electroimán desvía dicho haz y el efecto causado por la proximidad de una placa cargada con electricidad



Una pantalla de cartón detiene los rayos alfa (azules); una lámina de aluminio de 1 cm detiene los rayos beta (rojos); los rayos gamma atraviesan una plancha de hierro de 30 cm.



Al atravesar un campo eléctrico, los rayos alfa, cargados positivamente, se desvían hacia el polo negativo; los rayos beta, con carga negativa, lo hacen hacia el positivo; los rayos gamma, por ser neutros, no sufren desviación alguna en su trayectoria.



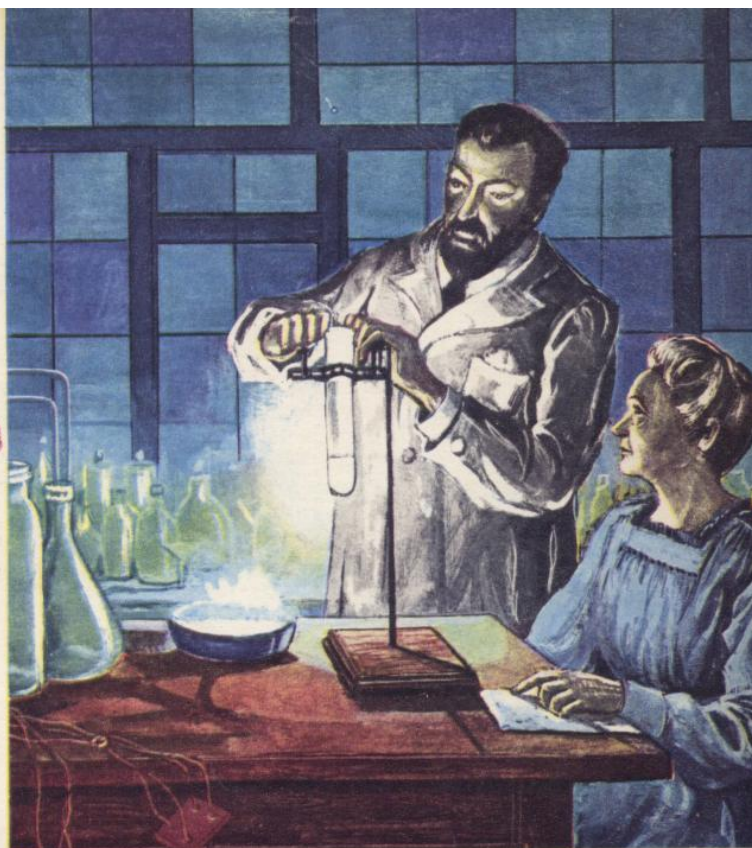
De una tonelada de peblenda que les fué remitida por orden del emperador de Austria, los Curie obtuvieron solamente 0,10 gramos de radio puro.

positiva les dieron a entender que el resplandor visible era el resultado de una corriente de rápidas partículas negativas que calentaban el aire antes de llegar a la incandescencia.

A medida que esta teoría iba ganando terreno, Röntgen descubrió que ciertos productos químicos adquieren fluorescencia (lucen en la oscuridad), en la proximidad de la lámpara de baja presión. También observó que la película fotográfica sometida a sus efectos se impresionaba a pesar de conservarla envuelta en papel negro y dentro de su envase. Entonces dió el nombre de rayos X al flujo desconocido que escapaba del tubo catódico y demostró que dichos rayos no podían ser debidos a una corriente de partículas negativas, puesto que ni un electroimán ni una placa cargada positivamente influían para nada en su dirección. Los rayos X atraviesan con facilidad el tejido muscular del hombre, pero no los huesos, por cuyo motivo han llegado a ser tan útiles en el campo de la medicina y de la cirugía.

Antonio Enrique Becquerel, un sabio físico francés, descubrió que las sales de algunos metales pesados como el torio y el uranio reproducían también los efectos de los rayos X. A su proximidad resultan fluorescentes las mismas sustancias, y el material fotográfico sigue velándose aún en plena oscuridad. En vista de ello propuso a Pedro Curie y a su esposa y colaboradora María Sklodowska, la investigación de aquellos minerales que podrían contener sustancias radiactivas.

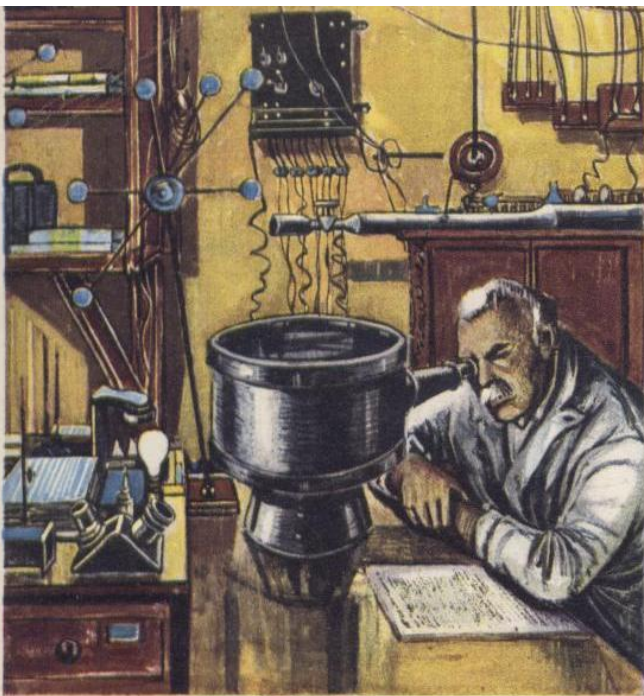
Uno de estos materiales, llamado peblenda, con-



tiene una apreciable cantidad de uranio y es muy radiactivo. El matrimonio Curie, analizó la cantidad de uranio contenida en la peblenda y encontró que no era tan importante como para producir tales efectos. Entonces, siguieron trabajando hasta conseguir, en 1898, aislar un nuevo elemento, el radio, mucho más activo que el torio y el uranio.

Muchos científicos, especialmente Rutherford y Soddy, sintieron el deseo de estudiar a fondo sus propiedades. Tamizando el invisible haz que se desprende de un tubo de plomo que contenga cierta porción de radio, y haciendo que dicho haz atravesase el campo magnético de un electroimán, llegaron a la conclusión de que es posible considerarlo dividido en tres partes: una, formada por partículas con carga positiva, llamada rayos *alfa*; otra, por partículas negativas (electrones), como en las ampollas de baja presión y, finalmente otra constituida por rayos tan penetrantes como los descubiertos por Röntgen. A esta última los físicos le dieron el nombre de rayos *gamma*, y a la corriente de electrones, de rayos *beta*.

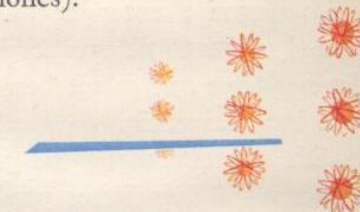
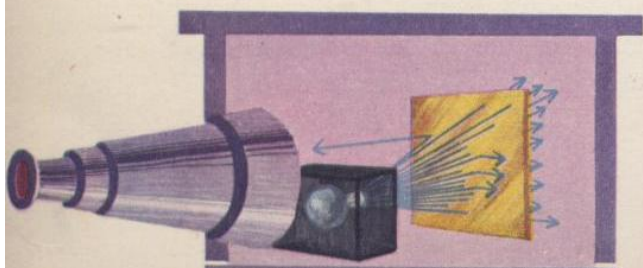
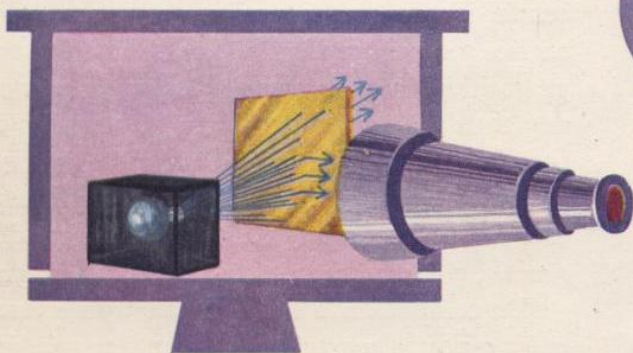
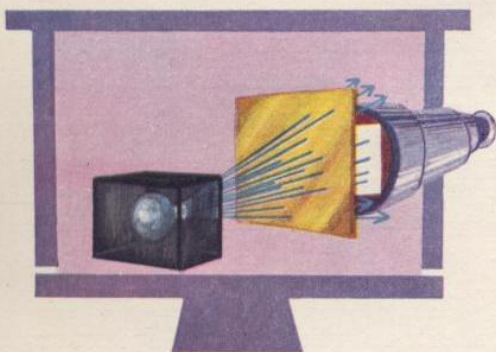
Descomponiendo los rayos alfa, observaron que en su espectro aparecía un elemento propio de la luz solar, el helio. Esto les sugirió que las partículas alfa no son sino átomos de helio con carga positiva. Siendo así el pesado átomo del radio se encuentra en un constante estado de lenta y pertinaz desintegración, acompañada por la difusión de calor.



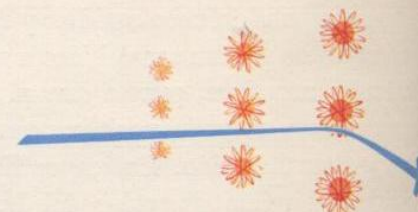
Aparato usado por Rutherford para realizar sus experimentos.

Si medimos la desviación de la corriente catódica de las partículas con carga negativa alternativamente en un campo magnético y en un campo eléctrico, será posible calcular directamente su masa y la intensidad de la carga. Tal fué lo conseguido por J. J. Thomson en el siglo XIX. La carga es la mínima que ya conocemos como e , en amperios-segundo. La masa viene a ser la de unas dos centésimas de la de un átomo de hidrógeno.

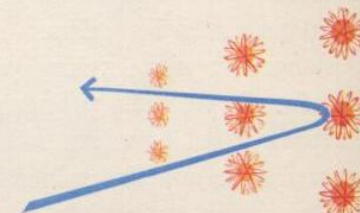
En el tubo catódico tenemos una corriente de partículas desde el terminal negativo en dirección opuesta a dicho terminal. Si se desea, puede construirse un tubo de baja presión de forma tal que el haz obtenido siga una dirección contraria al terminal positivo. Una placa cargada eléctricamente y un imán desviarán respectivamente dichos haces si realmente son debidos al impacto de partículas con carga positiva (iones).



Rutherford hizo que las partículas alfa del radio bombardearan una laminilla de oro. La mayor parte de ellas pasaban a su través dando origen a un ligero destello, visible a través del microscopio.



Observó también que, de vez en cuando, algunos de estos destellos se salían por el borde de la pantalla; entonces puso ésta de perfil, viendo con sorpresa que dichas partículas resbalaban por la superficie formando ángulo recto con las demás.



Colocando la pantalla y el microscopio directamente detrás del proyector de rayos alfa vió, además, que unas pocas partículas chocaban con la pantalla y eran rechazadas inmediatamente hacia atrás.

Si el gas contenido en el tubo es hidrógeno, la masa de estas partículas, llamadas protones, es casi la misma que la de un átomo de dicho gas. La carga de un ion de hidrógeno (protón) es también igual, aunque de signo opuesto a la de un electrón.

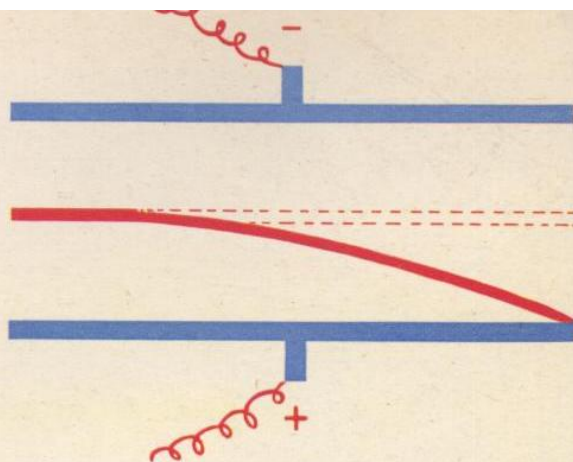
Rutherford, que fué el primero en conseguir la desviación de los haces producidos por el radio valiéndose de un campo eléctrico y magnético, observó que los rayos beta constituyen una corriente de electrones, en tanto que los rayos alfa forman otra corriente de partículas positivas, cada una de las cuales pesa cuatro veces más que un átomo de hidrógeno. Puesto que 4 es el peso atómico del helio, el resultado conseguido es el mismo que con el espectroscopio. Rutherford descubrió, asimismo, que la carga de una partícula alfa es igual y de signo contrario a la de dos electrones.

Bombardeando con partículas alfa una pantalla de pan de oro colocada enfrente de una placa revestida con alguna sustancia capaz de adquirir fluorescencia bajo su impacto, Rutherford encontró que la mayoría de las partículas atravesaban la pantalla sin dificultad. Sin embargo, algunas eran desviadas hacia un lado, y otras aún, repelidas hacia atrás.

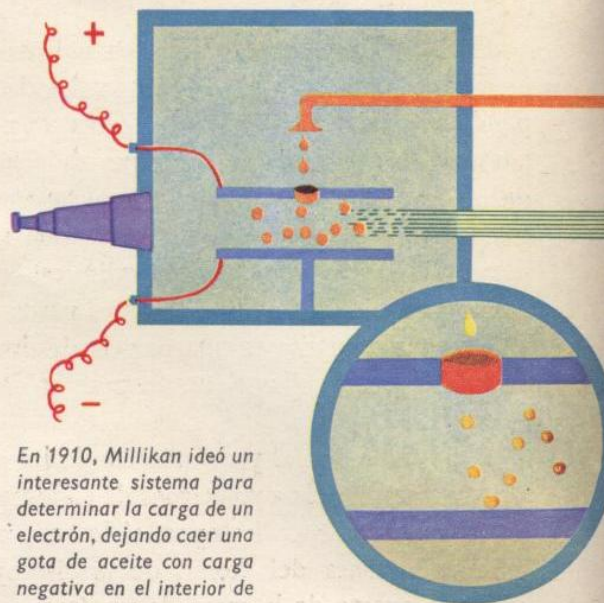
Al parecer, los átomos de los cuerpos sólidos distan uno de otro como los astros en el infinito. Al mismo tiempo, cada electrón está proporcionalmente tan distanciado de su núcleo, como la Luna lo está de la Tierra. De ahí, que los físicos empezaran a imaginarse la estructura atómica como una reproducción en miniatura del sistema solar, en la cual el núcleo positivo corresponde al Sol y los electrones a los planetas.

Al propio tiempo, averiguaron que el átomo del helio es cuatro veces más pesado que un átomo de hidrógeno, y que carece de dos electrones que se hallan presentes en el átomo de helio neutral. Si el átomo de hidrógeno es como un planeta con su pequeño satélite, el átomo de helio será como un planeta cuatro veces mayor y provisto de dos lunas.

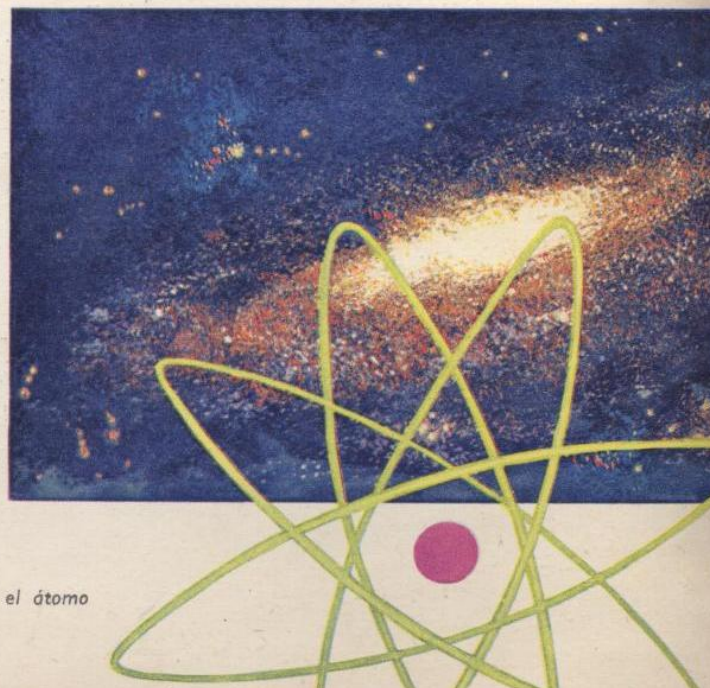
Por entonces se comparaba el núcleo del helio a un racimo formado por dos protones y dos partículas neutras del mismo peso. Si todos los átomos son de idéntica constitución, el peso atómico de todos los elementos habría de ser siempre un número entero, lo cual, ciertamente, no coincidía con lo que los químicos habían encontrado. Esto obligó a los científicos a revisar muchas de sus antiguas teorías.



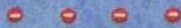
Midiendo la desviación de un haz catódico tanto en un campo eléctrico como magnético, Thomson halló en 1895 la relación que existe entre la carga de un electrón, su masa y su velocidad.

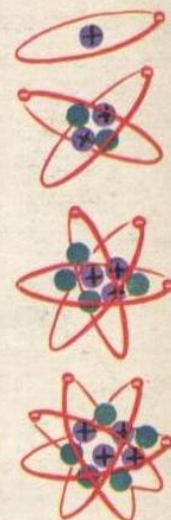


En 1910, Millikan ideó un interesante sistema para determinar la carga de un electrón, dejando caer una gota de aceite con carga negativa en el interior de un campo magnético.



Los científicos empezaron a ver en el átomo un sistema planetario en miniatura.

	ELECTRONES	PESO ATÓMICO	PROTONES	NEUTRONES
Hidrógeno		1	=	 +
Helio		4	=	 + 
Litio		7	=	 + 
Berilio		9	=	 + 



Los neutrones, equivalentes en masa a los protones, pero sin carga alguna, se suman a éstos para el peso atómico.

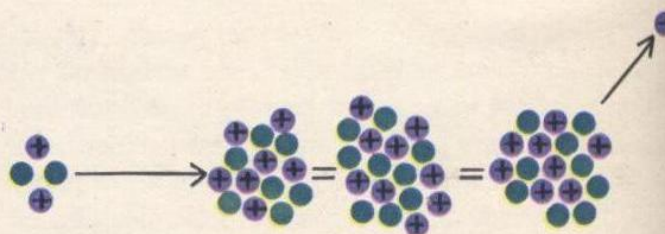
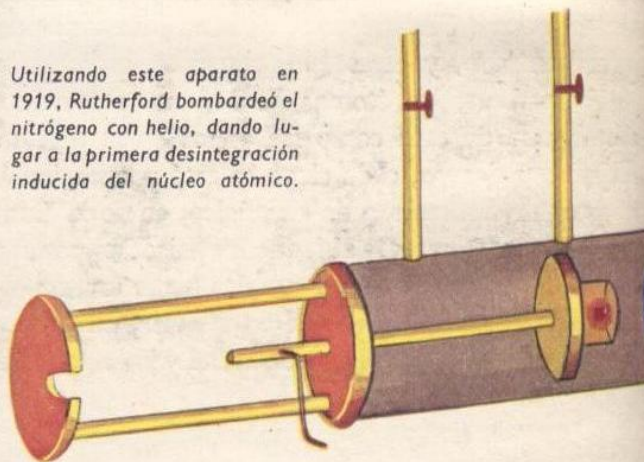
Cuando los gases se difunden a través de una membrana porosa, lo hacen a una velocidad que depende de su densidad. De esta forma, es posible separar un gas ligero de otro más pesado repitiendo su difusión. Si tratamos un elemento gaseoso de esta manera veremos que, de hecho, es una mezcla de sustancias cuyas propiedades químicas son exactamente iguales pero con diferentes pesos atómicos. El oxígeno corriente es una mezcla de dos *isótopos*. El más ligero de ellos tiene un peso atómico de 16 el otro de 17.

A pesar de que el peso atómico de los elementos tal como se conocía a principios de siglo no eran números enteros, estos isótopos, sí lo son, por consiguiendo la masa del átomo de un isótopo es un múltiplo exacto de la masa de un átomo de hidrógeno. Los núcleos de los isótopos de un mismo elemento tienen idéntica carga, que corresponde a un número determinado de protones. Así, podemos suponer que tales isótopos difieren entre sí solamente por contener uno o más ingredientes neutros cuya masa es casi la misma que la de un átomo de hidrógeno. La carga positiva del núcleo es equivalente al número de electrones de un átomo neutro. A esto es lo que se da el nombre de número atómico.

El descubrimiento de los isótopos hizo pensar en que era posible la división del núcleo de los átomos de otros elementos aparte del hidrógeno. Rutherford tuvo la idea de utilizar para ello el veloz movimiento de los iones de helio de los rayos alfa del radio como proyectiles. En 1919, observó que

el paso de dichos iones a través del nitrógeno producía en la pantalla un centelleo seis veces superior al normal en una partícula alfa. Rutherford descubrió que al chocar, las partículas llevaban una carga positiva, como lo demostraba la desviación magnética.

Utilizando este aparato en 1919, Rutherford bombardeó el nitrógeno con helio, dando lugar a la primera desintegración inducida del núcleo atómico.



Helio + Nitrógeno

NÚMEROS ATÓMICOS:

2 + 7

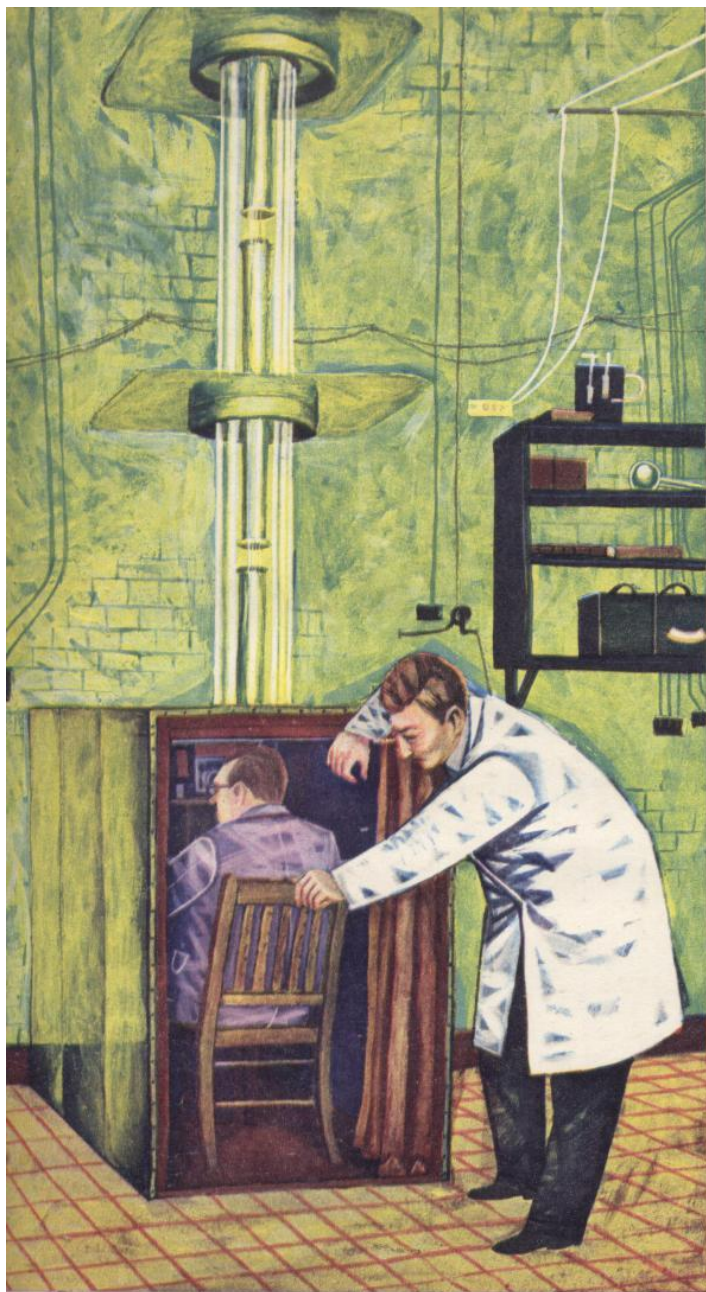
PESO ATÓMICO:

4 + 14

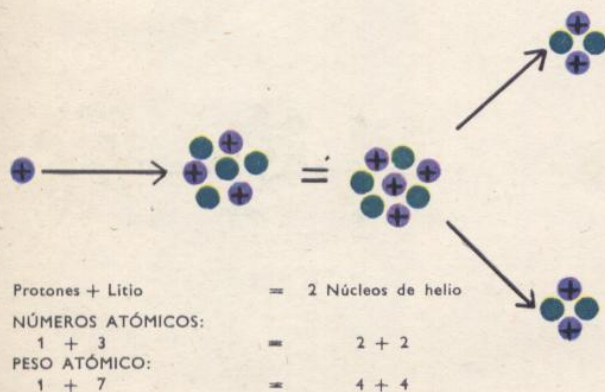
= Oxígeno pesado + Protones

= 8 + 1

= 17 + 1



En 1932, Cockcroft y Walton, bombardeando el litio con protones, dieron lugar a la primera división artificial de un núcleo atómico.



Un estudio posterior de la trayectoria de unión de helio a través de una cámara de nitrógeno, demostró que aquél, generalmente, se divide. Aparecen entonces dos nuevas trayectorias, la primera más oblicua y más corta que la segunda. Rutherford calculó que tales trayectorias corresponden a la carrera de un átomo de hidrógeno o protón y a la de un átomo pesado de oxígeno.

En 1932, Cockcroft y Walton, utilizaron protones para bombardear metal de litio y obtuvieron partículas que identificaron como helio en el espectro. Estos y otros experimentos reforzaron la creencia de que el núcleo de los átomos más pesados que el hidrógeno está formado por protones —núcleos de hidrógeno— y partículas neutras —neutrones— de masa equivalente.

El primer dato concreto para demostrar la existencia de los neutrones se obtuvo en 1930, cuando Bothe y Becker, en Alemania produjeron un nuevo tipo de rayos muy penetrantes, dejando que las radiaciones emitidas por el radio alcanzaran una placa de berilio. El efecto obtenido era comparable al de los rayos gamma. En Francia, Joliot y su esposa Irene Curie; En Inglaterra, Chadwick, demostraron que se trata de una corriente de partículas sin carga alguna. Sus trayectorias en una atmósfera de nitrógeno indican que se producen las mismas colisiones con el núcleo que en la prueba de Rutherford.

Una explicación que concuerda con lo dicho es que el ión de helio (número atómico 2) procedente del haz del radio se une con el núcleo de un átomo de berilio (número atómico 4) para constituir el núcleo de un átomo de carbono (número atómico 6). Ahí las cifras de los números atómicos coinciden con el de las cargas positivas: $2 + 4 = 6$; pero los pesos atómicos de los núcleos correspondientes no se equilibran. El ión del helio (peso atómico 4) se combina con el núcleo del berilio (peso atómico 9) para formar un núcleo de carbono (peso atómico 12). Una partícula neutra con un peso atómico 1 ha quedado eliminada del peso total. Tales neutrones son la fuente de la nueva radiación descubierta por Bothe y Becker.

La masa de cada neutrón es casi la misma que la de un protón. Los átomos de los elementos más pesados contienen más neutrones que protones. Ello sucede en elementos que son más o menos inestables, como el radio, uno de los más pesados.

Al no tener carga, los neutrones no sufren repulsión en la proximidad del núcleo. Pueden chocar de frente a la máxima velocidad. Por consiguiente, el físico italiano Fermi los calificó como proyectiles ideales, fácilmente obtenibles por el impacto de las partículas alfa sobre el berilio, el boro y otros elementos ligeros.

En 1938, Otto Hahn y Fritz Strassmann en Alemania, demostraron que el átomo de uranio se divide bajo el impacto de un bombardeo de neutrones en fragmentos de tamaño aproximado. Los núcleos subsiguientes se apartan entre sí a gran velocidad. Parece ser que en el acto de la fisión, son liberados los neutrones que, a su vez, van a chocar con otros núcleos repitiéndose este proceso hasta el infinito.

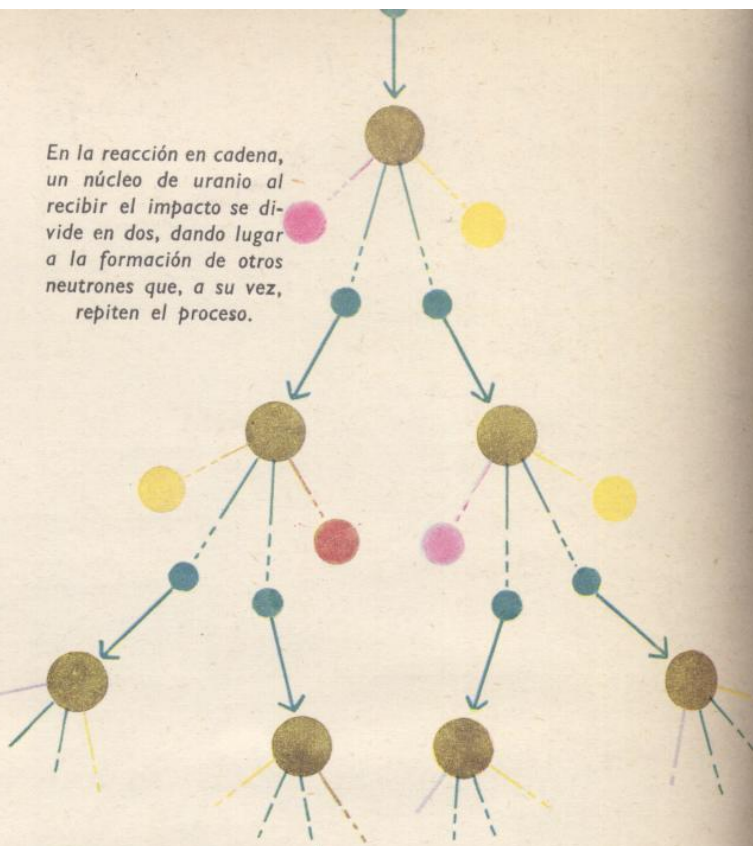
Al principio de siglo, los físicos que midieron la parte detectable del calor producido por la lenta desintegración del radio, calcularon que su completa fisión liberaría más de un cuarto de millón de veces de calor que el proporcionado por la misma cantidad de carbón.

De aquí, que si pudiéramos dar lugar a una reacción en cadena en la cual unos neutrones dividieran en fragmentos a los átomos de uranio con la consiguiente liberación de otros neutrones que repetirían el mismo proceso, se habría conseguido un formidable explosivo. En 1939, los físicos de todas las naciones combatientes concentraron su atención en el hallazgo de la fórmula necesaria para conseguirlo.

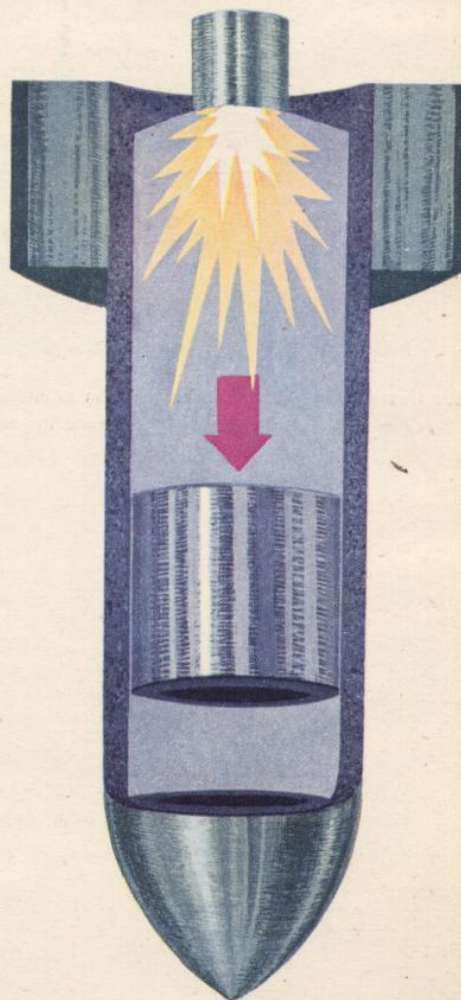
Al principio, sabían que el espacio vacío entre dos átomos es relativamente grande. Por lo tanto la posibilidad de que algún neutrón utilizado como proyectil chocara de frente con un núcleo cuando alcanza una partícula de uranio, resulta extremadamente remota. A menos que la masa de uranio sea suficientemente grande, no se produciría la reacción en cadena. El problema estaba pues, en descubrir cuál era la masa más conveniente. Si, una vez hallada la solución, nuestro único deseo es producir un estallido, podemos realizarlo poniendo en contacto dos bloques previamente aislados, cada uno de los cuales tenga un volumen ligeramente superior a la mitad de la masa crítica. Entonces empezará la reacción en cadena.

Este es, en resumen, el principio en que se basa la primera bomba atómica que se hizo explotar en el campo de experimentación de Alamogordo (Nuevo Méjico), el 16 de julio de 1945. Dicha bomba se

En la reacción en cadena, un núcleo de uranio al recibir el impacto se divide en dos, dando lugar a la formación de otros neutrones que, a su vez, repiten el proceso.



En la bomba atómica, un mecanismo de relojería despiden un «proyectil» de uranio contra el «blanco» también de uranio. Con ello el volumen total excede de la masa crítica y se origina la reacción.





La primera bomba atómica lanzada en el desierto de Nuevo Méjico, desarrolló tan enorme temperatura que llegó a cristalizar la arena.

había instalado sobre una torre de acero en pleno desierto y los observadores estaban situados a dieciséis kilómetros de distancia. La explosión tuvo efecto minutos antes de la puesta de sol. Inmediatamente, una gigantesca y deslumbrante bola de fuego proyectó vivísimos resplandores dorados y violáceos sobre toda la región. Segundos más tarde, llegaba un breve e intenso huracán, producido por la expansión del aire, y el prolongado retumbar de la explosión. Una nube multicolor se elevó a más de 12.000 metros.

Naturalmente, la torre de acero se volatilizó, y la enorme temperatura alcanzada llegó hasta cristalizar la arena del desierto. Un mes más tarde, el

lanzamiento de dos bombas atómicas en sendas ciudades del Japón ponía punto final a la guerra.

Así como la fisión (división) de un átomo pesado, de uranio o torio, libera una enorme cantidad de calor, también la unión o fusión de dos átomos ligeros, tales como el de litio y el de hidrógeno, producen idéntico efecto. Este tipo de reacción —que se supone es la misma que origina el calor solar— tiene efecto a temperaturas tan elevadas como la generada por una bomba atómica. Tal es el principio de la bomba de hidrógeno, cuyo alto poder explosivo nos amenaza hoy en día con la destrucción universal.

Al construir una bomba atómica el problema está en producir una sola reacción en cadena de enorme

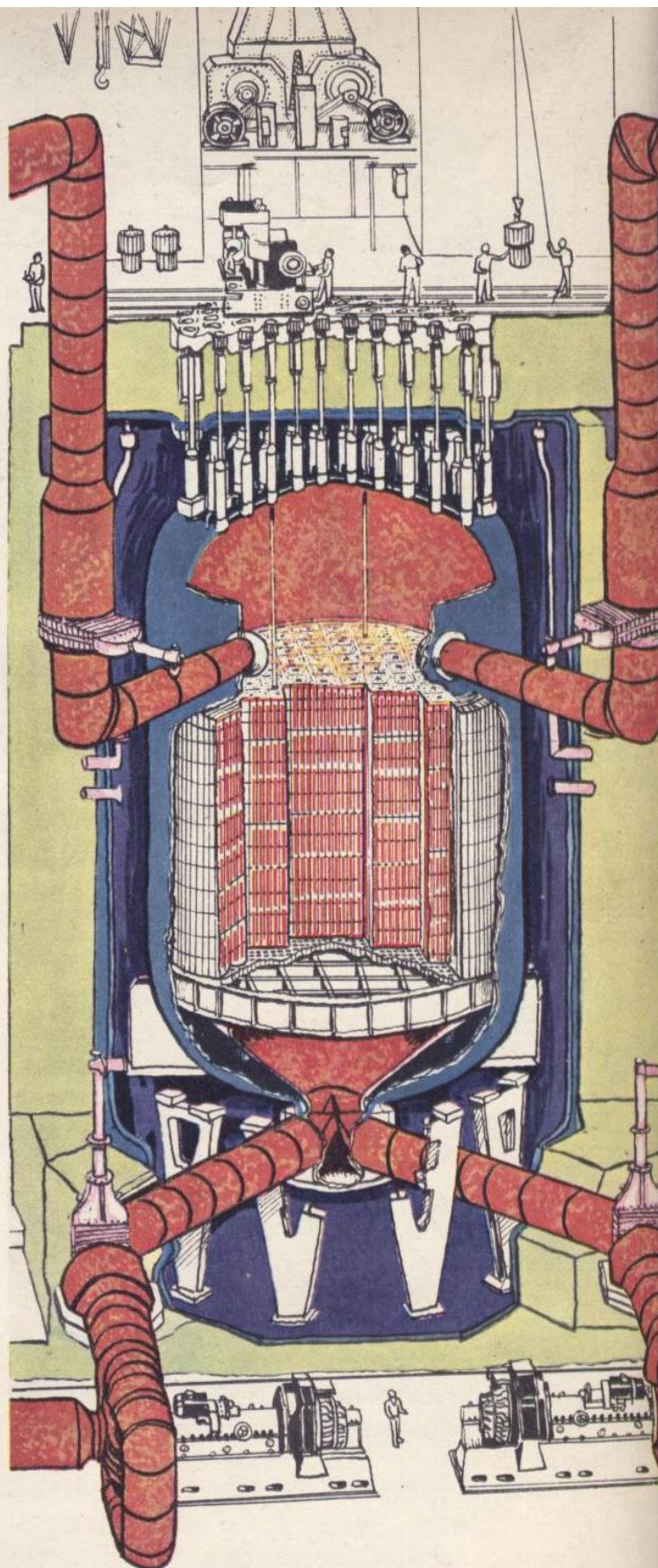
potencia, aunque de breve duración. Al aplicar la energía atómica a otros fines pacíficos el problema consiste en producir esta misma reacción de un modo más uniforme y continuo y sobre todo, que pueda reducirse o aumentarse a voluntad.

Afortunadamente, las investigaciones que hicieron posible utilizar el poder destructivo de la bomba atómica, señalaron también el camino hacia una solución al arduo problema de cómo aprovechar su gran cantidad de energía para realizar un trabajo útil. Desde luego, la labor fué llevada a cabo por los mismos que habían realizado la primera bomba; habría sido imposible seguir adelante con los experimentos sin conocer todo el mecanismo de la reacción en cadena.

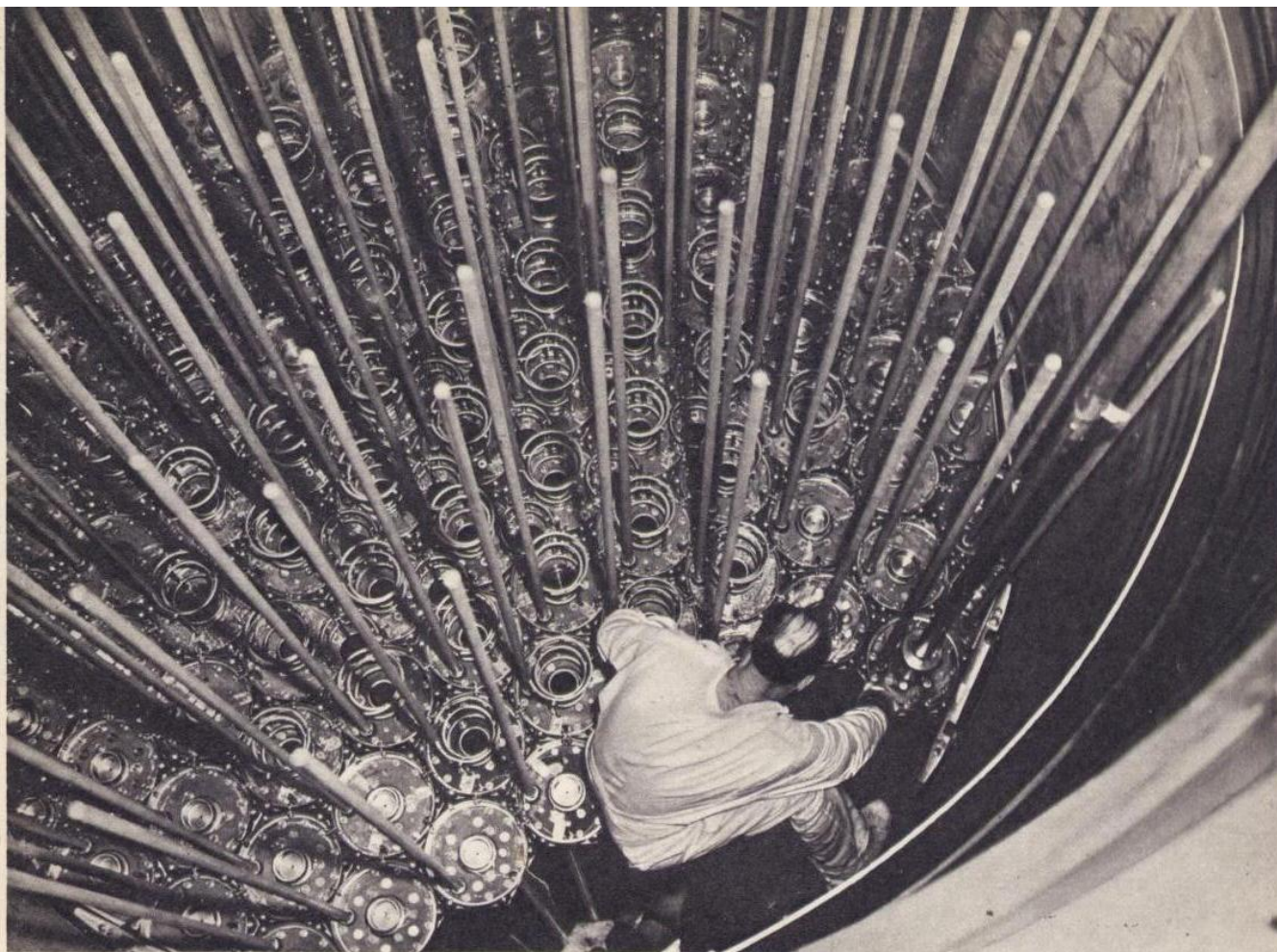
La posibilidad de gobernar debidamente la fisión nuclear depende en esencia del hecho de que algunas sustancias tales como el grafito, reducen la velocidad de los neutrones, y que otras, como el cadmio, capturan a los neutrones evitando el bombardeo de los núcleos adyacentes. En las primeras pruebas de reacción en cadena a gran escala, realizadas en 1941, se construyó una «pila» con ladrillos de grafito para separar entre sí los diversos depósitos de uranio. La parte central de los complejos reactores actuales está formada por un revestimiento de grafito en cuyo interior se disponen los lingotes de uranio hasta completar la masa crítica total.

Un haz formado por 1696 tubos sin soldadura sirve para detectar el menor escape de productos radioactivos de una pila atómica.

Maqueta de una central de energía atómica del futuro.



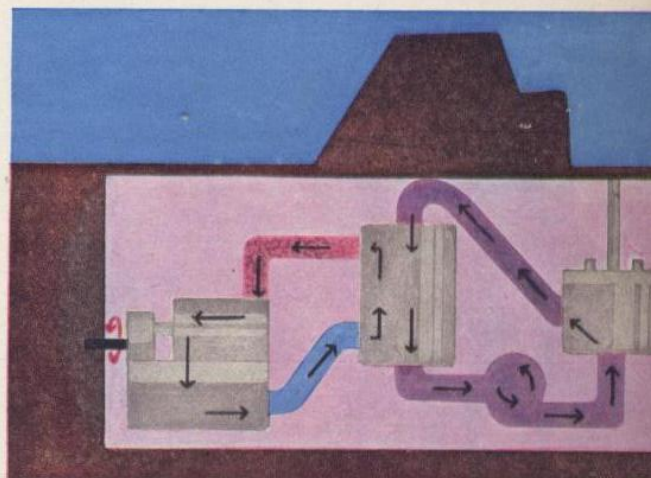
En una pila atómica se encuentran cuatro circuitos de refrigeración (dos aparecen en el grabado). El gas refrigerante—dióxido de carbono—, circula por los tubos inferiores absorbiendo el calor del reactor, de los tubos superiores y de la caldera, donde se produce el vapor utilizado para mover las turbinas.



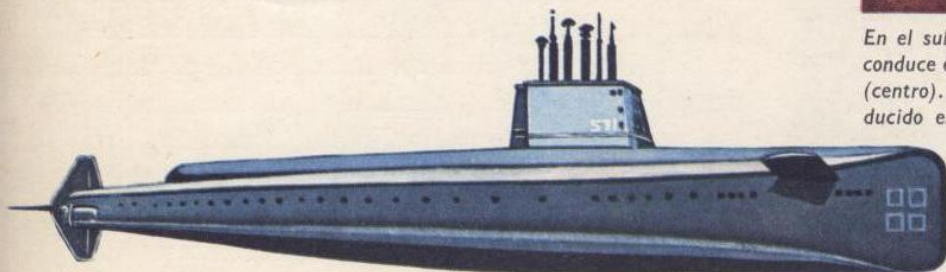
Una etapa en el proceso de construcción del tanque refrigerador destinado al reactor de Santa Susana, en California (EE. UU.)

La división del núcleo de los átomos de uranio, de torio o de otras sustancias fisionables, incluidos los isótopos artificiales de esos dos elementos, produce una enorme cantidad de calor. Este calor es conducido hasta una caldera convencional mediante un refrigerador —gas o agua— el cual absorbe parte de la temperatura del reactor y, además, lo refrigera. En la caldera, se origina vapor que, a su vez, es dirigido hacia una turbina, donde desempeña un efecto mecánico y se convierte en trabajo.

Actualmente son muchos los países que encaminan sus investigaciones a la obtención del máximo provecho de la energía atómica para la que ya se prevén gran número de aplicaciones.



En el submarino atómico Nautilus, el agua a alta presión conduce el calor desde el reactor (derecha) hasta la caldera (centro). En un segundo sistema hidráulico, el vapor producido en la caldera llega hasta la turbina (izquierda), donde acciona las hélices.



Los trazadores...

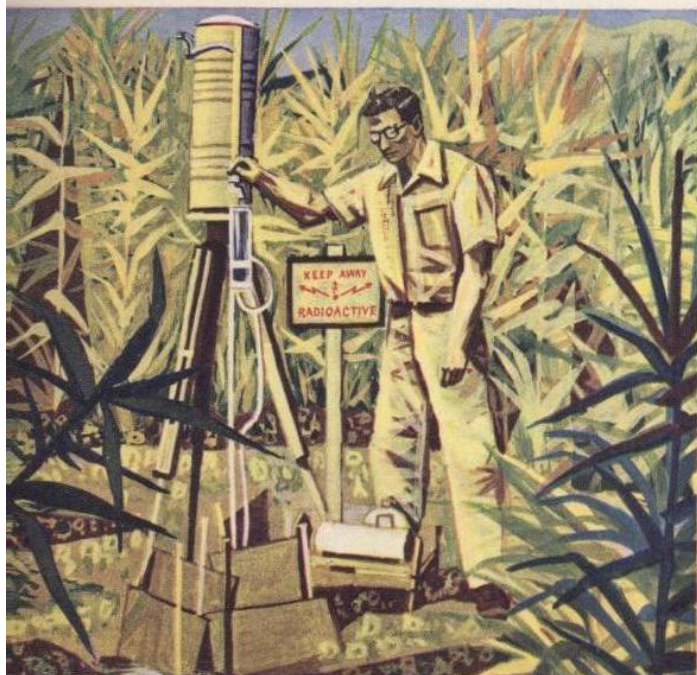
...delatan su presencia, que puede ser fácilmente detectada.



El yoduro sódico radioactivo añadido al agua de una tubería averiada permite detectar rápidamente el punto de fuga, evitando así la necesidad de abrir grandes zanjas.

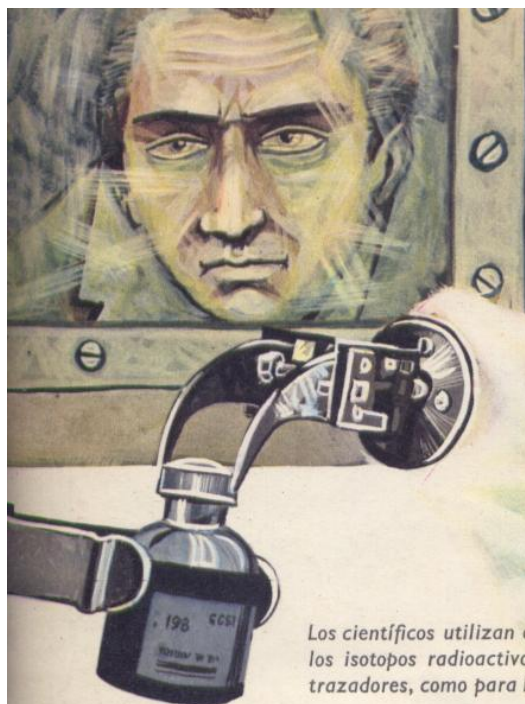


Los insectos nocivos pueden ser destruídos en su propio nido siguiendo el rastro radioactivo que adquirieron al contacto con las plantas previamente tratadas.



Ha sido durante los últimos cincuenta años, cuando la investigación atómica ha contribuído a facilitar datos de interés práctico. Uno de los aparatos atómicos más importantes es el destinado a la producción de radioisotopos. Un radioisotopo de cualquier elemento es químicamente igual a otro isotopo del mismo elemento, pero menos estable y que por consiguiente se halla en constante desintegración. El primer radioisotopo artificial fué producido por Joliot-Curie, bombardeando el aluminio (13 protones, 14 neutrones, peso atómico 27) con partículas alfa. El núcleo de la sustancia resultante contenía 15 protones y 15 neutrones, con un peso atómico de 30. Una sustancia con 15 protones podría ser el fósforo; pero el fósforo tiene 16 neutrones y un peso atómico de 31. Federico Joliot e Irene

En Hawaii, los cultivadores de caña de azúcar añaden radioisotopos al agua de riego para detectar luego su curso y perfeccionar su rendimiento y mejor distribución.



Los científicos utilizan con ventaja los isótopos radioactivos, tanto como trazadores, como para la radiación directa.

Estas dos patatas fueron almacenadas durante el mismo tiempo. La de la derecha había sido tratada con radioisótopos.



La flor de la derecha también fue tratada.



Radiación

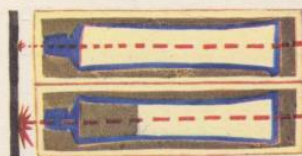
Curie hallaron que la nueva sustancia actuaba químicamente como el fósforo. Es decir, acababan de producir un nuevo isótopo del fósforo y resultaba, además, que dicho isótopo era radioactivo.

Desde entonces muchos científicos han conseguido obtener isótopos radioactivos de un gran número de elementos conocidos. Algunos retienen su radioactividad durante miles de años, otros tan sólo durante una fracción de segundo y todos ellos tienen las mismas propiedades de las sustancias radioactivas naturales. El período de tiempo durante el cual una sustancia conserva su radioactividad se designa como *período de vida media*. Por ejemplo, la mitad de una porción determinada del radio (vida media 1600 años) se desintegra en 1600 años, radiando durante todo este tiempo partículas atómicas. Durante los 1600 años venideros únicamente se desintegrará la mitad del poder radioactivo restante, y así sucesivamente.

Debido a su constante radiación, los radioisótopos delatan su presencia en cualquier lugar donde se hallen y pueden ser detectados con facilidad. La detección puede realizarse fotográficamente o bien mediante un detector eléctrico como el contador Geiger. Los isótopos radioactivos pueden emplearse entonces, como trazadores, incorporándolos al objeto que se quiera analizar. Los biólogos se sirven de ellos para el estudio del crecimiento de las plantas y de la vida animal. Además, la radiación de los radioisótopos es semejante a la de los rayos gamma del radio, pudiéndose utilizar en lugar del mismo.



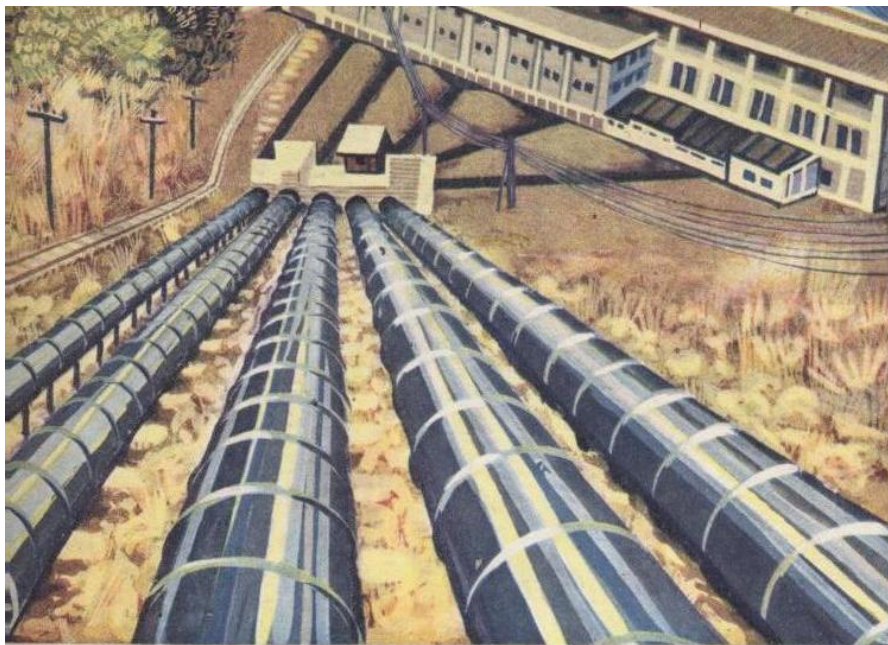
El examen de una pieza de fundición mediante cobalto radioactivo revela los más pequeños defectos.



Los radioisótopos atraviesan normalmente el material examinado. Cuando encuentran un fallo, se produce un aumento de absorción y en consecuencia, dichos isótopos son rechazados por el vacío.



Esta rama de la ciencia ha dado al mundo una nueva fuente de energía; además, ha hecho posible la construcción de un potente microscopio con el que podrá analizarse el propio átomo.



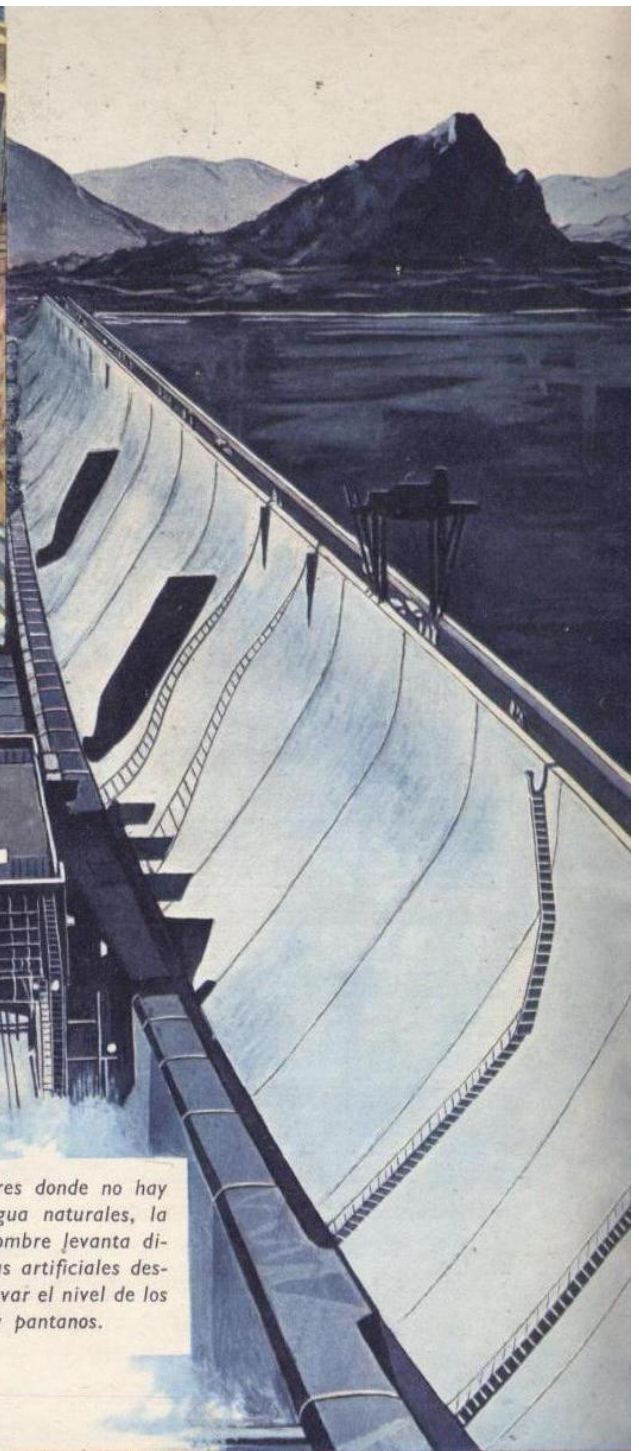
En la central hidroeléctrica de Tasmania (Australia) se ha aprovechado una gran cascada como medio de suministrar energía a bajo costo.

La fuerza y el futuro

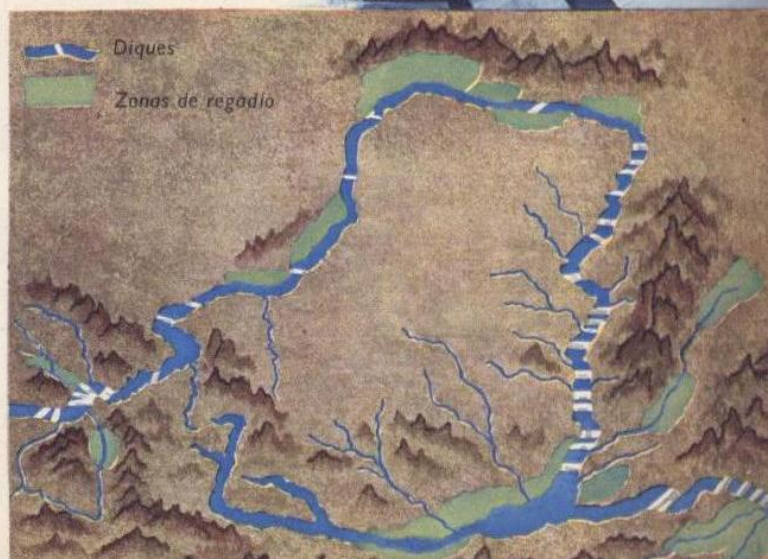
EN TIEMPOS DE FRANKLIN, la humanidad iniciaba la edad del vapor; en los días de Lincoln, la edad de la energía eléctrica, y poco antes de la muerte de Roosevelt, la era atómica. Hoy en día, una y otra fuentes de energía han transformado el mundo.

Incluso cuando la energía atómica llegue a ser más barata, no creemos que solucione todos los problemas del mundo. En algunos países industriales, donde el agua constituye todavía la principal fuente para la producción de electricidad, no se ha llegado, ni mucho menos, a su completo aprovechamiento. Por consiguiente, los reactores nucleares habrían de ofrecerse en condiciones muy ventajosas para que resultaran una buena inversión. Sin embargo, el dominio de la fuerza atómica parece haberse convertido en una obsesión y son muchos los países en los que ya funcionan con valor experimental, centrales atómicas de energía eléctrica.

Sin embargo, el agua constituye una fuente siempre creciente de producción eléctrica y los ingenieros saben la gran importancia que reviste perfeccionar los métodos de utilización. En muchos lugares, el aumento de mecanización constituye la única garantía de bienestar económico y social, particu-



En los lugares donde no hay saltos de agua naturales, la mano del hombre levanta diques o presas artificiales destinados a elevar el nivel de los ríos y pantanos.



El ambicioso proyecto de Río Amarillo, en China, combina hábilmente la producción de energía con un completo plan hidrográfico.



En la Guayana inglesa, el agua permite la explotación de los yacimientos de bauxita.

larmente en los países de bajo nivel de vida. Para éstos la prosperidad se halla en relación directa con el aprovechamiento más acertado de sus fuentes de energía. Las florecientes industrias de bauxita junto al río Demerara, en la Guayana inglesa, constituyen un claro ejemplo. El territorio cuenta con vastos depósitos de bauxita, de donde se extrae el aluminio, pero el transporte desde la jungla, así como del combustible para la explotación del mineral en la selva, resultaban prohibitivos. Actualmente, la planta hidroeléctrica del río Demerara permite suministrar aluminio a todo el mundo.

Los pantanos proporcionan con frecuencia otros beneficios. La misma obra que sirve para suministrar electricidad a determinada zona se aplica en caso necesario para evitar inundaciones y también para transformar en campos de regadío grandes extensiones de terreno árido.

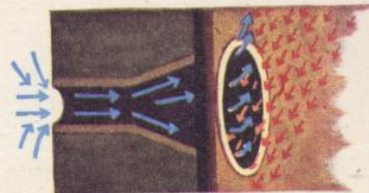
Gran parte de lo que el hombre ha aprendido para la mejor utilización de la energía se debe más a la ingeniería que a los hallazgos teóricos. En ello influye la producción de materiales que resisten grandes presiones y la construcción de maquinaria adecuada para realizar trabajos que raramente podrían ser efectuados con el esfuerzo muscular.

Asimismo, ya empiezan a utilizarse algunas fuentes naturales de energía que en principio se creyó de nada servían. Así, ya se obtiene provecho de algunas corrientes de agua caliente —géiseres—, así como del calor volcánico y en algunos países tropicales se aprovecha el calor del sol para crear corrientes de aire para la refrigeración. Y no está lejano el día en que el viento, los volcanes y las mareas produzcan electricidad.

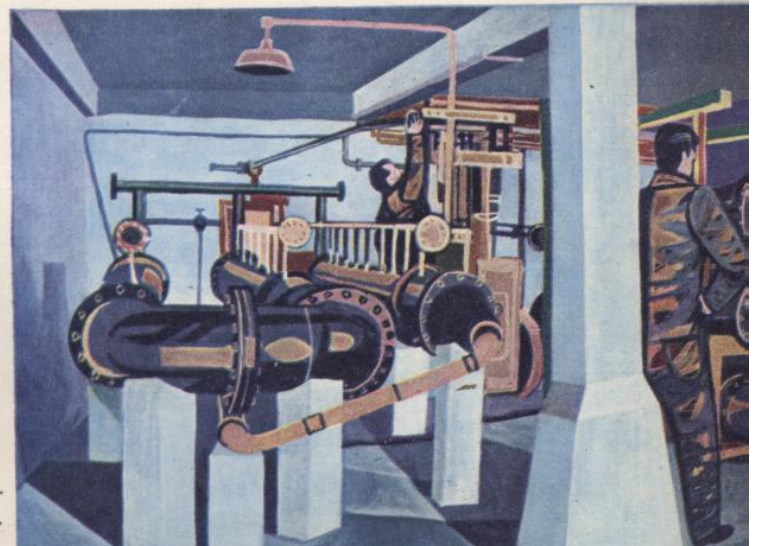
En Norwich, el agua del río Wensum desprende un gas que sometido a presión se eleva a más de 100 °C, utilizándose para la calefacción.

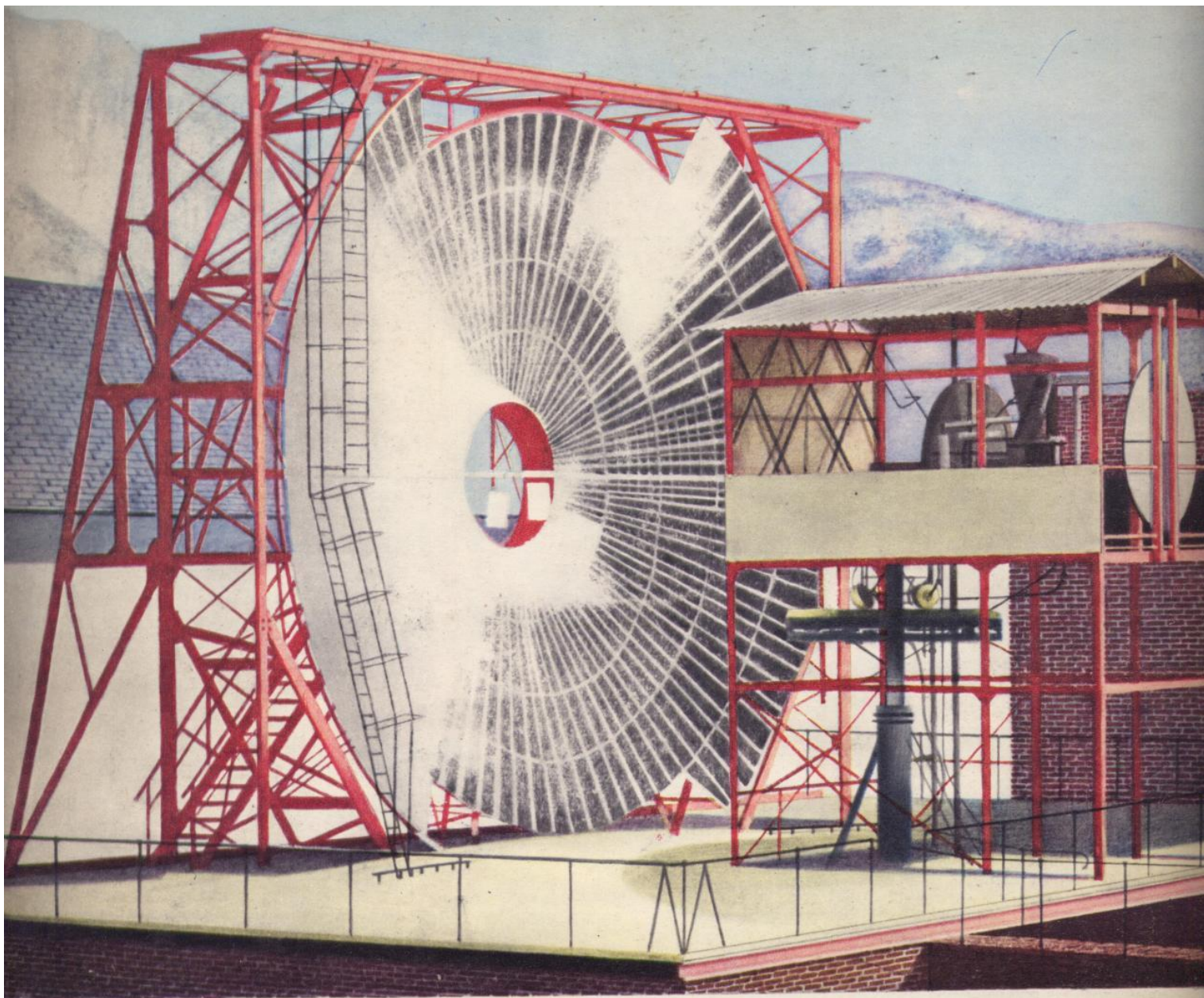


Los géiseres suministran calor y agua caliente a las viviendas de la capital de Islandia, Reykjavik.



En Ghana, el calor solar se utiliza para mantener en constante movimiento el aire de los edificios. El sol calienta las paredes; el aire interior asciende y sale por unos orificios en forma de embudo.





Con un reflector de 10 m de diámetro se alcanzan temperaturas de hasta 3000 °C. Disponiendo tales aparatos de manera que estén siempre orientados hacia el Sol, se concentra el calor necesario para hacer hervir el agua y producir vapor para las turbinas.

Esté producida por el carbón, aceite, agua, o fisión atómica, hoy por hoy la electricidad es la mejor fuente de energía, y la que mejor y más económicamente puede distribuirse. El carbón, que en tiempos fué la base de la energía eléctrica, va resultando cada vez más caro. Agotadas las capas de carbón más superficiales, actualmente es preciso explotar las minas más profundas con el consiguiente aumento de dificultades y de coste. Esta razón, por sí sola, justifica el hecho de que el agua haya vuelto a ser estimada en su justo valor en donde puede ser utilizada para mover las grandes centrales.

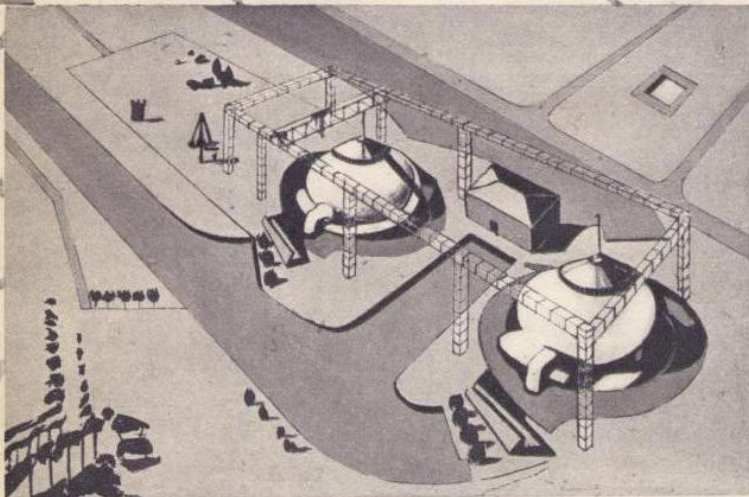
La creciente demanda de flúido eléctrico ha llevado a los ingenieros, particularmente en aquellos puntos donde el agua escasea, a experimentar nuevos sistemas. Analizando la cuestión, vemos cómo en

fin de cuentas toda energía proviene del Sol. Consumimos la energía solar acumulada en el carbón, en el petróleo y en la madera cuando quemamos estas sustancias, y al calor solar debemos, en definitiva, el fenómeno de las lluvias. El viento se debe a la diferencia de calor solar entre dos puntos del Globo y, en resumen, la vida dejaría de existir en nuestro planeta si el Sol desapareciera. Últimamente se han conseguido notables progresos en este sentido. En Rusia, por ejemplo, se persigue con tenacidad el aprovechamiento de los rayos solares —instalaciones del Cáucaso, del profesor Kapitze— así como de los rayos cósmicos.

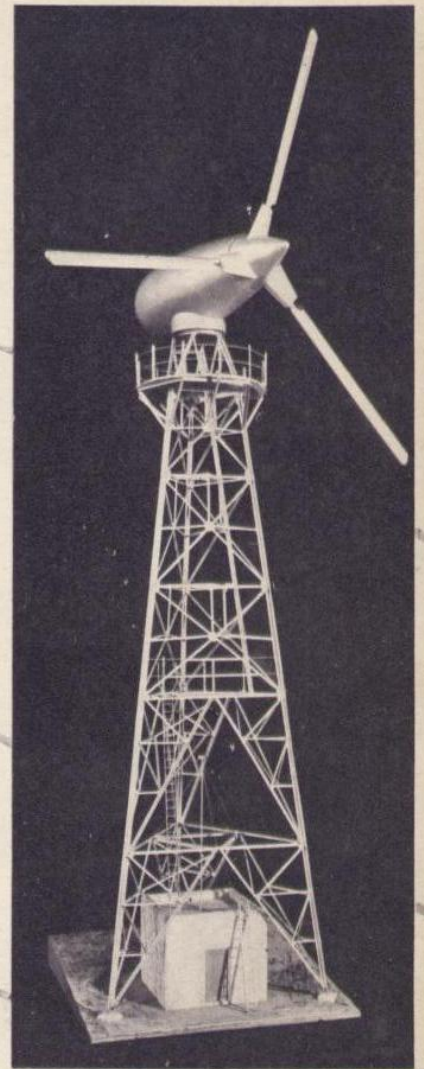
Otras dos fuentes de calor natural, los volcanes y las diferencias de temperatura entre los distintos niveles del mar, pueden utilizarse asimismo para ob-

tener electricidad. Además las innovaciones introducidas en las turbinas han dado un nuevo interés a los molinos de viento como medio de obtener energía. Actualmente existe el proyecto de experimentar en las costas británicas un nuevo y atrevido sistema de invención francesa para aprovechar la energía de las mareas.

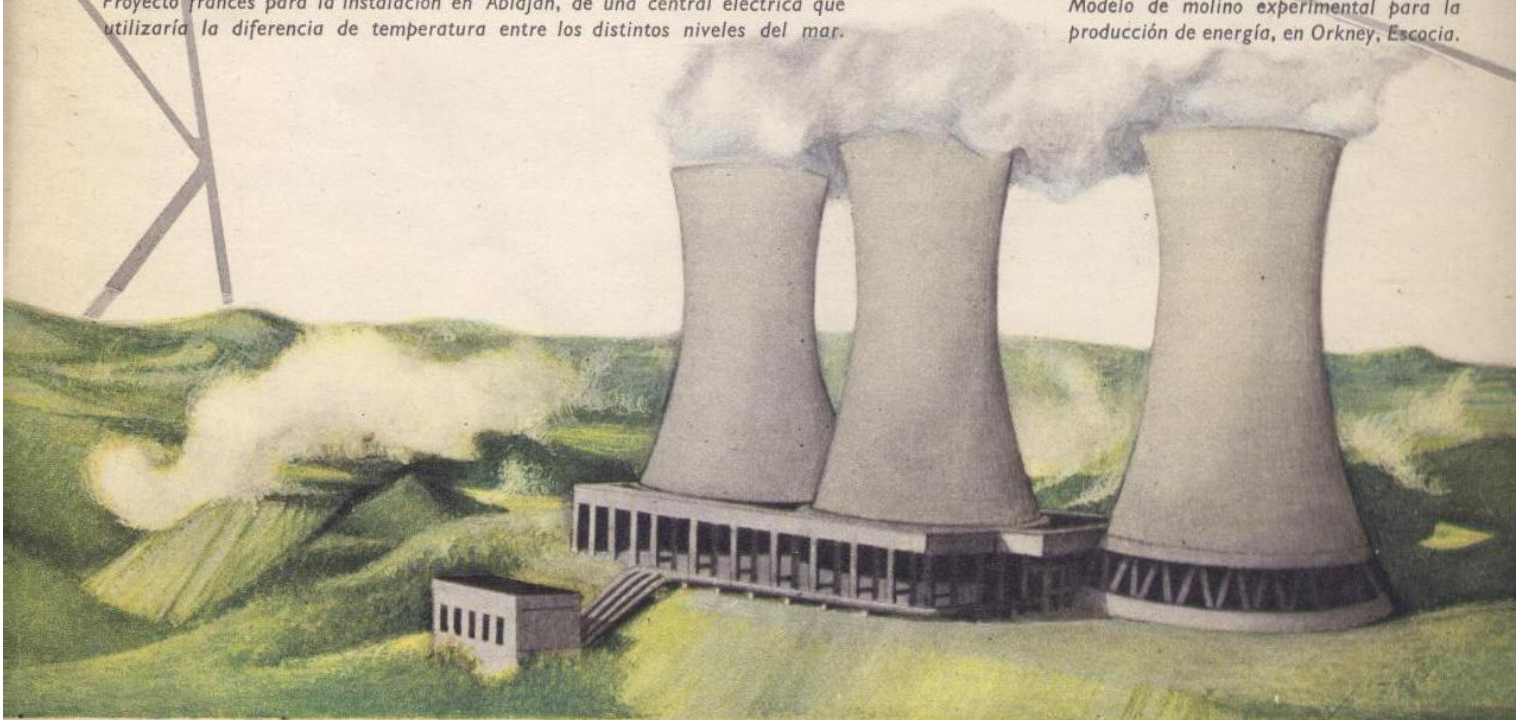
Tales esfuerzos para aumentar la producción de fluido eléctrico demuestran la evidente necesidad de cubrir la demanda mundial de tan apreciado elemento. La energía, sea cual sea su origen, no hará jamás un mundo peor; al contrario, solamente ella puede crear las condiciones necesarias para una vida más grata y simplificada.



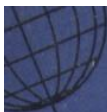
Proyecto francés para la instalación en Abidjan, de una central eléctrica que utilizaría la diferencia de temperatura entre los distintos niveles del mar.



Modelo de molino experimental para la producción de energía, en Orkney, Escocia.



El vapor procedente de unos volcanes subterráneos acciona los generadores de electricidad instalados en la central de Larderello, en Italia.



ENCICLOPEDIA JUVENIL DEL SIGLO XX

Todos los conocimientos básicos de la cultura universal, en prodigiosa síntesis y con una excepcional riqueza de ilustraciones a todo color.

He aquí los seis primeros títulos de esta nueva y originalísima colección:

1. **25.000 AÑOS DE MATEMATICAS**
Historia ilustrada de los números, el cálculo y las medidas.
2. **25.000 SIGLOS DE HISTORIA DE LA TIERRA**
La fascinadora aventura del mundo en que vivimos.
3. **25.000 SIGLOS DE HISTORIA DEL MAR**
La fabulosa vida y conquista de los océanos.
4. **25.000 AÑOS DE HISTORIA SUBTERRANEA**
El apasionante rompecabezas de la arqueología.
5. **25.000 AÑOS DE MECANICA**
Hombres, músculos y máquinas a través de los siglos.
6. **25.000 AÑOS DE MEDICINA**
De la magia a la más moderna ciencia de curar.

Estas obras constituyen el más acabado panorama histórico de la ciencia y del progreso humano, y con ello ayudan al estudiante haciéndolo comprensibles y amenos sus libros de texto, proporcionan a los maestros y profesores innumerables y sugestivos temas para sus explicaciones, y enseñan y agradan a todos.

El ilustre filósofo inglés Bertrand Russell ha escrito de esta magna enciclopedia: «No me cansaré de recomendar esta obra maestra de simplificación sin falseamiento».

Libros nuevos de una colección nueva publicada por
EDICIONES DAIMON, MANUEL TAMAYO. PROVENZA, 284 - BARCELONA

